

Bodolai Tamás

ULTRAHANGOS ANYAGVIZSGÁLATOK

© Dunaújvárosi Egyetem–Ecotech Nonprofit Zrt., 2022

© Bodolai Tamás, author, 2022.

A kötet A Dunaújvárosi Egyetem Paksi Kompetencia- és Kutatóközpontjának kialakításához szükséges feladatok ellátásához kapcsolódó 1734/2019. (XII. 19.) Korm. határozat alapján kapott támogatásból valósul meg.

DUNAÚJVÁROSI EGYETEM
www.uniduna.hu
D=U=E PRESS

Kiadóvezető Németh István

Felelős kiadó Dr. habil András István
Felelős szerkesztő Nemeskéry Artúr

Tördelés Duma Attila
Készült a HTSART nyomdában
Felelős vezető Halász Iván

Bodolai Tamás

ULTRAHANGOS ANYAGVIZSGÁLATOK

DUE Press
Dunaújváros, 2022

TARTALOM

1 BEVEZETÉS RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATBA	9
2 FIZIKAI ALAPOK	33
2.1 FIZIKAI DEFINÍCIÓK ÉS JELLEMZŐ PARAMÉTEREK	33
2.2 HULLÁMOKKAL KAPCSOLATOS FOGALMAK – HULLÁMFAJTÁK	46
2.3 TÖRÉS ÉS VISSZAVERŐDÉS	54
2.4 ULTRAHANGOK GERJESZTÉSE ÉS ÉRZÉKELÉSE	64
3 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK	83
3.1 A TELJES BERENDEZÉS ELLENŐRZÉSE AZ MSZ EN 12668-3 JELŰ SZABVÁNY SZERINT	83
3.2 SZABVÁNYOS ELLENŐRZŐ TESTEK	85
3.3 ÉRINTKEZÉSES MÓDSZER (EGYENES ÉS FERDE BESUGÁRZÁSZÁS)	86
3.3.1 REFLEXIÓ	87
3.3.2 ÁTSUGÁRZÁSOS MÓDSZER	88
3.4 MERÍTÉSES MÓDSZEREK (EGYENES ÉS FERDE BESUGÁRZÁS)	89
3.4.1 REFLEXIÓ	90
3.4.2 ÁTSUGÁRZÁSOS MÓDSZER	91
3.5 MÉRÉSI TARTOMÁNY ÉS AZ ÉRZÉKENYSÉG BEÁLLÍTÁSA	91
3.5.1 REFERENCIAREFLEKTOROK	92
3.5.2 ÁTVITELI KORREKCIÓ	92
3.6 ULTRAHANGOS FALVASTAGSÁG-MÉRÉS	93
3.6.1 BERENDEZÉS	93
3.6.2 MÓDSZEREK	93
3.7 REFERENCIAREFLEKTOROK (TÁVOLSÁGTÖRVÉNYEK)	94
3.7.1 HANGÚT-TÁVOLSÁG HATÁSA	94



3.8 TEN (DGS) MÓDSZER	99
3.9 ÖRG (DAC) GÖRBÉK	101
3.9.1 ÖRG (DAC) GÖRBÉK FELRAJZOLÁSA ANALÓG BERENDEZÉSEKNÉL	102
3.10 TÁVOLSÁG/AMPLITÚDÓ KORREKCIÓ	103
3.11 ÁTVITELI KORREKCIÓ (A FELÜLET ÉS A HANGGYENGÜLÉS HATÁSA)	104
3.12 MÉRET-MEGHATÁROZÁSI TECHNIKÁK: ELVEK ÉS KORLÁTOZÁSOK	107
3.12.1 LETAPOGATÁSOS MÓDSZER A HANGNYALÁB FŐSUGARÁNAK MEGKERESÉSÉVEL (20 DB-ES ÉS 6 DB-ES MÓDSZER)	107
3.12.2 REFERENCIAREFLEKTOROK – TEN (DAC) ÉS ÖRG (DGS) MÓDSZER	108
3.12.3 AZ ANYAGHIBA IRÁNYÍTOTTSÁGA	108
3.12.4 LETAPOGATÁS	109
3.12.5 TANDEM MÓDSZER	111
3.13 A VIZSGÁLÓFEJEK KIVÁLASZTÁSA	112
3.14 A VIZSGÁLATI MÓDSZEREK MEGVÁLASZTÁSA	114
3.15 VIZSGÁLÓFEJ-CSOPORTOK	116
3.16 A VIZSGÁLATI PARAMÉTEREK MEGVÁLASZTÁSA	117
3.17 VIZSGÁLÓKÉSZÜLÉKEK ÉS RÉSZEGYSÉGEIK	118
3.17.1 ANALÓG ÉS DIGITÁLIS KÉSZÜLÉKEK	118
3.17.2 SZINKRONIZÁCIÓS RENDSZER ÉS IMPULZUSGENERÁTOR 120	
3.17.3 JELFELDOLGOZÁS	121
3.17.4 A KÉSZÜLÉK BEÁLLÍTÁSA ELŐTTI FONTOS ELLENŐRZÉSEK	121
3.17.5 KIJELEZÉS	122
3.17.6 ANALÓG KÉSZÜLÉKEK	129
3.17.7 DIGITÁLIS KÉSZÜLÉKEK	132
3.18 AUTOMATA ÉS FÉLAUTOMATA RENDSZEREK	135
3.18.1 AUTOMATA BERENDEZÉSEK	135
3.18.2 FÉLAUTOMATA RENDSZEREK	136
3.18.3 AUTOMATA ÉS FÉLAUTOMATA RENDSZEREK MŰKÖDÉSE	136
3.18.4 ÁTSUGÁRZÁSSAL VIZSGÁLÓ AUTOMATA RENDSZEREK	139
3.18.5 SPECIÁLIS BERENDEZÉSEK	139
3.19 VIZSGÁLÓFEJEK	142
3.20 ELLENŐRZŐ TESTEK, REFERENCIABLOKKOK	145



3.20.1 KALIBRÁLÁS, ELLENŐRZŐ TESTEK	145
3.20.2 A REFERENCIABLOKK ANYAGA	146
3.20.3 ANYAGFELSZÍN	146
3.20.4 GÖRBÜLETEK	147
3.20.5 REFERENCIABLOKKOK (EN 583-1 SZABVÁNY, 6.5 PONT)	147
3.20.6 ÁTVITELI KORREKCIÓK	147
3.20.7 ÁTVITELI KORREKCIÓ (HEGESZTETT KÖTÉSEK; MSZ EN ISO 17640 SZABVÁNY, 10.4 PONT)	148
3.20.8 EGYÉB ÉRTÉKELÉSI ELŐÍRÁSOK	148
3.20.9 MESTERSÉGES REFLEKTOROK ÉS TÉNYLEGES ANYAGHIÁNYOK VISZONYA	148
3.21 CSATOLÓANYAGOK	149
3.21.1 NEM FOLYÉKONY CSATOLÓ ANYAGOK	149
3.21.2 EGYÉB CSATOLÓANYAGOK	150
3.21.3 VIZES GÉL CSATOLÓANYAGOK HÁTRÁNYAI	151
4. TERMÉKISMERET	153
4.1 METALLURGIAI ÉS FÉMTANI ALAPISMERETEK	153
4.2 GYÁRTÁS- ÉS TERMÉKISMERET (ÖNTÉS, ALAKÍTÁSOK, FORGÁCSOLÓ MEGMUNKÁLÁSOK, HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK)	174
4.3 ÜZEMELŐ BERENDEZÉSEK KÁROSODÁSAI (KORRÓZIÓS FOLYAMATOK, MECHANIKAI ÉS TERMIKUS EREDETŰ KÁROSODÁSOK)	208
4.4 KOMPOZITOK	217
5. ALKALMAZÁSOK ÉS AZ INDIKÁCIÓK ELEMZÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE	223
5.1 AZ ALKALMAZOTT TECHNIKÁK MEGVÁLASZTÁSA	223
5.2 HEGESZTETT KÖTÉSEK ANYAGFOLYTONOSSÁGI HIÁNYAI	230
5.3 ÖNTVÉNYEK, RUDAK ÉS DURVÁN KOVÁCSOLT DARABOK	236
5.4 SAJTOLT, KOVÁCSOLT ÉS HENFGERELT TERMÉKEK	240
5.5 A GEOMETRIA ÉS A SZÖVETSZERKEZET HATÁSA	245
5.6 A VIZSGÁLATI PARAMÉTEREK HATÁSAI	251
5.7 ULTRAHANGOS INDIKÁCIÓK	255
5.8 AZ INDIKÁCIÓK OSZTÁLYOZÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE	257

5.9 HEGESZTETT KÖTÉSEK INDIKÁCIÓINAK ÉRTÉKELÉSE	258
6. REFERENCIA DOKUMENTUMOK ÉS VIZSGÁLATI JELENTÉS	289
6.1 A REFERENCIA DOKUMENTUMOK TÍPUSAI	289
6.2 SZABVÁNYOK	289
6.3 VIZSGÁLATI TECHNOLÓGIÁK	293
6.4 VIZSGÁLATI UTASÍTÁS KÉSZÍTÉSE	295
6.5 AZ EREDMÉNYEK RÖGZÍTÉSE, ÉRTÉKELÉSE ÉS JEGYZŐKÖNYVEZÉS	300
7. AUSZTENITES KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK TULAJDONSÁGAI, HEGESZTÉSÜK ÉS VIZSGÁLATUK	307
7.1 KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK JELLEMZŐI, HEGESZTÉSÜK SZABÁLYAI:	307
7.2 AUSZTENITES KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK ÉS HEGESZTÉSÜK	310
7.2.1 A KARBON MENNYISÉGÉNEK JELENTŐSÉGE	311
7.2.2 A KRISTÁLYOSODÁSI REPEDÉS KELETKEZÉSE	313
7.2.3 KIVÁLÁSOK KELETKEZÉSE	318
7.2.4 AZ AUSZTENITES KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK HEGESZTÉSE	321
7.3 ÚJ FEJLESZTÉSŰ KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK	322
7.3.1 DUPLEX ÉS SZUPER DUPLEX ACÉLOK	323
7.3.2 SZUPER AUSZTENITES ACÉLOK	325
7.3.3 SZUPER FERRITES ACÉLOK	325
7.3.4 KIVÁLÁSOSAN KEMÉNYÍTHETŐ KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK	326
7.4 ÁTMENETI (TRANZIENS) ÉS AUSZTENITES VARRATOK VIZSGÁLATA.	326



1.1. MI A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLAT?

Roncsolásmentes vizsgálat (angolból származó rövidítéssel: NDT, magyarul RMV) alatt azon eljárások összességét értjük, amelyek olyan módon szolgáltatnak információkat a vizsgált tárgyról, hogy azt sem a vizsgálat során, sem azt követően nem károsítják. Ennek köszönhetően az RMV hatékonyan alkalmazható a termelési folyamat bármely fázisában és a vizsgálandó alkatrész vagy munkadarab hasznos, üzemi élettartamának teljes ideje alatt

A roncsolásmentes vizsgálati eljárásokat, módszereket üzemi vizsgálatok és ellenőrzések során alkalmazzák. Használhatók különféle alkatrészek méretének (például vastagságának) meghatározására, fizikai és mechanikai tulajdonságok (például vezetőképesség, keménység vagy belső feszültség) mérésére, folytonossági hiányok (például repedések, zárványok) kimutatására, akár automatizált termelési folyamatokban, akár egyedi munkadarabok esetében. A vizsgált darab – például öntött, hegesztett vagy kovácsolt termék, illetve szerkezeti elem – vizsgálat után is használható, mivel az eljárás során semmiféle károsodás nem éri. Az objektumok vizsgálhatók gyártás közben, üzembe helyezés vagy összeszerelés előtt vagy akár működés közben is.

Az RMV-eljárások és módszerek különböző fizikai alapelveken nyugszanak, felhasználva más tudományterületek (kémia, matematika, stb.) ismereteit is. Az egyes fizikai alapelvek bizonyos fizikai jelenségeket írnak le, ideértve a jelenségekre vonatkozó, matematikai képletek vagy egyenletek formájában megfogalmazott törvényszerűségeket is. A vizsgálatokkal az anyagok valamilyen tulajdonságát vagy annak megváltozását határozzuk meg. Tekintve, hogy ezek a tulajdonságok sok esetben közvetlenül nem mérhetők vagy nem figyelhetők meg, közvetett mérési-vizsgálati módszerekhez kell fordulni, amelyek ily módon lehetővé teszik az anyag jellemzését vagy folytonossági hiányainak azonosítását.

A roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel végzett mérések vagy vizsgálatok közvetett jellege miatt a kapott jeleket – gyakori kifejezéssel: indikációkat – és azok számszerűen meghatározott paramétereit értelmezni kell, azaz mérési vagy vizsgálati eredményekké kell átalakítani azokat. Ez az átalakítás az alábbi tényezők tekintetében minden módszer esetében egyedi:

- a) az eljárás fizikai alapelvei és eszközei,
- b) a vizsgált anyag,
- c) a gyártási folyamat.

Következésképpen, adott vizsgálati eljárás vagy módszer új problémára történő alkalmazása előzetes próbákat igényel, melyek során az anyagvizsgáló szakembernek egyértelműen meg kell állapítania a jelzések és a kiváltó okok között fennálló összefüggéseket, valamint azok technológiai jelentését. Az előzetes próbákra annyi időt kell hagyni, amennyi alatt – roncsolásos vizsgálat segítségével, a minta vizsgálat közbeni viselkedése alapján – megállapítható az említett kapcsolat és esetenként elemezhető az anyagban meglévő folytonossági hiány.



A roncsolásmentes vizsgálat anyagok, alkatrészek, munkadarabok olyan fizikai eljárások segítségével végzett vizsgálatát jelenti, amely eljárások nem okoznak károsodást. Bár az RMV területe és célja igencsak eltér az orvosi diagnosztikáétól, mégis érdemes párhuzamot vonni a kettő között. Ugyanis, a roncsolásmentes vizsgálatot végző szakember munkája hasonlóságot mutat az orvosi diagnosztikával foglalkozó szakemberekéhez:

- ◆ A anyagvizsgálónak ugyanúgy meg kell találnia a folytonossági hiányt, mint ahogyan az orvosnak meg kell állapítania a páciens betegségét.
- ◆ Az anyagvizsgálónak úgy kell megvizsgálnia a munkadarabot – akár csak az orvosnak a diagnózis felállítása során a páciens –, hogy azzal ne okozzon károsodást.
- ◆ Végül pedig a roncsolásmentes anyagvizsgálónak is jelentést kell írnia – csakúgy, mint az orvosnak – a vizsgálat eredményéről, ami egyes termékek selejtezésének, valamint egyes berendezéselemek, alkatrészek esetleges javításának vagy cseréjének – illetve a páciens kezelésének, gyógyításának – alapidokumentuma.

1.2. MIÉRT FONTOS A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLAT?

A roncsolásmentes vizsgálatok számos ipari területen nélkülözhetetlenek a szerkezetek integritásának ellenőrzéséhez, például repülőgépek, vonatok, gázvezetékek, csővezetékek, hidak, nyomástartó berendezések esetében. Ugyancsak fontos szerepet játszanak különféle termékek minőségének ellenőrzésében, azok gyártása során.

A roncsolásmentes vizsgálatok céljai és hasznai a következők:

- d) szerkezetek integritásának és megbízhatóságának megállapítása,
- e) balesetek megelőzése és az emberi élet védelme,
- f) üzemelő berendezések működőképességének biztosítása,
- g) gyártási folyamatok ellenőrzése,
- h) terméktervezés támogatása,
- i) gyártási költségek csökkentése,
- j) egységes minőségi szint fenntartása,
- k) ügyfél-elégedettség biztosítása és a gyártó hírnevének fenntartása.



1.1. táblázat A leggyakrabban alkalmazott RMV (NDT) eljárások

MÓDSZER	FIZIKAI JELENSÉG
Vizuális vizsgálat (VT)	Látható fény visszaverődése, törése
Folyadékbehatolási vizsgálat (PT)	Kapilláris hatás
Mágnesezhető poros vizsgálat (MT)	Mágneses mező szóródása
Örvényáramos vizsgálat (ET)	Elektromágneses indukció
Ipari radiográfiai vizsgálat (RT)	Elektromágneses hullám áthatolása
Ultrahangos vizsgálat (UT)	Rugalmas hullámok visszaverődése

1.3. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A roncsolásmentes vizsgálat egyidős az emberiséggel. Az ember már a történelem kezdete óta összehasonlítja a tárgyakat és a folyamat eredményeként dönt azok felhasználásról. Az ősember például tárolta a vadászott állatok húsát, hogy azt egy későbbi időpontban fogyaszthassa el. Mielőtt megette volna, megszagolta és összehasonlította az illatát a friss hús illatával, amelyről tudta, hogy fogyasztásra a legalkalmasabb, majd a vizsgálatot követően döntött arról, hogy ehető-e a hús vagy sem. Ez a művelet kétségtelenül a roncsolásmentes vizsgálatok közé tartozik.

A tárgyak vizsgálatára, az anyagok és alkatrészek olyan ellenőrzésére való törekvés, amely nem befolyásolja, korlátozza vagy akadályozza későbbi felhasználásukat, valamint megőrzi eredeti állapotukat – vagyis a roncsolásmentes vizsgálat –, egyidős az emberiség azon képességével, hogy megváltoztatja az anyagokat és tárgyakat készíti.

A roncsolásmentes vizsgálat jelenlegi formája a 19. század utolsó harmadától, végétől eredeztethető, amikor különböző gyártók – a fizikai alapelvek ismeretében – már alkalmaztak kezdetleges módszereket termékeik állapotának megismerése céljából.

Ezek a vállalatok a két világháború között érték el virágkorukat. A háborúkban érintett országoknak hatalmas mennyiségű nyersanyagra volt szükségük hadseregeik eszközeinek pótlására, amelyek a csaták során elvesztek vagy használhatatlanná váltak. Emiatt úgy döntöttek, hogy a lehető legnagyobb mennyiségű anyag megőrzése érdekében megvizsgálják, mely darabok hasznosíthatók újra és melyek szorulnak javításra. Mivel ezeket az ellenőrzéseket olyan eljárásokkal kellett elvégezni, amelyek nem befolyásolják az anyagokat, roncsolásmentes módszereket alkalmaztak.

A roncsolásmentes vizsgálatokat 1945 óta egyre szélesebb körben kezdték el használni a gyártóiparban, új technikákat fejlesztettek ki az egyes eljárásokon belül, és újabb eljárásokat is kipróbáltak. Mindezek következtében e tevékenység rohamosan fejlődött és fejlődik, és jelentősége ma már megkérdőjelezhetetlen a gyártási folyamatok minőség-ellenőrzésében csakúgy, mint az ipari üzemek karbantartásaihoz kapcsolódó ellenőrzések során.



A roncsolásmentes vizsgálat csaknem minden ipari ágazatban a minőség-ellenőrzés és biztonság nélkülözhetetlen eszközévé vált. Ezen felül fontos szerepet játszik a termelési költségek csökkentésében és az alkatrészek működésének biztosításában. A repülőgépek felszállása, a nagysebességű vonatok közlekedése, a biztonságos autók gyártása, hidak megépítése, vagy egy ipari üzem teljes körű üzemeltetése lehetetlen lenne roncsolásmentes vizsgálatok nélkül.

Az „új megközelítésű” direktívák, vagyis azok az Európai Unió irányelvek, amelyek meghatározzák az EU területén értékesített termékek biztonságát, ma már megkövetelik a roncsolásmentes vizsgálat képzett szakemberek által történő alkalmazását. Ide tartozik például a nyomástartó edényekre vonatkozó irányelv. A követelményt rövidesen további, EU szintű, egyes mechanikai eszközökre vonatkozó irányelvekbe is átemelik (munkagépek, gázzal működő szerkezetek, stb.).

1.4. TERMINOLÓGIA

A szakkifejezések helyes használata érdekében feltétlenül javasolt az alábbi szabványok elolvasása és alkalmazása:

MSZ EN 1330 Roncsolásmentes vizsgálat. Fogalom-meghatározások.

- a) 1. rész: Az általános fogalmak listája.
- b) 2. rész: A roncsolásmentes vizsgálati eljárások közös fogalmai.
- c) 3. rész: Az ipari radiográfiai vizsgálat fogalmai.
- d) 4. rész: Ultrahangos vizsgálatok szakkifejezései.
- e) 5. rész: Örvényáramos vizsgálat fogalmai (visszavont).
- f) 7. rész: A mágnesezhető poros vizsgálatban használt fogalmak.
- g) 8. rész: A tömörségvizsgálat fogalmai.
- h) 9. rész: Az akusztikus emissziós vizsgálatok szakkifejezései.
- i) 10. rész: A szemrevételezéses vizsgálat fogalmai.
- j) 11. rész: A sokkristályos és amorf anyagok röntgen-diffrakciójának fogalmai.

MSZ EN ISO 12706 Roncsolásmentes vizsgálatok. Folyadékbehatolásos vizsgálatok. Szakszótár.

MSZ EN ISO 12718 Roncsolásmentes vizsgálat. Örvényáramos vizsgálat. Szakszótár.

MSZ EN 16018 Roncsolásmentes vizsgálat. Terminológia. A fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatok szakkifejezései.



1.5. ALKALMAZÁSOK

Az alkalmazási kör tekintetében a roncsolásmentes vizsgálat általában három nagy területre terjed ki:

1.5.1. DEFEKTOLÓGIA (DEFEKTOSZKÓPIA, HIBAKIMUTATÁS)

A heterogén anyagtartományok, folytonossági hiányok, stb. felderítése megfelelő ellenőrzés segítségével a termékek gyártása folyamán, a további költséges eljárások elkerülése érdekében. A potenciális hibák előjeleinek kiszűrése üzemelés közben, azok tényleges bekövetkezését megelőzően.

A javítások végrehajtása érdekében nagyon fontos ismerni a folytonossági hiányok eredetét a műszaki, gyártási, felhasználási és üzemeltetési területen. Nagy jelentőségű a hatékony együttműködés a kutatást végző metallurgiai szakemberek, a hibák felderítéséért felelős roncsolásmentes anyagvizsgálók és a munkadarab megfelelő működését biztosító műszaki szakemberek között.

A roncsolásmentes vizsgálati eljárások időszakos ellenőrzésén keresztül a minőségbiztosítás szintén kapcsolódik a defektológiához. Statisztikai elemzésekkel, szakértők segítségével kell megerősíteni, hogy a detektált eltérések, folytonossági hiányok valóban reálisak, és nem hamis indikációkból származó eredmények.

1.5.2. ANYAGJELLEMZŐK MEGHATÁROZÁSA

A cél az anyagok kémiai, szerkezeti, mechanikai, stb. tulajdonságainak azonosítása.

Az anyagok tulajdonságai bizonyos esetekben RMV-módszerekkel is megállapíthatók, azonban figyelembe kell venni azt, hogy a szóba jövő módszerek összehasonlítható jellegűek, ezért megfontolást és gondos előkészítést igényel az alkalmazásuk. Az alábbi két példa ad magyarázatot erre:

Anyagok osztályozása keménység szerint: Ha Rockwell- vagy Brinell-féle keménység pontos értékére van szükség, akkor legcélszerűbb a hagyományos keménységi vizsgálat elvégzése. Ha azonban azt kívánjuk igazolni, hogy a hőkezelés két meghatározott határérték közötti keménységet eredményez, akkor egy RMV-módszer, pl. kisfrekvenciájú örvényáramú jelek harmonikus elemzésén alapuló, bizonyulhat a leghatékonyabbnak, amely a vizsgálat gyorsaságának köszönhetően kisebb költséggel jár. Azonban néhány referenciamintán ellenőrizni kell a vizsgálati technika alkalmasságát, illetve kalibrációt kell végezni.

Anyagok osztályozása az elektromos vezetőképesség mérésével: Az örvényáramú elven működő vezetőképesség-mérő készülék – megfelelő kalibrálást és beállítást követően – megbízható értékeket ad.

1.5.3. MÉRETELLENŐRZÉS



A méretellenőrzés biztosítja azt, hogy a termékek teljesek, méretüket és alakjukat tekintve megfelelőek legyenek, és összeszerelésük a tervezett sorrend szerint elvégezhető legyen.

1.6. IPARI SZEKTOROK

A roncsolásmentes vizsgálat alkalmazása az alábbi ipari területeken a legelterjedtebb:

- a) metallurgia (gyártás közbeni vizsgálatok),
- b) hegesztés,
- c) autóipar (motorok, karosszéria, különféle alkatrészek),
- d) repülőgépipar (szerkezetek, futóművek, propellerek, turbinák, rakéták),
- e) építőipar (szerkezetek, hidak, nyomástartó berendezések, tartályok, lift kábelek, drótkötélpályák, felvonók),
- f) vezetékek (gázvezetékek, olajvezetékek),
- g) vasút (sínek, kocsik tengelyei és kerekei),
- h) tengerészet (tengeralattjárók, hajók, offshore létesítmények),
- i) ipari üzemek (erőművek, petrokémiai üzemek, vegyipari üzemek, papír- és cellulózipari üzemek, ásványfeldolgozó üzemek, turbinák, hőcserélők, kazánok, stb.),
- j) szabadidőparkok és vidámparkok,
- k) élelmiszeripar,
- l) művészet.

1.7. A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLAT ÉSSZERŰ ALKALMAZÁSA

Mivel ezek a módszerek lehetővé teszik a munkadarab vagy termék teljes egészének vizsgálatát, és annak teljes térfogatáról vagy felületéről szolgáltatnak adatokat, hozzájárulnak a termékek és a gyártás egységes minőségi szintjének fenntartásához. Ezen felül, az üzemelő rendszerek működéséhez vagy karbantartásához kapcsolódó roncsolásmentes vizsgálatok hozzájárulnak a működőképesség megállapításához, valamint az üzemzavarok és balesetek megelőzéséhez. Másfelől, közvetlen és közvetett gazdasági profitot is termelnek. Csökkentik a gyártási költségeket azáltal, hogy a gyártási folyamat egyes lépései során kiválogatják azokat a termékeket, amelyek a folyamat végén biztosan selejtezésre kerülnének (közvetlen profit), továbbá segítséget adnak a tervezés fejlesztéséhez és gyártás közbeni ellenőrzéséhez (közvetett profit).



A roncsolásmentes vizsgálat alkalmazásának sikere főként az alábbi követelmények teljesülésének függvénye:

- a) A vizsgálat tegye lehetővé a folyamat alapvető lépéseinek megfelelő fejlesztését.
- b) A gazdasági tényezők figyelembevételével a vizsgálatokat a maximális teljesítmény és profit kritériumai szerint tervezzék meg és hajtsák végre.

A fentiek érdekében speciális, az adott problémára kifejlesztett vizsgálóeszközök alkalmazására van szükség.

1.8. A VIZSGÁLATOK FŐ LÉPÉSEI

A defektológiai, anyagjellemzési és méretellenőrzési feladatok esetében az anyagok, elemek, stb. roncsolásmentes módszerrel történő vizsgálatának lényege a belső minőség biztosítása, amely az alábbi négy lépést foglalja magába:

- ◆ a megfelelő módszerek és technikák kiválasztása,
- ◆ indikációk gyűjtése (adatgyűjtés),
- ◆ indikációk értelmezése,
- ◆ indikációk értékelése.

1.8.1. A MEGFELELŐ MÓDSZEREK ÉS TECHNIKÁK KIVÁLASZTÁSA

A helyes választás érdekében fontos figyelembe venni az anyag természetét, szerkezetét és a termék alakját, valamint ismerni kell a kimutatni kívánt heterogenitások típusait. Figyelembe kell venni, hogy minden módszernek vannak korlátjai az anyag természete és geometriája, a vizsgálati terület és a vizsgálat által lehetővé tett alkalmazási sebesség miatt.

Mivel minden módszer korlátozott érzékenységgű, esetenként eltérő, hogy az adott vizsgálat elvégzésére alkalmasak-e vagy sem, ezért pontosan meg kell határozni a vizsgálatához szükséges érzékenységi és tűréshatárokat, és a termékre vonatkozó minőségi és elfogadási követelményeket.

1.8.2. INDIKÁCIÓK GYŰJTÉSE

A roncsolásmentes vizsgálati módszerek általános jellemzője az, hogy közvetett eljárások, vagyis a munkadarabok keresett tulajdonságait más, kapcsolódó tulajdonságokon keresztül határozzák meg. A heterogenitások (inhomogenitások) felderítése, azaz a megfelelő indikáció észlelése függ a heterogenitás természetétől (folytonossági hiány, zárvány, stb.), alakjától (gömböses, egyenes vonalú, pontszerű, stb.), helyzetétől (felületi, belső), irányától és méretétől.



Az anyag heterogenitására vonatkozó indikáció létrehozásához minden módszer esetében ismerni kell a darab tulajdonságait, a potenciálisan megjelenő (várható) heterogenitásokat és a különböző technikák segítségével kimutatható heterogenitásokat.

1.8.3. AZ INDIKÁCIÓ ÉRTELMEZÉSE

Indikáció esetén alapvetően fontos, hogy azt pontosan értelmezzék, azaz ismerni kell a detektált jel és a különféle heterogenitások természete, alakja, helyzete, iránya és mérete közötti összefüggéseket. Ezeket az összefüggéseket (referencia) próbatesteken elvégzett előzetes vizsgálatokkal, illetve kalibrációval kell megállapítani.

1.8.4. ÉRTÉKELÉS

Végül, az indikáció érzékelését és értelmezését követően kerül sor az értékelésre – más szóval a döntéshozatalra – azzal kapcsolatban, hogy az indikáció – lényegében a mögötte álló folytonossági hiány, eltérés – elfogadható-e vagy sem. Az indikációk értelmezése a roncsolásmentes anyagvizsgáló feladata, míg az értékelési kritériumok a műszaki osztály felelősségi körébe tartoznak. Ez a szakértői csoport analizálja az üzemi terhelésre és működési feltételekre vonatkozó adatokat és határozza meg a kritikus szakaszt, szerkezeti elemet, zónát – megbízhatósági szinteket rendelve mindegyikhez – és rögzíti a minőségi szintet, azaz az elfogadási, illetve elutasítási kritériumokat.

Annak érdekében, hogy az értékelés egyértelmű és hibátlan legyen, a vizsgálat eme lépését pontosan meg kell határozni és rögzíteni kell.

A következő alfejezet a klasszikus roncsolásmentes eljárásokba nyújt rövid betekintést.

1.9. HAGYOMÁNYOS RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK

1.9.1. VIZUÁLIS VIZSGÁLAT

Ez a legelterjedtebb eljárás, bár sokszor nem is vagyunk tudatában, amikor alkalmazzuk. A vizuális vizsgálat (VT) a vizsgálati tárgy szabad szemmel, vagy egyszerű optikai eszközökkel történő szemrevételezését jelenti.

A vizuális vizsgálat számos probléma megoldását teszi lehetővé a legkülönbözőbb iparágakban és más roncsolásmentes eljárásokhoz kapcsolódva elsődleges szerepe van az adatgyűjtésben. Használható az anyag bármilyen vizsgálata előtt, ezáltal lehetővé teszi a nyilvánvalóan hibás darabok közvetlen kiselejtezését és a lényegtelen szabálytalanságok azonosítását, amelyek növelhetik a hamis indikációk számát.



Az eljárás az alábbiak alapos ismeretét igényli:

- a) a szem és a látás mechanizmusa,
- b) a látás pszichológiája, különös tekintettel a kifáradásra,
- c) az érzékelés és színlátás elmélete,
- d) megvilágítás mérése és értékelése az elvégzendő vizsgálat alapján,
- e) vizsgálati segédeszközök (nagyítók, endoszkópok, TV rendszerek, stb.).

A szemrevételezés tipikus célja, többek között, a felület állapotának felmérése, a kapcsolódó felületek illeszkedésének, a munkadarab felületi védelmének, a varrat megfelelőségének ellenőrzése, vagy az esetleges szivárgások észlelése.

1.9.2. FOLYADÉKBEHATOLÁSOS VIZSGÁLAT

A folyadékbehatolásos – idegen szóval folyadékpenetrációs – vizsgálat (PT) olyan folyadék alkalmazásán alapul, amely – speciális fizikai és kémiai tulajdonságainak köszönhetően – a vizsgálati felületet nedvesíti, azon szétterül. Ez lehetővé teszi, hogy érvényesüljön a kapilláris hatás, azaz a folyadék behatoljon a felületre nyitott folytonossági hiányokba, és azokban a felületen lévő, fölösleges folyadék eltávolításakor is benne maradjon. Csaknem minden esetben az előhívószersz segítségével jelzi a felületen azokat a zónákat, ahol folytonossági hiányok találhatók.

A vizsgálathoz behatoló folyadékokra (úgynevezett jelzőfolyadékokra), a felesleges behatoló folyadék eltávolítására alkalmas lemosó szerre, valamint ultraibolya fényforrásra (fluoreszcens módszer) vagy előhívószerszre (szinkontrasztos módszer) – amelyek a felületre nyitott folytonossági hiányokról látható indikációkat szolgáltatnak – van szükség.

A behatoló folyadékok alkalmazási köre a gyártóipar és karbantartás minden olyan területére kiterjed, ahol fémes vagy nem fémes anyagok felületi repedéseit vagy pórusait kell detektálni. A repedésvizsgálat egyetlen feltétele az, hogy a felület ne legyen porózus.

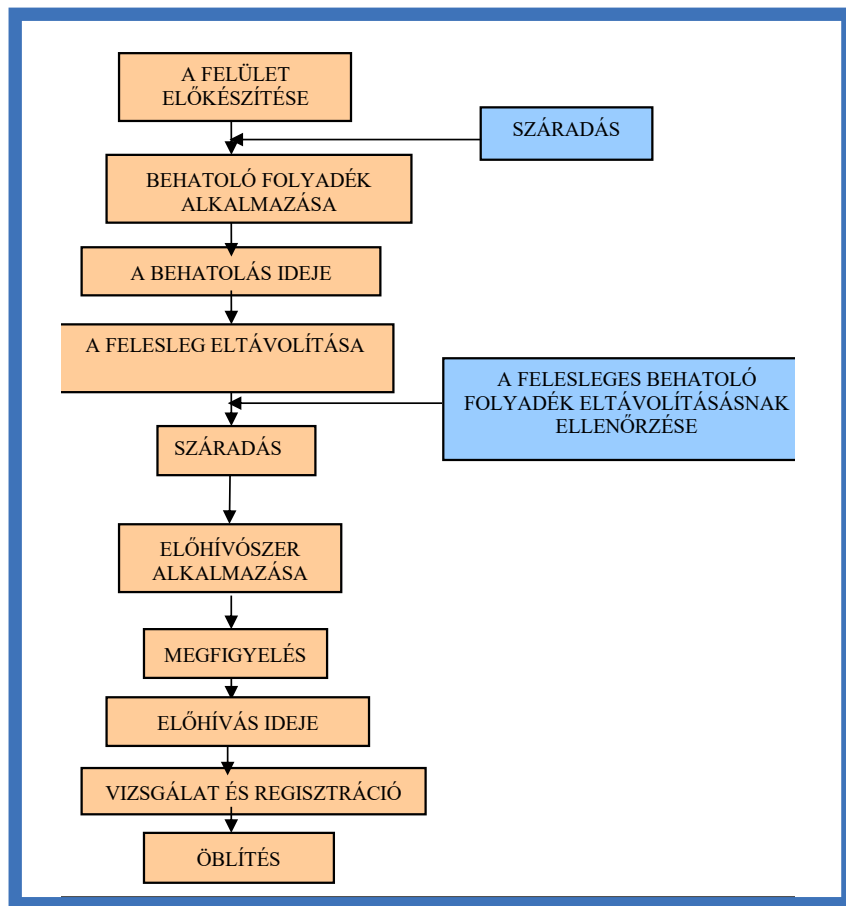
Fontos meghatározni azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a jelzőfolyadék a repedésekbe történő bejutását. A legfontosabbak a következők:

- ◆ bármilyen típusú mechanikai akadály jelenléte (mivel ezek fizikailag korlátozzák a folyadék behatolását vagy megváltoztatják a repedés alakját, csökkentve annak méretét),
- ◆ felületi takarások és szennyező anyagok,
- ◆ a repedés alakja,
- ◆ a behatoló folyadék felületi feszültsége,
- ◆ adalékanyagok és szennyező anyagok a behatoló folyadékban,
- ◆ a vizsgálandó darab és a behatoló folyadék hőmérséklete,
- ◆ a vizsgálat helyszínén uralkodó légnyomás,
- ◆ a repedés belsejének érdessége.



Az 1.1. ábra. az eljárás általános műveleti sorrendjét mutatja.

1.1. ábra. A műveletek sorrendje folyadékbehatolásos vizsgálatnál



1.9.3. MÁGNESEZHETŐ POROS VIZSGÁLAT

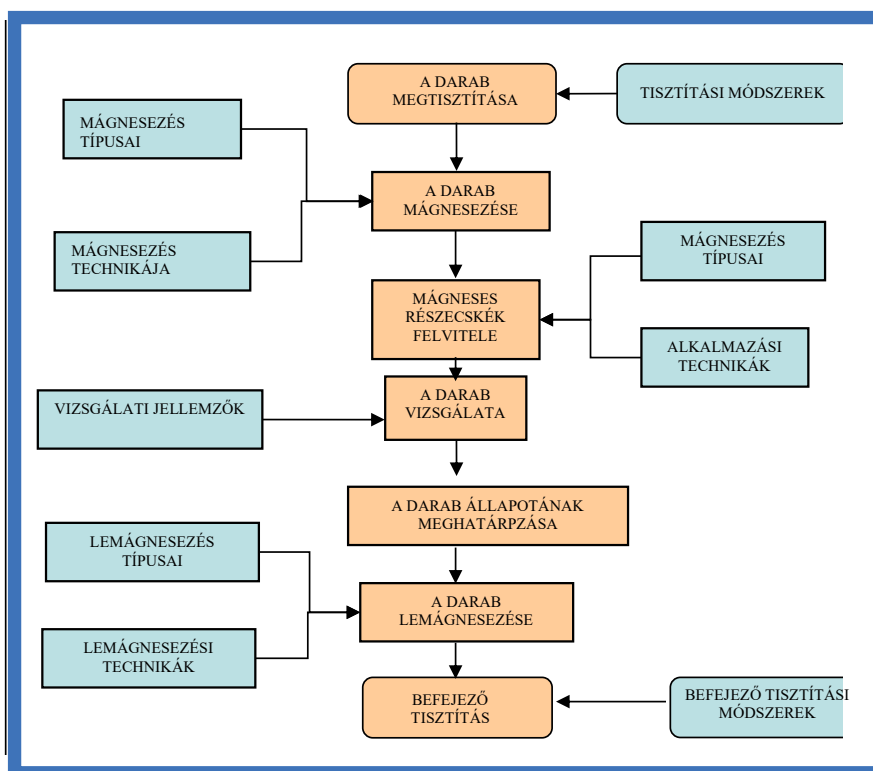
A mágnesezhető poros vizsgálatnál (MT) a ferromágneses anyagon áthaladó mágneses mező szóródását használjuk ki. Ha a darabot (elektro)mágneses térbe helyezzük, és vastartalmú port szórunk rá, akkor a porszemcsék összegyűlnek azokban a zónákban, ahol folytonossági hiányok vannak, mintegy fémhidat alkotva az anyagihiány megszüntetése érdekében. A vizsgálat a következőkön alapul:

- ◆ Ha ferromágneses anyagot mágneses térbe helyezünk, illetve felmágnesezünk, akkor az anyagban jelen lévő folytonossági hiányok eltorzítják az erővonalakat.
- ◆ Ha a folytonosságihiány-felület közeli vagy felületre nyitott, akkor az erővonalak egy része kilép a felszínen, ott úgynevezett szórtmágneses mező alakul ki.
- ◆ Ha a felületre mágnesezhető részecskéket helyezünk, akkor a szórtmágneses mező egy részüket vonzani fogja, létrejön az indikáció, ami követi a folytonossági hiány felületi rajzolatát.
- ◆ Ha a folytonossági hiány síkja párhuzamos az eredeti erővonalakkal, akkor nem lesz érzékelhető szórtmágneses mező, és nem jön létre indikáció.



A mágnesezhető poros vizsgálat a ferromágneses (mágnesezhető) anyagokban lévő, felületi vagy felület közeli folytonossági hiányok kimutatására szolgál. (Megjegyzés: Ferromágneses anyag például a vascsoport három eleme és azok ötvözeinek nagy része, így a legfontosabb szerkezeti anyagok, az acélok többsége is.) Ez az egyik leggyorsabb és leggazdaságosabb roncsolásmentes eljárás, az előbb említett folytonossági hiányok detektálásának nagyon érzékeny eszköze. Az 1.2. ábra. az eljárás általános műveleti sorrendjét mutatja.

1.2. ábra. A mágnesezhető poros vizsgálat folyamatábrája



Alkalmazható nyersanyagok (például bugák, rudak, profilok) és kész alkatrészek esetében, alakítási, hőkezelési, forgácsolási és galvántechnikai eljárások során az anyaghoz, gyártási folyamathoz és üzemeléshez kapcsolódó folytonossági hiányok feltárására.

A fejlesztéseknek köszönhetően a módszer alkalmazási köre napról napra növekszik. Kiterjed a hegesztési varratok és nyomástartó berendezések vizsgálatától kezdve a fémipari ágazatokban tömegesen vagy gépesítetten gyártott darabokig. Nélkülözhetetlen az autóipar nagy biztonsági követelményű termékei (szelepek, hajtórudak, befogók, fogaskerekek, stb.) ellenőrzéséhez, a hajóiparban (forgattyúk, szelepek, fogaskerekek), a repülőgép iparban (turbínatengelyek, futóművek, hajtórudak), a vasúti karbantartásban (tengelyek, kerekek) és egyéb ágazatokban.

1.9.4. ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLAT

Ha vezetőképes anyag közelében váltakozó áram folyik, akkor abban indukált áram keletkezik, amely az anyag minősége, vastagsága és homogenitása függvényében oszlik el. Ez az úgynevezett örvényáram-eloszlás maga is képes egy másik vezetőben (tekercsben) további áramot indukálni, amelynek jellemzőit a primer áram és az anyag paraméterei határozzák meg.

Az örvényáramos vizsgálat (ET) készüléke megfelelő frekvenciájú elektromos impulzusokat kibocsátó generátort tartalmaz, amelyhez egy vagy több, a vizsgált anyagban örvényáramot indukáló tekercs csatlakozik. Az örvényáram alapesetben további egy vagy két tekercsben kelt elektromos feszültséget, amit a készülék felerősít, így az oszcilloszkóp segítségével vagy digitális képernyőn megjeleníthető.

A tekercsek általában egyetlen egységet alkotnak, amit szondának neveznek, és amit az anyagra helyeznek, vagy bevezetik a cső belsejébe, vagy aminek a belsejébe helyezik az anyagot. A vizsgálat minden esetben összehasonlító jellegű, és ismert jelmintákat igényel, amelyekhez a szonda válaszeje hasonlítható.

Számos alkalmazása van, többek között:

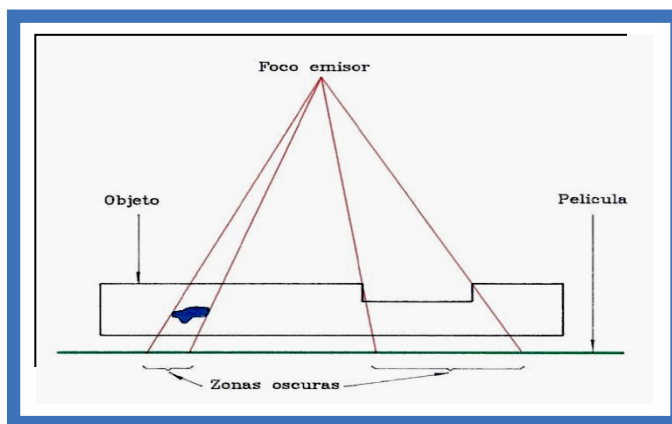
1. anyagok elektromos vezetőképességének mérése,
2. fémek és ötvözetek jellemzőinek meghatározása,
3. hőkezeléssel létrehozott anyagállapot ellenőrzése,
4. fémes anyagok osztályozása kémiai elemzések nélkül, vashulladék válogatása,
5. fémalapon lévő fémes és nem fémes bevonatok vastagságának mérése,
6. hőkezeléssel kialakított réteg vastagságának mérése,
7. nem fémes alapon lévő fémbevonatok vastagságának mérése,
8. egyéb módszerekkel kimutatott repedések mélységének mérése,
9. felületi és felület közeli folytonossági hiányok kimutatása.

1.9.5. RADIOGRÁFIAI VIZSGÁLAT

A tárgyon lévő külső és belső szabálytalanságok által létrehozott árnyékkép fényérzékeny filmre rögzítése. Az árnyékkép létrehozásához három elem szükséges: sugárforrás, tárgy és film, amelyek elrendezése nem lehet véletlenszerű: a tárgynak a sugárforrás és a film között kell elhelyezkednie, amint azt az 1.3. ábra mutatja.



1.3. ábra. A radiográfiai eljárás működési elve



Foco emisor = sugárforrás, objeto = tárgy, película = film; zonas oscuras = sötét zónák

A radiográfiai eljárás (RT) bizonyos elektromágneses – ionizáló vagy áthatoló – sugárzások alábbi tulajdonságain alapul:

- 8 képesek áthatolni a látható fény számára átlátszatlan tárgyakon,
- 9 képesek kémiai reakciókat kiváltani fényérzékeny anyagokban,
- 10 egyenes vonalban terjednek,
- 11 ionizálják a gázokat,
- 12 károsítják az élő anyagot.

Az ipari röntgensugárzás forrásai a röntgen berendezések és a radioaktív izotópok (192Ir, 60Co, stb.), amelyek 10 nm-nél kisebb hullámhosszúságú elektromágneses hullámokat bocsátanak ki.

A filmek átlátszó acetát fóliából és a rajta lévő fényérzékeny anyagemulzióból állnak. Ezeken a sugárzás hatására lenyomat képződik, ami kidolgozást igényel (előhívás és rögzítés), és ennek eredményeként a kép láthatóvá válik.

A filmet közvetlenül a vizsgálandó tárgyra kell illeszteni, vagy a tárgyat kell a filmre helyezni. Az átsugározni kívánt anyag vastagsága és fajtája, valamint a feltárandó folytonossági hiány típusa és mérete határozza meg az alkalmazandó vizsgálati technikát.

Az eljárásnak több változata létezik, amelyek közül a következőket érdemes kiemelni:

- ◆ Fluoroszkópia: A képalkotás egy sűrétéggel bevont ernyőn történik, ami a kapott sugárzás függvényében fényt bocsát ki, és amely fény képerősítő segítségével valós időben egy TV képernyőn láthatóvá válik.
- ◆ Digitális radiográfiai: Ugyanazt az elvet követi, mint a hagyományos módszer, azzal a különbséggel, hogy ez esetben a képet elektronikus érzékelők – melyeket a sugárzás aktivál – pontonként (pixelenként) állítják össze. Ezek az érzékelők később törölhetők, lehetővé téve a többszörös felhasználást. A kép digitálisan tárolható és megfelelő szoftver segítségével kezelhető, akár elektronikus levél formájában is továbbítható, lehetővé téve a távoli kiértékelést.

A radiográfiai vizsgálat bármilyen típusú anyag (fémek, kerámiák, szövetek, műanyagok, kompozit anyagok, stb.) esetében alkalmazható. Felhasználható folytonossági hiányok felderítésére, összeszerelések ellenőrzésére, a belső állapot vizsgálatára és egyéb célokra.

1.9.6. ULTRAHANGOS VIZSGÁLAT

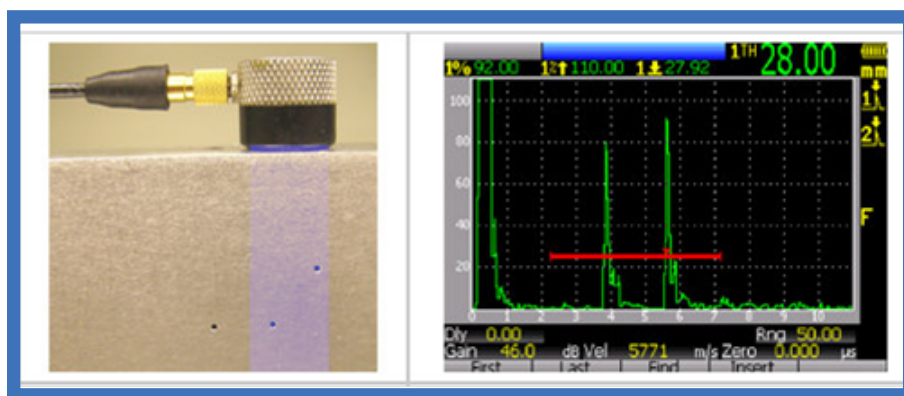
Az ultrahang ugyanolyan jellegű akusztikus hullám, mint a hallható hang, a frekvenciája azonban 20 kHz feletti, így az emberi fül számára nem érzékelhető.

Az ultrahangos vizsgálat (UT) során a vizsgálandó anyagba rugalmas hullámot vezetnek és várják annak visszaverődését a darab hátsó faláról vagy valamilyen belső folytonossági hiány felületéről. A visszaverődő hangjelek, az echók, elemzése szolgáltatja a folytonossági hiányok helyének és méretének megállapításához szükséges információkat. Ez is összehasonlító jellegű vizsgálat, ami beállítótesteket (ellenőrzőttesteket, referenciablokkokat) igényel. Az ezeken elvégzett, előzetes vizsgálatssorozat teszi lehetővé azt, hogy később a kapott jelekből a megfelelő következtetéseket vonhassuk le.

Az ultrahang echók tipikus megjelenési formája a vizsgálókészülék képernyőjén látható jel (1.4. ábra). A jelablak alapvonala – a képernyő alsó részén elhelyezkedő vízszintes vonal – a visszaverő felület (a reflektor) távolságát mutatja meg, míg a jel amplitúdója vagy magassága az adott reflektor okozta hangnyomásról ad információt.

A hagyományos vizsgálókészülék tehát képernyőn jeleníti meg az indikációt, és vizsgálófej csatlakozik hozzá. Ez a készülék olyan elektromos impulzusokat bocsát ki, amelyek aktiválják a fejben található, általában piezoelektromos, elemeket. A fejek érintkeznek a vizsgálati tárggyal (a levegőt valamilyen csatolóközeg, például gél, olaj, cellulóz paszta szorítja ki) és, az elektromos energiát mechanikai energiává alakítva, akusztikus hullámot bocsátanak ki. Amikor a visszaverődő hanghullám eléri az aktív elemet, a mechanikai energia villamos energiává alakul át, és a keletkező feszültség, a berendezés erősítőjén áthaladva, a képernyőn mint fénypont-kitérés válik láthatóvá. Jelenleg már léteznek olyan berendezések, amelyek másféle – a folytonossági hiány valós képéhez közelebb álló és darabbeli helyzetét érzékletesen bemutató – megjelenítést is lehetővé tesznek.

1.4. ábra. Az ultrahangos vizsgálat elvi alapja



Az ultrahangos vizsgálati technikák általában bármilyen anyag esetében (fém, műanyag, fa, üveg, kerámia, stb.) alkalmazhatók, azonban minden anyag más-más frekvenciát igényel, ami a vizsgálat elvárt érzékenységtől (a legkisebb kimutatandó folytonossági hiányok méreteitől) és az anyag tulajdonságaitól függ. Így nagykristályos szerkezetű anyagok esetén kis frekvencia szükséges, míg a finomszemcsés anyagok nagyobb frekvenciával is vizsgálhatók.

Ultrahang segítségével az alábbi vizsgálatok végezhetők el:

- ◆ méretellenőrzés – például vastagság mérése nyomástartó berendezéseken, hajótesteken,
- ◆ anyagjellemzők meghatározása – kihasználva, hogy kapcsolat van az ultrahang terjedési sebessége és a rugalmassági modulusz között,
- ◆ folytonossági hiányok kimutatása – akár az anyag felszínén, akár a belsejében vannak a hiányok.

1.10. EGYÉB ELJÁRÁSOK

1.10.1. INFRAVÖRÖS TERMOGRÁFIA

Infravörös termografiával a vizsgált objektum felületén kialakult hőeloszlás képét hozzuk létre. Az eljárás lehetővé teszi valós idejű hőtérkép elkészítését, amely a vizsgált tárgy hőmérséklet-eloszlását színek segítségével ábrázolja.

A termográfia a hőátadás egyik válfajára, a hőmérséklet függvényében változó hősugárzásra épül, ezért nincs szükség mechanikai kontaktusra a vizsgálandó objektum és a mérőeszköz között, és nem kell a hőmérséklet beállítására sem várni. Tehát elvégezhető a mérés olyan helyzetekben is, amikor az hagyományos hőmérőkkel lehetetlen lenne.

A termográfiai érzékelőket úgy tervezik, hogy azok a felületről kibocsátott, 3 és 13 μm közötti hullámhosszúságú infravörös hullámokat nyeljük el. A vizsgálat azon a tényen alapul, hogy minden test bocsát ki úgynevezett hőmérsékleti sugárzást – ezen belül infravörös sugárzást is – amelynek intenzitása egyenesen arányos a testfelszín abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával (Stefan–Boltzmann törvény).

A mérést befolyásoló tényezők a következők:

- ◆ a felület sugárzó képessége (emisszivitás),
- ◆ az aktuális környezeti hőmérséklet, a levegő hőmérséklete,
- ◆ a felület és az érzékelő közti távolság,
- ◆ relatív páratartalom.

A termográfia alkalmas berendezések hőforrásainak a kimutatására, például szigetelések hőszivárgásainak és elektromos zárlatok megtalálására, fűtési körök és forró víz helyének meghatározására, a páratartalom érzékelésére, hőenergia-veszteségek mennyiségének meghatározására, hőcserélők működésének elemzésére, üledékszint mérésére, motorok működésének elemzésére és jégtelepítő rendszerek hatékonyságának ellenőrzésére.



Aktív és passzív technika is használható. Az előbbinél fel kell melegíteni a vizsgált testet és monitorozni a lehűlést, azaz a betáplált hő eltűnését a felületen, amit a felület közeli tulajdonságok befolyásolnak. A passzív termográfia elnevezés azokra a vizsgálatokra utal, amelyekben nem alkalmaznak külső fűtést vagy hűtést ahhoz, hogy a vizsgált tárgyban hőáramlást idézzenek elő. Passzív termográfiát használnak például gyártási folyamatokban a termék ellenőrzésére, hegesztési eljárásokban, vagy az autók féktárcsáinak teljesítmény-ellenőrzése során. A megelőző karbantartásban szintén alkalmazható, például csapágyak, turbinák, kompresszorok, elektromos berendezések, földalatti csővezetékek vagy gázszivárgások vizsgálatára.

1.10.2. AKUSZTIKUS EMISSZIÓS VIZSGÁLAT

A módszer alapelve az anyag által – helyi feszültség, alakváltozás, repedés keletkezése vagy terjedése következtében – kibocsátott akusztikus hullámok érzékelése.

Tranziens hanghullámokról van szó, amelyek akkor keletkeznek, ha az anyag belsejében gyors energiafelszabadulás zajlik le. Ezek a hangok átlagos rugalmasságú közegekben terjednek, a hallható hangokénál nagyobb frekvencián, és nagy érzékenységgel, speciális piezoelektromos detektorokkal észlelhetők.

A jelenség alapja a vizsgálati darabon belüli feszültség eloszlásának megváltozása, ezért dinamikus vizsgálatról beszélhetünk, melynek során a szerkezeti elemeket az üzemelő rendszerben időszakosan fellépő terheléseknek vetik alá (például tartály próbanyomása).

Az energiaáramlást maga a vizsgálat alá helyezett anyag generálja, ezért ez az eljárás nagyon hasznos valós idejű jelenségek vizsgálatakor, mint például mikrorepedések keletkezése, repedések növekedése, stb. Több érzékelő együttes alkalmazásával, valamint háromszögelési algoritmussal és a kapott jelerősség elemzésével a hangforrások lokalizálhatók is.

1.10.3. TÖMÖRSÉGVIZSGÁLAT

Ha átmenő anyagfolytonossági hiány jön létre két különböző nyomású környezetet egymástól elválasztó tartály falán, akkor a nagyobb nyomású oldalról folyadék vagy gáz juthat át a kisebb nyomású környezetbe, a nyomáskülönbség négyzetgyökével arányos sebességgel.

A tömörségvizsgálat többféle technikával is elvégezhető, sok esetben a helyszínen, üzemi körülmények között hajtható végre, például nyomástartó berendezéseken és vákuumkamrákon. Az alkalmazott technikák a zárt vagy nyomás alatt tartott térrészből kiszivárgó gáz vagy folyadék észlelésén alapulnak. A vizsgálathoz felhasznált gáz lehet a tartályban lévő töltet vagy a tartályba bevezetett jelzőgáz (ami rendszerint hélium). Az észlelő eszköz lehet megfelelő gázdetektor, tömegspektrométer, valamint folyadékkal töltött edény, melyben buborékok jelenhetnek meg, vagy nyomásmérő, ami a tartály belső vagy külső felületére helyezett, szigetelt kamrában létrehozott vákuum esetleges romlását mutatja ki. Leürített



tartály esetén jelzőfolyadék is használható. Ez a technika teljes egészében a folyadékbehatolásos eljárásra épül. Folyadékkal feltöltött tartály esetén viszont, bizonyos körülmények között, a kiszivárgó folyadék turbulenciája szélessávú zajt kelt, ami speciális frekvenciákra hangolt jelátalakítóval érzékelhető.

A szivárgások helyei különböző módszerekkel határozhatók meg:

- ◆ víz alá merített darabból kilépő buborékok megfigyelésével,
- ◆ a felületre felvitt, a (jelző)gázra érzékeny, specifikus előhívószerral,
- ◆ a (jelző)gázra érzékeny, specifikus detektor elektromos jeleit a felszín végigpásztázása közben elemző készülékkel.

1.10.4 NYÚLÁSMÉRÉS

Az MSZ EN ISO 9712 szabványban is említett nyúlásmérést (ST) úgynevezett nyúlásmérő bélyegek által adott elektromos feszültség megváltozásának mérésével végzik. Ha a tárgyat feszültségnek tesszük ki, az hatással van a tárgy felületére ragasztott nyúlásmérő bélyegre, megváltoztatja annak elektromos ellenállását, amelyet a hozzáillesztett mérőeszköz kimeneti feszültségváltozásként érzékel.

1.11. FEJLETT TECHNIKÁK

Számos tudományos munka születik új és hatékonyabb vizsgálati technikákkal kapcsolatban, nagy részük egyetemeken, kutatóközpontokban, vagy nemzetközi projektek keretein belül, különböző országok tudományos konzorciumaival együttműködésben. Sok olyan tanácsadó cég is működik, amely erre a területre specializálódott, és több fontos szervezet fejleszti a roncsolásmentes vizsgálati módszereket saját kutatásaival. Emellett a berendezések gyártói is folyamatosan fejlesztik technológiájukat és új alkalmazásokat vezetnek be a vizsgálatokba.

Egyes országok nemzeti RMV-szervezetei (pl. a magyar RMV-szervezet, a MAROVISZ), és azok nemzetközi testületei, mint az európai (EFNDT) és az egész világot átfogó nemzetközi szövetség (ICNDT) rendszeresen tartanak konferenciákat, ahol bemutatják az új fejlesztéseket. Hasonlóképpen, a nemzeti RMV-szervezetek is rendszeresen jelentetnek meg szakcikkeket tartalmazó folyóiratokat.

Több új, nagy kapacitású ultrahangos vizsgálati módszer vált elérhetővé az utóbbi évtizedekben bekövetkezett informatikai fejlesztések révén. Néhány technológia – mint például a komputertomográfia (CT) –, nagymértékben az egészségügyi szektorhoz kötődik, míg mások – például az akusztikus mikroszkópia –, az elektronikai iparban a szilárdtestek állapotvizsgálatánál terjedt el. Megfontolandó, hogy milyen ipari vizsgálati feladatoknál kell, illetve érdemes bevetni ezeket a technikákat, figyelembe véve, hogy könnyen használható, jó vizsgálati sebességet biztosító és elfogadható árú eszközökre van szükség. Az alábbiakban néhány fejlett technika leírása következik, amelyek egyike-másika napjainkra már jelentős ipari alkalmazást nyert.



1.11.1. Valós idejű radiográfia

A valós idejű radiográfiai alapelve a sugárzás valós idejű átalakítása számítógép képernyőjén megjeleníthető képpé. A sugárzás által létrehozott kép megjelenítésének film előhívásán alapuló módszerét mára felváltotta egy új technika, amely szenzorok segítségével alakítja át a bejövő sugárzást képernyőn megjeleníthető és kezelhető elektromos jelekké.

1.11.2. Fluoroszkópia

A fluoroszkópiát jellemző alapvető különbség az, hogy a filmet egy speciális sóval bevont ernyő helyettesíti, amely fényt bocsát ki a beérkező sugárzás intenzitásának függvényében, és amely fényt egy képerősítő cső felerősíti, így a kép valós időben láthatóvá válik egy TV képernyőn. A leggyakrabban használt só a cinkszulfid (ZnS). A hagyományos radiográfiával ellentétében, a képernyőn pozitív kép jön létre. A sugárzás intenzitása és a fényerősség között széles tartományban egyenes arányosság áll fenn.

1.11.3. Komputerradiográfia (CR)

Az orvostudomány és a biológia területén már 20 éve alkalmazzák ezt a módszert, amelynél a filmet foszfor lemezekkel helyettesítik. Az utóbbi időben a roncsolásmentes vizsgálatokban is használható rendszerek születtek. Jelenleg azonban ezek a technikák még nem képesek teljes mértékben helyettesíteni a hagyományos radiográfiát. Az új alkalmazási területek viszont egyre inkább elérhetővé válnak, mivel a nagy érzékenyséű foszfor lemezek jelentősen lerövidítik az expozíció idejét és az eredmények feldolgozása közvetlenül digitális formában történik.

A foszforlemezek – melyek már csak nevükben emlékeztetnek az eredetileg használt fényérzékeny anyagra –, rugalmas polimer filmre felvitt, sugárzásra érzékeny bárium-fluorobromid (BaFBr) rétegből állnak, amit egy, a mechanikai károsodásoktól védő réteggel borítanak be. A foszfor lemezek expozíciója a radiográfiai filmekéhez hasonló. A felvételtől nyert információkat lézerekészülék olvassa ki, az eredmény pedig számítógép képernyőjén jelenik meg. Nincs szükség kémiai beavatkozásra, és az eredmények azonnal rendelkezésre állnak. Egy-egy lemez kb. 1000 alkalommal használható jelentősebb minőségromlás nélkül.

1.11.4. Digitális radiográfia (DR)

A digitális radiográfia ugyanazt a technikát alkalmazza, mint a hagyományos, azzal a különbséggel, hogy a képalkotás módja más. Elektronikus elemek aktiválódnak a sugárzás hatására, melyek kiolvasás után többször újra használhatók. A képeket digitális adathordozó tárolja, amely informatikai rendszerrel kezelhető, így az adatok bármikor rendelkezésre állnak, e-levélben továbbíthatók, ezáltal lehetőség nyílik a távoli kiértékelésre.



A digitális radiográfiában használt technológiák, az érzékelők típusa szerint:

- ◆ CMOS-ra (komplementer fém-oxid félvezetőre) épülő,
- ◆ intrinszik foszforos,
- ◆ közvetlen fotokonduktoros (fényvezető),
- ◆ szcintillációs.

1.11.5. Korszerű ultrahangos módszerek

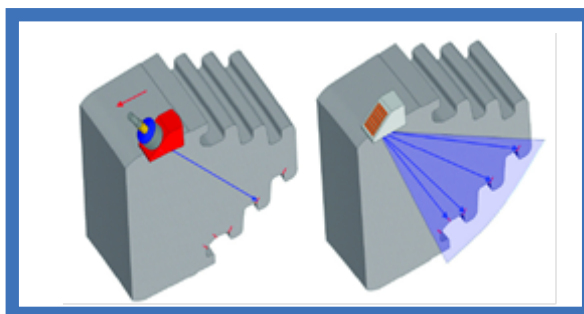
1.11.5.1. Fázisvezérelt vizsgálat

A hagyományos ultrahangos berendezés egyetlen (vagy kettő) piezoelektromos elemet tartalmaz, míg a fázisvezérelt technika több elemet használ. Mindegyik piezoelektromos elem elektromos impulzusok vezérelnek egymástól függetlenül, eltérő fázisban, ezáltal az egyedi hullámok úgy vezérelhetők, hogy azok különböző irányú ultrahangnyalábot alkossanak. Az egyes elemek aktiválása közötti megfelelő késleltetés – az egyedi nyalábok között kialakuló interferencia következtében – lehetővé teszi a beesési szög változtatását és fókuszált hullámfront létrehozását.

Az egyes elemek gerjesztése közötti késleltetési idő határozza meg a fókusz távolságot. Míg hagyományos készülék esetében a fókusz távolság adott fejtípusnál állandó, addig a fázisvezérelt technika módot ad a nyaláb alakjának és fókuszpontjának változtatására. Ezzel optimalizálható a vizsgálat, mert a mindenkor vizsgált zónába irányítható az akusztikus energia (1.5. ábra). A dinamikus fókuszálás segítségével az energia ugyanazon a vizsgálaton belül különböző mélységekre koncentrálható. Ugyancsak lehetővé válik a beesési szög változtatása és a különböző szögből történő letapogatás a fej helyzetének változtatása nélkül.

A fázisvezérelt technika segítségével csökkenthető a vizsgálati idő, mivel kiküszöböli a mechanikai letapogatást, vagyis a fej előre és hátrafelé mozgatását, amelyet ebben az esetben a különböző elemek elektronikus vezérlése helyettesít. Ez a megoldás növeli a vizsgálat megbízhatóságát, mert megszünteti a fej mozgatásával járó csatlósi veszteségeket.

1.5. ábra. A hagyományos és a fázisvezérelt ultrahangnyaláb összehasonlítása



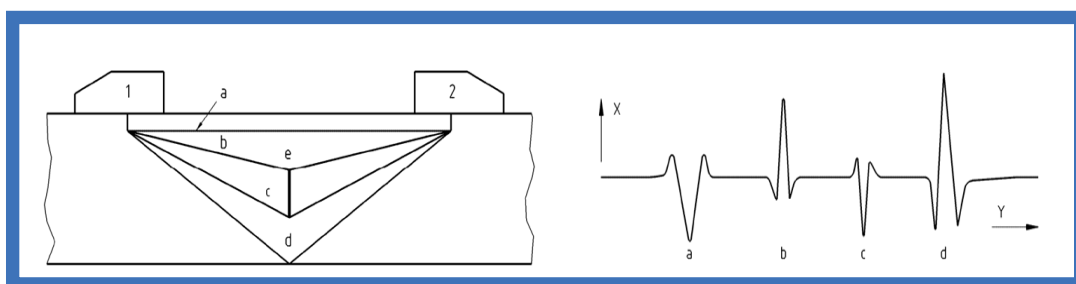
1.11.5.2. Futásidő szóródásos (TOFD) módszer

A hagyományos ultrahangos módszerek többé-kevésbé a folytonossági hiány sík felszínéről szabályosan visszaverődő hangot használják fel. A TOFD-technikával a síkszerű folytonossági hiányok csúcspontjairól érkező, kis intenzitású jeleket detektálják, ezért a módszer érzékenysége kevésbé függ a folytonossági hiány síkjának irányától, és lehetővé válik a méretének pontos meghatározása. (TOFD a módszer angol nevének – time of flight diffraction – rövidítése.)

A diffrakció jelensége a 17. századtól kezdve, Grimaldi óta ismert; ő fedezte fel ezt a fényjelenséget. Ezt követően 1818-ban Fresnel mutatta be a Huygens-elv alapján, hogy ez a jelenség a fény hullám-természetének a következménye. Ebből következően más hullámok, így ultrahang esetén is megfigyelhető. (Megjegyzés: A diffrakció elhajlást jelent. A TOFD-módszer címbeli magyar elnevezése azonban elfogadható, mert az elhajlás – több más jelenséggel együtt – a hullám adott közegbeli szóródására mint alapjelenségre vezethető vissza.)

A diffrakciót a klasszikus, kézi ultrahang technikában már használták, főleg repedések mélységének meghatározására. Az ezen alapuló TOFD-technikát Dr. Maurice Silk fejlesztette ki az 1960-as '70-es években nukleáris ipari használatra. Ezen a területen ugyanis – az alkatrészek biztonságának, a berendezések biztonságos üzemeltetésének érdekében – olyan vizsgálatokra van szükség, melyekkel az esetleges repedések megbízhatóan kimutathatók, és méretük kis bizonytalansággal megállapítható. A TOFD-technika két, különálló, longitudinális hullámot kibocsátó szögfejet használ, egymással szembe állítva. Az egyik adóként, a másik vevőként működik, és így módon az anyag teljes vastagságára kiterjed a vizsgálati tartományuk. A vizsgálat elrendezése az 1.6. ábrán látható.

1.6. ábra. TOFD-vizsgálat folytonossági hiány jelenlétében (MSZ EN 583-6)



1. Adó/2. Vevő/a) Felületi hullám/b) Felső él X Amplitúdó/Y Idő
c) Alsó él/d) Hátfal-visszhang/e) Folytonossági hiány

Az ultrahangimpulzus kibocsátását követően a vevő által kapott első jel (a) az úgynevezett felületi (laterális) hullám, amely az anyag felületén halad. A (b) és (c) jel a folytonossági hiány élein szóródó (elhajló) hullámok jele, amelyek közül elsőként a felülethez közelebb eső éltől származó jel érkezik meg. A két jel közötti időkülönbségből nagyon pontosan meghatározható a folytonosságihiány mélységirányú kiterjedése.



Általában a TOFD-technikát tartják a legprecízebb ultrahangos módszernek felületre merőleges, síkszerű folytonossági hiányok mélység irányú kiterjedésének mérésére, valamint hegesztési varratok repedéseinek kimutatására és méretezésére. A módszert széles körben alkalmazzák a petrokémiai és a nukleáris iparban nyomástartó berendezések és csövek tompavarratainak vizsgálatára és gyakran használják szerkezetek integritásának vizsgálata során a kritikus hibaméret szerinti értékeléshez szükséges adatok megszerzésére.

1.11.5.3. Irányított hullámok

Az irányított hullámokkal történő vizsgálat olyan új technika, amely kis frekvenciájú (20 és 30 kHz közötti sávban lévő), az anyagban Lamb-féle lemez hullámokként terjedő ultrahang hullámokat használ. Ezek több száz méterre juthatnak el például egy csőfal mentén. A hagyományos ultrahanghoz képest alapvető különbséget jelent az, hogy míg annak nyalábja csak longitudinális vagy transzverzális hullámokból áll, addig az irányított hullámok terjedési módja sokféle lehet. Gerjesztésükhöz általában piezoelektromos fejet vagy EMAT-ot (elektromágneses akusztikus átalakítót) alkalmaznak. Ezeket a fejeket a vizsgálandó cső köré helyezik, így a cső nagyon hosszú szakasza megvizsgálható egyetlen pozícióból.

A cél olyan, gyorsvizsgálat kifejlesztése volt, amellyel számszerűen meghatározható az anyag vastagságának eróziós vagy korróziós folyamatok következtében kialakult csökkenése. Az irányított hullámok alkalmazása lehetővé teszi a nem hozzáférhető részek vizsgálatát is gáz- és szénhidrogén vezetékekben, kábelekben, sínekben, pillérekben, stb. A módszert hosszú távú ultrahangos vizsgálatként (angol rövidítése LRUT) emlegetik.

1.12. ALKALMASSÁG ÉS KORLÁTOK

Általánosan elfogadott a különböző eljárások és módszerek összehasonlítása és egyesek kedvezőbb megítélése, illetve az előnyeik és hátrányaik számba vétele. A leghelyesebb, ha azt mondjuk, hogy minden eljárásnak, illetve módszernek megvan a maga specifikus alkalmazási területe, a hozzá tartozó előnyökkel és korlátokkal. Egyes módszerek kiegészítenek másokat. A roncsolásmentes anyagvizsgáló felelőssége eldönteni azt, hogy melyik módszert vagy különböző eljárások milyen kombinációját a legcélszerűbb alkalmazni az adott esetben.

Ha ugyanarra a problémára két vagy több módszer is alkalmazható, akkor azokat egyenrangúnak vagy redundánsnak nevezzük. Ha a módszerek önmagukban csak rész-információkat adnak, és a megoldás érdekében több módszert kell bevetni, akkor azokat kiegészítő módszereknek nevezzük. Az egyenrangú módszerek alkalmazása nyilvánvalóan növeli a vizsgálat biztonságát (igaz a költségét és idejét is), míg a kiegészítő módszerekkel kiterjeszthetjük a kimutatható folytonossági hiányok és eltérések körét.



A különböző eljárások előnyeit és korlátjait az 1.2. táblázat tartalmazza:

1.2. táblázat Roncsolásmentes vizsgálati eljárások előnyei és korlátjai

VIZUÁLIS VIZSGÁLAT	
ELŐNYÖK	KORLÁTOK
Könnyen hozzáférhető Viszonylag egyszerű Bármilyen anyag esetén alkalmazható Lehetővé teszi a folytonossági hiányok pontos lokalizálását	Csak a felületi folytonossági hiányokat mutatja ki Képzett operátorokat igényel A folytonossági hiány mélységének megállapítását nem teszi lehetővé
FOLYADÉKBEHATOLÁSOS VIZSGÁLAT	
ELŐNYÖK	KORLÁTOK
Gyors Alkalmazása könnyű Nagy érzékenységű Hordozható Sokféle anyag esetén alkalmazható, a nagyon porózus anyagok kivételével	Csak a felületi folytonossági hiányokat mutatja ki Fennáll a szennyeződés kockázata A folytonossági hiány mélységének megállapítását nem teszi lehetővé
MÁGNESEZHETŐ POROS VIZSGÁLAT	
ELŐNYÖK	KORLÁTOK
Gyors Alkalmazása könnyű Nagy érzékenységű Könnyedén mozgatható Pontosan meghatározza a folytonossági hiány hosszúságát	Csak ferromágneses anyagoknál alkalmazható Csak felületi és felület közeli folytonossági hiányokat mutat ki Fennáll a szennyeződés kockázata Remanens mágnesezettség marad vissza A folytonossági hiány mélységének megállapítását nem teszi lehetővé
ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLAT	
ELŐNYÖK	KORLÁTOK
Nagy érzékenységű Nagyon sokoldalú Könnyedén mozgatható Nem igényel csatolóközeget Nagy vizsgálati sebesség érhető el	Csak felületi és felület közeli folytonossági hiányokat mutat ki Csak elektromosan vezető anyagok esetén alkalmazható Sok paraméter változhat egyszerre Ferromágneses anyagoknál nehéz alkalmazni Referencia próbatesteket igényel



IPARI RADIOGRÁFIA	
ELŐNYÖK	KORLÁTOK
Dokumentált eredményt ad Értelmezése viszonylag egyszerű Az operátor alig befolyásolja Bármilyen anyag esetében alkalmazható Nagyon érzékeny a háromdimenziós folytonossági hiányokra Többféle speciális technika létezik	Kétoldali hozzáférés szükséges Sík folytonossági hiányok kimutatására nem alkalmas Fennáll a sugárzás kockázata Nagy vastagság esetén nehézségek A berendezések és a biztonság nagymértékű befektetést igényel
ULTRAHANGOS VIZSGÁLAT	
ELŐNYÖK	KORLÁTOK
Nagy áthatoló képességű Nagy érzékenységű A reflektor helyzetének pontos meghatározása Csak egy felületen szükséges hozzáférés Azonnali eredmény Automatizálható A teljes térfogatot vizsgálja Nincs sugárzási kockázat Könnyedén mozgatható	Alkalmazása nagy gyakorlatot igényel A vizsgálati technikák széleskörű ismerete szükséges hozzá Durva, vékony vagy szabálytalan felületű darabokon nehezen használható A felszínhez közeli folytonossági hiányokat nehezen érzékeli Csatolóközeget igényel Ellenőrző testeket igényel

Az ipari anyagvizsgálatok köre nem korlátozódik a roncsolásmentes eljárásokra. Jól ismertek a sok helyütt alkalmazott mechanikai és az ugyancsak fontos szerepet betöltő kémiai analitikai – elsősorban spektroszkópiai – vizsgálatok. Bár ezek mind roncsolásos jellegűek és emiatt, magától értetődően, csak bizonyos számú, kivett mintán – azaz szűrőpróbaként – végezhetők el, ugyanúgy nélkülözhetetlenek a gyártási folyamatok minőségbiztosításához és az üzemelő berendezések állapotának ellenőrzéséhez, mint a roncsolásmentes vizsgálatok.





2. FIZIKAI ALAPOK

2.1 FIZIKAI DEFINÍCIÓK ÉS JELLEMZŐ PARAMÉTEREK

Bevezetés

A hang nem más, mint anyagi részecskék mechanikai rezgésének rugalmas közegben való térbeli és időbeli továbbterjedése.

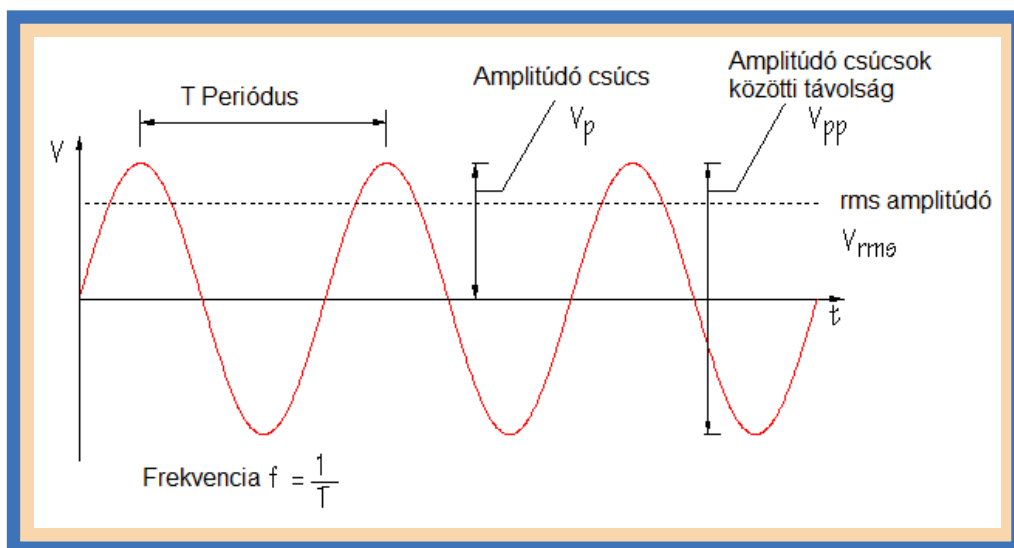
A közeg egyedi részecskéi helyzetváltoztatás nélkül egyénileg rezegnek, és ha kapcsolatuk a szomszédos részecskékkel elégségesen rugalmas, akkor azokat is rezgésbe hozzák. Ez lehetővé teszi a hangnak az adott közegben való továbbterjedését.

A közeg rugalmassági és mechanikai jellemzői, valamint a részecskék közötti kötés meghatározza az anyagban terjedő rezgés módjait. Nagy szilárdságú szerkezeti anyagokban, mint pl. az acélban, alumíniumötvözetekben, öntöttvasban, stb., jól terjed az ultrahang. A hangcsillapítás mértékének meghatározásában azonban az anyag metallurgiai állapota is fontos szerepet játszik [a szemcseeloszlást egy későbbi fejezet tárgyalja].

A hang négy jelentős jellemzővel definiálható:

- ◆ Frekvencia,
- ◆ Terjedési sebesség,
- ◆ Hullámhossz,
- ◆ Amplitúdó (erősség).

2.1. ábra. Szinuszos mozgás, amplitúdó, periódusidő, frekvencia, hullámhossz, terjedési sebesség



Az alább definiált kifejezések az egyenletes, csillapítatlan szinuszos hullámok leírására alkalmazhatók:

Amplitúdó (A)

Az egyensúlyi helyzetük körül rezgő anyagi részecskék maximális kitérésének mértéke.

Frekvencia (f)

A részecskék rezgésének másodpercenkénti ciklusszáma hangfrekvenciaként ismert, mely a hallható tartományban egy zenei hangjegy magasságát is meghatározza. Az ultrahang frekvenciája az emberi fül számára nem hallható tartományban van, általában 20000 ciklus/másodperc fölött.

A frekvencia egysége a Hertz (Hz). 1 Hz másodpercenként egy teljes rezgésciklussal egyenlő. A roncsolásmentes vizsgálatok nagy részében alkalmazott ultrahangok frekvenciája 0,5–20 MHz közötti frekvenciatartományban található.

A vizsgálófej rezgőjének frekvenciája változó. Ezt a frekvenciát a rezgő anyagára jellemző hangterjedési sebesség, valamint annak vastagsága határozza meg.

A rezgő frekvenciája: az alábbi képlet szerint az „e” aktív rezgőelem vastagságával arányos:

$$f = c/2 \times e$$

ahol: c = a hang terjedési sebessége a rezgőben

e = a rezgő vastagsági mérete

A hang terjedési sebessége (c)

Ez a sebesség a közegen áthaladó hanghullámok **(c) sebessége**. A terjedési sebességet a rezgés módja is meghatározza, de függ magától a közegtől is. Az ultrahang sebessége általában a közeg sűrűségnek növekedésével együtt nő.

A sebesség egysége: 1 méter/másodperc (m/s).

A hang terjedési sebességének mérésével közvetett információt kaphatunk a vizsgált anyag belső tulajdonságairól. (szemcseméret, összetétel, stb.)



Maximális rezgési sebesség (v)

Az anyagi részecskék a rezgés során gyorsuló és lassuló mozgást végeznek egy adott hely körül. A rezgés során a rezgő anyag tömegelemeinek maximális sebességét maximális rezgési sebességnek nevezzük.

Hullámhossz (λ)

A hullámhossz a hang által egy teljes rezgési ciklus alatt megtett távolság.

A hullámhosszt tulajdonképpen az azonos fázisban lévő rezgő anyagrészecskék közötti távolság adja meg, mely egyben a detektálható legkisebb hangvisszaverő felületet is meghatározza. Általában elmondhatjuk, hogy a $\lambda/2$ legkisebb mérettel rendelkező (pl. a $\lambda/2$ átmérőjű körtárcsa alakú) reflektorokat már detektálhatjuk.

A hullámhosszt az ultrahang sebességének és frekvenciájának függvényeként, az alábbi képlettel fejezhetjük ki:

A hang terjedési sebessége = frekvencia $\times$ hullámhossz $c = f \times \lambda$

Példa: PVDF (polyvinil-difluorid) rezgővel gyártott merülőszonda esetében, ha az előírt frekvencia 10 MHz, akkor mennyinek kell lennie a rezgő vastagságának (e)?

$$f = C / 2 \times e$$

A PVDF-re jellemző hang-terjedési sebesség: $2,2 \times 10^6$ mm/s.

$$f = 10 \times 10^6 \text{ ciklus/s} = 2,2 \times 10^6 \text{ mm/s} / 2 \times e \quad 2 \times e = 0,22 \text{ mm} \quad e = 0,11 \text{ mm}$$

Így a 10 MHz-es szondához szükséges rezgő vastagsága 0,11 mm.

Példa: Bárium-titanát rezgővel gyártott vizsgálófej esetében, ha az előírt frekvencia 4 MHz, akkor mennyinek kell lennie a rezgő vastagságának (e)?

$$f = C / 2 \times e$$

A bárium-titanátra jellemző hang-terjedési sebesség: $5,4 \times 10^6$ mm/s.

$$f = 4 \times 10^6 \text{ ciklus/s} = 5,4 \times 10^6 \text{ mm/s} / 2 \times e \quad 2 \times e = 1,35 \text{ mm} \quad e = 0,675 \text{ mm}$$

Így a 10 MHz-es szondához szükséges rezgő vastagsága 0,675 mm.



Akusztikai impedancia, hangerősség, hangnyomás

Akusztikai impedancia (Z)

A hangnyomás és a tömegelemek maximális rezgési sebességének a hányadosa.

$$Z = \frac{p}{v}$$

Az akusztikai impedancia a tömegelemek rezgése ellen hat, de a hullámterjedést nem akadályozza.

Vannak akusztikai szempontból kemény (nagy impedanciájú) és lágy (kis impedanciájú) anyagok.

Ezen felül, egy anyag akusztikai impedanciája függ az anyag (ρ) sűrűségétől és az ultrahang anyagra jellemző (c) terjedési sebességétől is.

$$Z = \rho \times c$$

(kg/m².s-ban kifejezve)

Hangteljesítmény (I)

Egységnyi idő alatt egységnyi területre eső energiamennyiség (W/m²).

$$I = E \times C = \left(\frac{1}{2} \rho v^2\right) \times c = \frac{1}{2} \frac{p^2}{Z}$$

Így, az (I) hangteljesítmény egyenesen arányos a (p) hangnyomás négyzetével.

Hangnyomás (p)

A hangnyomás nem más, mint a rezgő részecskék közötti feszültségnek a részecskék mozgásával egy irányban mérhető része (N/m²).

Hosszirányú (longitudinális) hullámok esetében a hangnyomás a hullámfelületre merőleges, felületegységnyi, erő.

Keresztirányú (transzverzális) hullámok esetében a hangnyomás a hullámfelülettel párhuzamos felületegységnyi nyíróerő.

Az ultrahanggal végzett vizsgálatok során alkalmazott kijelzési módnál, a visszhangjel magassága arányos a visszaérkező hang nyomásával. Éppen ezért mondhatjuk, hogy a hangnyomás az ultrahanggal végzett vizsgálatok egyik legfontosabb paramétere.

Fogalmi szempontból, a hangnyomás egy adott pontban a hanghullámok által az atmoszferikus nyomáson felül okozott, az atomok közötti kapcsolatot torzító nyomás. A hullám közegen belüli terjedése ennek köszönhető.

A decibel skála

A Bel (B) két teljesítmény jellegű mennyiség összehasonlítására szolgáló mérőszám.

$$\Delta P = \lg P/P_0$$

A decibel (dB) a hangok és az ultrahang teljesítmény (intenzitás) változásainak összehasonlítására szolgáló mérőszám. $1 \text{ B} = 10 \text{ dB}$.

Adódik tehát, hogy: $1 \text{ dB} = 10 \lg P/P_0 = 10 \text{ dB}$

Ha az egyenletben szereplő „P” teljesítmény jellegű mennyiséget nyomás értékekkel helyettesítjük, akkor a következő összefüggéseket kapjuk:

$$\boxed{\text{dB} = 10 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\text{dB} = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)}$$

Mivel a hangnyomás arányos a (H) visszhangjelek magasságával, a fenti képlet a következőképpen is írható:

$$\boxed{\text{dB} = 20 \lg \left(\frac{H}{H_0} \right)}$$

A képernyőn megjelenő visszhangjel-magasságok (amplitudók) összehasonlításával az azonos akusztikai tulajdonságú reflektorok mérete összehasonlítható, illetve az anyagban haladó ultrahang gyengülésének mértéke nyomonkövethető.



Például:

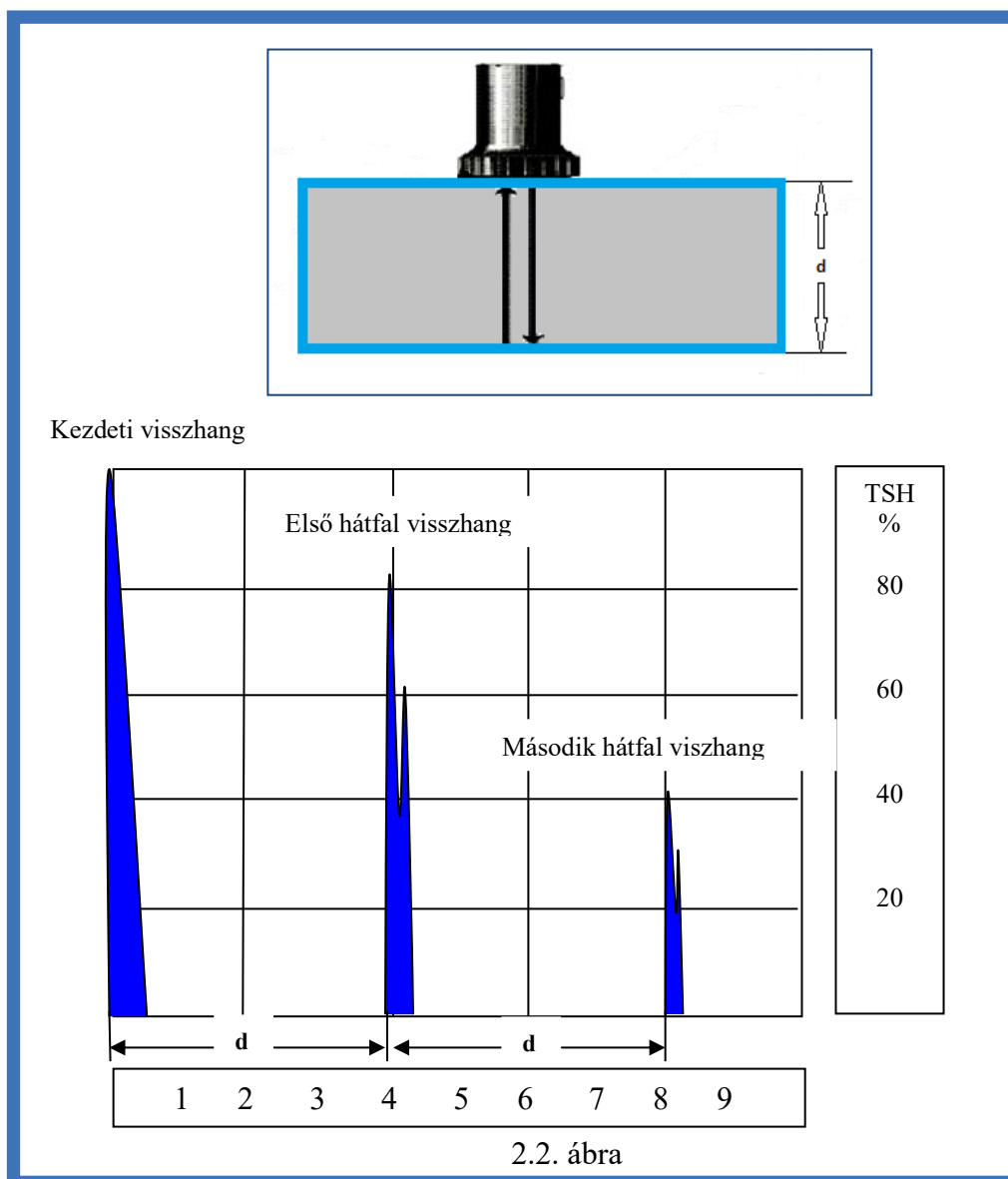
A képernyőn két visszhang látható. Az első hátfalvisszhang 80%, míg a második hátfalvisszhang 40% magasságú.

A két visszhang közötti dB különbség kiszámítása az alábbi egyenlettel lehetséges:

$$\Delta\text{dB} = 20 \times \log (80/40) = 20 \times \log 2 = 20 \times 0.3 = 6 \text{ dB}.$$

Ennek oka, hogy a hang energiája (nyomása) az anyagban való terjedés közben – anyagszerkezeti és egyéb okokra visszavezethetően – gyengül.

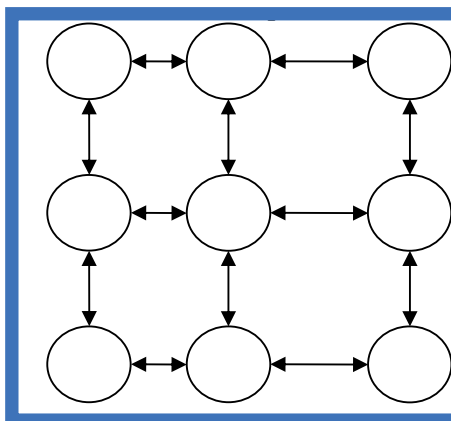
2.2. ábra.



A hang terjedése

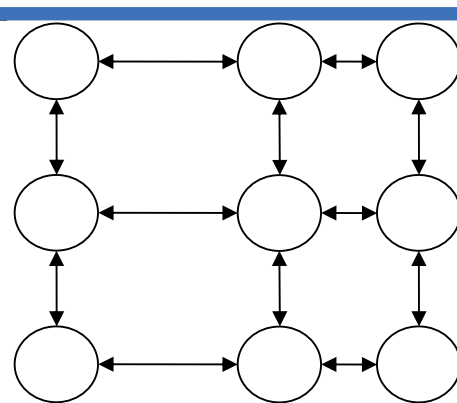
2.2a. ábra

„A” Oszlop „B” Oszlop „C” Oszlop



2.2b. ábra

„A” Oszlop „B” Oszlop „C” Oszlop



Ha az „A” oszlopban lévő atomokra befelé irányuló erő (nyomóerő) hat, akkor az atomok síkja jobbra mozdul és nyomóerőt gyakorol az „A” és a „B” oszlopban lévő atomok közötti kötésre. A kötésben keletkező feszültség (egy erős rugóhoz hasonlóan) a „B” oszlopban lévő atomokat is eltolja.

Az „A” oszlopban lévő atomok visszatérnek eredeti helyzetükbe, míg a „B” oszlopban lévők most jobbra mozdulnak. Ez az elmozdulás nyomóerőt gyakorol a „C” oszlopban lévő atomokra és így a ciklus ismétlődik. A „B” oszlopban a mozgáshatár elérésekor az „A” és a „B” oszlop közötti kötés húzófeszültségnek van kitéve, ami a „B” oszlop atomjait az „A” oszlop felé húzza.

A hanghullámok közegben való továbbterjedését az atom oszlopok ezen váltakozó irányú mozgása – oszcillációja okozza.

A hang terjedésnek számos módja van, de mind az atomok szerkezetén belüli oszcillációjára alapul.

Izotróp és anizotróp anyagok

Hooke törvénye

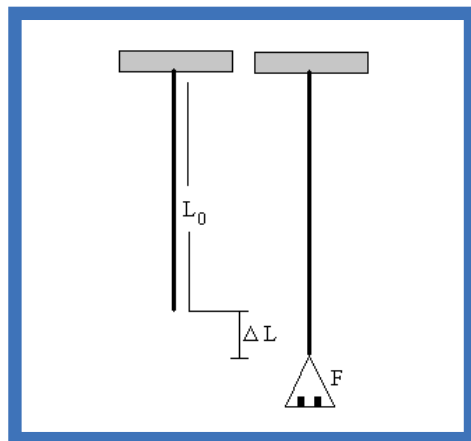
Robert Hooke, aki 1676-ban megállapította, hogy „Bármely test alakváltozása az alakváltozást okozó (energiával) erővel arányos.” Ezzel bevezette a rugalmasság fogalmát. Hook-törvénye matematikailag kifejezve:

$$F = k u$$

ahol F az alkalmazott erő (de nem a Hooke által tévesen írt energia), u az F erőnek kitett elasztikus test alakváltozása, és k a rugóállandó (azaz az előbbi két paraméter hányadosa).



Ha a Hook-törvényt F/u húzófeszültséggel egy fémzárra alkalmazzuk, akkor ez a húzófeszültség a fémzárra nyúlását és keresztmetszetének csökkenését eredményezi.



Feltételezhetően a nyúlás a domináns hatás, főleg hosszú és a kis keresztmetszetű szálak esetében.

Így, a szál rugalmas viselkedésében létezik egy, a szálra ható F erő és a ΔL hossznövekedés, vagy más-képp: a feszültség $\sigma = F/S$ és a (egységnyi alakváltozás) fajlagos nyúlás $\varepsilon = \Delta L/L_0$ közötti arányosság.

ahol:

F a húzóerő,

S a szál keresztmetszete ($S = \pi r^2$),

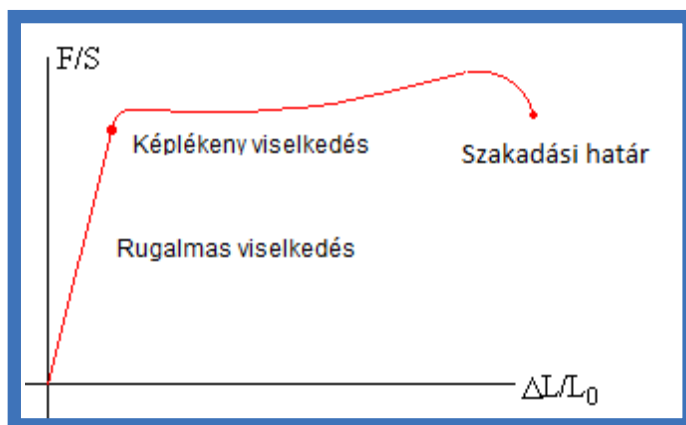
L_0 a szál eredeti hossza,

ΔL a megnyúlás

E az egyes anyagok, rugalmassági modulusnak, vagy Young-modulusnak nevezett arányossági állandója.

$$E = \sigma / \varepsilon$$

A feszültség egységnyi alakváltozás függvényében való ábrázolásáva egy, az alábbi grafikonban bemutatott-hoz hasonló karakterisztikájú görbét kapunk.



A görbe első része mentén a feszültség az egységnyi alakváltozással arányos. Ez a rugalmas szakasz.

A feszültség csökkenésekor az anyag az eredeti hosszát veszi fel. A vonal pontban végződő jobb oldali végének neve rugalmassági határ.

Izotróp anyagok

A fémötvözetek és keményített polimerek legnagyobb része izotrópikusnak tekinthető, azaz, az anyagjellemzők a terhelés irányától függetlenek. Az ilyen anyagok, az általános anizotrópikus anyagok 21 elasztikus állandójával szemben, csak két független változóval (rugalmassági tényezővel) rendelkeznek.

A rugalmassági modulus a rugalmassági tényezők egyik típusa, mely a húzófeszültség és az alakváltozás összefüggését adja.

Az izotrópikus rugalmas anyagok egy rugalmassági modulussal és egy rugalmassági együtthatóval (vagyis a két alakváltozás közötti viszonytal) jellemezhetők. Azaz, mivel az egyik rugalmassági érték és a μ Poisson-együttható ismert, akkor a másik rugalmassági modulus meghatározható). Az ortotrop, vagy anizotróp anyagok esetében nagyobb számú rugalmassági állandó szükséges.

A rugalmassági modulus nevet viselő rugalmassági állandók az alábbiak:

- ◆ *Young-modulus:* A jele E. Közvetlen összefüggésben van a nyújtó, vagy nyomó igénybevételnek kitett kötél, huzal, rúd, stb. esetében tapasztalható hosszváltozással. Ezért **hosszirányú rugalmassági modulusként** is ismert.
- ◆ *Nyomórugalmassági modulus:* A jele K. Összefüggésben van a felületre merőlegesen ható erők okozta (általában nyomó) feszültségek esetében tapasztalható térfogatváltozással. Alakváltozást nem, csak térfogatváltozást eredményez (köbös rugalmassági modulus).
- ◆ *Keresztirányú rugalmassági modulus:* A jele G. Összefüggésben van a nyírófeszültségnek kitett anyagok esetében tapasztalható változásokkal. Térfogatváltozást nem, csak alakváltozást eredményez. **Tangenciális (érintőleges) rugalmassági modulusként és nyíró rugalmassági modulusként** is ismert.

A Nemzetközi Mértékegység Rendszerben a modulusok mértékegysége Pascal (Newton/négyzetméter N/m²), míg az együttható dimenziómentes.

A **Young-modulus, vagy hosszirányú rugalmassági modulus** egy olyan paraméter, mely egy rugalmas anyagnak, a feszültség hatásirányának függvényében tanúsított viselkedését jellemzi. Ezt a viselkedést figyelte meg és tanulmányozta az angol tudós, Thomas Young.



A Young-modulus számításában két eset vehető figyelembe:

- ◆ Lineárisan rugalmas anyagok.
- ◆ Nem lineárisan rugalmas anyagok.

A lineárisan rugalmas anyagban (teljes mértékben reverzibilis alakváltozást okozó nyújtófeszültségek esetében) az E hosszirányú rugalmassági modulus állandó. Ebben az esetben a modulus értéke a nyújtófeszültség és a megfeszített egyenes rúdban megjelenő alakváltozás hányadosaként határozható meg:

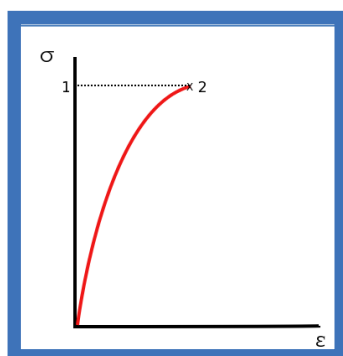
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F / S}{\Delta L / L_0}$$

ahol:

E : a hosszirányú rugalmassági modulus,

σ : a tárgy keresztmetszetére ható nyomás,

ϵ : egységnyi alakváltozás a rúd valamely pontjában.



Rugalmas és izotróp anyagok esetében a Young-modulus értéke a húzás esetében ugyanaz, mint nyomás esetében és feltéve, hogy nem haladja meg a rugalmassági határt, a feszültségtől függetlenül konstans, és mindig nagyobb, mint nulla; vagyis húzás esetén a próbatest hossza nő.

A különböző anyagokban a Young-modulus és a rugalmassági határ egyaránt eltérő. A rugalmassági modulus egy rugalmassági jellemző, mely a rugalmassági határhoz hasonlóan tapasztalati úton, az anyagok szakítóvizsgálatával határozható meg. Emellett, a hosszirányú rugalmassági modulusból az anyag keresztirányú rugalmassági modulusa is meghatározható.

A korábbi egyenlet úgy is felírható, hogy:

$$\sigma = E \epsilon$$

Ezért két, geometriai szempontból azonos, de különböző rugalmas anyagokból készített és azonos alakváltozásnak kitett rúd, vagy hasáb esetében annyival nagyobb húzófeszültségek keletkeznek, amennyivel a rugalmassági modulus nagyobb. Ugyanígy, azonos erők esetében a korábbi egyenlet úgy írható fel, hogy:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$



Ez azt mutatja, hogy nagyobb rugalmassági modulussal rendelkező rúd esetében az alakváltozás kisebb. Ebben az esetben kijelenthető, hogy a rúd nagyobb merevséggel rendelkezik.

Bizonyos anyagok, pl. a réz vizsgálata során, melyben a húzófeszültség okozta alakváltozás görbéjén semmilyen lineáris szakasz nincs, így az előző egyenlet nem alkalmazható. Az ilyen típusú, nem lineárisan rugalmas anyagok esetében a Young-modulus nem határozható meg az előzőleg leírtakhoz hasonlóan, mivel a húzófeszültség és a létrejövő alakváltozás nem egyenesen arányosak.

Nem lineárisan rugalmas anyagok esetében bizonyos látszólagos Young-modulus határozható meg. Ennek általánosabban ismert változata a középsőértékrugalmassági modulus. Az anyagra jellemző feszültség növekmény, és a feszültség irányú egységnyi alakváltozás hányadosaként számíthatjuk ki.

$$E_{\text{sec}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

ahol:

E_{sec} – a szekáns rugalmassági modulus,

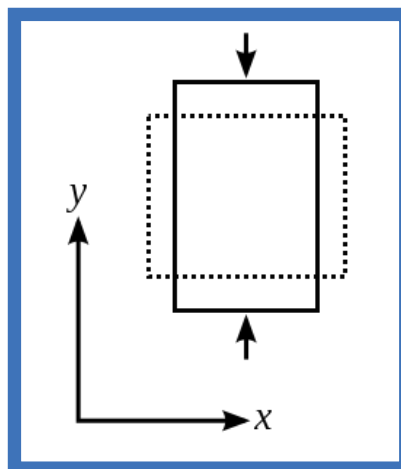
$\Delta\sigma$ – az alkalmazott feszültség változása,

$\Delta\epsilon$ – az egységnyi alakváltozás változása.

A másik mód a tangenciális rugalmassági modulus meghatározása

$$E_{\text{tan}} = \lim_{\Delta\epsilon \rightarrow 0} \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} = \frac{d\sigma}{d\epsilon}$$

A (μ) Poisson-tényező egy rugalmassági viszonzyszám, ami egy húzó igénybevételnek kitett test (próbatest) húzás irányában és az arra merőleges irányban mért alakváltozásának arányát fejezi ki. Az együtttható a francia fizikusról, Simeon Denis Poissonról kapta nevét.



A hossz tengelye mentén nyomásnak kitett test keresztirányú méretének növekedését is a Poisson-tényező határozza meg, mely esetben 0,5.

A Poisson-tényező értéke 0 és 0,5 között lehet, de az anyagok nagy részében, pl. acél esetében, 0,3.

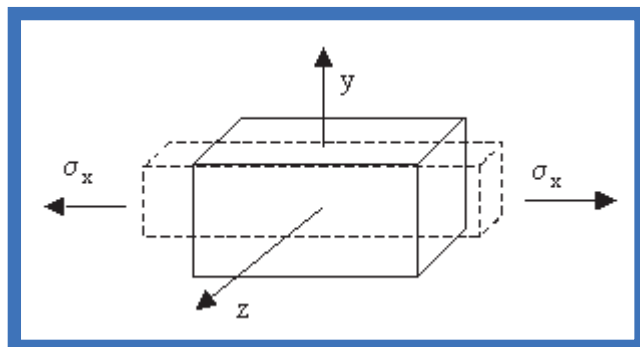
A Poisson-tényező dimenzió nélküli szám.

A Poisson-tényező a hossz és keresztirányú alakváltozás mértékének ismeretében a következő képlettel számítható ki:

$$\mu = \left| \frac{\epsilon_{\text{kereszt}}}{\epsilon_{\text{hossz}}} \right|$$

ahol az ϵ az alakváltozás.

A Poisson-együttható pontosabban úgy definiálható, mint a minden egyes anyag jellemző paramétere, mely az anyag által elszenvedett relatív keresztirányú alakváltozás és az alkalmazott erő irányában keletkező relatív alakváltozás viszonyát mutatja. „X” irányban alkalmazott húzóerő esetén „ ϵ_x ” az erő irányával azonos irányú relatív méretnövekedés, míg az erőre merőleges irányban ϵ_y és ϵ_z relatív méretcsökkenés következik be.



$$\mu = \left| \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \right| = \left| \frac{\epsilon_z}{\epsilon_x} \right|$$

Anizotróp anyagok

Augustin Louis Cauchy a Hooke-törvényt háromdimenziós rugalmas testekre általánosította és megállapította, hogy a hat húzó komponens egyenes arányban van a hat feszültségkomponenssel.

Általában 36 határozott komponens létezik. Azonban igazolható, hogy az anyagok sűrűségüktől függő mértékű feszültségenergiát megtartanak, és ennek eredményeként a merev és rugalmas összetevők szimmetrikusak. Ezért a Hooke-törvényben csak 21 merev komponens független. Az iparban használt anyagok nagy része ilyen.

Nem izotróp rugalmas anyagok esetében a mért Young-modulus nem ad konstans értékeket. Az azonban bizonyítható, hogy három rugalmas konstans létezik, az E_x , E_y és E_z . Így, a Young-modulus bármely irányban az alábbi képlettel számítható:

$$(E = L_x E_x + L_y E_y + L_z E_z)$$

Ahol: (L_x, L_y, L_z) annak az iránynak az iránykoszinusza, melyben a Young-modulus három egymásra merőleges irányhoz viszonyított mérése megtörtént.

A keresztirányban izotróp definíciója

Az anizotróp (ortotrop) anyagok egy speciális osztályába tartoznak azok az anyagok, melyek az egyik síkban (pl., az x-y síkban) azonos jellemzőkkel, míg erre a síkra merőleges irányban (pl. a z-tengelyben) eltérő jellemzőkkel rendelkeznek. Az ilyen anyagok neve keresztirányban izotróp anyag, és ezek az anyagok, a teljes mértékben anizotróp anyagok kilenc konstansa helyett csak öt független rugalmas konstanssal rendelkeznek.

A keresztirányban izotróp anyagok között megtalálható néhány piezoelektromos anyag is (pl. a PZT-4 bárium-titanát) és az olyan szálerősítésű kompozitok melyekben a szálak egymással párhuzamosak.

Az ultrahang szempontjából fontos anyagjellemzők

Sűrűség	Keménység	Kompressziós modulus
Képlékenység	Törésszilárdság	Poisson-tényező
Rugalmassági határ/Folyáshatár	Nyomószilárdság	Nyírási modulus
Húzószilárdság	Szakítási együttható	Young-modulus

Sűrűség

Mértékegysége: SI: Kg/m^3 ; cgs: g/cm^3 ; Imperial: lb/ft^3

A sűrűség a térfogat-egységenkénti tömeg jellemzésére használt mérőszám. Mérése ma is az Archimedes által alkalmazott módszerrel történik: tömegmérés a levegőben, és ismert sűrűségű folyadékban.

Young-modulus

Mértékegysége: SI: GPa ; cgs: 10^{10} din/cm^2 ; Imperial: 10^6 psi

„E” Young-modulus, húzás, vagy nyomás során a szakítódiagram lineáris szakaszának dőlésszöge. Izotróp anyagok esetében az alábbi képlet szerint összefügg a „K” kompressziós modulussal és a „G” Nyírási modulussal.



$$E = 3 (1 - 2 \mu) K$$

$$E = 2 (1 + \mu) G$$

ahol: a μ a Poisson-tényező. A μ általában = 1/3, ezért:

$$E = K \quad \text{illetve} \quad E = (8/3) G$$

Nyírási modulus (keresztirányú rugalmassági modulus)

Mértékegysége: SI: GPa; cgs: 10^{10} dyne/cm²; Imperial: 10^6 psi

A nyírási modulus nyírási igénybevétel során a feszültség-alakváltozás görbe kezdeti lineáris rugalmas szakaszának hajlásszöge. Izotróp anyagok esetében az alábbi képlet szerint összefügg az „E” Young-modulussal, a „K” kompressziós modulussal és a „ μ ” Poisson-együtthatóval:

$$G = \frac{3 (1 - 2 \mu)}{2 (1 + \mu)} K$$

ahol a $\mu = 1/3$, $G = (3/8) E$, és $G = (3/8) K$.

Poisson-együttható

Mértékegység: Dimenziómentes

A μ Poisson-együttható a laterális és az egytengelyű igénybevételek aránya, tengelyirányú terhelés alatt. Értéke számos szilárd anyag esetében 1/3. Elastomerek esetében éppen csak 0,5 alatt van.

2.2 HULLÁMOKKAL KAPCSOLATOS FOGALMAK – HULLÁMFAJTÁK

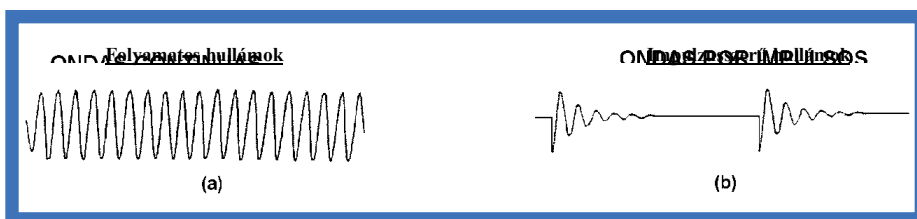
Hullámkibocsátás

A hullámok gerjesztése lehet folyamatos, vagy impulzusszerű.

Folyamatos hullámok (a): Főleg a rezonancia-technikában alkalmazhatók.

Impulzusszerű hullámok (b): Ezek gerjesztése változtatható intervallumokban történik.

Az impulzus időtartama mikroszekundum, míg az impulzusok közötti idő milliszekundum nagyságrendű.



A különböző hullámterjedési módokat a hullám terjedési sebessége és a rugalmas médiumban mozgó részecskék oszcilláló mozgásának iránya határozza meg.

Az ultrahangos vizsgálatok során gyakrabban alkalmazott hullámtípusok az alábbiak:

- ◆ Longitudinális (hosszirányú, vagy nyomáshullám);
- ◆ Transzverzális (keresztirányú, vagy nyíróhullám);
- ◆ Felületi (Rayleigh-hullám);
- ◆ Lemez (Lamb-hullám); és
- ◆ Kúszóhullám.

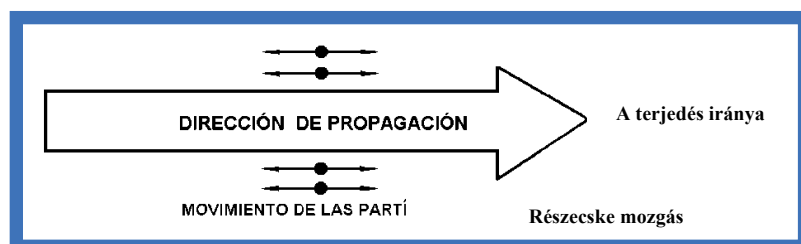
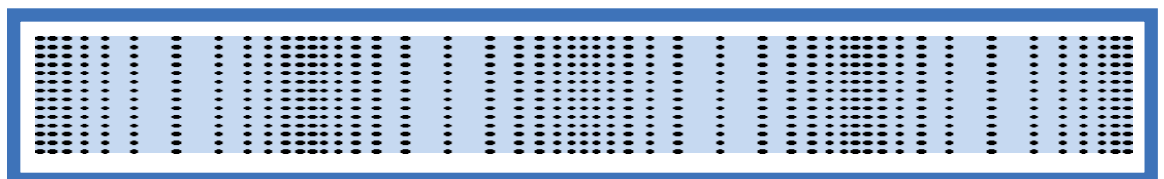
Longitudinális hullámok (kompresszió/nyomás/sűrűség)

Kompressziós, illetve nyomáshullámként is ismert longitudinális hullámok akkor keletkeznek, amikor a részecskék mozgásának iránya azonos a hullám terjedésének irányával.

A terjedés iránya (hangterjedés)



Az oszcilláció (a részecske mozgás) iránya



A hullám hosszirányú sebessége az anyagban az alábbiak ismeretében lehetséges

E = Young-modulus

ρ = Az anyag sűrűsége

μ = Az anyag Poisson-együtthatója

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}}$$



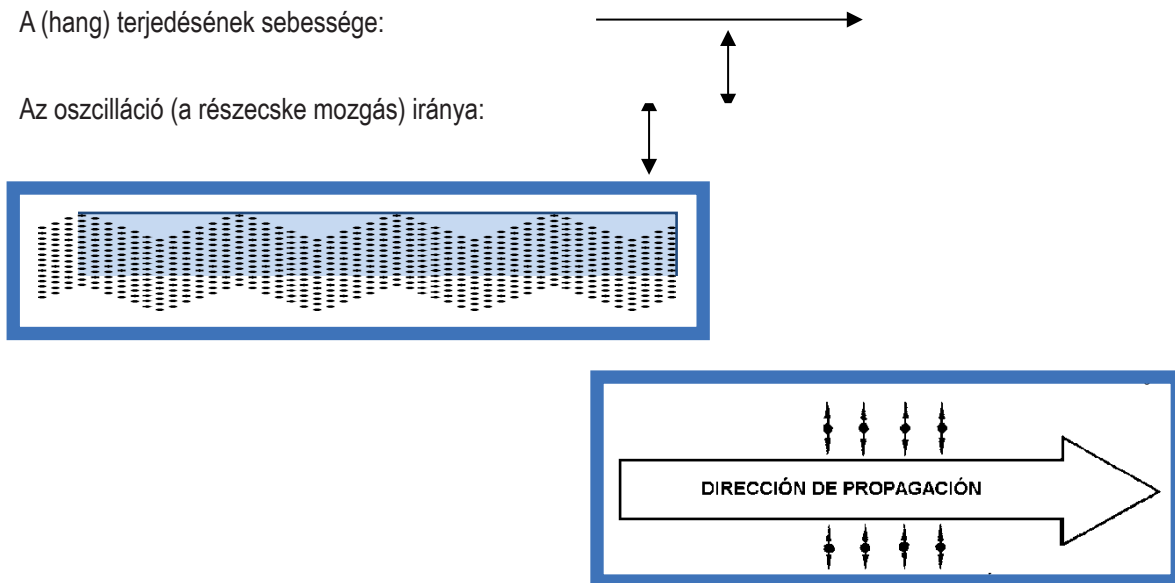
Ezek a hullámok szilárd, és folyékony anyagban jól terjednek, gázokban frekvenciától függően korlátozottan. A terjedés sebessége függ a közegtől. A lemezekben lévő rétegződés ellenőrzésére, valamint a rúd, buga és lemez anyagokban lévő zárványok helyének és méretének meghatározásában használatosak.

Transzverzális hullámok (nyíróhullámok)

A nyíróhullámként is ismert transzverzális, vagy keresztirányú hullámok ott fordulnak elő, ahol az anyag részecskéinek mozgási iránya merőleges a hullámterjedés irányára.

A (hang) terjedésének sebessége:

Az oszcilláció (a részecske mozgás) iránya:



A transzverzális, vagy más néven nyíróhullám CT sebessége az alábbi egyenletek segítségével számítható:

$$C_T = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}} \Rightarrow C_T = \sqrt{\frac{1-2\mu}{2(1-\mu)}} \Rightarrow C_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

ahol: G = az anyag nyírási modulusa

ρ = az anyag sűrűsége

μ = az anyag Poisson-együtthatója

Ezek a hullámok csak szilárd anyagokban terjednek. A hullámok terjedési sebessége ebben az esetben is a közegtől függ, de azonos anyagokban jellemzően a kompressziós hullámok terjedési sebességének hozzávetőlegesen a fele. Ezt a hullámfajtát széles körben alkalmazzák hegesztések ellenőrzésére, különösen az olyan helyeken, ahol a varrathoz való hozzáférés korlátozott.

Mivel a λ hullámhossz egyenesen arányos a terjedési sebességgel, az 5 MHz frekvenciájú transzverzális hullám hossza megközelítőleg az 5 MHz-es longitudinális hullám hosszának a fele. Így, a nyíróhullámú vizsgálofejek, apróbb folytonossági hiányok esetében érzékenyebbek lehetnek, mint a kompressziós hullámúak.

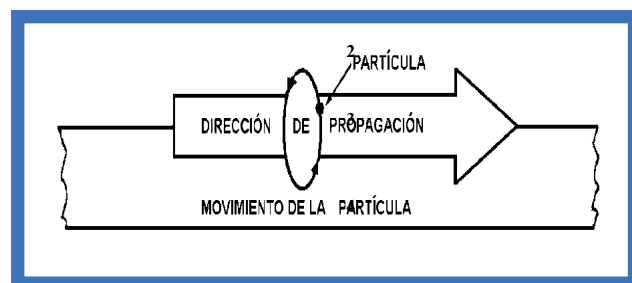
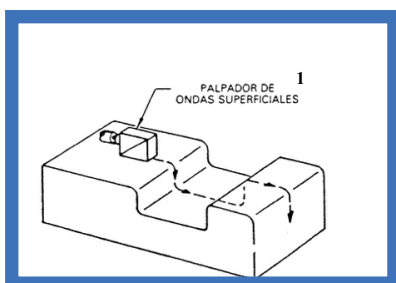


$$\left. \begin{array}{l} C_L = f \times \lambda \\ C_T \approx 0,5 C_L \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{\lambda_T \approx 0,5 \lambda_L}$$

ANYAG	C_L (m/s)	C_T (m/s)	Z ($10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$)
Acél	5920	3240	46,488
Alumínium	6320	3130	17,210
Perspex	2730	1430	3,186
Víz	1480	-----	1,482

Felületi, lemez- és a kúszóhullámok

A Rayleigh-hullámként is ismert **felszíni** hullámoknak egy, több hullámhossz mélységig az anyag-felszín alatt terjedő ellipszis hullámformájuk van.



1 = Felszíni hullám szonda/2 = Részecske/3 = A hullámterjedés iránya/4 = Részecske mozgás

A részecskék mozgása a longitudinális és a transzverzális irányú hullámok kombinációjaként elliptikus, és a felszín alatt egy λ hullámhossz mélységben történik. A terjedési sebesség jellemzően az ugyanabban az anyagban terjedő transzverzális terjedési sebességnek a 90%-a. A felszíni hullámok elsődleges alkalmazási területe a felszíni folytonossági hiányok felderítése. A vizsgálandó felszínnek azonban simának és síknak kell lennie, mivel a felszínen lévő egyetlen kis csatolóanyag csepp is hullámterjedési zavart, és a képernyőn repedésként értelmezhető jeleket (visszhangot) okozhat.

$$\left. \begin{array}{l} C_L = f \times \lambda \\ C_S \approx 0,9 C_T \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{\lambda_S \approx 0,9 \lambda_T}$$



A Lamb-hullámként is ismert lemez hullámok a teljes keresztmetszetükben rezgő vékony lemezekben jönnek létre. Ezek a hullámok a vékony (jellemzően 6 mm-nél kisebb vastagságú) lemez anyagok vizsgálatában, rétegződés és zárványok felderítésére használatosak.

A Lamb-hullámok akkor jönnek létre, amikor a (szilárd) anyag vastagsága a hullámhosszal azonos nagyságrendű (ebben az esetben a felszíni hullám nem jöhet létre).

E hullámtípus terjedési sebessége nem tekinthető anyagjellemzőnek. Az anyagvastagságtól, a hullámaltól és a frekvenciától függ.

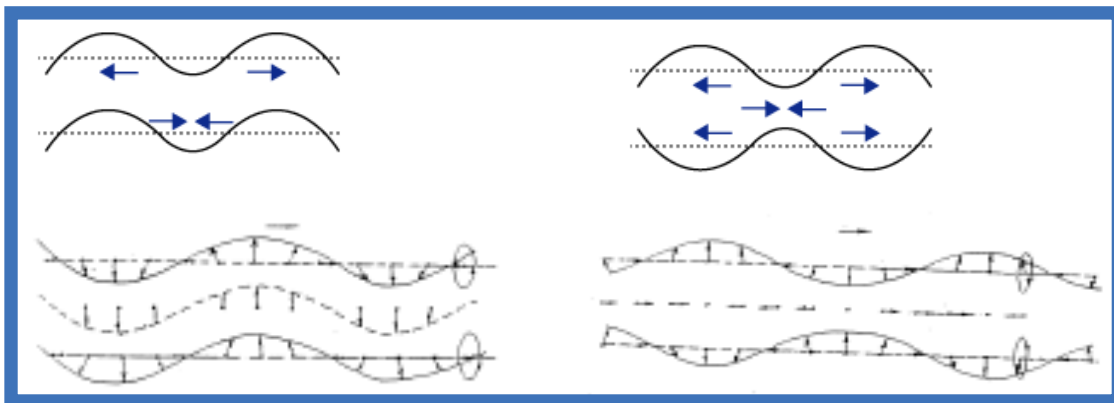
Ezek a hullámok a felületre merőleges részecske oszcillációs komponenssel is rendelkeznek.

Két alapmodus ismert:

- ◆ Asszimmetrikus, vagy flexiós hullám (keresztirányú rezgés módus).
- ◆ Szimmetrikus, vagy tágulási hullám (hosszirányú rezgés módus).

1) Asszimmetrikus hullám

2) Szimmetrikus hullám



A **kúszó**, vagy ferde kompressziós hullámok erősen megtört hullámok, melyek közvetlenül a vizsgált felület alatt terjednek. Ezek a hullámok a felületi, vagy a felülethez nagyon közeli síkbeli folytonossági hiányok észlelésére szolgálnak. Mivel a kúszóhullámok közvetlenül a felszín alatt haladnak, a felszínhez közeli folytonossági hiányokkal létrejövő kölcsönhatás, módosított hullámformájú, nyíróhullámok kibocsátását eredményezi. A ferde kompressziós hullámok, vagy kúszóhullámok csökkent amplitúdójának köszönhetően, a hullámok gyorsan csillapodnak és csak egy viszonylag szűk (40–50 mm) tartományban használhatók hatékonyan.

Emiatt ezek a hullámok normál esetben csak bizonyos területeken, pl. hegesztési varratok kúpos belső elkeskenyedő részének ellenőrzésére alkalmazhatók, ahol a vizsgálófej nem helyezhető el a vizsgálandó terület közvetlen közelében. Nagy hullámhosszuk miatt, a legnagyobb terjedési sebességű hullámok az ellenőrzendő felületre összpontosulnak, és így sem csatolóanyag alkalmazása, sem felületelőkészítés nem szükséges, mint ahogy ezt a felszíni hullámok esetében nem szabad elfelejteni.

A közeg rugalmassági és mechanikai jellemzőit az atomok közötti kötés jellege, valamint a rezgés módja határozza meg. A nagyfrekvenciájú ultrahangok legkönnyebben nagy szilárdságú szerkezeti anyagokban, pl. acélban, alumíniumötvözetekben, öntöttvasban, stb. terjednek. A hangcsillapítás mértékének meghatározása szempontjából azonban az anyag metallurgiai állapota is fontos.

Példa: Mekkora az az elméletileg legkisebb reflektor, melyet egy 5 MHz frekvenciájú transzverzális hullámú vizsgálófej alumíniumban észlelni képes.

C_T (alumíniumban) = 3,111 mm/s $\times 10^6$

f (keresztirányú hullám frekvenciája) = 5 $\times 10^6$ Hz (ciklus/s) $\lambda = C/f$

$$\lambda = \frac{3,111 \text{ mm/s} \cdot 10^6}{5 \times 10^6 \text{ c/s}} = 0,62 \text{ mm}$$

Mivel az elméletileg legkisebb visszaverő felület $\lambda/2$ -vel egyenlő, ezért a fentiek szerint meghatározott hullámhossz egy 0,62/2, azaz 0,31 mm-es minimális, elméletileg észlelhető folytonossági hiányt eredményez.

A legkisebb észlelt visszaverő felület mérete = 0,31 mm.

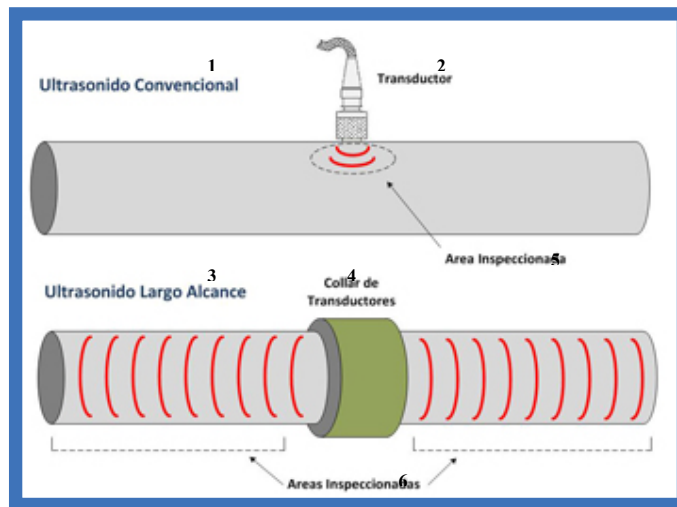
Megjegyzés: A hanggyengülés, a hangnyaláb széttartása, és a szemcsetényező miatt ez az elméleti határ nem mindig teljesül.

Az irányított hullám terjedési elve

Alapelvek

Az irányított hullámokkal (vagy nagy hatótávolságú ultrahanggal) végzett vizsgálat, csövek anyagvesztés ellenőrzésére használt, nem hagyományos jellegű, roncsolásmentes vizsgálat. A hagyományos ultrahangos vizsgálatokkal szembeni különbsége az, hogy az irányított hanghullámos vizsgálati rendszerben a vizsgálat a cső mindkét oldalán végighaladó kis frekvenciájú hullámokat kibocsátó gyűrűs szondával történik, ami hosszú szakaszok egyetlen pontból (vizsgálati helyszínről) való ellenőrzését teszi lehetővé.





1 = Hagyományos ultrahangos vizsgálat/2 = Szonda/3 = Nagy hatótávolságú ultrahang/4 = Gyűrűs szonda/5 = A vizsgált terület/ 6 = A vizsgált területek

A hagyományos ultrahang-technológia MHz nagyságrendű ultrahang hullámokat alkalmaz.

A nagy hatótávolságú ultrahangos technika a lemez hullámok, vagy a Lamb-hullámok előállításán és érzékelésén alapul, melyek frekvenciája a KHz-tartományba esik, és amelyek sajátos beesési szögű ultrahang sugarakként, (egy kellően finom felületű lemezben a felszíni hullámokkal kölcsönhatásban terjednek).

A hagyományos, kompressziós hullámok terjedése és az irányított hullámok terjedése közötti fő különbség az, hogy az irányított hullámok terjedéséhez határfelület szükséges.

Egy vékony lemez határfelületének köszönhetően, a szerkezeten belül számos különböző hullám verődik vissza és alakul át, majd erősítő és gyengítő interferenciával befolyásolt hullámokra szuperponálódva végül olyan egységesebb irányított hullámcsomagot eredményez, ami a szerkezetben terjedni képes.

Az irányított hullámok előállítására számos különböző technika áll rendelkezésre. Az előállítás lehetséges ferde besugárzás alkalmazásával is. Az ék és a vizsgálati darab határfelülete közötti sugártörés eredményeként, a szerkezet felületénél bekövetkező hangátalakulás és visszaverődés révén, a szerkezeten belül számos különböző hullám terjedhet.

Az irányított hullámok vizsgálati darabon belüli előállításának másik módja a fésűs szonda használata. A darabra, bizonyos osztásban számos olyan elemet helyeznek, melyek a különböző hanghullámokat egymáshoz képest fázisban, vagy eltérő fázisban a munkadarabra vezetik. Ez azt váltja ki, hogy az irányított ultrahang hullámenergia a szerkezeten belül mindkét irányban terjed. Az osztástávolság és a frekvencia megválasztása lehetővé teszi annak a hullámtípusnak kiválasztását, mely a munkadarabban ténylegesen továbbterjedni képes.

Az irányított ultrahang csőíveken kevésbé tud áthaladni, ezért azok vizsgálata korlátozott. Az asszimmetrikus hullámok csőíveken való áthaladásakor – a bekövetkező interferencia miatt – holtzónák alakulhatnak ki. A cső egyik vége körül több fázisvezérelt szonda elhelyezése esetén lehetőségessé válik a hanghullámok vezérlése és ezáltal, a szerkezeten belüli bármely kívánt pontra való fókusználhatóság biztosítása. Különösen fontos ez



akkor, ha a könyök és bizonyos csőszakaszok egyáltalán nem „láthatóak”, vagy a hagyományos szondák alkalmazásával elérhetetlenek.

Az irányított hullám másik alkalmazási területe betonba ágyazott acélszerkezetben is számításba vehető. A betonvizsgálatok miatti eltávolítása rendkívül drága. Az irányított hullám alkalmazása azonban lehetővé teszi az ultrahangenergia bevezetését az acélszerkezet mentén, minimális veszteséggel, így lehetőség nyílik az acélszerkezetben lévő esetleges korrózió vagy a repedések feltárására. Erre a célra horizontális transzverzális hullámok (EMAT) használatosak.

A villamosenergia iparban és a földalatti gázvezetékek vizsgálatában jelentkező másik probléma a kátránybevonattal védett szerkezetek ellenőrzésének lehetővé tétele. Az irányított hullámok ezt is lehetővé teszik.

Másrészt, az irányított hullámok felhasználhatók az ultrahangenergia bevonat alá küldésére, a hullámstruktúra komponens vastagságnak megfelelő beállításával. A megfelelő frekvencia, és a hangsebesség megválasztása, teszi ezt lehetővé.

Számos egyéb irányított hullámot alkalmazó vizsgálati lehetőség létezik. A felszínközeli információk beszerzésére, a szerkezet felszíne mentén haladó irányított szivárgó hullámokat használó letapogató akusztikai mikroszkópos eljárás alkalmazható. A hullámfajták némelyike a varrathibákra érzékeny, míg mások nem. A hullámfajták közötti amplitúdó-arány egyszerű vizsgálata így lehetővé teszi az acélszerkezet minősítését.

Sebességmérés és szóródás

Az anyagra jellemző sebesség pontos mérése érdekében az adott anyag vastagságának pontos ismerete és rendkívül pontos (futás)időmérési módszer szükséges. A modern berendezések megfelelnek ezeknek a feltételeknek, de figyelembe kell venni, hogy az anyag anizotrópiája is befolyásolhatja a mérést.

Ha egy anyagban az anyag metallurgiai felépítésével összefüggő kötés a különböző irányú különböző síkokban eltér, akkor a mért sebesség szintén irányonként változhat. Az egyszerű köbös anyag-szerkezet izotrópikus, így a három irányban azonos terjedési sebességgel rendelkezik. A térben közép-pontos hatszög szerkezet (pl. az alumínium) azonban anizotrópikus lesz, és a mért sebesség is ennek megfelelően irányonként különböző lesz.

Szóródás

- a. Egy komplex hullám frekvenciától, vagy hullámhossztól függő, komponensekre való szétesése.
- b. A látható fény alkotó színekre való felbomlása fénytöréskor, vagy visszaverődéskor.

A szóródás, amikor például egy prizma a fényt a szivárvány színeire bontja, a hullámmozgás egyik általános jelensége, ami bármely hullámterjedés esetén előfordulhat. Az üvegen áthaladó fényhullámok és a fémszerkezetekben haladó ultrahang hullámok esetén is.



A szóródás egy hullám pl. az ultrahang-energia rövid impulzusaiban bekövetkező frekvenciaváltozással együtt járó sebességváltozása. Az ultrahang-impulzus két részből áll: az alaphullámok, vagy oszcillációk, és az impulzusnak alakot adó burkológörbe.

A burkológörbe harang alakú, vagy normál eloszlású. Az impulzus két részének saját eltérő sebessége lehet. A szóródás definíciójában említett sebesség az alaphullám sebessége. A burkológörbe sebessége a csoport sebességeként ismert, mely a burkológörbe csúcsának (maximális magasságának, vagy amplitúdójának) követésével mérhető.

Ha semmilyen szóródás nincs, akkor a csoport sebessége és a hullámok sebessége azonos. Ha a szóródás pozitív, akkor a csoport sebessége nagyobb, mint a hullám sebessége. A szóródás csillapodással jár, mely a közegbe behatoló hullámok amplitúdójának csökkenését jelenti. Az amplitúdó-csökkenés és a szóródás egymással összefüggő dolgok, és néhány speciális eset kivételével egyik sem létezhet a másik nélkül. A nagy csillapodás erős szóródással jár.

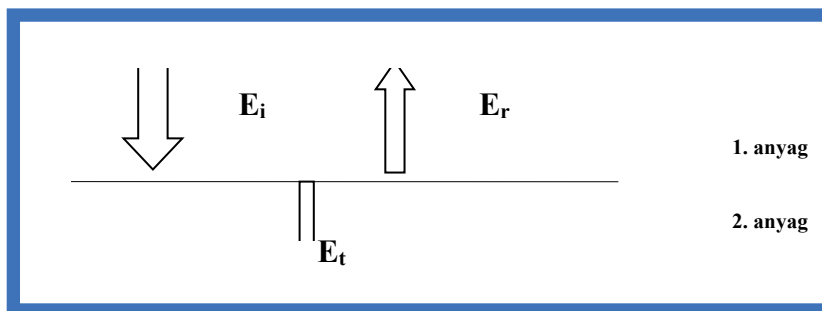
Az ultrahangsebesség mérésének alternatív eszköze a fizikai állandók táblázatában szereplő adatok használata, bár ezek az adatok a szóródást és az anizotrópiát nem veszik figyelembe.

2.3 TÖRÉS ÉS VISSZAVERŐDÉS

Merőleges beesés

a) Az energiákból, vagy intenzitásból levezetve

A különböző anyagok határfelületére való derékszögű, azaz 90°-os beesése esetén, az ultrahang vagy továbbhalad, vagy visszaverődik. A két anyag hangimpedanciája (hanggal szembeni ellenállása) meghatározza a visszavert, vagy átvezetett hullámok relatív erősségét.



E_i = beesési energia / E_r = visszavert energia / E_t = átmenő energia

I_i = beesési hullámerősség / I_r = visszavert hullámerősség / I_t = átmenő hullámerősség.

A különböző impedanciájú két (1-es és 2-es) anyag határfelületére (a felületre merőlegesen) beérkező hullámenergia (E_i) visszavert (E_r) és átmenő (E_t) része az alábbiak szerint számítható.

Az energiamegmaradás elvét figyelembe véve: $E_i = E_r + E_t$.



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{E_i}{E_i} = \frac{E_r}{E_i} + \frac{E_t}{E_i} \\ \frac{I_i}{I_i} = \frac{I_r}{I_i} + \frac{I_t}{I_i} \\ R = \frac{E_r}{E_i} \quad / \quad T = \frac{E_t}{E_i} \end{array} \right\} \Rightarrow 1 = R + T$$

ahol:

R = Visszaverődési együttható

T = Átvezetési együttható

A visszaverődési és átvezetési együtthatók (az egyes anyagok ismeretében) az alábbi képlettel számíthatók:

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \\ T = \frac{4 Z_2 Z_1}{(Z_2 + Z_1)^2} \end{array} \right\} \Leftrightarrow T = 1 - R$$

A fenti egyenletekből az következik, hogy a visszavert és átmenő energiák értéke az E_i kezdeti energia 100%-ból százalékban (%) számítható.

$$E_i (100 \%) = E_r (\%) + E_t (\%) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R = \frac{E_r}{E_i} \rightarrow E_r (\%) = R \times E_i (100\%) \\ T = \frac{E_t}{E_i} \rightarrow E_t (\%) = T \times E_i (100\%) \end{array} \right.$$

Az akusztikai energiából, vagy intenzitásból levezetve, a különböző Z_1 és Z_2 impedanciájú anyagok közötti fázishatárra beérkező hullám szögéből számítható visszavert és átvezetett hullámok százaléka az 1-es és a 2-es közegtől független állandó érték

A visszavert és átvezetett hangenergia százalékos értéke az előbbi egyenlettel számítható. Az adóként és vevőként választott aktív elem csatlóási hatásfoka azonban az akusztikai impedanciát is befolyásolja.

Minél közelebb van az adó/vevő valamint a vizsgált test akusztikai impedanciája, annál nagyobb a fázishatáron átlépő ultrahang százalékos értéke.

A visszavert hullámok százalékos értéke csak merőleges beérkezésére vonatkozik. Ferdeszögű beérkezés esetén az összefüggés bonyolultabbá válik.



b) Hangnyomásból levezetve

A P_r visszavert nyomás és a P_t átmenő nyomás számításához figyelembe kell venni, hogy:

$$\boxed{P_i + P_r = P_t} \quad \leftarrow \quad \boxed{\frac{P_i}{P_i} + \frac{P_r}{P_i} = \frac{P_t}{P_i}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow \\ 45 \end{array} \right. \Rightarrow \boxed{1 + R' = T'}$$

$$\boxed{R' = \frac{P_r}{P_i} \quad / \quad T' = \frac{P_t}{P_i}}$$

Az R' visszaverődési együttható és a T' átvezetési együttható (az egyes anyagok impedanciájának ismeretében történő) számításához szükséges egyenlet a következő:

$$\boxed{R' = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}} \quad \boxed{T' = \frac{2 Z_2}{Z_2 + Z_1}}$$

A fenti egyenlettel a visszavert és az átvezetett nyomás a P_i kezdeti nyomás 100%-ából százalékos értékben számítható.

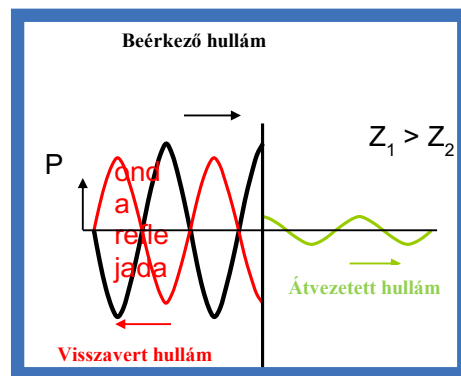
$$\boxed{P_i (100 \%) + P_r (\%) = P_t (\%)} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \boxed{R' = \frac{P_r}{P_i}} \rightarrow \\ \boxed{T' = \frac{P_t}{P_i}} \rightarrow \end{array} \right.$$

Mivel a hangnyomás arányos a visszhang magasságokkal, az 1-es és a 2-es közeg közötti összefüggésnek olyanak kell lennie, hogy a $Z_1 < Z_2$ feltétel teljesüljön, és így a 2-es anyagra ható átmenő hangnyomás eléggé nagy legyen ahhoz, hogy a képernyőn nagy amplitúdójú visszhang jelet generáljon (lásd a 2. esetet).

1 ESET: $Z_1 > Z_2$

Az érték, vagy az R' negatív, ami azt jelzi, hogy a beérkező hullám és a visszavert hullám nincsenek fázisban.

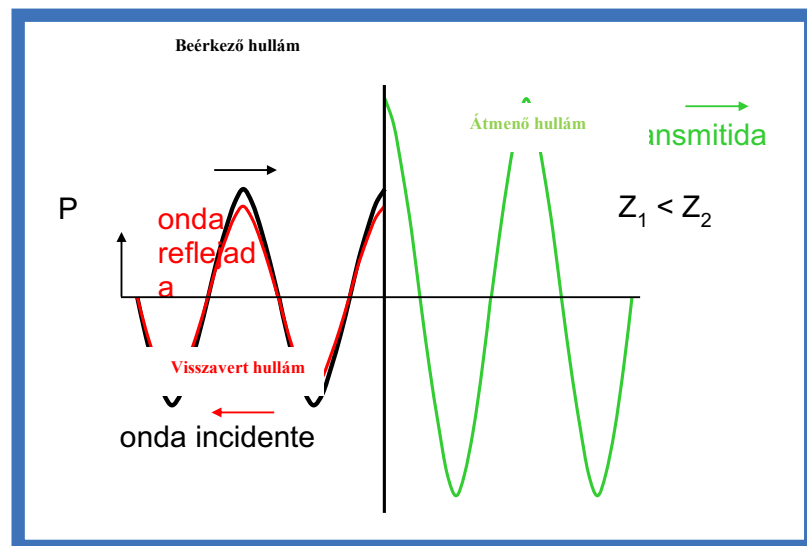
A T' átvezetett hullám kisebb, mint a kezdeti hullám.



2. ESET: $Z_1 < Z_2$

Az R' értéke pozitív, ami azt jelzi, hogy a beérkező hullám és a visszavert hullám fázisban vannak.

A T' átvezetett hullám szintén fázisban van a beérkező hullámmal, de amplitúdója nagyobb, mint 1 (nagyobb, mint 100%).



Gyakorlat: Egy alumíniumlap mérítéses vizsgálata alatt a vízbe sugárzott kezdeti hang hány százaléka megy át a vízen a szondához, miután egyszer áthaladt a vizsgálati anyagon? (Az energiák szempontjából).

Ebben az esetben, a sugár alumíniumba való belépésénél egy víz/alumínium határfelületről, a hátfalról való visszaverődés után egy alumínium/víz határfelületről és végül, a rezgőhöz visszaérkező sugár esetében alumínium/víz határfelületről beszélünk.

Minden egyes határfelületen átvezetés, és visszaverődés is bekövetkezik. Az első határfelületnél a hang behatol az alumíniumba, aztán az alumínium túlsó falán visszaverődik, majd határfelületen át átmegy a vízbe.

Az egyes anyagok akusztikai impedanciája a következő:

$$Z_{\text{víz}} = 1,482 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

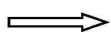
$$Z_{\text{alumínium}} = 17,210 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$



A víz/alumínium határfelületen visszavert E_r energia %-os értéke így:

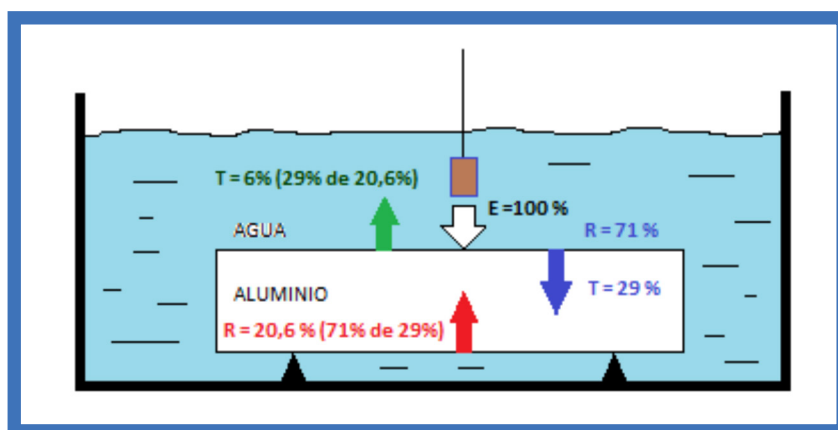
$$E_r \% = \frac{(17,21 - 1,482)^2}{(17,21 + 1,482)^2} \times 100 = \frac{247,39}{349,39} \times 100 \approx 71 \%$$

$$T \% = 100 \% - R \%$$



$$T \% \approx 29 \%$$

$$R \% \approx 71 \%$$



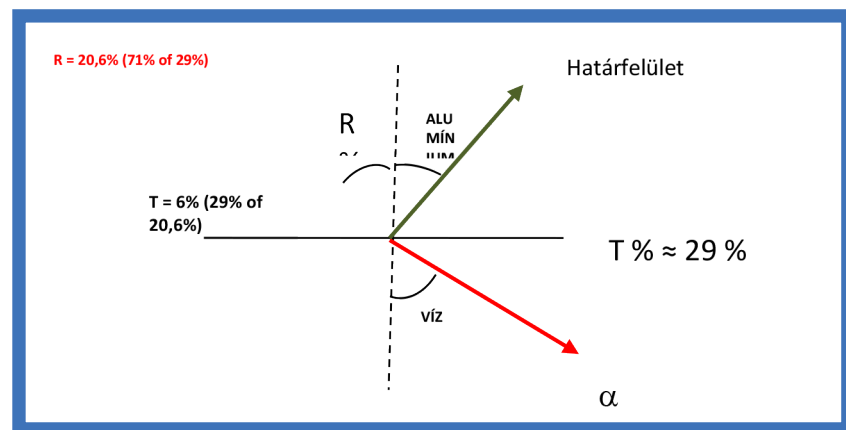
Az első példában (alumínium/víz) így, 29% megy át az alumíniumba. Aztán ennek a 29%-nak a 71%-a, azaz 20,6% visszaverődik vissza a hátfalról. A 20,6% 29%-a, azaz a beérkező energia 6%-a végül újra belép a vízbe.

(A víz/acél határfelületen a szondához visszaérkező energia mennyiség, ugyanezen határfelületek után 1,26%.)

Ferdeszögű beesés

Ha egy hanghullám a merőlegeshez képest egy meghatározott szögben érkezik be két anyag közötti határfelületre, akkor egy része visszaverődik, míg a másik része átvezetődik a másik anyagba. A másik anyagba átvezetett hullám terjedési iránya, az 1-es és a 2-es anyag közötti sebességkülönbségnek köszönhetően megváltozik – hullámtörés:





α = beesési szög

β = törési szög

Φ = visszaverődési szög

C_1 = sebesség az 1-es anyagban

C_2 = sebesség a 2-es anyagban

Összefoglalva: ha a beérkező hullám a felülettel α szöget zár be, akkor:

- i. a hullámok egy része ugyanabban a szögben visszaverődik ($\alpha = \Phi$)
- ii. a hullámok másik része a másik anyagban β szögben törve halad tovább.

Snell-törvény

A hang 1-es és 2-es anyagban (C_1 and C_2) elért sebességének függvényében, a beesési, visszaverődési és törési szög a Snell-törvény értelmében összefügg, (figyelembe véve a hangátalakulásokat is).

Általában:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \Phi}{\sin \beta} = \frac{C_1}{C_2}$$

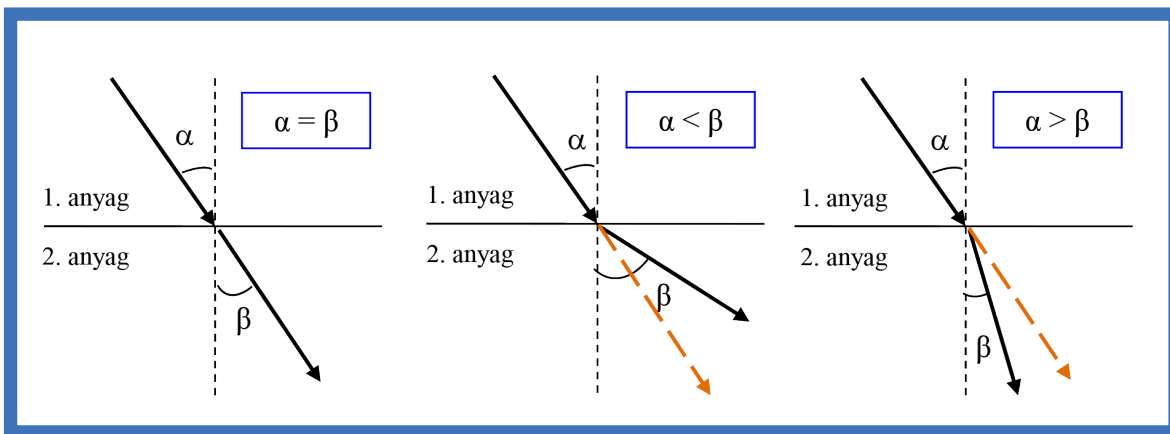
A Snell-törvény alkalmazásával az alábbi esetek figyelhetők meg:

1. eset: $C_1 = C_2$

2. eset: $C_1 < C_2$

3. eset: $C_1 > C_2$





Példa: Egy vízben terjedő longitudinális hullám a merőlegestől számított 5° -os szögben alumínium felületre érkezik. Milyen törési szöggel halad tovább az alumíniumban? (longitudinális hullám törési szöge).

1. anyag = víz, C_L vízben = $1,482 \text{ mm/s} \times 10^6$

2. anyag = alumínium, C_L alumíniumban = $6,374 \text{ mm/s} \times 10^6$

Beérkezési szög $\alpha = 5^\circ$

Törési szög β_L = ismeretlen

$$\frac{\sin 5^\circ}{\sin \beta_{RL}} = \frac{1,482 \text{ mm/s} \times 10^6}{6,374 \text{ mm/s} \times 10^6}$$

$$\Rightarrow \sin \beta_{RL} = \frac{\sin 5^\circ \times 6,374}{1,482} = \frac{0,087 \times 6,374}{1,482} = \frac{0,555}{1,482} = 0,375$$

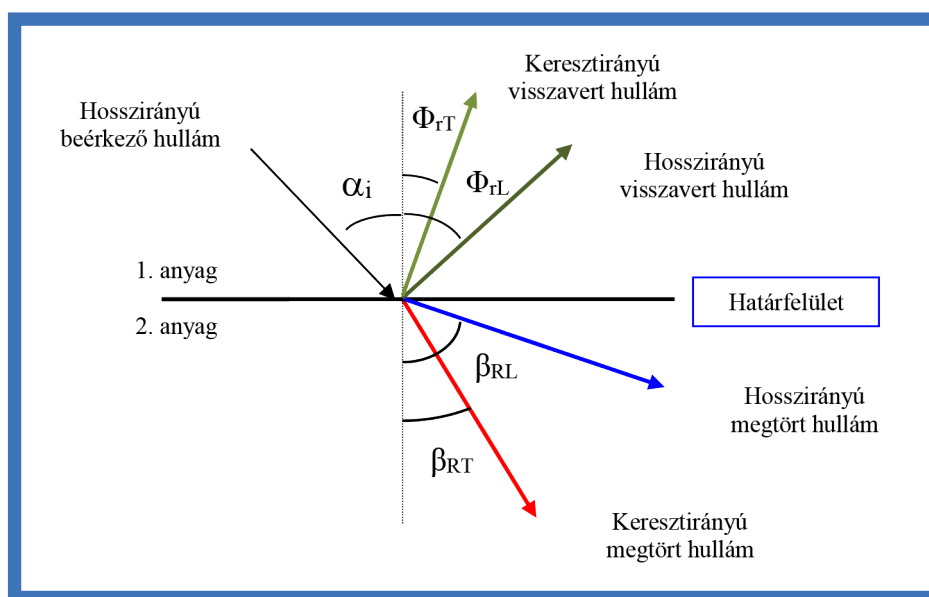
$$\Rightarrow \beta_{RL} = 22^\circ$$

Kritikus szögek, és a hangátalakulás (mode conversion)

Az eddigi egyszerű példa nem vette figyelembe azt a tényt, hogy ha egy longitudinális hullám az 1–2 határfelületre ferdeszögben érkezik be, akkor:

- ◆ A beérkező longitudinális hullám két hullámtípus formájában, egy visszaverődő longitudinális hullám ($\Phi_{RL} = \alpha_i$) és egy másik, hullámátalakulás után létrejött transzverzális hullám formájában verődik vissza az 1. anyag belsejébe. Különböző terjedési sebességüknek köszönhetően a két visszavert hullám szöge eltérő lesz.
- ◆ Valamint a beérkező longitudinális hullám két hullámtípus formájában, longitudinális, és transzverzális hullám formájában a 2. anyag belsejében megtörve halad tovább. Különböző sebességüknek köszönhetően a két átvezetett hullám törési szöge eltérő lesz.





A Snell-törvény alkalmazásához, és a hullám törési szögének számításához ismerni kell a transzverzális hullámok 2. anyagban elért sebességét.

Példa: A fenti példában, a hullámátalakulással létrejött transzverzális hullám milyen törési szög alatt halad tovább az alumíniumban?

1. anyag = víz, C_L vízben = $1,482 \text{ mm/s} \times 10^6$

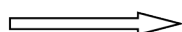
2. anyag = alumínium, C_T alumíniumban = $3,111 \text{ mm/s} \times 10^6$

Beesési szög $\alpha = 5^\circ$

Törési szög β_T = ismeretlen

$$\frac{\sin 5^\circ}{\sin \beta_{RT}} = \frac{1,482 \text{ mm/s} \times 10^6}{3,111 \text{ mm/s} \times 10^6}$$

$$\sin \beta_{RT} = \frac{\sin 5^\circ \times 3,111}{1,482} = \frac{0,087 \times 3,111}{1,482} = \frac{0,270}{1,482} = 0,186$$



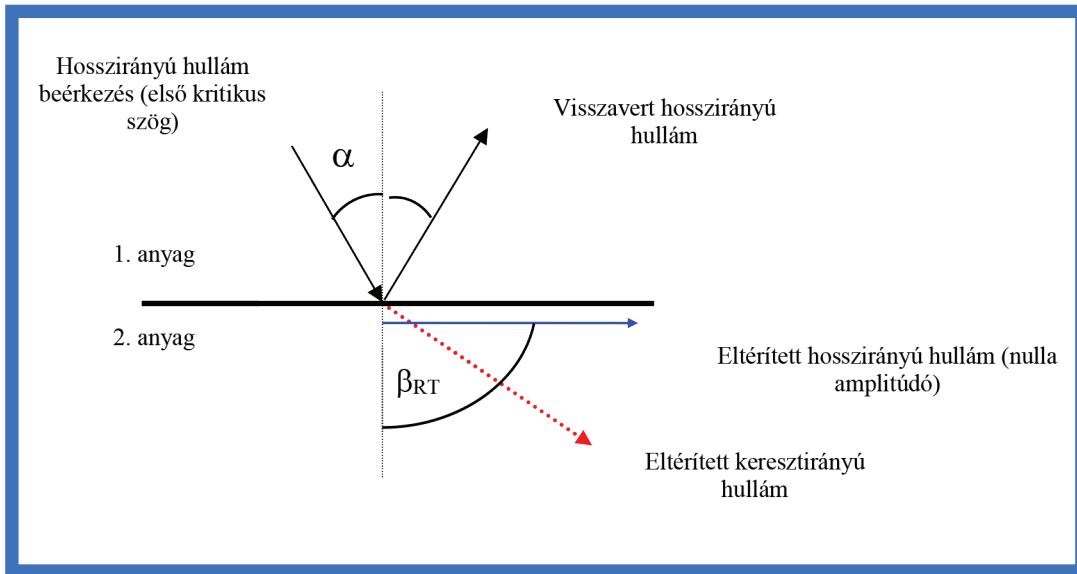
$$\beta_R 10,5^\circ$$

azaz, hozzávetőlegesen a longitudinális hullám törési szögének fele. Így előfordulhat az az eset is, amikor a longitudinális hullám 90° -ban törik, és csak a transzverzális hullám marad az anyagban.



Első kritikus szög

Ha a beesési szög nő, akkor a longitudinális hullám törési szöge egyre közelebb kerül, majd eléri a munkadarab felszínét (90°-os törés). Az ennél nagyobb beesési szögeknél a longitudinális hullám teljesen visszaverődik a határfelületről, és csak a transzverzális hullámok maradnak az anyagban. Az a beérkezési szög, melynél ez az állapot bekövetkezik, az első kritikus szög.



Az értékek minden anyagkombinációra kiszámíthatók. Például, a Perspex(plexi)/acél határfelületén a 27,4° beesési szög az első kritikus szög. Ez az acélban 33°-os transzverzális hullámot hoz létre.

Példa: Mennyi az első kritikus szög a Plexi/acél határfelületén? Mennyi a transzverzális hullám törési szöge ennél a beesési szögnél?

„A” anyag = Plexi; $C_L \text{ Plexi} = 2.7 \text{ mm/s} \times 10^6$

„B” anyag = acél; $C_L \text{ acélban} = 5.96 \text{ mm/s} \times 10^6$

Az α beesési szög = ismeretlen

A β törési szög = 90°

$$\frac{\sin \alpha}{\sin 90^\circ} = \frac{2.7 \times 10^6}{5.96 \times 10^6} = 0.453$$

Ezért, $\alpha = 26.93^\circ$

Az első kritikus szög (az a szög, melyben az longitudinális hullám törési szöge 90°, és az amplitúdója nulla) ismeretében már lehetséges a transzverzális hullám törési szögének számítása.



„A” anyag = Plexi; C_L Plexiben = $2.7 \text{ mm/s} \times 10^6$

„B” anyag = acél; C_T acélban = $3,235 \text{ mm/s} \times 10^6$

Az α beérkezési szög = 27.4°

A β eltérülési szög = ismeretlen

$$\frac{\sin 27.4^\circ}{\sin \beta_{RT}} = \frac{2.7 \times 10^6}{3.235 \times 10^6} = 0.8346$$

$$\sin \beta_{RT} = \frac{\sin 26.9^\circ}{0.8346} = \frac{0.483}{0.8346} = 0.578$$

$$0.8346$$

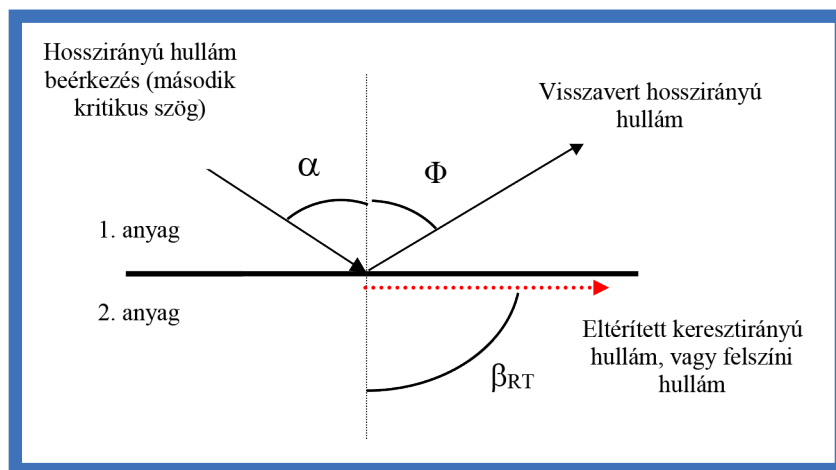
$$0.8346$$

Így, $\beta_{RT} = 35.36^\circ$

Azonban, a hang szóródása miatt, a transzverzális hullám gyakorlati határa (a legkisebb szög) acélban 38–40 fok.

A második kritikus szög

A beesési szög további növelése egy olyan törési szög eléréséhez vezet, melyben a transzverzális hullám szintén a felszínre érkezik. Az ezt kiváltó beesési szög a második kritikus szög.



Ebben a pontban a nyíróhullám további hullámátalakuláson megy át, és felszíni Rayleigh-hullámmá alakul, melynek sebessége a keresztirányú hullám 90%-a.

Gyakorlati okok miatt, a felszíni hullámok keletkezésének elkerülése érdekében, vékonyfalú hegesztések vizsgálatához normál esetben maximálisan 70° eltérítési szöget kell alkalmazni, bár 80° -os vizsgálófejek is rendelkezésre állnak.



Összefoglalás:

1. A standard szondaszögek normál esetben (35° , 45° , 60° and 70°).
2. Ezek a szögek acélra vonatkoznak. Eltérő sebességű más anyagokban a törési szögek eltérnek ettől a névlegestől.
3. Az első kritikus szög a hosszirányú hullámok 90° -os eltérítését okozza.
4. A második kritikus szög a nyíróhullámok 90° -os eltérítését okozza, és felszíni hullámokat hoz létre.

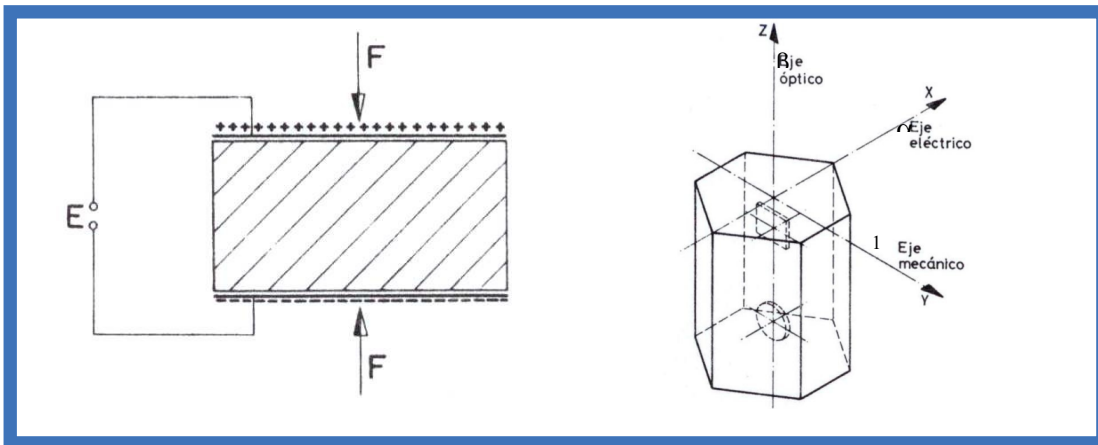
A Snell-törvény a beesési szög és a törési szög, valamint a beeső hullám sebességének és az törőhullám sebességek összefüggését mondja ki. (Ez vonatkozik a visszavert hullámokra is, figyelembe véve az azok típusának megfelelő hangsebességet).

2.4 ULTRAHANGOK GERJESZTÉSE ÉS ÉRZÉKELÉSE

Piezelektromos hatás

Az ultrahang-vizsgálati rendszerek az ultrahanghullámok gerjesztésére és érzékelésére a piezelektromos jelenséget használják fel.

A **piezelektromosság** bizonyos kristályokra jellemző jelenség, melyek mechanikai terhelés hatására tömegükben elektromosan polarizálódnak, ami a kristályok felszínén feszültségkülönbség formájában jelenik meg. Ez a jelenség ellenkező irányban is működik, azaz elektromos mező hatására a kristályban belső erők keletkeznek, és a kristály alakváltozását okozzák. A piezelektromos hatás reverzibilis. A külső feszültség, vagy villamos mező megszűnésekor a kristály visszanyeri eredeti alakját.



$Z = \text{Optikai tengely} / X = \text{Villamos tengely} / Y = \text{Mechanikai tengely}$

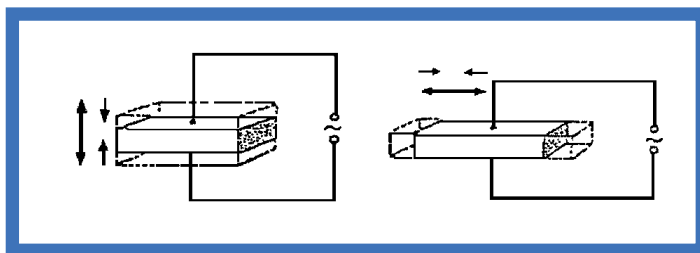
Annak elérése érdekében, hogy egy anyag piezelektromos jellemzőkkel rendelkezzen, az anyagot szimmetria központ nélküli és így pólustengellyel rendelkező kristállyá kell alakítani. A maradandóan polarizált anyag, mint pl. a kvarc (SiO_2), vagy bárium-titanát (BaTiO_3) mechanikai terhelés okozta mé-



retváltozás hatására elektromos mezőt hoz létre, vagy a piezoelektromos jellemzőkkel rendelkező szilárd test két felületén alkalmazott feszültségkülönbség hatására mechanikai alakváltozáson megy át. Az ilyen jellemzőkkel bíró anyagokat nevezzük piezoelektromos anyagoknak.

Az ultrahang előállítás (inverz, vagy reciprok piezoelektromos hatás): az anyag alakváltozása a felületeire kapcsolt villamos feszültség hatására.

Az ultrahang vétele (közvetlen piezoelektromos hatás): villamos feszültség megjelenése az anyagra ható mechanikai nyomás hatására.

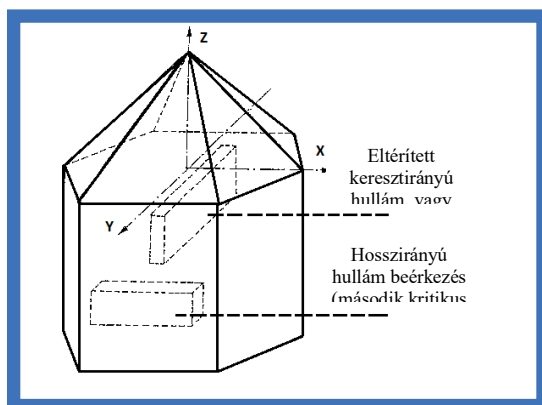


A „Z” tengely az optikai tengely.

Az „X” tengely a villamos tengely, míg az „Y” tengely a mechanikai tengely.

Az „X” tengelyre merőleges réteg hosszirányú hullámokat generál.

Az „Y” tengelyre merőleges réteg keresztirányú hullámokat generál.



A piezoelektromos hatást az Curie testvérek fedezték fel 1880-ban. A piezoelektromosság bizonyos kristályokban, pl. a kvarcban, turmalinban, Rochelle-sóban és kerámia anyagokban jelenik meg.

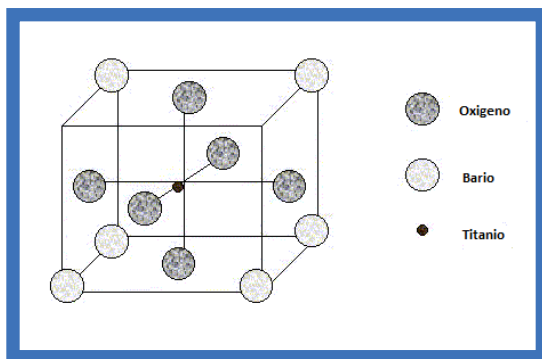
Ferroelektromosság, vagy elektrostrikció

A Rochelle-sót eredetileg gyógyszerekben enyhe hashajtóként használták. A Rochelle-só kristályai könnyen beszerezhetők, és piezoelektromos eszközként használhatók, pl. kristálmikrofonokban, vagy lemezjátszók tűszerkezetében.

A történelem folyamán a ferroelektromosságot a piezoelektromosság és a piroelektromosság után fedezték fel. A BaTiO_3 kerámiát (bárium-titanátot) B. Wul és I. M. Goldman fedezte fel. Az alkalmazások terén a nagyon erős piezoelektromos reakcióval és nagy remanens ferroelektromos polarizációval jellemezhető ólom-cirkonát-titanát – $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{TiO}_3)$, vagy PZT – felfedezése hozott jelentős előrelépést. Az ólomalapú anyagok azóta e terület domináns vegyületeivé váltak.

Ferroelektromosság nem más, mint bizonyos anyagok permanens villamosmező-tárolási képessége (a ferroelektromos anyagok képesek bizonyos polarizáció megtartására a villamos mező megszűnése után is). Ez a jelenség a mágneses mező ferromágneses anyagok általi tárolásához hasonlít.

A BaTiO_3 kerámiát ferroelektromos elemek, laboratóriumban, erős villamos mező alkalmazásával történő készítésére használják, mely tartós elektromos dipólusokat hoz létre. A forma a kezeléstől függ, mivel a Ti atom túl kicsi ahhoz, hogy kötést létrehozó kapcsolatba kerüljön a környező oxigén atomokkal és úgy elcsúszhat, hogy ezek közül csak hárommal érintkezik, és egy dipolús fészket hoz létre. A ferroelektromos anyagok megütése rendkívül nagy, kétcsúcsos (egy csúcs az összenyomás és egy a visszaugrás hatására) feszültséget (de kis áramot) hoz létre.



Az elektrostrikció a piezoelektromosságtól eltérő hatás, melynek során a mechanikai alakváltozás polarizációt vált ki. Ez számos anyagban megfigyelt, de a piezoelektromos hatásnál általában gyengébb jelenség. Az alakváltozás nagysága a villamos mező négyzetétől függ.

A négyzetes függőség miatt, a mező előjelének (a piezoelektromossággal szemben) nincs jelentősége. Fordított hatása *nincs* – az alakváltozás nem hoz létre villamos mezőt.

Az elektrostrikció rendkívül kis alakváltozások ellenőrzött módon való kiváltására használható, de valójában nem igazán alkalmazzák.

Magnetostrikció

A magnetostrikció (vagy Joule-hatás) a ferromágneses anyagok olyan tulajdonsága, mely az anyagokat arra kényszeríti, hogy mágneses tér hatására megváltoztassák alakjukat. A mágneses mező lüktetési frekvenciája így **hang formájában** megjelenő rezgéseket okoz. Mágneses mező alkalmazásakor, a domének közötti határok megváltoznak és a domének elfordulnak. Ez a két hatás az anyag méretváltozását váltja ki. A hatást először 1842-ben James Joule egy nikkal minta megfigyelése során azonosította.

A magnetostriktív anyagok képesek a mágneses energia kinetikai energiává, vagy visszaalakítására és ezek az anyagok ezért működtető elemek és érzékelők készítésére egyaránt használhatók. Ez a hatás okozza az ismerős „elektromos bűgást”, mely a transzformátorok és nagyteljesítményű villamos berendezések közelében hallható (országanként eltérően 100, vagy 120 Hertz, plusz azok harmonikusainak frekvenciáján).

Vizsgálófejek és jellemzőik

Anyagok, méretek, és piezoelektromos állandók

Az ultrahang szondák rövid ultrahang-impulzusokat küldenek ki és fogadnak. Ez az elektromos jelek mechanikai rezgéssé, és azok visszaalakításával történik. Az átalakítás a szondák többsége esetében egy vékony piezoelektromos anyagon, az aktív elemen belül történik meg.

A berendezésekkel szemben a vizsgálófejek viszonylag olcsók. Alapvető fontosságú, hogy minden alkalmazáshoz megfelelő vizsgálófejet kell választani. A különböző anyagok és anyagvastagságok széles tartománya vizsgálhatóságának, valamint a lehetséges folytonossági hiányok mindegyike észlelhetőségének biztosítása érdekében, egy vizsgáló laboratórium általában 10–20 különböző vizsgálófejet tart raktáron.

A vizsgálófejek teljesítőképességének garantálására azok paramétereit rendszeresen ellenőrizni kell (időszakos kalibrálás).

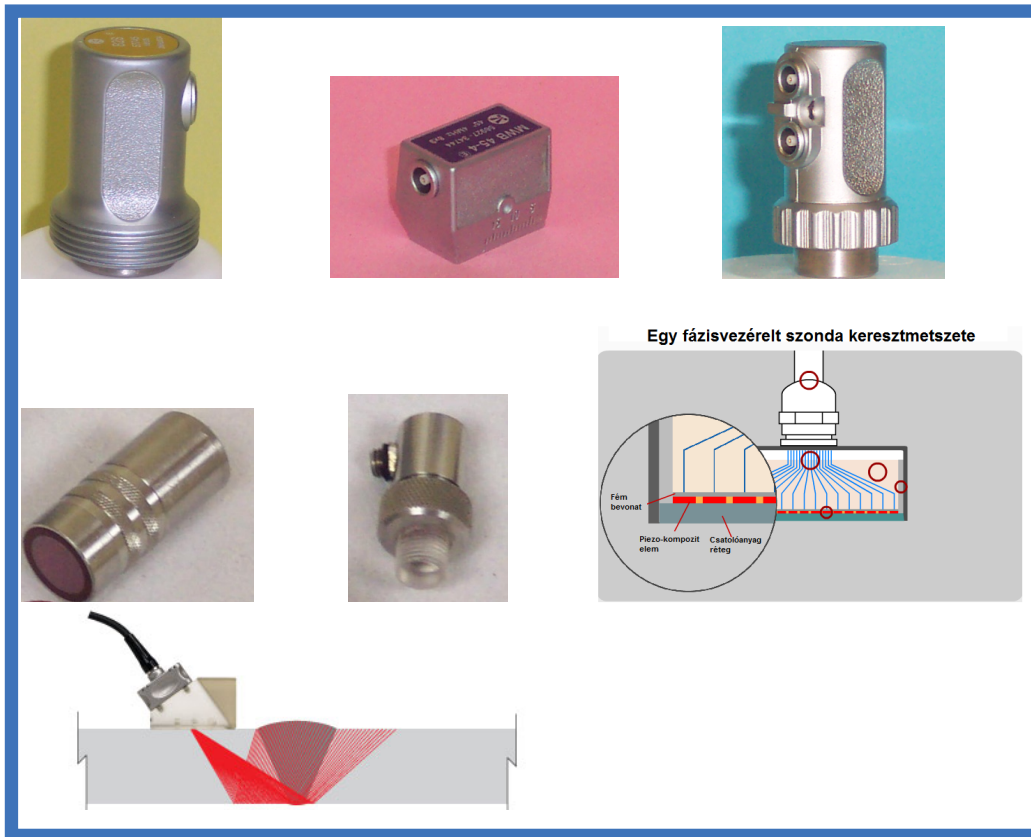
Vizsgálófej típusok

A különböző vizsgálati követelményekre, különböző feladatokra tervezet különböző vizsgálófejek széles tartománya áll rendelkezésre. Az alábbi vizsgálófejeket alkalmazzák leggyakrabban:

1. *Egykristályos*, longitudinális hullámú, merőleges besugárzású (a vizsgálati felületre merőleges hullámokkal dolgozó) vizsgálófejek.
2. *Monokristályos*, transzverzális hullámú (jellemzően az acélra vonatkoztatottan 35°-os, 45°-os, 60°-os és 70°-os szögben törő hullámokkal dolgozó) szögvizsgáló fejek. A transzverzális hullám a longitudinális hullámból keletkezik a vizsgált anyagba való átvezetéskor.



3. *Kétkristályos* vizsgálófejek, külön rezgők az adás és vétel céljára, melyek lehetővé teszik a holttér lecsökkentését és a felszínközeli folytonossági hiányok észlelését vastagabb előtét plexi használatával.
4. *Merülő* vizsgálófejek: A merülőszondáknak teljesen vízhatlannak és olyan kivitelűnek kell lenniük, hogy maximálisan biztosítsák az ultrahang vízbe való átsugárzását. Az ilyen szondák fókuszáló funkciója, a vizsgált munkadarabon belül a szükséges mélységű maximális visszhang generálása érdekében akusztikai lencsékkel biztosítható.
5. *Fázisvezérelt* vizsgálófejek: Ezekben a többrezgős szondákon egymástól függetlenül aktiválhatók az egyes rezgőelemek. Az egyes, különálló elemek hangtere közötti interferencia a hangsugár torzulását, vagy elhajlását válthatja ki. Az egyes elemcsoportok időzített aktiválásával a besugárzási szög folyamatosan befolyásolható, melynek révén az anyag egy szeletén végigpásztázó hangtér alakulhat ki. Ez azt jelenti, hogy a szonda helyett a sugár mozgatásával az anyag teljes térfogata egyetlen pozícióból megvizsgálható.

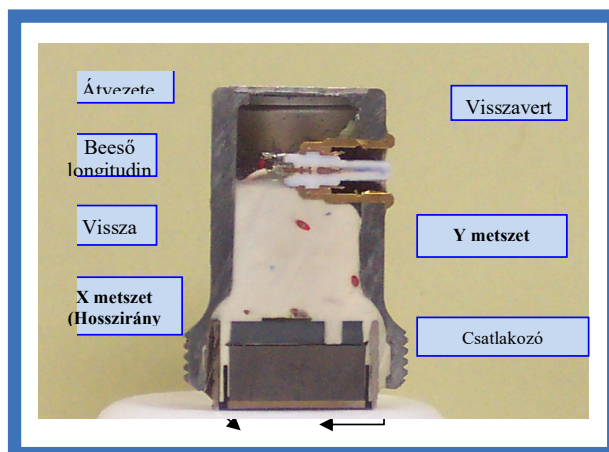


A vizsgálófejek felépítése

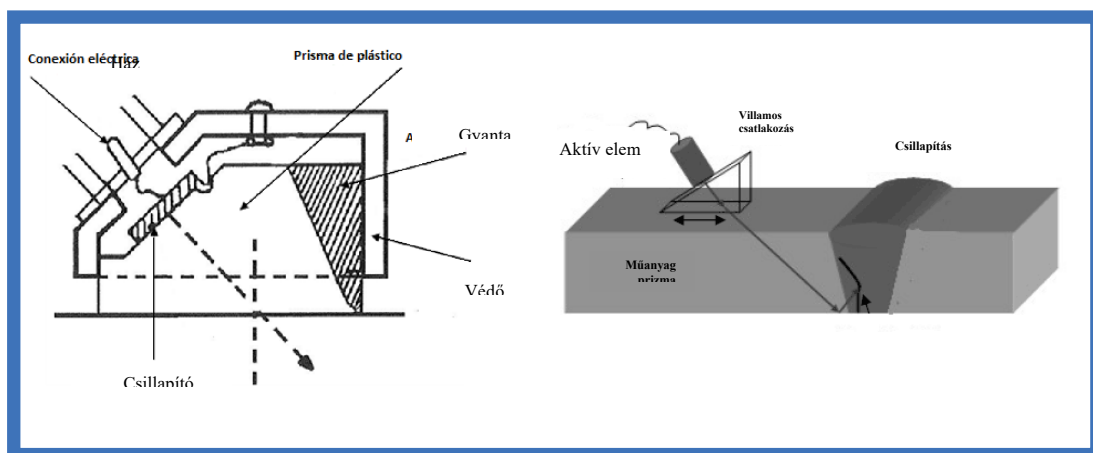
A manuális vizsgálat céljára használt vizsgálófejek általános jellemzői az alábbiak:

1. *Aktív elem*: Piezoelektromos hatás alapján rövid nagyfeszültségű impulzust ultrahanggá alakít át. A frekvencia a piezoelektromos anyag vastagságától és fajtájától függ.
2. *Villamos csatlakozás*: Az adó villamos vezetőanyaggal való bevonásával történik.
3. *Szonda ház*: Mechanikai védelmet és villamos szigetelést biztosít.
4. *Szonda talp*: Védi az aktív elemet a kopástól és segíti az ultrahang vizsgált anyagba való maximális vezetését.
5. *Csillapító*: Elnyeli a nemkívánatos ultrahangokat és a csökkenti az impulzusok hosszát.

Merőleges besugárzású egykristályos vizsgálófej



Egykristályos szögvizsgáló fej



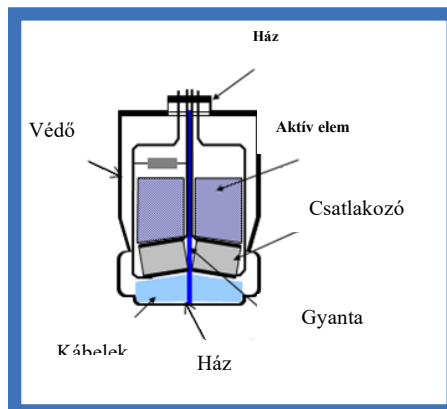
Kétkristályos vizsgálófej

Két rezgővel ellátott vizsgálófej, melyek közül az egyik az adó, a másik a vevő (E-R), vagy (SE).

Az ilyen típusú vizsgálófejek holttere az előtétben van

Az rezgők meghatározott szögben, helyezkednek el, így ezek a szondák fókuszáltak.

Ezeket a vizsgálófejeket általában kis vastagságú munkadarabok vizsgálatára használják.



Csillapító test

Ez egy nagy sűrűségű anyag (jellemzően epoxigyantába kevert wolfram por), mely rezgő vizsgálófej felőli hátfaláról kisugárzott energiát elnyeli és csökkenti az adó rezgését. Az erősen csillapított vizsgálófejekben a csillapítóanyag akusztikai impedanciája illeszkedik a rezgő impedanciájához, ami nagy felbontású képet és jel amplitúdót eredményez.

A csillapítás hatása az impulzus időtartamra: felbontás és sávszélesség

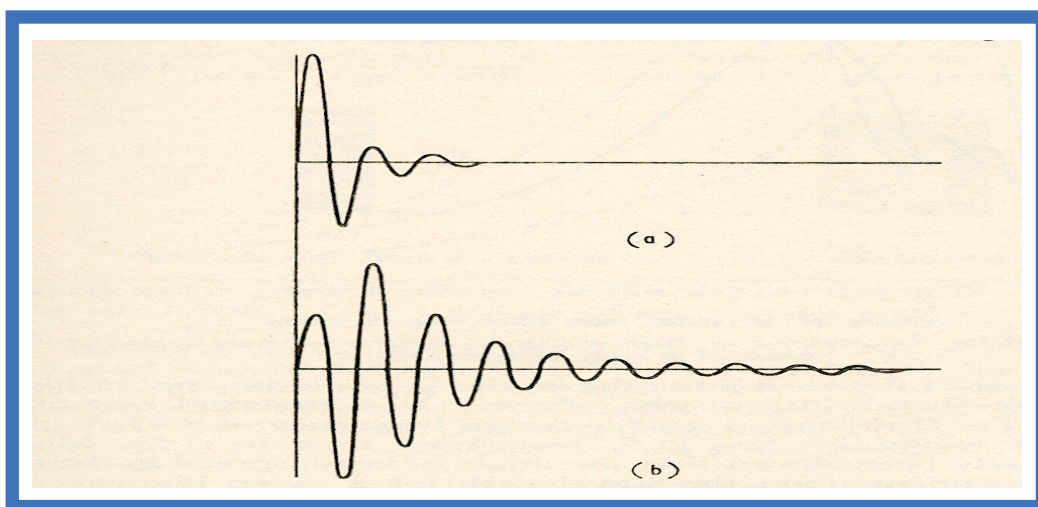
Mivel a csillapító anyag a rezgő hátsó felületére ragasztott epoxigyanta és wolfram por keveréke, a kiváltott hatás rezgő által kibocsátott hang csillapítása, éppen úgy, mint egy templom harangjának ronggyal való megtöltése. A frekvencia ugyanaz, de a hang hossza (és ereje) erősen csökken. Az ultrahangos vizsgálati folyamatban ennek az az előnye, hogy az egykristályos vizsgálófejek rövid impulzusokat küldenek ki, és a felszínközelí vizsgálatok során a rezgőnek elegendő ideje van, hogy saját rezgését, az újabb impulzus (a visszhang megérkezése) előtt leállítsa.

A rezgő számára saját oszcillálásának leállítására rendelkezésre álló idő az **impulzusidő, vagy impulzushossz**. A korábban leírtak szerint, egy helyesen kalibrált egykristályos longitudinális hullámú vizsgálófej esetében, ez az impulzushossz az időalap nulla pontjából kiinduló adóimpulzus szélességként látható. Ez a szemmel látható bizonyítéka a holtér, azaz egy olyan terület létezésének, melyben rezgő, a kibocsátott impulzus miatt még mindig rezeg és nem képes a visszhangimpulzus fogadására.

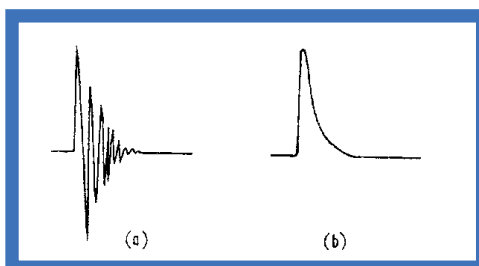
- ◆ Minél erősebb a csillapítás, annál kisebb az impulzushossz.
- ◆ Figyelembe kell venni a csillapított vizsgálófejből indított jel teljesítményét és amplitúdóját. Tudni kell, hogy minél erősebb a csillapítás, annál kisebb az adó által kiadott teljesítmény és így a hullám által a vizsgált közegben megtett távolság is csökken.
- ◆ Minél erősebb a csillapítás, annál kisebb a jel áthatoló képessége.



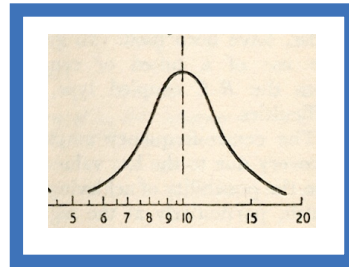
- ◆ Ha a felülettől mért azonos távolságban két reflektor található, melyek mindegyikét lefedi a hangnyaláb, akkor a vizsgálófej e két visszaverő felületnek az időalapon külön jelként való megjelenítésére vonatkozó képessége felbontásként ismert. A reflektoroktól visszaérkező jelek különálló megjelenítéséhez rövid impulzushossz alkalmazása célszerű.
- ◆ A rövid impulzus, azaz erős csillapítás, jobb felbontást eredményez.
- ◆ Mint ahogy egy hangszer is egy frekvenciát (azaz egy hangjegyet) képes kiadni, az ultrahang vizsgálófejek is csak egy frekvenciára képesek. A hangszerek azonban nem csak egyetlen frekvenciát, hanem harmonikusainak nevezett frekvenciák széles tartományát is képesek előállítani. Az ultrahangos vizsgálófejek ugyanezt teszik, mivel ezek rezgő vastagságától függő egyetlen domináns frekvenciát, és e körüli frekvenciák széles tartományát is képesek generálni. E tartomány neve sávszélesség. Minél erősebb az aktív elem csillapítása, annál nagyobb a sávszélesség. Egy 4 MHz domináns frekvenciájú vizsgálófej 2-től 6 MHz-ig terjedő tartományú frekvenciákat állíthat elő. A korábban leírtak szerint, minél nagyobb a frekvencia, annál kisebb az észlelhető visszaverő felület mérete, és minél kisebb a frekvencia, annál kisebb a csillapítás bizonyos anyagokban.
- ◆ Így, a nagy sávszélesség jó behatoló képességet és kis visszaverő felületek esetében is jó észlelési érzékenységet biztosít.
- ◆ Az erős csillapítás nagy sávszélességet biztosít (aminek a fordítottja is igaz).



A fenti ábrában az (a) egy erősen csillapított vizsgálófejből, míg a (b) egy enyhén csillapított vizsgálófejből kibocsátott impulzust mutat. A hullámok egyike sem egyenirányított hullám, ami bizonyos be rendezéseken jeleníthető meg. Ebben a példában az időalap a képernyő alja helyett inkább a képernyő közepén lenne.



A (c) ábra. az (RF) egyenirányítatlan impulzust, míg a (d) ábra. az ugyanabból a vizsgálófejből származó egyenirányított és simított impulzust mutatja.



(e)

Az (e) ábra. 10 MHz domináns frekvenciájú vizsgálófej frekvencia eloszlását ábrázolja.. A sávszélesség 50%-os amplitúdóvesztés-eloszlás esetén 8-12 MHz között van.

A védőpapucs

Az aktív elem vizsgált anyag általi koptatóhatás elleni védelme céljára az adó kopásálló anyaggal van ellátva.

Működési elv

Az ultrahangok előállítására piezoelektromos, vagy ferroelektromos típusú adók használatosak. A 20–40 kHz frekvencia tartományú ultrahangok magnetosztriktív vizsgálófejekkel állíthatók elő. Ezek a frekvenciák ultrahang-tisztítás és erősen csillapító természetű anyagok (beton) vizsgálatának céljára használhatók

A piezoelektromos vizsgálófejek általában 1–20 MHz tartományban használatosak. A nagyobb frekvenciák rövidebb hullámhosszokat eredményeznek, és jobb felbontást biztosítanak.

Jellemző méretek

A vizsgálófejek aktív elemei kör, négyzet, vagy négyszög alakúak lehetnek. A legáltalánosabban használt vizsgálófejek kör alakúak és méretük 3 mm-től 30 mm-ig terjedhet, de rendelésre más méretek is készülhetnek.

A kerek rezgők által kibocsátott hangnyaláb jellemzői

Az aktív elem frekvenciájának és átmérőjének hatása



Frekvencia: Egy adott anyagban, az ultrahang és az anyag – melyben terjed – közötti kölcsönhatás módját a hullámhossz határozza meg, a hullámhossz pedig fordítottan arányos az adott rezgés frekvenciájával. A vizsgálófej frekvenciáját a specifikációban megadják.

A nagyobb frekvenciájú (rövid hullámhosszú) ultrahangok a kis hibákról könnyebben visszaverődnek, de visszaverődnek az vizsgált anyag metallurgiai szerkezetéről is, ami számos kis jelet (grízes képet) generál és csökkenti a hátfali visszhang magasságát.

Ezzel szemben, a kis frekvenciájú (nagy hullámhosszúságú) ultrahangok könnyebben hatolnak át a durvaszemcsés anyagokon, pl. az öntvényeken és korrózióálló acél hegesztéseken, de kevésbé érzékenyek a kis visszaverő felületekre.

Átmérő: Az átmérő és a frekvencia együttesen befolyásolja az ultrahangsugár tulajdonságait a sugár geometriában.

A nagy átmérők hosszú közelttereket (N) eredményeznek és csökkentik a Sugárszéttartását.

A hosszú közeltterek megnehezítik, esetleg ellehetetlenítik a felszínközeli vizsgálatokat, mivel gyakran a holtzóna is nagy. A sugár szóródásának hiánya azonban nagyobb behatolási teljesítményt jelent, mivel kisebb a Sugárszéttartása.

Viszont, a kisátmérőjű rezgők rövid közeltér hosszúsággal rendelkeznek, és jó felszínközeli felbonthatást eredményeznek, de a nagyobb hangnyalábszéttartás gyenge behatoló képességhez vezet.

Kétkristályos vizsgálófejek a felszínközeli vizsgálatok céljára jobbak alkalmazhatók, mivel az adóimpulzus hatása nagyrészt a plexielőtét talpban játszódik le, ami a holtzónát a 0 ponthoz közelíti..

A folytonossági hiányok észlelésére a vizsgálófejek ultrahangsugarat hoznak létre, melynek kapcsán két fontos jellemzőt kell figyelembe venni:

1. *Közeltér:* közvetlenül a rezgő előtti terület, melyben a folytonossági hiányok méretének azonosítása nehéz lehet.
2. *Hangnyaláb széttartás:* a hangnyaláb keresztmetszet-növekedése a rezgőtől mért távolság függvényében.

Közeltér, vagy közeli zóna (Fresnel-zóna)

A közeltér a rezgőhöz közeli terület, ahol kismértékű sugárszóródás következik be. Ebbe a közeltérbe esik az a holttér, ami az egykristályos vizsgálófej esetében a képernyő bal szélén látható adóimpulzusba esik, eltakarva a folytonossági hiányról visszaérkező visszhangjeleket. A kétkristályos vizsgálófejek használata kiküszöböli ezt, és javítja a felszínközeli visszaverő felületek észlelésének hatékonyságát.

Mivel a jel amplitúdója a holtzóna előre nem becsülhető, folytonossági hiányok méretazonosítása ebben a zónában nem lehetséges. A különböző vizsgálófejekhez tartozó KÖZELTÉR hosszúságának ismerete ezért alapvető fontosságú.



A közeltér hossza matematikai kifejezése megtörtént és a hossz az alábbi képlettel számítható:

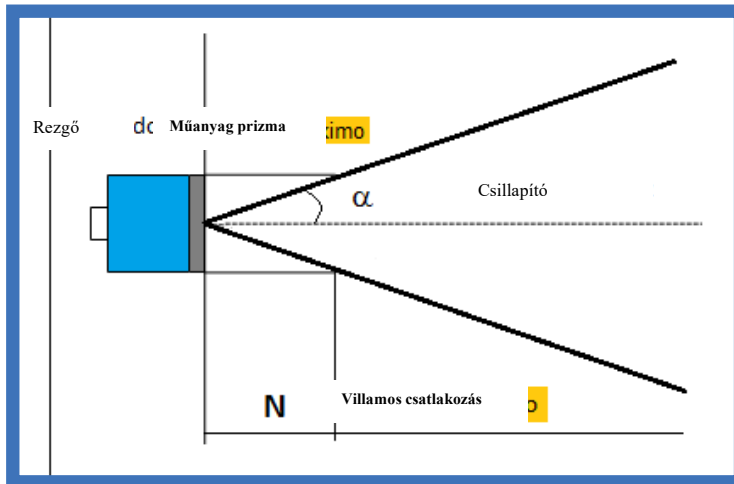
$$N = D^2/4\lambda,$$

melyben:

N a közeltér hossza

λ az ultrahang hullámhossza

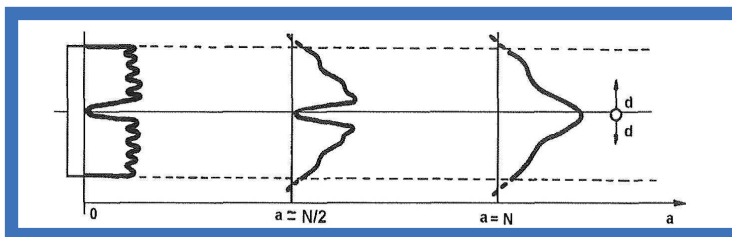
D a rezgő átmérője



A λ C/f -el behelyettesíthető, mivel a „C” sebesség és az „f” frekvencia a vizsgálófej és a vizsgálati anyag jellemzői és ismert mennyiségek.

Ez az egyenletet az alábbiak szerint alakítja át:

$$N = D^2 f/4c.$$



Összefoglalva a közeltér:

- ◆ a rezgőhöz legközelebb eső tér,
- ◆ ahol az ultrahang intenzitása nagyban változik,
- ◆ ahol a visszaverő felületek értékelhetősége korlátozott,
- ◆ Szűkülő tér (konvergens), mely a fókustávolságban végződik,
- ◆ kisebb átmérő és kisebb rezgő frekvencia rövidebb közeltér-távolságot eredményez.



Példa:

Mekkora lehet egy 4 MHz-es egykristályos, 25 mm átmérőjű acélok vizsgálatára használt longitudinális vizsgálófej közeltér hossza?

Az összes adat begyűjtése:

$$f = 4 \times 10^6 \text{ MHz} \quad C = 5.96 \times 10^6 \text{ mm/s} \quad D = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Ezért,} \quad N = \frac{25 \times 25 \times 4 \times 10^6}{4 \times 5.96 \times 10^6} = \frac{2,500}{23.84} = 104.8 \text{ mm.}$$

Egy 10 mm átmérőjű, 2 MHz-es longitudinális hullámú rezgő közeltérének hossza hasonló módon számítható, és a hossza 8,4 mm lesz, ami jelentősen kisebb, mint a nagyobb méretű és nagyobb frekvenciájú vizsgálófeje.

A nagy átmérőjű vizsgálófejek nagyobb vastagságok vizsgálatára használhatók.

A kisebb átmérőjű vizsgálófejek inkább a kisebb tartományok, az 100/150 mm-nél kisebb vizsgálati tartományokra alkalmasak.

Távoltér (Fraunhofer-zóna)

A távoltérre az a terület, mely az amplitúdó-csúcs után jelenik meg, ahol a sugárszéttartani kezd. A széttartás szögét az aktív elem átmérője és az ultrahang hullámhossza határozza meg.

A hullámhossz összefügg a frekvenciával, és így a számításban általában inkább a frekvencia használatos.

A távoltér jellemzői

A távoltér két egyszerű törvény vonatkozik; a nagy visszaverő felületekkel kapcsolatos törvény és a kis visszaverő felületekkel kapcsolatos törvény.

Nagyreflektorok

Ha a visszaverő felület nagyobb, mint az érintett mélységben a teljes Sugárszéttartás, akkor arra az inverz törvény vonatkozik.

A nagyreflektorok egyik példája egy párhuzamos oldalú lemez hátoldala, mivel az inverz törvény minden távolság-megkettőződésre való alkalmazása (x2) esetén az amplitúdó egy féllal (x1/2) csökken, azaz minden hátfalvisszhang az előző hátfalvisszhang amplitúdójának 1/2 része (-6 dB) lesz.



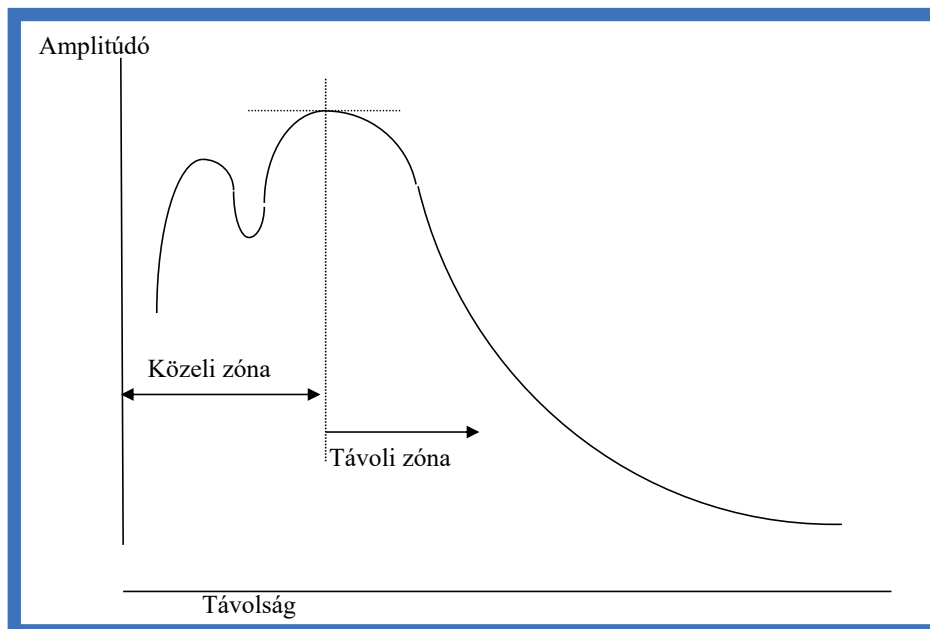
Kisreflektorok

Ha a visszaverő felület kisebb, mint a teljes sugárszéttartás, akkor arra a négyzetes inverz törvény vonatkozik.

A kisreflektorok példája lehet egy egyszerű gázpórus, egy kis zárvány, vagy egy befűrt furat. Így, a négyzetes inverz törvény minden távolság-megkettőződésre való alkalmazása (x2) esetén az amplitúdó egy negyeddel ($x1/2^2$, vagy $x1/4$) csökken, azaz minden hátfalvisszhang az előző hátfalvisszhang amplitúdójának $1/4$ része (-12 dB) lesz.

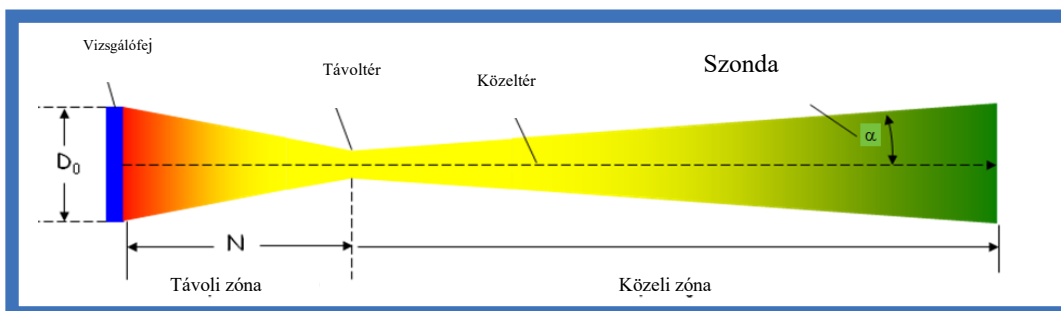
Kisreflektorok esetén, a DAC-görbe felrajzolásával láthatóvá válik az az elv, hogy a minden visszhang egynegyede az előző visszhangnak.

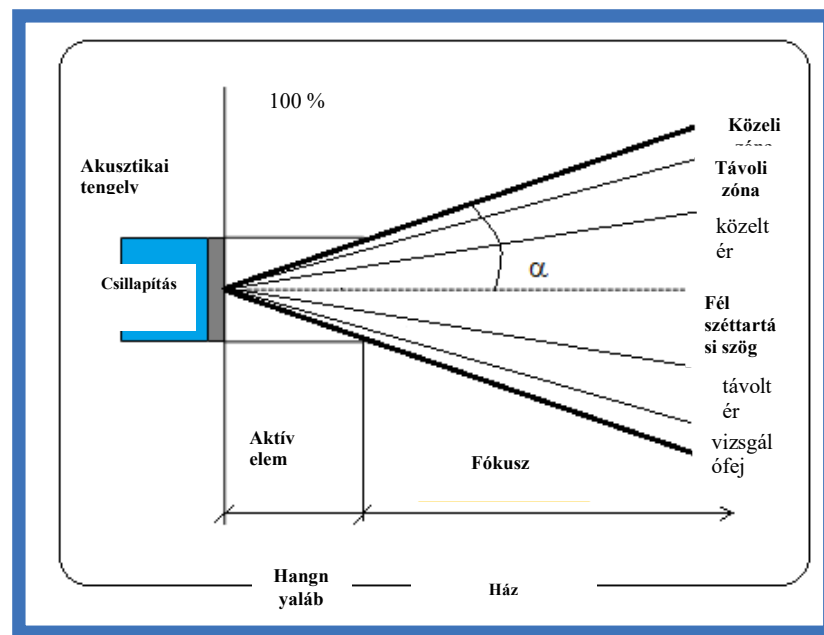
Amplitúdó



Sugárszéttartás (távoltérben)

A hangnyaláb széttartása a közeltér végénél kezdődik.





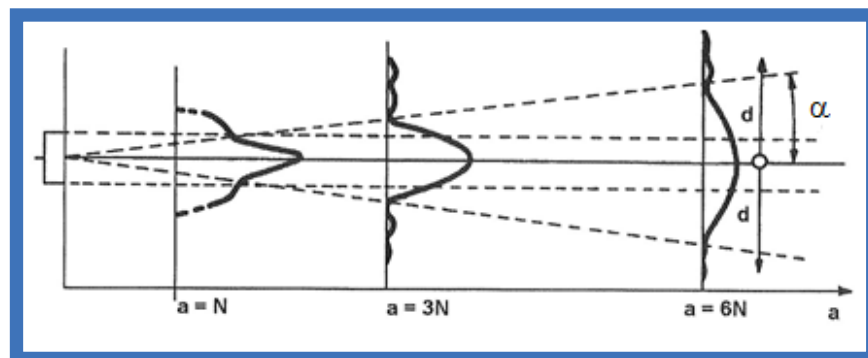
α : A széttartási szög fele

K: Állandó, aminek értéke a szükséges hanghatarral változik

$$N = \frac{D^2}{4K}$$

$$\sin \alpha = k \frac{K}{D}$$

Ez a széttartás a magyarázatot megkönnyítő egyszerű módon látható. A tényleges forma bonyolultabb. A sugárforma, vagy geometria meghatározásának legjobb módja a sugár által megtett távolsággal bekövetkező amplitúdóváltozás ábrázolása. Magyarázat céljára az ábra. is jó megközelítésnek tekinthető.



Összefoglalva, a távoltér:

- ◆ a köztér végénél kezdődik,
- ◆ széttartással jellemezhető,
- ◆ végtelenbe tart.

A hangnyaláb fősugarában a hangnyomás az adott keresztmetszetben 100% (maximális amplitúdó)

A 6 dB-es szélén, ahol az amplitúdó 50%-ra csökkent $\implies k = 0,7$.

A 20 dB-es szélén, ahol az amplitúdó 10%-ra csökkent $\implies k = 1,08$.

A sugár szélén, ahol az amplitúdó nulla $\implies k = 1,22$.

Példa: Mennyi lenne a széttartás szögének a fele egy repedés 20 dB-es módszerrel való felmérésekor, egy acélon használt, 10 mm átmérőjű, 2,5 MHz-es 45-ös transzverzális hullámú vizsgálófej esetében?

Az adatok összegyűjtése: $K = 1.08$ $C = 3.235 \text{ mm/s} \times 10^6$ $D = 10 \text{ mm}$ $f = 2.5 \times 10^6 \text{ Hz}$

$$\sin \theta/2 = 1.08 \times 3.235 \times 10^6 = 3.49 = 0.1396 \quad \frac{10 \times 2.5 \times 10^6}{3.49} = 10 \times 2.5 \times 10^6$$

$$\theta = 8^\circ$$

A nagy széttartás miatt a hang amplitúdója a távolság növekedésével gyorsan csökken, ezért ez a viszonylag kis átmérőjű vizsgálófej-típus legjobban körülbelül 150 mm tartományig használható.

Mivel a hangnyaláb széttartás-fordítottan arányos a (D) átmérővel, ezért a nagy átmérőjű vizsgálófejek hangnyaláb-széttartása kisebb, és a mélyebb behatolást igénylő alkalmazásokban jobban használhatók.

A merőleges vizsgálófejek által kibocsátott hangnyaláb jellemzői

A merőleges vizsgálófejekben a felülettel párhuzamosan elhelyezkedő rezgőelem, vagy egyetlen egységbe szerelt, hasonlóan elhelyezett több rezgőelem lehet. Utóbbinak az az előnye, hogy a vizsgálófej mozgatása nélkül nagy terület végigpásztázására képesek. A vizsgálat ezzel nagy mértékben gyorsítható.

Ezek a vizsgálófejek nagy területek ellenőrzésében használatosak. A teljesítményváltozások minimálisra csökkentése, valamint az egyenletes érzékenység fenntartása érdekében, ezek a hosszú keskeny vizsgálófejek gondosan illesztett kis aktív elemkötegekkel készülnek. A folytonossági hiányok részletesebb azonosításához gyakran kisméretű, érzékenyebb vizsgálófejek szükségesek.



Hangnyalábhatar

A folytonossági hiányok kijelölésének egyik módszere a 20 dB-es hanghatár módszer. Ennek alkalmazásához a vizsgálófej hangnyaláb-geometria pontos ismerete szükséges. A hangnyalábról megszerkesztett rajzon ki lehet szerkeszteni a hangnyaláb 20 dB-es hangintenzitás csökkenéshez tartozó határát.

A 20 dB-es hanghatár megszerkesztése

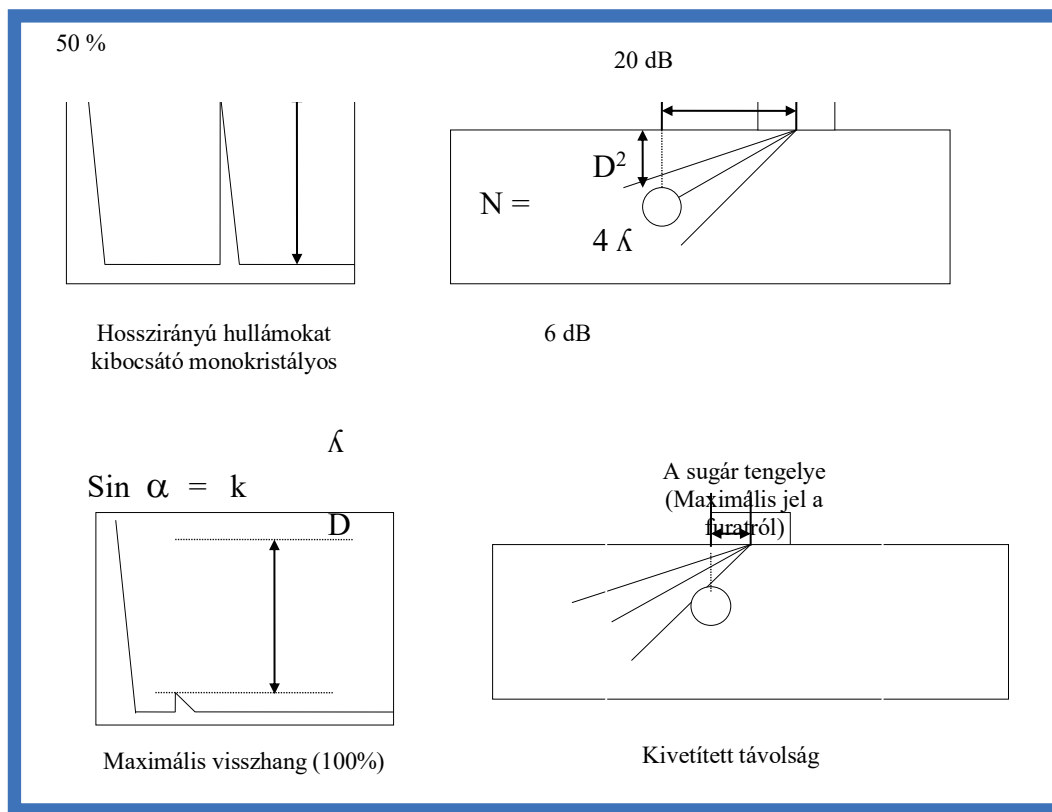
A folytonossági hiányok felmérésének 20 dB-es módszeréhez minden egyes szonda esetében olyan sugárprofil felrajzolása szükséges, mely mutatja a sugár tengelyét és a 20 dB-es sugárperemet. A sugárprofil felvétele különböző mélységbe fúrt kis átmérőjű furatokról érkező visszhang felrajzolásával lehetséges. Az egyes furatokhoz az alábbi információk szükségesek:

Furatmélység
Szondaindex-pozíció – max. visszhang válasz
Szondaindex-pozíció – 20 dB veszteség kifelé
Szondaindex-pozíció – 20 dB veszteség visszafelé

Az információk beszerzése az alábbiak szerint lehetséges:

- ◆ Elnyomás kikapcsolva, az időalap beállítva, a kalibrációs blokk hibamentes.
- ◆ A furatról érkező visszhang maximumának megkeresése a szonda mozgásával.
A visszhang teljes képernyőmagasságban jelenjen meg.
- ◆ A sugárkilépési pont helyének feljegyzése.
- ◆ A 20 dB-el csökkentett jel magasságának megjelölése a képernyőn (10%)
- ◆ A visszhang csökkentése a megjelölt magasságig a szonda mozgásával.
- ◆ A csökkentett jel sugárkilépési pontjának feljegyzése.
- ◆ Az előbbi lépések megismétlése fordított sorrendben.
- ◆ A különböző mélységű furatokról felvett adatok grafikonba való felrajzolása.





Sugárszéttartási tényező

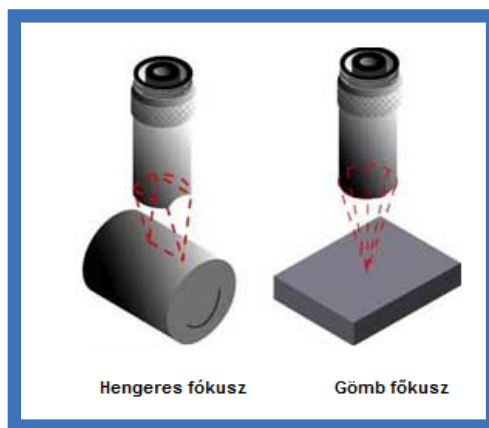
A korábban már leírtak szerint, a Sugárszéttartása számítható, de a folytonossági hiány felméréséhez sugárprofil szükséges. A 3.7.1-ben leírt sugárprofil a sugár 20 dB-es szélére vonatkozik. Ez a sugár szóródás, vagy a széttartás a sík szondákról származó hullám-interferencia eredménye, amit Huygens a hullámelméletében írt le.

Mivel az amplitúdó a sugár tengelyénél maximális, és a sugár fent említett széle 20 dB-el ez alatt van, világos, hogy a vizsgálati célokra figyelembe vehető érzékenység a sugáron belül nem egyenletes, mivel a központban maximális és a sugár széle felé távolodva csökken.

A széttartás hatásait a sugár fókuszálása, azaz a sugár a vizsgált területen belül egy bizonyos érdekelt területre koncentrálása ellensúlyozhatja. A fókuszált szondák két típusa a következő:

- ◆ Bikristályos szondákban, melyekben az aktív elemek kis szögben befelé mutatnak és így a kibocsátott jel az anyagon végighaladhat, és beléphet az oldalt hosszában elhelyezett vevőbe. Ahhoz, hogy ez megtörténjen, a jelnek egy kissé oldalirányba kell mozdulnia. A fókuszált szondákban az adók és vevők szándékosan a maximális érzékenységet biztosító irányban vannak elhelyezve, de a maximális érzékenység tartománya kisebb. Ezek a szondák jellemzően vastagságmérések során használatosak, melyeknél a behatolási mélység általában kisebb, mint 25 mm. Ennél nagyobb behatolási tartományok esetén a sugár visszhang nem teljesen tér vissza a vevő aktív eleméhez és az érzékenység csökken.
- ◆ A fókuszált monokristályos szondák a sugár koncentrálsására kialakított talppal rendelkeznek.





A fent bemutatott két szonda, a sugár fókuszálására ívelt késleltetővonallal rendelkezik. A bal oldali (hengeres lencsés) szonda esetében a sugár a maximális hangnyomást egy vonalra, míg a jobb oldali (gömbszerű lencsés) szonda sugara egy pontra koncentrálja.

FÜGGELÉK

Anyagok akusztikai és mechanikai jellemzői

C_L	–	Longitudinális hullám sebessége (m/s)
C_T	–	Transzverzális hullám sebessége (m/s)
C_s	–	Felszíni hullám sebessége (m/s)
ρ	–	Sűrűség (kg/m ³)
E	–	Young-modulus (GN/m ²)
μ	–	Poisson-együttható
Z	–	Akusztikai impedancia (C_L esetében) (10 ⁶ kg/m ² /s)

ANYAG	CL	CT	CS	ρ	E	μ	Z
	Longitud.	Transzv.	Felszíni				
Levegő	331			1			0,331
Víz	1482			1000			1482
Olaj	1740			870			1513
Perspex plexiüveg	2700	1330	1242	1180	2,5		3186
Bronz	4372	2100	1964	8400	100,6	0,35	36752
Acél (lágy)	5960	3235	2996	7800	211,9	0,291	46488
Alumínium	6374	3111	2906	2700	70,3	0,345	17210

ANYAG	CL	CT	CS	ρ	E	μ	Z
Titán	6130	3182	2958	4508	115,7	0,321	27634
Ötöttvas	5000	2800	2600	7200	152,3	0,270	36000
Nikkel	5608	2092	1970	8907	199,5	0,312	49950

Piezoelektromos anyagok akusztikai és mechanikai jellemzői

Jellemző	Kvarc	Lítium-szulfát	Báriumtitanát	Ólom-metaniobát	Ólom-cirkonát-titanát	Polyvinil-difluorid
Sűrűség $\text{Kg/m}^3 \times 10^3$	2,65	2,06	5,7	5,8	7,5	1,8
Sebesség $\text{mm/s} \times 10^6$	5,7	5,4	5,4	3,3	4,0	2,2
Akusztikai impedancia $\text{kg/m}^2/\text{s} \times 10^6$	15,3	11,2	35	16	30	4,1
Kritikus hőmérs. °C	576	75	135	550	280	170
Piezo. Mod. $\text{m/V} \times 10^{-12}$	2,3	15	190	80	400	14
Piezo. nyomás $\text{V/m} \times 10^{-3}$	57	165	15	37	23	170



3

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK

3.1 A TELJES BERENDEZÉS ELLENŐRZÉSE AZ MSZ EN 12668-3 JELŰ SZABVÁNY SZERINT

Ahhoz, hogy következetes módon végezzük el az ellenőrzést, a mérési tartományának és érzékenységének kalibrálása előtt először annak alapvető képességeit kell ellenőrizni. A berendezés kezelője által elvégzendő vizsgálatok sorát az alábbi listában foglaltuk össze (lásd MSZ EN12668-3 szabvány):

1) Időalap linearitása	Heti
2) Erősítő linearitása	Heti
3) Sugárkilépési pont	Napi
4) Besugárzási szög	Napi
5) Berendezés állapota és külalakja	Napi
6) Érzékenység és jel/zaj viszony	Heti
7) Impulzus időtartama	Heti

Ezeket a vizsgálatokat alább egyenként ismertetjük.

- ◆ Az időalap linearitásának ellenőrzését annak igazolására kell elvégezni, hogy az azonos anyagvastagságok egymástól azonos távolságban lévő visszhangként jelennek-e meg az időalap mentén, vagyis az időalapot a 0 és 50 mm közti szakaszra kalibrálva a 25 mm-es vastagság pontosan az időalap közepén látható-e. Eljárásmód: Az ET1-es ellenőrző test segítségével (MSZ EN ISO 2400) olyan helyzetbe állítjuk a vizsgálófejet, ahol az utolsó hátfalvisszhang zónája (longitudinális hullámokkal) vagy a 100 mm sugár visszhangja (transzverzális hullámokkal) azonos távolságban, vagy távolabb van annál a távolság maximumnál, amin belül a linearitást ellenőrizni akarjuk.
- ◆ Az erősítőrendszer linearitásának vizsgálatával azt igazoljuk, hogy az erősítés állításával kiszámítható változásokat kelthetünk a visszhang-kép magasságában; ha például az erősítést 6 dB-lel növeljük, akkor a visszhang magassága a képernyőn pontosan kétszeres lesz-e.
- ◆ A sugárkilépési pont helye a szögvizsgáló fejek azon jellemző pontja, ahol a hangsugár, főtengelye kilép a vizsgálófej talpából. A vizsgálófej használatakor a talp (védőplexi) kopik, de a kopás nem mindig egyenletes. Sőt, akár nem is párhuzamos a kiinduló profillal, ezért ezt a pontot naponta kell ellenőrizni az ET1-es vagy az ET2-es (MSZ EN ISO 7963) ellenőrző test segítségével oly módon, hogy a szondát hátulról előre mozgatjuk, hogy megkeressük a 100 mm-es körszektorról visszaérkező maximális amplitúdójú jelet.
- ◆ A besugárzási szög. Ezzel a művelettel az esetlegesen egyenetlen talpkopást ellenőrizzük, mert ez módosíthatja a besugárzási szöget. Regisztrálni kell az eltérést a mért és a névleges szög között.



- ◆ A berendezés állapotát és a külalakját azért kell ellenőrizni, hogy felfedezzük az esetleges napi problémákat és a lehetséges megbízhatósági hiányosságokat. Az ultrahangos berendezés, a vizsgálófej felületek, a kábel és a kalibráló tömb szemrevételezésével fényt deríthetünk problémákra vagy látható sérülésekre, amelyeket inkább az ellenőrzés megkezdése előtt, mint annak során célszerű kijavítani.
- ◆ A jel/zaj viszony. Egy adott kisreflektor által okozott visszhangjel értékelhetősége a vizsgálófej, az erősítés, a pozicionálás, illetve annak következetes és reprodukálható grafikus ábrázolása (érzékenység) kombinációjától függ. Ezen ellenőrzés célja, hogy felderítsük a vizsgálófej és a kapcsolódó berendezés erősítőjének bármiféle hiányosságát vagy sérülését. A teljes rendszer által előállított jelek elégtelenségét okozhatják az elektronika zavarai, illetve külső villamos zavarok. Ezek apró visszhangok vagy zaj formájában láthatók az időalapon.
- ◆ Ha a zaj meghaladja egy kicsiny, de fontos reflektor által keltett visszhang amplitúdóját az erősítés növelése ellenére, akkor az ellenőrzés eredménye elégtelen. Ezért a jel/zaj viszony meghatározása annak igazolása miatt szükséges, hogy sérült-e a berendezés.
- ◆ Jel/zaj arány: A jel/zaj viszony azon különbség mértéke, amely egy ismert referencia-reflektor visszhangjának a képernyőn látható magassága és a zavaró jelek vagy zaj ugyanazon magassága között áll fenn az erősítés értékében (dB) kifejezve. Ezt a kezdettől kezdettől kell megállapítani, és heti gyakorisággal kell ellenőrizni annak érdekében, hogy az erősítés semmilyen értéke mellett ne legyenek összetéveszthetők az értékes jelek a zavarjelekkel.
- ◆ Megjegyzés: A berendezés és a vizsgálófej elektronikus ellenőrzését csak szakképzett és tapasztalt személyek (akkreditált laboratóriumok) végezhetik, míg az alkalmazott vizsgálófejek és a berendezés kombinációjának ellenőrzését a berendezés kezelőjének kell elvégezni, annak használatát megelőzően.
- ◆ Impulzus szélessége: Az a cél, hogy olyan módon mérjük meg (mikroszekundumban) a vizsgálófej aktív elemének (rezgőjének) rezgési idejét, hogy minél rövidebb az impulzus szélessége, annál nagyobb a felbontás. Az impulzus szélességének (vagy az impulzus hosszának) beállításoz igen fontos a csillapító anyag és a rezgőfelülete közti kötés jósága.

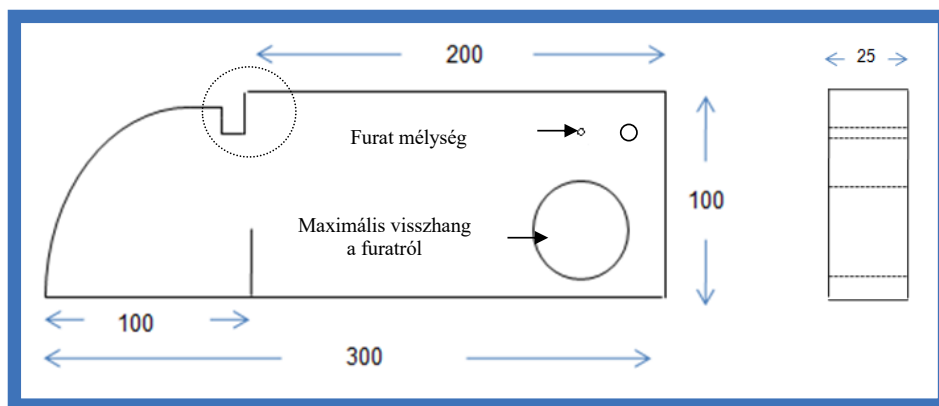
Megjegyzés: Minden egyes ellenőrzést részletesen ismerteti az MSZ EN 12668-3 szabvány, és a szerint kell eljárni.



3.2 SZABVÁNYOS ELLENŐRZŐ TESTEK

Az MSZ EN ISO 2400 szabvány ismerteti az ET1-es ellenőrző testet. (Méretek mm-ben megadva).

3.1. ábra.



A tömböt pontosan a megadott méretekre kell megmunkálni, hogy az ultrahangos berendezés egyenes vagy derékszögű, kettős kristályos és monokristályos szondákkal (hosszirányú vagy nyomó hullámok) beállítható legyen. Ugyanez vonatkozik a szögsugárzó kettős kristályos és monokristályos szondákra (keresztirányú vagy nyíró hullámok).

Ezen túlmenően minden külső felületet $R_a < 0,8 \mu\text{m}$ értékre kell megmunkálni.

A különböző méretek teszik lehetővé, hogy a távolság beállítási tartománya 0–50 mm vagy 0–300 mm (és afelett) legyen. A 23 mm vastag plexihenger (perspex) 50 mm acéllal egyenértékű, a relatív sebességkülönbség miatt. Három bemetszéssel (85–91–00 távolságra) igazolhatjuk ezt a felbontóképességet.

A szögvizsgálófej használatakor az ellenőrzőtest ívelt végét használjuk a távolság beállításához, de csak 100 mm feletti mérési tartomány esetén. Ennél szűkebb mérési tartomány esetén az ET2-es ellenőrzőtestet kell használni.

Bár a tömb méretei nagyon fontosak, a szabvány jelentős súlyt helyez arra is, hogy a csillapítás értéke minél alacsonyabb legyen, és a szabad szerkezet legyen mentes mindenféle folytonossági hiánytól.

A szükséges acélminőség az MSZ EN 10025 + A1 szabványban megadott S355JO; a tömböt 320 mm x 120 mm x 30 mm méretre kell megmunkálni hőkezelés előtt. A hőkezelés a következő szakaszból áll:

- ◆ ausztenítés 920°C fokon, 30 perc;
- ◆ gyors lehűtés (edzés) vízben;
- ◆ lágyítás 650°C-on hevítéssel, 3 órán át; és utána
- ◆ lehűtés szabad levegőn.

A szabvány előírja, hogy a végső megmunkálást megelőzően a tömbnek belső anyaghibáktól mentesnek kell lennie. Éppen ezért hőkezelés után ultrahangos módszerrel, 10 mm–15 mm aktívelem méretű

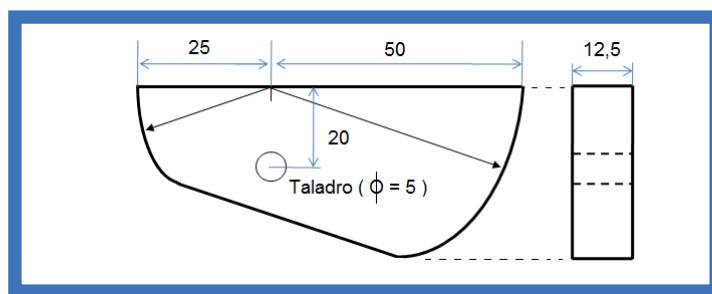
nyomóhullámú szondával (0°) legalább 10 MHz frekvencián kell megvizsgálni, hogy a tömb mentes-e az olyan reflektoroktól, amelyek megakadályozhatják használatát kalibrálási műveletekben.

Végül a sebességeket kell mérni az „A” függelékben ismertetett módon. A tűrések értéke adott, a mért hosszirányú hullám sebessége $5.920 \text{ méter/mp} \pm 30 \text{ méter/mp}$, a keresztirányú hullám sebessége pedig $3.255 \text{ méter/mp} \pm 15 \text{ méter/mp}$ legyen.

Itt jegyezzük meg, hogy az európai szabvány nem ír elő konkrét követelményeket a műanyag hengert illetően, de hasonló felépítésű, vagyis perspex hengerből álló tömbök használata megengedett.

Az MSZ EN ISO 7963 szabvány ismerteti az ET2-es ellenőrző testet.

3.2 ábra.



A tömböt általában szögvizsgáló fejek mérési tartományának kalibrálására használják a 0–100 vagy a 0–125 vagy a 0–200 vagy a 0–250 mm tartományokban.

Erre az ellenőrző testre hasonló követelmények vonatkoznak, mint az ET1-esre, de a hőkezelés csak 2 óra, 650°C -on.

3.3 ÉRINTKEZÉSES MÓDSZER (EGYENES ÉS FERDE BESUGÁRZÁS)

Minden hagyományos ultrahangos ellenőrzés során alapvető fontosságú hogy a lehető legtöbb ultrahang-energiát juttassuk a munkadarabba. Bár létezik az elektromágneses csatolású EMAT és léteznek levegő csatolású vizsgálófejek, a legtöbb ismert és ma is széles körben alkalmazott vizsgálófej olyan konstrukciójú, aminél ki kell küszöbölni a levegőt a rezgő és a munkadarab felülete között.

Ennek az az oka, hogy a levegő akusztikus impedanciája alacsony, ami a legtöbb vizsgált anyag nagy akusztikus impedanciájával összehasonlítva jelentős reflexiót eredményez a határfelületen, tehát igen gyenge lesz az akusztikus energia átadása. Például 5 MHz egyrezgős longitudinális vizsgálófej levegő és acél határfelületen keresztül az energiának kevesebb, mint 1%-át adja át.

Elvileg tehát a kontaktvizsgálat alapvető követelménye, hogy a szonda kilépő felülete és az ellenőrzendő tárgy felülete között ne legyen levegő.

Az MSZ EN 583-3 szabvány 4.4 pontja az alábbiakat írja elő:

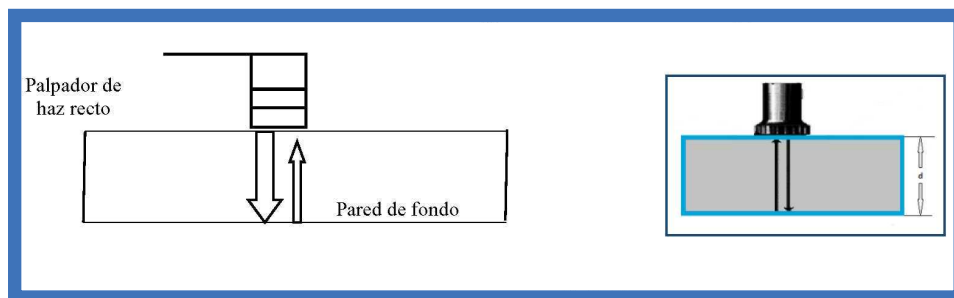
„A csatolás, a vizsgálófej szögének és az egytengelyűség változásainak hatása.

Az eljárás különösen érzékeny a vizsgálófej csatolásának változásaira és a felületi rendellenességek miatt kialakuló szögbeállítási eltérésekre, mivel ezek a tényezők csökkentik az átsugárzott jel amplitudóját. A csatolás egyenletességének javítására a merítéses vagy vízsugaras letapogatás a leggyakrabban alkalmazott módszer. A csatolás egyenletességének javítása céljából, különösen érintkezésses letapogatás esetén szükséges lehet a vizsgáló felület megmunkálása.”

3.3.1 Reflexió

Az érintkezésses vizsgálat, ahogy az a nevéből is következik, olyan vizsgálat, amikor a vizsgálófej közvetlenül érintkezik az ellenőrzendő tárgy felületével, akár egyenes, akár ferde besugárással működik.

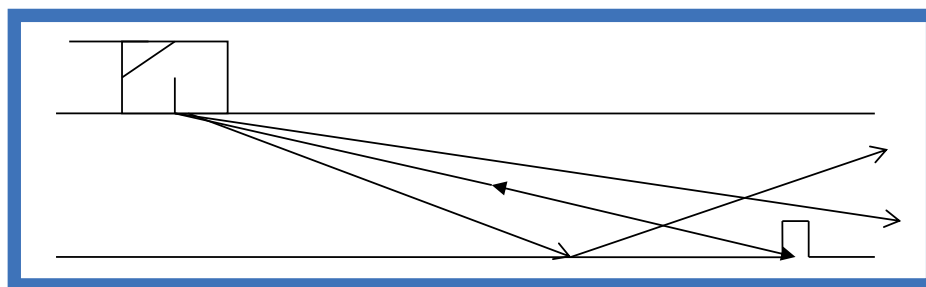
3.3 ábra.



A 3.3 ábrán a 0°-os (nyomóhullámú) monokristályos vizsgálófejjel végzett **reflexiós kontaktvizsgálat** módszere látható. Ez az ultrahangos vizsgálatok között széles körben alkalmazott módszer.

Szögvizsgáló fej

3.4 ábra



A 3.4 ábrán az egyrengős, ferde besugárássú vizsgálófejjel végzett (transzverzális hullámú) **érintkezésses, impulzus-visszhang vizsgálati** módszer látható. Ez az ultrahangos varratvizsgálatok terén széles körben alkalmazott módszer.



Az impulzus-visszhang módszerben a reflektorok helymegállapításához, kiértékeléséhez és beméréshez használt jel a vizsgált terület által visszavert jel. Ez lehet egyszerűen a hátfal vagy valamilyen kisebb folytonossági hiány, de minden egyes esetben a reflektor felismerése a vevőbe visszatérő jel amplitúdójától függ.

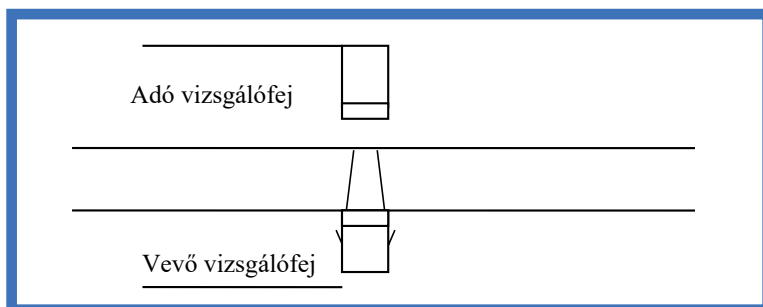
Az érintkezéses vizsgálat során nem csak az MSZ EN 583-3 szabvány 4.4 fejezetében hivatkozott hatások, de a vizsgáló által a vizsgálófejre gyakorolt nyomás is kihat az eredményre. Ezt a mechanikus nyomást az ellenőrzendő munkadarab vizsgálata során folyamatosan fenn kell tartani, amihez pedig hosszú évek tapasztalata szükséges.

A merítéses vagy vízsugaras rendszerekhez hasonló érintkezésmentes vizsgálati módszerek ezt a változót kiküszöbölik, és állandó csatolási jellemzőket biztosítanak.

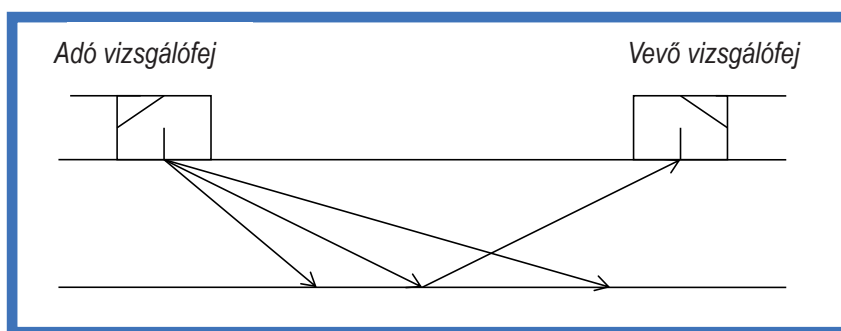
3.3.2 Átsugárzásos módszer

Ez a módszer két különálló vizsgálófejet használ; az egyik az adó, a másik pedig a vevő. A vizsgálófejeket a munkadarab azonos oldalára helyezik, vagy pedig egymással szemben, a munkadarab ellentétes oldalaira. A berendezés képernyőjén látható jel csökkenése vagy elvesztése általában anyaghiba jelenlétét jelzi. Ezzel a módszerrel az anyaghiba mélysége nem állapítható meg, de alkalmas magas csillapítású anyagok vizsgálatára is, vagyis amikor az impulzus-visszhang módszer alkalmazása nehézkes, különösen durvaszemcsés anyagok, úgymint rozsdamentes acél varratok vagy öntvények, vizsgálatánál.

3.5 ábra



3.6 ábra



Az impulzus-visszhang módszerrel végzett vizsgálatoknál a berendezés képernyőjén látható jel csökkenése vagy megszűnése akár a reflektorral kapcsolatos problémákra, az anyagon belüli csillapításra, vagy pedig olyan anyaghiba jelenlétére utalhat, amelynek helyzete nem merőleges a hangnyaláb fősugarára.

Az MSZ EN 583-3 szabvány 4.4 pontja szerint:

„Különálló adó és vevő vizsgálófejek és/vagy a megvizsgálandó tárgy ellentétes oldalán elhelyezett reflektor használatakor ezek relatív helyzete is kritikus, és ahol csak lehetséges, állandó helyzetben kell biztosítani síkba állításukat”.

Ez a módszer egy olyan maximum/minimum művelet, melynek során a jel csökkenése vagy gyakran teljes megszűnése arra utal, hogy valami rendellenesség van az adó és a vevő között.

3.4 MERÍTÉSES MÓDSZEREK (EGYENES ÉS FERDE BESUGÁRZÁS)

Merítéses vizsgálatnál az alkatrészt vízfürdőbe helyezik (ez gyakran tartalmaz korróziógátló és nedvesítő szereket) és a vizsgálófejet is ugyanebbe a fürdőbe helyezik, de a vizsgálat során állandó távolságot kell tartani az alkatrész felülete és a vizsgálófej között, amelynek a kalibrálás során szükséges minimális távolsággal kell megegyeznie.

E módszer gyakran használt változata a részleges merítéses módszer, melynek során vízsugarat alkalmaznak. Itt nincs közvetlen érintkezés, hanem a vízsugár biztosítja a csatolást a munkadarab és a vizsgálófej között.

A merítéses vizsgálatoknak több változata létezik:

- ◆ Merítéses.
- ◆ Vízsugaras.
- ◆ Rugalmas kerék alkalmazása.

Egyik fenti esetben sincs érintkezés a rezgő és a vizsgálandó felület között, hanem a feltöltött folyadék biztosítja a szükséges kapcsolatot.

Rugalmas kerék esetében a manuálisan alkalmazott nyomás befolyásolhatja a jel amplitúdóját. A többi esetben az állandó csatolás elve valósul meg.

Merítéses vizsgálatnál a munkadarabba különböző fajta hullámokat lehet bejuttatni. A vizsgálófej és a munkadarab felülete közti távolság miatt a vizsgálófejet a kívánt szögbe lehet állítani, így kialakíthatók merőleges longitudinális hullámok, ferde beesésű longitudinális hullámok, ferde beesésű transzverzális hullámok, felületi hullámok és akár lemez hullámok is.

A rendszer automatizálható, még a rugalmas kerék rendszerben is. Minden vizsgálófej pozicionálása megoldható.

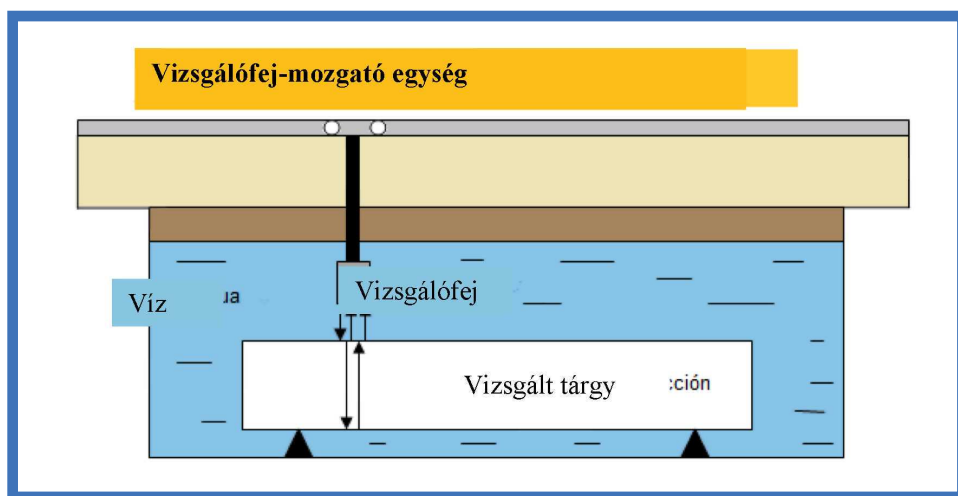


3.4.1 Reflexió

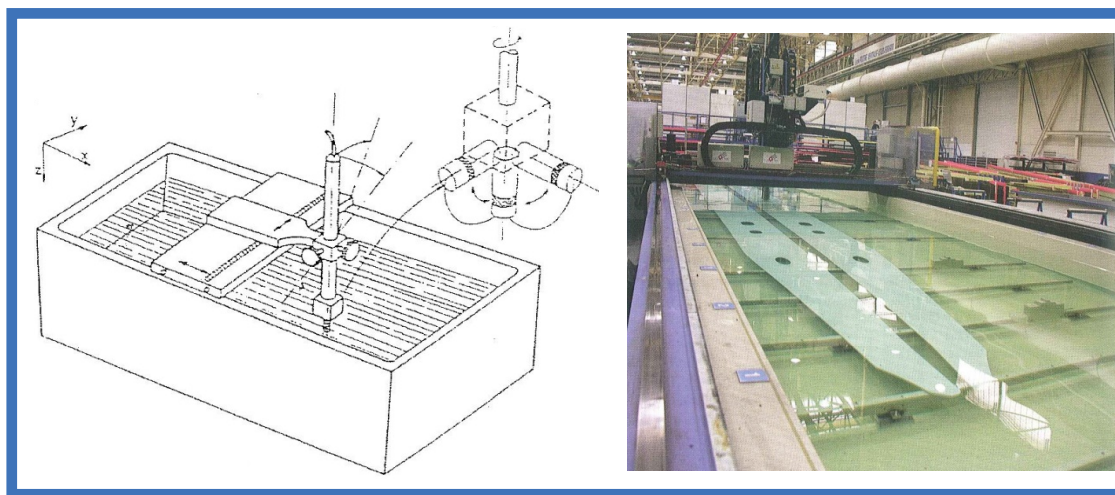
A kontakt-vizsgálatokkal ellentétben, ahol a jel néha eltűnik a vizsgálófej mozgása során, a mérési módszer állandó csatolást biztosít.

Az ilyen fajta vizsgálatoknál az alkatrész egyszerű geometriája garantálja az anyag felületének állandó helyzetét. A vizsgálatot általában számítógéppel vezérelt automata manipulátorra szerelt fejjel végzik el.

3.7 ábra



3.8 ábra



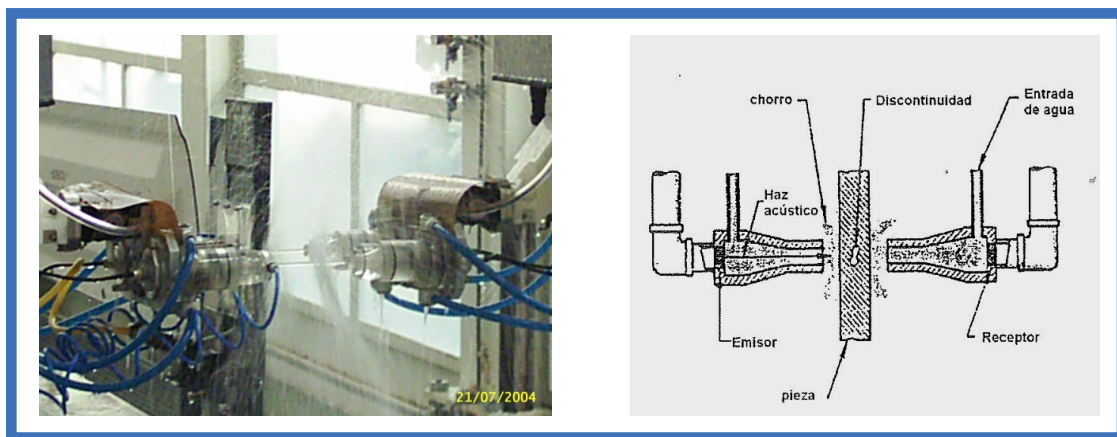
Ebben a környezetben állandó csatolás biztosítható, és a vizsgálófej mozgásakor nincs jelvesztés, mint ami az érintkezési vizsgálat során előfordulhat.



3.4.2 Átsugárzásos módszer

Az érintkezéssel vizsgálathoz hasonlóan a merítéses vizsgálatnál is alkalmazható az az elrendezés, melynél az adót a tárgy egyik oldalán, a vevőt pedig a másik oldalán helyezük el. Ezt a technikát széles körben alkalmazzák acélcsövek hosszvarratainak ellenőrzésére.

3.9 ábra



Ábrafeliratok balról jobbra, felülről lefelé

Szétfröccsenés

Anyaghiba

Víz bevezetése

Mérőadó

Hangsugár

Munkadarab

Mérővevő

Megjegyzés: A fenti módszerekkel kapcsolatban további tájékoztatással szolgál az MSZ EN 583-3 szabvány.

3.5 MÉRÉSI TARTOMÁNY ÉS AZ ÉRZÉKENYSÉG BEÁLLÍTÁSA

Ahhoz, hogy pontos információt kapjunk a vizsgálandó munkadarabról, rendkívül fontos az ultrahangos ellenőrzéshez alkalmazott berendezés precíz beállítása. Erről az ultrahangos vizsgálatokról szóló MSZ EN 583-2 jelű szabvány ad részletes tájékoztatást. A szabvány kiter a berendezés előkészítésére, az érzékelt anyaghibák (A-képes) ábrázolására, illetve a detektált reflektorok helyének és méretének reprodukálható megállapításához szükséges lépésekre.

Az alapértékek beállítása után meg tudjuk állapítani egy észlelt reflektor helyét, vagyis egy adott felülethez viszonyított mélységét, és a hang által megtett út felületi vetületének nagyságát is.

Az érzékenység beállítása az alkalmazott módszerektől és a vonatkozó szabványok követelményeitől függ. Az MSZ EN ISO 17640 szabvány például a hegesztett kötések vizsgálatával foglalkozik. A mérési tartományra vonatkozó követelményeket a vizsgálati módszer (egy- vagy többirányú letapogatás), a vizsgálati terület (alapanyag vagy varrat), a vizsgált anyag vastagsága, az alkalmazott vizsgálófej fajtája (merőleges vagy szögsugárzó) és a kiértékelés módszere (TEN, ÖRG, stb.) határozza meg.



3.5.1 Referenciareflektorok

Megvizsgálandó az ellenőrzés módszere. A varratok vizsgálatakor alkalmazandó referenciareflektorokat az MSZ EN ISO 17640 szabvány ismerteti:

- ◆ ÖRG (DAC) görbe felvételéhez használandó 3 mm átmérőjű, keresztirányú hengeres furatok;
- ◆ TEN (DGS) görbesereg előállításához használandó, különböző méretű körtárcsa alakú reflektorok (lapos fenekű zsákfuratok);
- ◆ ÖRG (DAC) görbe felvételéhez használandó 1 mm-es merőleges bemetszések;
- ◆ tandem módszernél alkalmazandó 6 mm-es körtárcsa alakú reflektorok.

A vizsgálati módszer alkalmazásához ezek mindegyikét, illetve bármelyiket előírhatjuk.

3.5.2 Átviteli korrekció

A decibelben mért erősítési korrekció beállítása azt jelenti, hogy figyelembe vesszük az ellenőrző test és a vizsgált anyag közt fennálló csatolási, reflexiós és csillapítási különbség miatt bekövetkező veszteségeket.

Ezt a különbséget az anyagtulajdonságok, a gyártási folyamat, a vizsgált darab felületének állapota és hőmérséklete is okozhatja.

Fémes anyagokban az ÖRG (DAC) görbe felvételéhez használt szabványos összehasonlító testek anyagának hanggyengítése általában alacsony. A varratok, különösen a rozsdamentes acélok varratainak hanggyengítése ettől jelentős mértékben eltérhet (nöhet), így gyakran fordul elő, hogy jelentős mértékben alulméretezik a varratban esetleg talált reflektorokat (folytonossági hiányokat).

Példa: A referenciatestben elenyésző a hangcsillapítás. A 3 mm-es, 30 mm távolságban lévő keresztirányú hengeres furat visszhangjának magassága a teljes képernyő-magasság 40%-a. Ha egy hasonlóan 30 mm távolságban lévő furat a vizsgált anyagban (varratban) – akár a felületminőségek közötti különbség miatt – a képernyő teljes magasságnak csak 20%-át kitevő magasságú visszhangjelet állít elő, akkor a vizsgáló a reflektort alulméretezheti.

Varratok ultrahangos vizsgálatoknál rendkívül fontos, hogy a referenciatest és a vizsgálandó anyag hanggyengítése között fennálló bármiféle különbséget kompenzáljuk. Ha a hanggyengítések különbsége kisebb, mint 2 dB/m, akkor nincs semmi teendők, de ha ez az érték a 2 dB/m–12 dB/m tartományban van, akkor megfelelő korrekció alkalmazása szükséges.

Ha a vizsgált anyag és a referenciatest anyagának hanggyengülési együtthatói ismertek, a szükséges korrekció kiszámítható.



3.6 ULTRAHANGOS FALVASTAGSÁG-MÉRÉS

3.6.1 Berendezés

Mivel egy ultrahangos eszköz mérési tartományának kalibrálása a hangnak az adott anyagban mért sebességén alapul, ezért ha ez a sebesség ismert, akkor megállapítható, hogy a hang adott idő alatt mekkora távolságra képes eljutni ebben a közegben.

Ezt a mérést elvégezhetjük ultrahangos berendezéseink segítségével, A-képes ábrázolással, vagy speciálisan erre a célra kialakított, olcsóbb vastagságmérő műszerekkel is.

Legegyszerűbb formájában az ultrahangos vastagságmérő az a műszer, amely az ismert anyag vastagságára egy digitális formában leolvasható értéket ad.

Egyes műszerek képesek a vastagság-méret digitális kijelzése mellett az A-képes kijelzésre is.

A még korszerűbb műszerek alkalmasak a mért értékek tárolására, és akár kinyomtatható jegyzőkönyv készítésére is. Manapság nem ritkák a 0,010" (0,254 mm) pontosságú falvastagságmérő műszerek sem.

Digitális falvastagságmérő

3.10 ábra.



A kijelzőn látható mért érték 0.0169" (0,429 mm)

3.6.2 Módszerek

Ha egy készüléket vastagság mérésére akarunk használni, akkor legelőbb precízen kalibrálni kell a szükséges mérési tartományra.

A megfelelően magas frekvenciájú szondákkal felszerelt falvastagságmérők 0,2 mm-től alkalmasak a mérésre.

Ezeket a mérőműszereket leginkább a korróziós károsodások értékelésére használják. Gáznemű vagy folyékony közeget szállító csővezetékben, nyomástartó edényekben több ponton és időszakonként megismételve, falvastagság mérésével a korrózió vagy erózió előrehaladásának mértékét állapítják meg. Ezt a vizsgálatot az anyag külső felületéről végzik, és a falvastagság mérése során meghatározásra kerül, hogy milyen mértékben vékonyodott el a fém.

3.7 ReferenciarefektorOK (TÁVOLSÁGTÖRVÉNYEK)

Az ultrahangos vizsgálatok során az alábbi hatásokat kell figyelembe venni:

- ◆ hangúttávolság hatása a reflektor észlelt méretére,
- ◆ vizsgálófej jellemzők hatása a hangnyaláb széttartására, illetve a reflektor észlelt méretére.

3.7.1 Hangúttávolság hatása

A reflexióra két szabály érvényes:

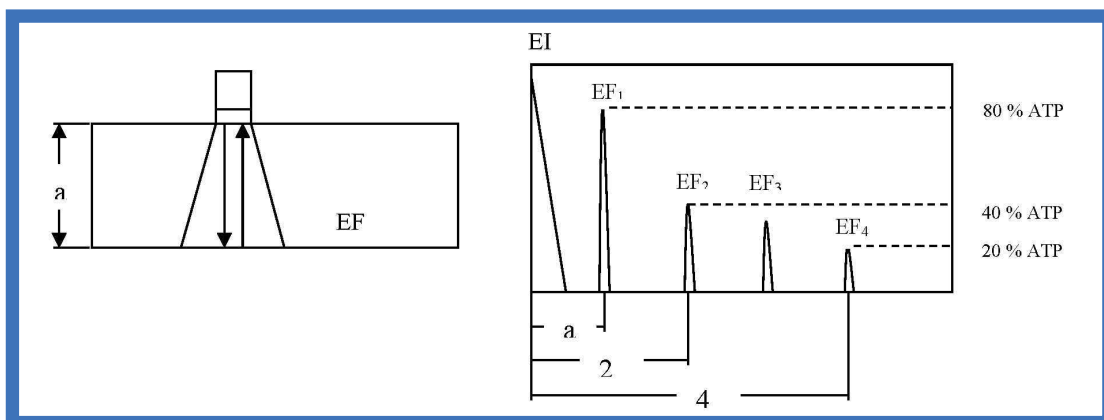
- ◆ nagy reflektorokra az úgynevezett nagyreflektorok távolságtörvénye (inverz szabály) vonatkozik;
- ◆ kis reflektorokra az úgynevezett kisreflektorok távolságtörvénye (az inverz négyzetének szabálya) vonatkozik.

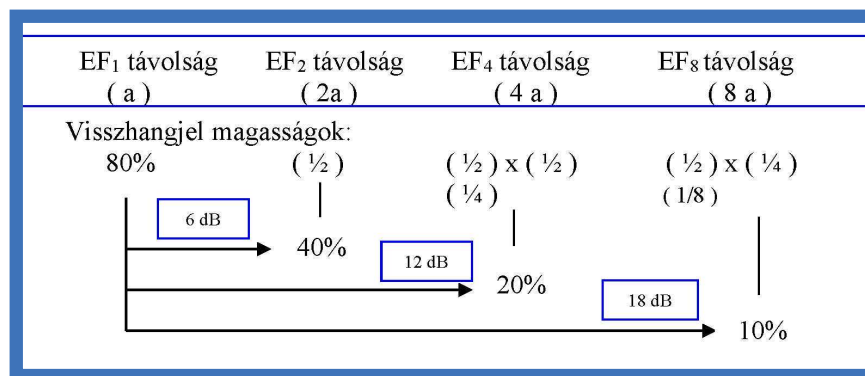
Azt a reflektort nevezzük nagyreflektornak, melynek minden – a fősugárra merőleges – mérete nagyobb, mint a hangnyaláb azonos távolságban lévő keresztmetszetének bármely mérete.

1. helyzet:

Az (a) távolságra lévő hátfalról, mint reflektorról visszaverődő visszhang a képernyő magasságának 80%-ával megegyező visszhangjelet (EF_1) eredményez. A távolság kétszereséről (2a) ismétlődő visszhangjel (EF_2) amplitúdója az elsőnek a fele, vagyis a képernyő magasságának 40%-a.

3.11 ábra



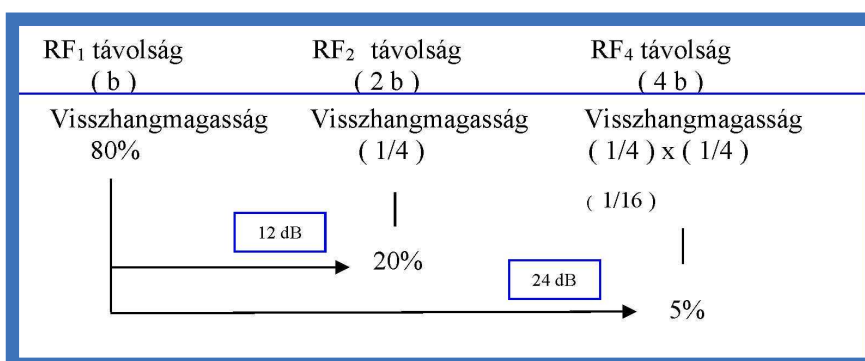
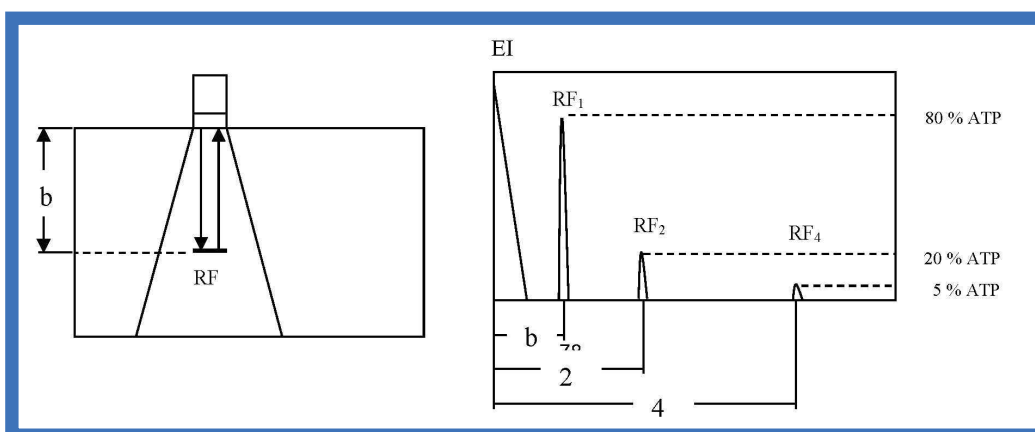


Azt a reflektort nevezzük kisreflektornak, melynek minden – a fősugárra merőleges – mérete kisebb, mint a hangnyaláb azonos távolságban lévő keresztmetszetének bármely mérete.

2. helyzet:

A (b) távolságra lévő körtárcsa alakú reflektorról (KTR) visszaverődő visszhang a képernyő magasságának 80%-ával megegyező visszhangjelet (RF1) eredményez. A távolság kétszereséről (2a) ismétlődő visszhangjel (RF2) amplitúdója az elsőnek a negyede, vagyis a képernyő magasságának 20%-a.

3.12 ábra



Ha ugyanazon a diagramon felrajzoljuk a (HVH) és a referenciareflector (RF) ÖRG-jeit (összehasonlító reflektor görbéit), látható, hogy a referenciareflector görbéje gyorsabban esik, mint a hátfalvisszhangé.

Hangnyaláb-széttartás hatása

A fókuszált vizsgálófejeket kivéve, minden hagyományos vizsgálófej esetén a hangnyaláb keresztmetszete a rezgőtől mért távolsággal együtt nő. Ez a hangnyaláb-széttartás (divergencia) nyilvánvalóan az anyagon belüli szóródás következménye és a hanggyengülést eredményez.

Példa:

Van egy fix méretű reflektorunk, ami egy 2,4 mm átmérőjű lapos fenekű furat (KTR). Az 1. vizsgálófej hangnyalábjában, egy adott hangút-távolságban, a fősugártól mért növekvő távolságban csökkenő visszhangjeleket ad. A 2. vizsgálófejjel is elvégezve ugyanezt a vizsgálatot, azt tapasztaljuk, hogy a visszhangjel csökkenésének mértéke eltér az előzőtől.

1. vizsgálófej: longitudinális hullámú, egykristályos, 10 mm átmérőjű, 4MHz frekvenciájú rezgő.
2. vizsgálófej: longitudinális hullámú, egykristályos, 25 mm átmérőjű, 4MHz frekvenciájú rezgő.

Egy ultrahangos hangnyaláb széttartási félszögét az ismert képlet alapján határozzuk meg.

$$\sin \phi/2 = K \frac{C}{D \cdot f}$$

Ezért:

- | | |
|----------------------------|----------------|
| 1. vizsgálófej hangnyaláb: | fél szöge= 10° |
| 2. vizsgálófej hangnyaláb: | fél szöge= 4° |

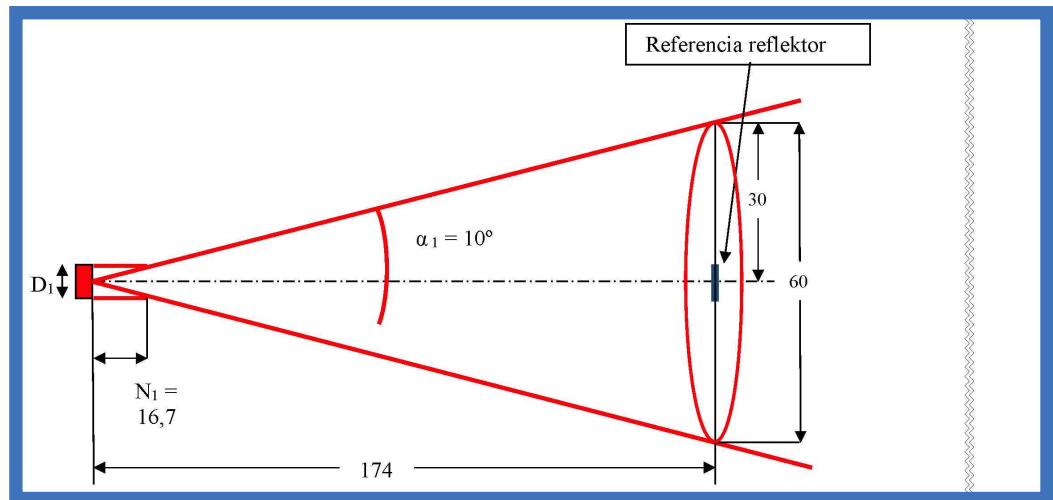
Ha a hangnyaláb szélességét akarjuk kiszámolni adott (a példa alapján 174 mm) távolságban, akkor a következőképpen járunk el:

$$\cos \alpha_1 = \frac{174}{H_1} \Rightarrow H_1 = 177,5 \text{ mm}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{X_1}{177,5} \Rightarrow X_1 = 30 \quad Y_1 = 2X_1 = 60 \text{ mm}$$



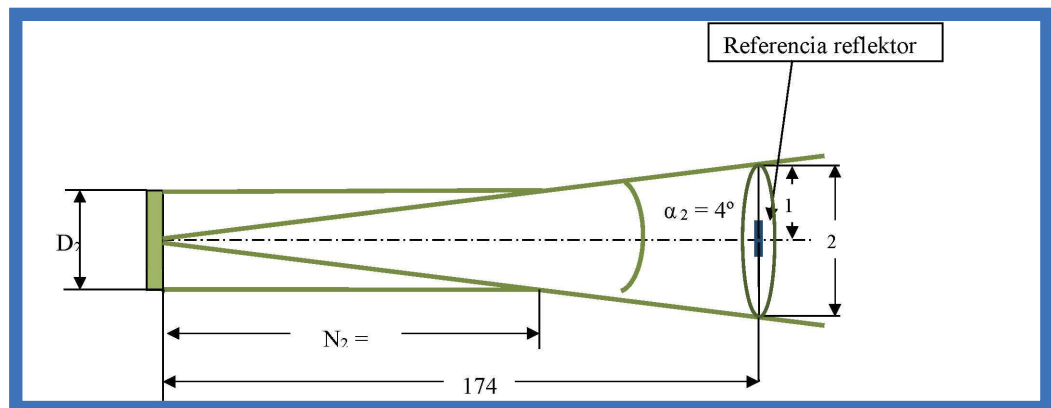
3.13 ábra



$$\cos \alpha_2 = \frac{174}{H_2} \Rightarrow H_2 = 174,5 \text{ mm}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{X_2}{174,5} \Rightarrow X_2 = 12 \text{ mm}, Y_2 = 2X_2 = 24 \text{ mm}$$

3.14 ábra



Ez azt jelenti, hogy 174 mm távolságra a hangnyaláb szélessége 60 mm az 1. vizsgálófej esetében, de csak 24 mm a 2. vizsgálófejnél.

Ha egy 2,4 mm átmérőjű reflektort helyezünk a fenti vizsgálófejek hangnyalábjának fősugarába, akkor a reflektor keresztmetszetének a hangnyaláb keresztmetszetéhez viszonyított aránya a következő:

Reflektor: 2,4 mm átmérő; terület = 4,52 mm².

10 mm rezgőátmérő: 60 mm átmérő, terület = 2826 mm²

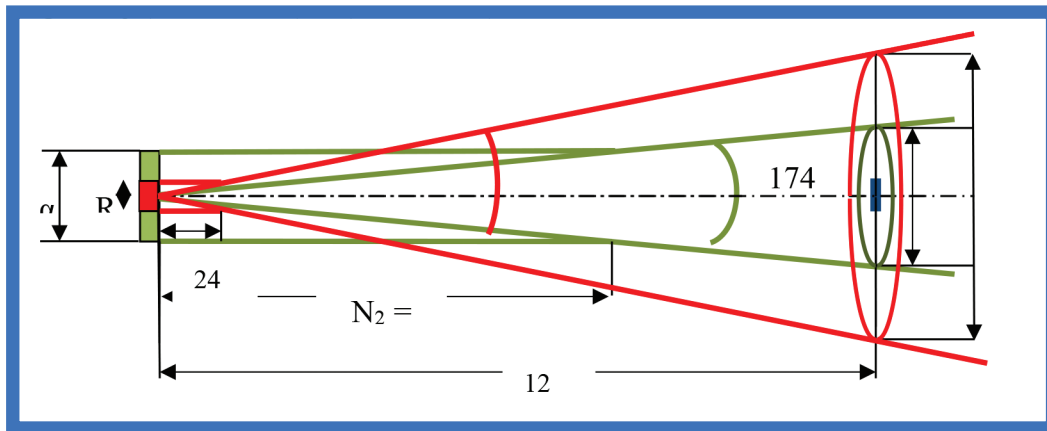
25 mm rezgőátmérő: 24 mm átmérő, terület = 452 mm²

1. vizsgálófej (Ø = 10 mm) = (4,52/2827) x 100 = 0,16%

2. vizsgálófej (Ø = 25 mm) = (4,52/452) x 100 = 1%



3.15 ábra



Az eredmény magyarázata:

Ugyanaz a reflektor azonos távolságban közel tízszer akkora felületet fed le a 25 mm-es átmérőjű rezgő hangnyalábjából, mint a 10 mm-eséből. A visszhangjel amplitúdója ezért a 25 mm-es rezgőjű vizsgálófej használatakor ebben az esetben számottevően magasabb, mint a 10 mm-es rezgőnél.

Megjegyezzük, hogy mivel az amplitúdó maximális értéke a fősugárban van (tehát a keresztmetszet középpontjában), a vizsgálófej legkisebb mértékű elmozdítása ebből a helyzetből, a visszhangjel megszűnését eredményezheti (lásd 3.15 ábra).

Végül pedig lássuk be, hogy kisreflektorokra az inverz négyzetes szabály vonatkozik mind a reflektor távolságát, mind a területét illetően, tehát egy 4 mm² felületű reflektor visszhangjelének magasságához képest dupla távolságban nem a 8 mm²-es, hanem a 16 mm²-es felületű reflektor okoz kétszer akkora visszhangjelet.

Ezt felhasználhatjuk a reflektorméret kiértékelésére az ÖRG (DAC) módszer alkalmazásakor, ha a kimutatott reflektor nem esik pontosan egy vonalra az ÖRG (DAC) görbével.

Példa

A DAC-görbét egy 3 mm-es sík fenékfurat vonatkozásában vesszük fel (tehát az A_1 terület ismert). Meg kell határozni a talált reflektor méretét (A_2), melynek amplitúdója az ÖRG (DAC) görbe alatt van 4 dB-lel.

Számítsuk ki a reflektor (----) méretét.

$$\text{dB különbség} = 20 \log_{10} (H_1/H_2) = 20 \times \log_{10} (1. \text{ terület}/2. \text{ terület}) = 4:$$

Ha az 1. terület, vagyis a referenciareflector mérete ismert, a 2. terület is kiszámítható.

$$1. \text{ terület} = \pi \times r^2 = 3,142 \times 1,5 \times 1,5 = 7,07 \text{ mm}^2.$$

$$2. \text{ terület} = 7,07/1,585 = 4,46 \text{ mm}^2$$

Tehát $\pi \times r^2 = 4,46$; ezért $r = 1,2 \text{ mm}$ és a talált reflektor átmérője 2,4 mm.



3.8 TEN (DGS) MÓDSZER

A TEN (DGS) módszer során egyetlen reflektormérethez tartozó görbe felrajzolása helyett egyetlen diagramon különböző referenciarefektorhoz tartozó görbéket találunk. A diagramnak többféle előállítási módját ismerjük, de alapvetően két általános típusa létezik:

- ◆ egy bizonyos vizsgálófejhez tartozó, általános acélra vonatkozó speciális diagram
- ◆ általános (normalizált) diagram, mely bármely vizsgálófejre alkalmazható.

A TEN diagram használata

Amikor a speciális diagramot használjuk, két lehetőség közül választhatunk: papírra kinyomtatott diagram, vagy a képernyőhöz igazított, átlátszó fóliára nyomtatott diagram, amelyet egy konkrét vizsgálófej típusához tartozóan közvetlenül a készülék képernyőjére téve használunk.

Tehát, a vizsgálófej/készülék kombinációhoz tartozó skálabeosztást a műszer képernyője elé helyezzük. Az érzékenység beállításához a hátfal-visszhangot megnöveljük a HVH-szintre, ezzel beállítjuk a szükséges erősítést. A munkadarab vizsgálatakor, a folytonossági hiánynál kapott visszhangjel maximumánál, a jelcsúcs kijelöli azt a görbét, mely megmutatja, hogy a talált anyagfolytonossági hiány hangvisszaverő képessége mekkora KTR (körtárcsa alakú reflektor) hangvisszaverő képességével egyezik meg.

Arra is van lehetőség, hogy a képernyő időalapján megjelenő jelamplitúdó változásokat a hangúttávolságok függvényében korrigáljuk. Ekkor az azonos KTR nagyságú jelamplitúdók csúcsa az időalapjal párhuzamos (vízszintes) görbét jelölik ki (mélység, illetve futásidő szerint korrigált erősítés módszere /TCG = Time Corrected Gain/) Ez megkönnyítheti az anyaghibák automatikus szortírozását. A papíralapú diagram alkalmazását az alábbiakban mutatjuk be.

1. Az alkatrészen

A vizsgálófej mozgatásával keressük meg az anyaghibáról érkező jel maximumát, majd az erősítés szabályzó segítségével állítsuk azt félképernyő magasságra. Jegyezzük fel az erősítés értékét.

Jegyezzük fel a folytonossági hiányig mért hangút-távolságot.

Egy hibamentes területen állítsuk a HVH értékét félképernyő-magasságra és ezt az erősítést is jegyezzük fel.

Mérjük le a hátfalig mért hangúttávolságot.

Vonjuk ki 1.3-at 1.1-ből, hogy megkapjuk dB-ben az anyaghiba visszhangja és a HVH közti erősítés különbséget.

2. A diagramon

Jelöljük a HVH-görbét a szükséges hangúttávolságban (1.4).

Függőlegesen mérjük le a dB különbséget (1.5).

Mozgassuk vízszintesen addig, amíg nem metszi az anyaghiba távolságában felrajzolt függőleges egyenest.

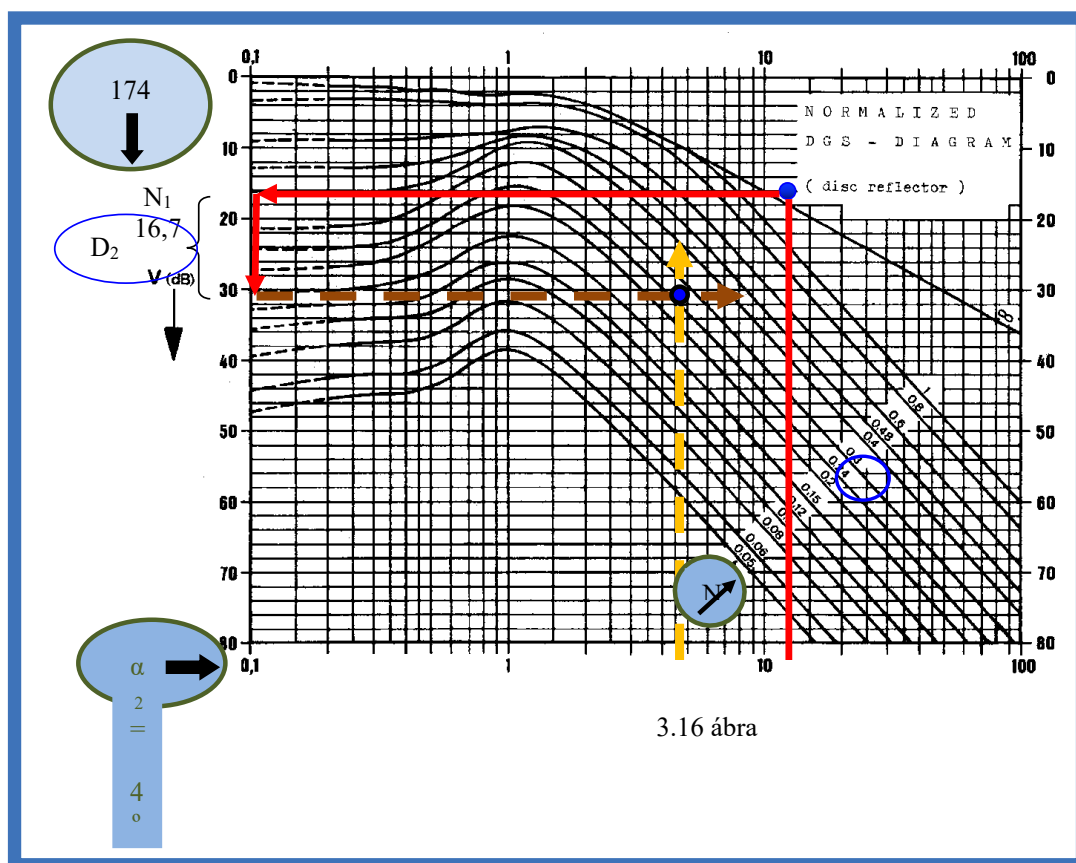


Az ehhez a metszésponthoz legközelebb eső görbe egyenértékű az anyaghiba KTR méretével.

Az általános diagram használatához az alkalmazott vizsgálófej rezgőátmérőjének és frekvenciájának felhasználásával kell a közeltér hosszát kiszámítani, majd ezek segítségével lehet meghatározni a talált anyagfolytonossági hiányt helyettesítő KTR méretét.

Normalizált TEN-diagram

3.16 ábra.



Gyakorlati példa

A fenti általános diagram (3.16 ábra) használatakor, amelyen egy 85 mm vastagságú sík alkatrészben 35 mm mélységben előforduló anyaghiba ekvivalens KTR mérete látható, hol van 14 dB különbség az anyaghiba visszhangja és a HVH közt?

Az alkalmazott vizsgálófej = 2 MHz, 10 mm rezgőátmérőjű, egykristályos, longitudinális hullámú. A vizsgált anyag lágyacél, amiben a hang terjedési sebessége 6×10^6 mm/sec.

Először is számítsuk ki a szonda N értékét.

$$N = D^2 \times f/4 \times C$$

$$N = (10 \times 10) \times 2 \times 10^6/4 \times 6 \times 10^6$$

$$N = 200/24 = 8.33 \text{ mm}$$

Az anyaghiba hangúttávolsága = 35 mm, melynek távolságtényezője: $35/8.33 = 4,2$

HVH hangúttávolsága = 85 mm, melynek távolságtényezője: $85/8.33 = 10,2$

Jelöljük ki a diagramon 10,2 N távolságban a HVH-erősítés értékét. (16 dB-nél kapjuk a metszéspontot).

Ezután függőlegesen lefelé a diagramon mérjük le 14 dB-t (30 dB értékig).

Ezután vízszintesen haladva az anyaghiba távolságánál (4,2 N) fogjuk metszeni a $G = 0,24$ erősítés tényező görbét.

Ezek alapján a kimutatott anyaghiba mérete a helyettesítő reflektornagyság értékével meghatározható: $0,24 \times 8,33 = 2,00 \text{ mm}$.

A kimutatott anyaghiba ekvivalens mérete = $\varnothing 2 \text{ mm KTR}$.

3.9 ÖRG (DAC) GÖRBÉK

Ez a hibakimutatási módszer arra épül, hogy az anyagfolytonossági hiány visszhangjának amplitúdóját összehasonlítjuk egy ismert méretű referenciareflektor amplitúdójával. Ahhoz, hogy figyelembe vehessük a kapott visszhangok amplitúdójának változását a távolság függvényében, ismernünk kell a különböző távolságban lévő reflektorok visszhangmagasságát is. Ezen jelcsúcsokat összekötő görbét nevezzük Összehasonlító Reflektor Görbének (ÖRG). Ezt a görbét rajzoljuk fel a berendezés képernyőjére, majd az alkatrészt letapogatjuk, és a talált anyaghibák visszhangjának amplitúdóját közvetlenül hasonlítjuk össze a görbével. Ha az ÖRG alkotja az értékelésünk kizárólagos alapját, a görbe felett megjelenő bármiféle visszhangjel az átvételi határ meghaladását jelenti, míg a görbe alattiakat csak akkor kell jelteni, ha azok amplitúdója meghaladja az ÖRG 50%-át.

Minden reflektortípushoz, minden egyes vizsgálófejhez és minden mérési tartományhoz fel kell rajzolni az ÖRG-öt.

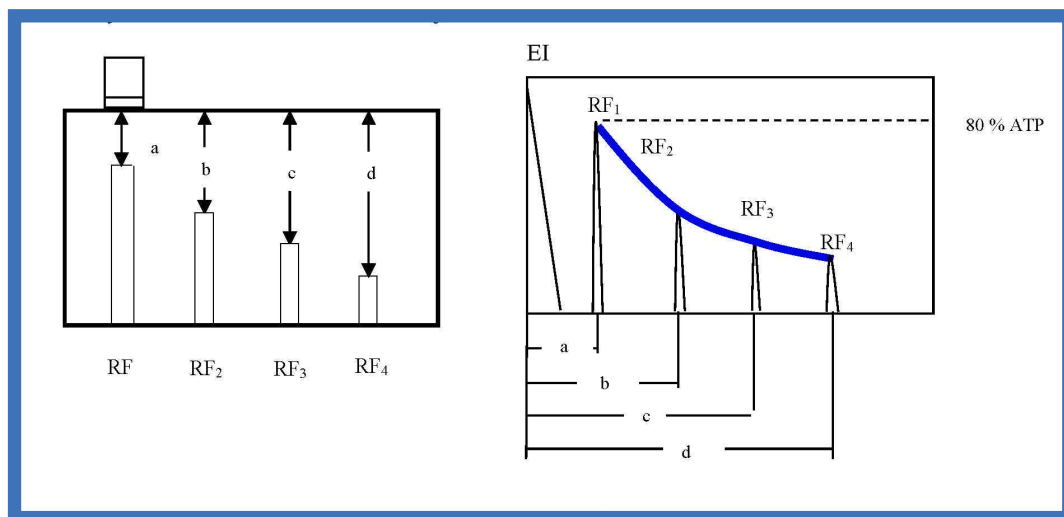


3.9.1 ÖRG (DAC) görbék felrajzolása analóg berendezéseknél

- ◆ Győződjünk meg a vizsgálófej és az összehasonlító test tisztaságáról, hogy egyenletes csatolást biztosítsunk.
- ◆ Állítsuk be a kívánt mérési tartományt.
- ◆ Irányítsuk a vizsgálófejet az összehasonlító reflektorok felé és a vizsgálófej mozgásával jelöljük ki azok maximális visszhangjelét.
- ◆ A legközelebbi reflektor jelét állítsuk 80% képernyőmagasságra, majd a többit is jelöljük fel, de közben az erősítés értékét ne változtassuk.
- ◆ Jegyezzük fel az erősítés értékét.
- ◆ Kössük össze a kapott pontokat egy folytonos görbével (vagy egyenes szakaszokkal).
- ◆ Vigyük át az ÖRG görbét egy átlátszó műanyag fóliára, amely a berendezés képernyőjére helyezhető további használat céljából.

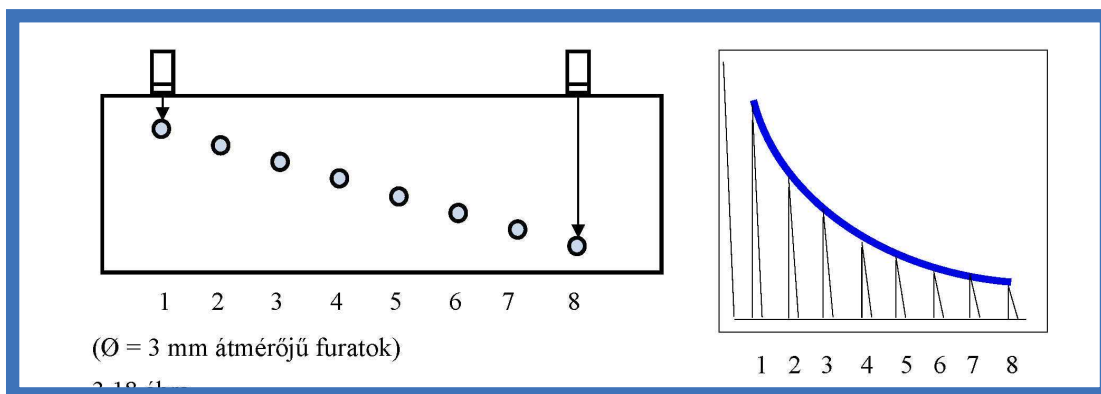
Összehasonlító test lapos fenekű zsákfuratokkal (KTR) (merőleges vizsgálófejekhez)

3.17 ábra

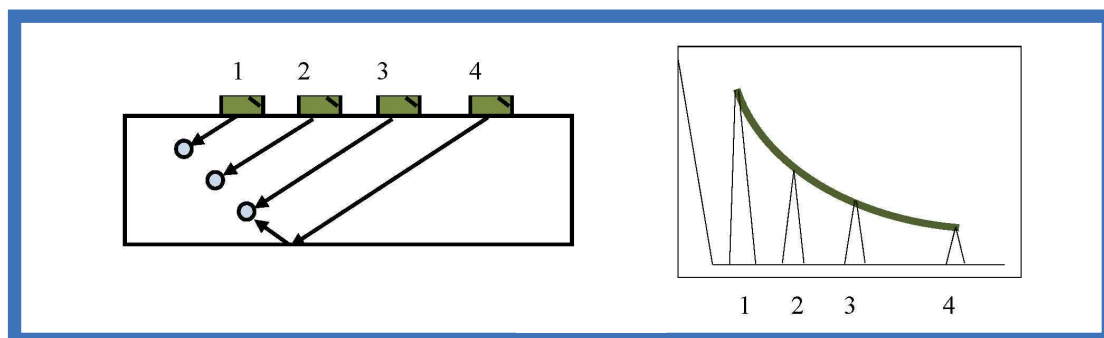


Összehasonlító test keresztirányú hengeres furatokkal (KHF) (merőleges vizsgálófejekhez)

3.18 ábra



3.19 ábra



Összehasonlító test keresztirányú hengeres furatokkal (KHF) (szögvizsgáló fejekhez)

Manapság a legtöbb digitális berendezésnél a visszhangjel-maximumok rögzítésével automatikusan megrajzoltatható az ÖRG-görbe. A közeltér hatásai miatt előfordulhat, hogy nem a szondához legközelebbi furat adja a legnagyobb amplitúdójú visszhangjelet, mert a közeltér-tartományban ingadozhat a hangnyomás, így a jel amplitúdója is. Az ÖRG felrajzolása előtt a vizsgálófejjel többszöri letapogatást kell elvégezni ahhoz, hogy meghatározhassuk a legnagyobb amplitúdójú visszhangjelet.

3.10 TÁVOLSÁG/AMPLITÚDÓ KORREKCIÓ

Egy adott reflektor által visszavert jel amplitúdója csökken a szonda távolságának növekedésével.

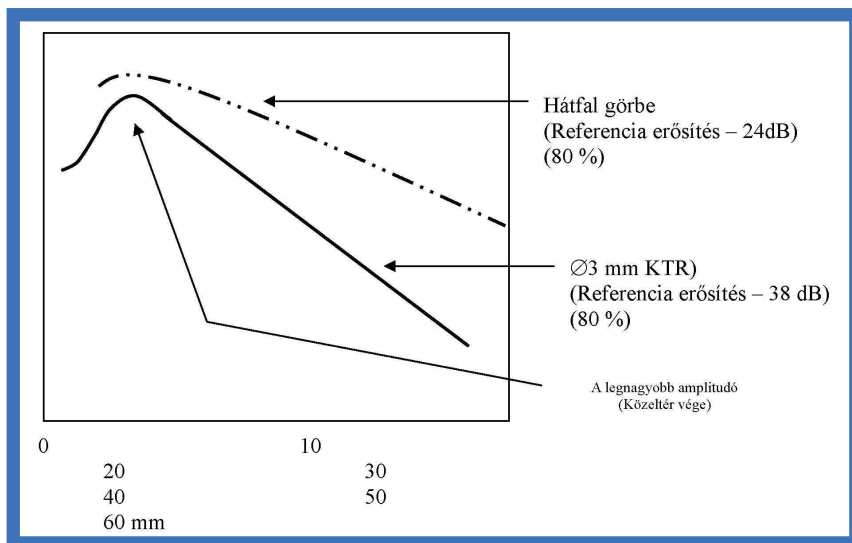
Ennek okai a következők:

- ◆ abszorpció az anyagban;
- ◆ szóródás az anyagban;
- ◆ a hangnyaláb széttartása (geometria).

A távolság/amplitúdó-korrekciónak elsődleges célja, hogy felismerjük és felrajzoljuk a hangnyaláb divergenciáját (a fenti lista c) pontja). A többi hatás kezeléséről a továbbiakban lesz szó.

Például ábrázoljuk a HVH-görbét és egy ismert reflektor görbét (3 mm átmérőjű KTR).

3.20. ábra



A 3.20 ábrán a görbe csúcsértéke egy adott vizsgálófej közelterének végére utal, és hangsúlyozza annak jelentőségét, hogy az ÖRG felrajzolása előtt megállapítsuk ezen maximális amplitúdót generáló reflektor helyét.

Emellett hasznos útmutatást nyújt a szonda 'aktuális' közelterének hosszát illetően, ami jobb, mint a számítással előállított érték.

A diagramon fent látható egyenes a HVH-egyenes, amelyre nem mindig van szükség, de egy adott anyag tekintetében hasznos lehet a jel amplitúdójának a vizsgált anyagban vagy az anyaghiba/berendezés kombinációban végbemenő változások okozta megszűnése okának felderítésében. Megjegyezzük, hogy a referencia-érzékenység eltérhet a reflektor (38 dB 80% SKM-nél /SKM=SKála-Magasság/) és a HVH (24 dB 80% SKM-nél) között, amit regisztrálni kell a diagramon.

ÖRG-görbék felrajzolásakor ezek minden esetben egy konkrét anyag- és szondaegyüttesre vonatkoznak, ezért az alábbi adatokat kell rögzíteni:

1. Reflektor típusa és mérete.
2. Az érzékenység beállításához használt reflektor mélysége;
3. Referencia-érzékenység (erősítés beállítása).
4. Időalap mérési tartománya.
5. Berendezés.
6. Átvitel korrekció (ha szükséges).

3.11 ÁTVITELI KORREKCIÓ (A FELÜLET- ÉS A HANGGYENGÜLÉS HATÁSA)

Az ÖRG felrajzolásához sík, megmunkált felületű, finomszemcsés, anyaghibától mentes összehasonlító testeket használunk. Ugyanakkor a vizsgálandó alkatrészben előfordulhatnak ívelt, vagy érdes felületek, és az alapanyagnak is lehet durvább a szemcsézettség, tehát magasabb a hangcsillapítása (nagyobb lehet benne a hanggyengülés).



Ezen jellemzők kiegyenlítése céljából alkalmazzuk az átviteli korrekciót. Ez annyiból áll, hogy az alkatrész hátfala és a referenciatömbök visszhangjelei közti erősítéskülönbséget (dB) figyelembe kell venni.

A vizsgált tárgy érdes felülete a bevezetett és fogadott jel szóródását (diffúzióját) is okozza, lecsökkentve a visszhangjel amplitúdóját. A durva szemcsésű anyag szemcséi is előidézhetik a hang szóródását (különösen nagyfrekvenciás szondák használatakor), ami szintén a visszhangjel csökkenését idézheti elő.

A vizsgált munkadarab anyagának jellege tehát eltérhet a referenciatest anyagától. Ezt az eltérést a hőkezelés különbsége, az összetétel, szövetszerkezet, és a megmunkálási különbségek okozhatják. Elmondhatjuk, hogy a vizsgáló mindezt a hanggyengülésben megmutatkozó különbségek révén észleli.

A jelamplitúdóban bekövetkező veszteségek okainak összefoglalása

1. Két közeg határfelületén:	Akusztikus impedancia
2. 6 dB esés minden HVH-nál a távoli zónában:	Hangnyaláb széttartása
3. Atomról atomra átvitt energia:	Elnyelődés
4. Hangvisszaverődés szemcsehatárokról:	Szóródás

Megjegyzés: A 3. és 4. kombinációját nevezzük „hanggyengülés”-nek.

Hanggyengülés

Miközben a hang áthalad a közegen, annak energiáját az anyaggal való kölcsönhatás csökkenti. Ezeket a hatásokat láttuk annak kapcsán, hogy hogyan csökken a hátfalvisszhang (HVH) a magasság és távolság függvényében. A hatás létrejöttéhez két tényező járul hozzá.

- ◆ **Elnyelődés:** az ultrahang-energia egy része elvész, mert le kell győzni az anyag belső súrlódását. A veszteség nagysága az anyagtulajdonságoktól függ: az elnyelődés mértéke kis sűrűségű anyagban nagy, és a nagyobb sűrűségű anyagban kicsi.
- ◆ **Diffúzió (szóródás):** A fémek szemcsézettségének orientációja véletlenszerű, és a nagyméretű szemcsék akár vissza is verhetik az ultrahangot. Ipari anyagokban ez okozza elsősorban a hanggyengülést, és ez egyúttal fontos tényező annak megállapításában, hogy az anyag egyáltalán vizsgálható-e ultrahangos eljárással.

A szóródás nagyságát a szemcseméretnek a hullámhosszhoz viszonyított aránya határozza meg. Ennek elsősorban akkor van jelentősége, ha a szemcseméret a hullámhossz század- és tizedrésze közé esik. A szórt ultrahang sok, kis amplitúdójú visszhangot kelt, amelyek leárnyékolhatják az anyaghibák visszhangját. Az erősítést megnövelve csak annyit érünk el, hogy megnő a zavarjelek (a „fű”) magassága, ezáltal romlik az anyaghibák észlelhetősége.



Alacsonyabb frekvenciájú (illetve nagyobb hullámhosszúságú) vizsgálófejek használatával csökkenthetjük a szóródás nagyságát, de figyelembe kell azonban venni, hogy ebben az esetben csak a nagyobb anyaghibák észlelésére korlátozódik a vizsgálat.

Egyéb tényezők is okozhatnak szóródást, például a finoman porózus, zárványos anyagszerkezet, vagy a zsugorodás. Öntöttvasban a grafit mérete, alakja és eloszlása is befolyásolja a szóródás nagyságát, valamint a szemcsék orientációja is gátolhatja a hangterjedést.

A hanggyengülés megállapítása

Az ultrahangos vizsgálatra gyakorolt hatása miatt a vizsgálatok előtt meg kell határozni a hanggyengülés értékét.

1. Hátfalvisszhang-különbség

Növessze meg az első HVH-t egy referenciaszintre a képernyőn (például a teljes képernyő magasság 80%-ára) és jegyezze fel az erősítés értékét dB-ben.

Növessze meg a másik HVH-t ugyanarra a referencia szintre és ezt az erősítés értéket is jegyezze fel. A két érték közti különbség összefüggésbe hozható a hanggyengüléssel.

2. Csillapítási együttható

A fenti módszer nem veszi figyelembe a hangnyaláb széttartásnak és az anyag vastagságának hatását. Ehhez vonjunk ki 6 dB-t a HVH-k erősítés különbözetéből, hogy figyelembe vegyünk a hangnyaláb széttartást, majd a kapott számot osszuk el az anyagvastagsággal, hogy megkapjuk a csillapítási együtthatót, dB/mm mértékegységben.

$$\text{Csillapítási együttható} = (\text{HVH}^1 - \text{HVH}^2) - 6\text{dB} \quad 2 \times \text{anyagvastagság}$$

Ezt a módszert csak akkor alkalmazhatjuk, ha teljesülnek az alábbi feltételek:

- a) az első HVH legalább a köztér-hossz 3-szorosa legyen;
- b) a hátfal felülete legyen párhuzamos a vizsgálati (szkennelt) felülettel;
- c) a hangnyaláb széttartását nem akadályozhatják határfelületek.

Vannak más egyszerű módszerek még az átviteli korrekció meghatározására.

a) Az összehasonlító test hátfal-jelének erősítésértékét és jelmagasságát feljegyezzük.

b) A vizsgált munkadarab ugyanolyan távolságban lévő hátfal-jelét ugyanakkorára növeljük, és feljegyezzük az ehhez szükséges többleterősítésértéket – korrekcióerősítés.

A vizsgálat végrehajtásakor ezt a korrekcióerősítést hozzáadjuk a referenciaerősítés értékéhez.



3.12 MÉRETMEGHATÁROZÁSI TECHNIKÁK: ELVEK ÉS KORLÁTOZÁSOK

A vonatkozó szabvány száma MSZ EN583-5.

A korábbiakban említettek szerint a manuális vagy mérítéssel vizsgálatnál kétfajta értékelési módszert alkalmazunk.

3.12.1 Letapogatásos módszer a hangnyaláb fősugarának megkeresésével (20 dB-es és 6 dB-es módszer)

A vizsgálófej mozgásával megkeressük azt a helyet, ahonnan a reflektorról a legnagyobb amplitúdójú jelet kapjuk. A vizsgálófej helyzetének függvényében felrajzolt amplitúdómagasság-diagramot dinamikus visszhangmagasság görbének (DVG) nevezzük. Formája az anyaghiba jellegét jellemzi. Ezzel a módszerrel a vizsgálati darab felületére felrajzolhatjuk az anyag belsejében lévő anyagfolytonossági hiány felületi vetületét. Minden olyan módszer, amely a hangnyalábbatár kimérésén alapul megköveteli, hogy a vizsgáló tisztában legyen a hangnyaláb geometriájával, és ismerje a vizsgálófej sugárkilépési pontjának helyét.

A módszerek alkalmazása

20 dB-es módszer

Ezt a módszert akkor alkalmazhatjuk, amikor az anyagfolytonossági hiány a hangnyaláb tengelyére merőleges, és a reflektortól mért távolsága a hangnyaláb távoterébe (az egyenes hangnyomású térrészbe) esik.

Az eljárás a következő: a visszhang maximális magasságának helyét (a sugárkilépési pontnál) feljelöljük a felületre, majd addig szkenneljük a felületen az anyaghiányt, amíg a visszhang amplitúdója le nem csökken 20 dB-lel. Itt is feljelöljük a sugárkilépési pont helyét, és lemérjük a két jel távolságát ezáltal behatárolva az anyagfolytonossági hiány szélét. Ezt a műveletet megismételjük a másik irányba is, hogy meghatározzuk az anyagfolytonossági hiány ellentétes szélét is.

Nagyon fontos, hogy a vizsgálófejet végig ugyanakkora erővel nyomjuk a felületre, hogy a csatlás egyenetlenségéből adódó jel nagyság-változást a minimálisra csökkentjük. Ebből a megfontolásból ennél a módszernél a mérítéssel vizsgálat sokkal pontosabb hibamagyság-meghatározást tesz lehetővé.

6 dB-es módszer

Ez a módszer az előzővel megegyező lépésekből áll, de sokkal fontosabb, hogy a sugárkilépési pont helyét pontosan ismerjük és feljelöljük a vizsgálófejre. A különbség az, hogy itt az anyagfolytonossági hiány szélét a jel 6 dB-es esésének helyénél jelöljük ki. Ezt a módszert a vegyes reflektorok hosszirányú kiterjedésénél mérésére is alkalmazhatjuk. Szögvizsgáló fejeknél a hiba helyének meghatározásához trigonometriai számításokat is el kell végezni.



Maximális amplitúdó módszer

Mivel ez a módszer is a hangnyaláb fősugarával való értékelésre épül, a vizsgálat végrehajtását a fentiek szerint kell elkezdeni. Azonban a vizsgálófej mozgatásakor jelentkező jelformaváltozás segíti a vizsgálatot a reflektor (anyaghiba) formájának, és irányítottságának felismerésében.

3.12.2 Referenciarefektorok – TEN (DAC) és ÖRG (DGS) módszer

Az anyaghibák keltette visszhangot összehasonlítjuk a referenciarefektoroktól – általában körtárcsa alakú reflektorokról (KTR) vagy keresztirányú hengeres furatokról – származó jelekkel, és azok ekvivalens méretét hozzárendeljük az talált reflektor jeléhez.

A referenciarefektorok használata gyorsabb és egyszerűbb, mint a letapogatásos módszereké, de ezek nem mindig alkalmasak az anyaghiba helyzetének és jellegének felmérésére. A sugárgeometriára épülő módszerek közel valós méretet adnak, bár a kapott pontosság az alkatrész geometriájától, anyagától, a felület állapotától, az alkalmazott mérőberendezéstől, és a kezelő felkészültségétől, tapasztaltságától is függ.

A referenciarefektorra épülő módszerek kevésbé függenek a kezelő felkészültségétől, és alkalmazhatóak a kisebb anyaghibák feltárására, illetve a sugárgeometriára épülő módszerekkel együtt is alkalmazhatók. Bizonyos esetekben, például kovácsolt termékek vizsgálatakor, amelyekben előfordulhat, hogy az anyaghibák irányítottak, például réteges lemezszerkezetekben kizárólag referencia-reflektor módszereket alkalmazhatjuk, de az anyaghibák orientáltságát, vagy hosszát a letapogatásos módszerekkel lehet meghatározni.

A referenciareflektor módszer arra alapul, hogy az anyaghiba visszhangját összehasonlítjuk egy sima és egyenletes felületre megmunkált (darabolt, mart, szikraforgácsolt vagy fúrt) reflektor jelével.

Kicsi a valószínűsége annak, hogy a vizsgált anyaghiba felülete sima és egyenletes legyen; még egy repedésnek is vannak élei, így közvetlen összehasonlításra itt nincs lehetőség. Emellett a körtárcsa alakú reflektorok (lapos fenekű zsákfuratok) jól megmunkáltak és párhuzamosak a munkadarab felületével, ezzel szemben még rétegesség jellegű anyaghibák sem párhuzamosak az anyag felületével.

Tehát, referenciareflektor módszerekkel az anyaghibáknak nem a tényleges méreteit határozzuk meg, hanem csak az ekvivalens reflektor méretét.

3.12.3 Az anyaghiba irányítottsága

A sugár geometriájára épülő módszerek csak becslést adhatnak az anyaghiba irányítottságát illetően azáltal, hogy észleljük a visszhangjel változását a vizsgálófej elmozdulásának függvényében. Ezt nevezzük dinamikus visszhangmodellnek. (Varratok vizsgálatakor az MSZ EN ISO 23279 jelű szabvány előírásai szerint kell eljárni.).

A visszhangjelnek a vizsgálófej szögétől való függése is nyújthat információt az anyaghiba irányítottságára vonatkozóan. Ez az értékelés arra alapul, hogy akkor kapunk maximális visszhangamplitúdót,



amikor az ultrahangsugár merőleges az anyaghiba felületére. Ehhez megfelelő szögű vizsgálófejet kell alkalmazni.

- ◆ Lemez rétegességének ellenőrzéséhez általában (a vizsgálati felületre) merőleges (0° -os) longitúdinalis hullámú vizsgálófej szükséges.
- ◆ „V” alakú tompavarrat kötéshibájának vizsgálatához általában 60° -os szögvizsgáló fej szükséges.
- ◆ Kettős „V” alakú (X) varratok közepén lévő gyökrész vizsgálatához általában 70° -os (esetleg 80° -os) szögvizsgáló fej szükséges, hogy a 90° -hoz minél közelebb eső anyaghibát feltárhassuk.
- ◆ „V” alakú tompavarrat gyökét 45° -os vizsgálófejjel kell vizsgálni. Ezzel ugyan nem derítjük fel a belső, 90° -os irányítottágú anyaghibákat, de felderíthetjük a be nem olvadt gyöknél lévő lemez szélét és a repedéseket.

3.12.4 Letapogatás

Visszatérve a varratokra, teljes körű feltárás tekintetében hivatkozunk az MSZ EN ISO 17640 szabványra, amely a következőket írja elő:

8. pont: *Felületek előkészítése vizsgálatra*

„A vizsgálati felület szélessége legyen elegendő a vizsgálati tartományt (lásd 3.21 ábra) teljesen lefedő vizsgálatához. A vizsgálati felület szélessége akkor lehet kisebb, ha a vizsgálati térfogat ekvivalens lefedettsége elérhető a varrat/illesztés felső és alsó felületéről végzendő letapogatással.

A vizsgálati felület legyen sík és mentes minden idegen anyagtól, ami befolyásolhatja a vizsgálófej csatolását (például rozsdá, laza reve, felfröccsent varratanyag, bemetszések, hornyok). A vizsgált felület hullámossága miatt a fej és a vizsgált felület közti légrés nem haladhatja meg a 0,5 mm-t. Ezeket a követelményeket simítással kell biztosítani, ha szükséges. A felület körvonalának helyi egyenetlenségei, például a varrat éle mentén, amelyek következtében a vizsgálófej alatt legfeljebb 1 mm-es légrés keletkezhet, csak akkor megengedettek, ha legalább még egy szögvizsgáló fejet alkalmaznak a varrat érintett oldalán.

Erre a kiegészítő besugárzásra azért van szükség, hogy kompenzáljuk a varrat csökkentett lefedettségét, amely ilyen méretű légrésnél előfordulhat. Minden esetben a vizsgált felület azon oldalán, ahol a jelzések kiértékelését kell elvégezni, a légrés maximálisan megengedett nagysága 0,5 mm.

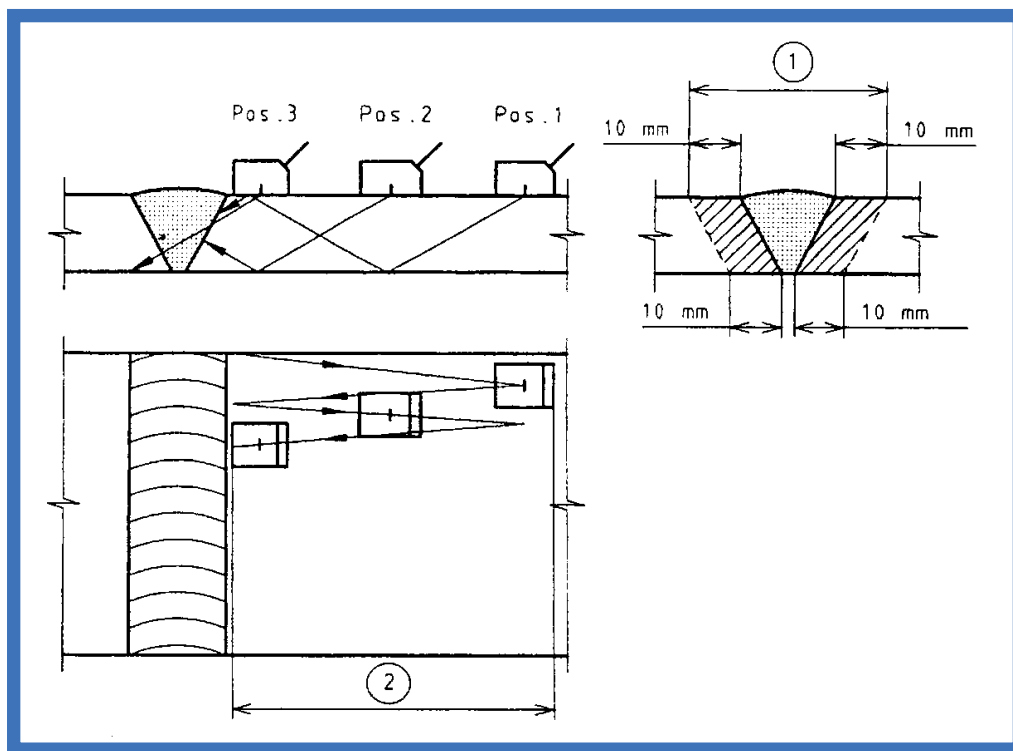
A letapogatott felületek illetve a hangsugarat visszaverő felületek akkor tekinthetők kielégítőnek, ha a felület érdessége, R_a értéke legfeljebb $3\ \mu\text{m}$ megmunkált felületeknél, vagy legfeljebb $12,5\ \mu\text{m}$ köszörült felületeknél.

Más szóval a vizsgálófej és a felület közti csatolás legyen a lehető legjobb:

- ◆ amit összehasonlító testekkel tudunk igazolni, vagy
- ◆ hogy biztosítsuk az akusztikus energia maximális kihasználását a lehető legkisebb reflektor (hiba) kimutatásának érdekében.



3.21 ábra



1 – a vizsgálati tartomány szélessége; 2 – a letapogatott terület

A varrat teljes térfogatát át kell vizsgálni, még a hőhatásövezetet (HHÖ) is. A szabvány a hőhatás-övezet szélességeként 10 mm-t ír elő a varrat mindkét oldalán (lásd 3.21 ábra). Mivel az alapanyagban lévő folytonossági hiányok zavarhatják a hang terjedését a varrat környezetében, a varratvizsgálat alkal-mával minden esetben ki kell térni ezen területek átvizsgálására, fél és egész ugrástávolságból.

MSZ EN ISO 17640 szabvány 9. pontja: Alapfém vizsgálata

„A letapogatás területén az alapfémét merőlegesen sugárzó vizsgálófejekkel kell átvizsgálni he-gesztés előtt vagy után, kivéve, ha igazolható (például a gyártási folyamatban elvégzett korábbi vizs-gálat által), hogy a varrat szögvizsgáló fejjel végzett vizsgálatát nem befolyásolja anyaghibák jelenléte vagy nagymértékű csillapítás.

Ha anyaghibákra derül fény, ezeknek a ferde sugárral végzett vizsgálatra gyakorolt hatását fel kell mérni, és ha szükséges, a vizsgálati módszereket ehhez kell adaptálni. Ha az ultrahangos vizsgálat kielégítő lefedettségét súlyosan érinti ilyen hatás, megállapodás szerint más vizsgálati módszerek (pél-dául radiográfia) alkalmazását kell megfontolni”.

A vizsgálatához kiválasztott módszertől függő készülék-vizsgálófej-kombinációt a megfelelő mérési tartományra, és érzékenységre kell beállítani. Erre vonatkozóan a szabvány az alábbi ajánlásokat adja:

MSZ EN ISO 17640 szabvány 10. pontja: Mérési tartomány és érzékenység beállítása

10.1 Általános észrevételek

„A mérési tartomány és érzékenység beállítását minden egyes vizsgálatot megelőzően, a jelen szabvány és az MSZ EN 583-2 szabvány szerint kell elvégezni.

Ezen beállítások ellenőrzését legalább 4 óránként és a vizsgálat befejezésekor el kell végezni.



Az ellenőrzést akkor is el kell végezni, amikor egy rendszerparaméter megváltozik, vagy változások gyaníthatók az ekvivalens beállításokban.

Ha eltéréseket tapasztalnak ezen ellenőrzések során, a korrekciókat a szabvány 2. táblázata szerint kell elvégezni.”

Megjegyzés. Vizsgálat előtt minden esetben tájékozódjunk az érvényes előírásokról, szabványokról, melyekre a dokumentációban hivatkozni is kell, hogy a vizsgálat megismételhetőségét biztosíthassuk.

3.12.5 TANDEM-módszer

A vizsgálati felülethez viszonyított 90°-os helyzetű reflektorok felderítése speciális problémákat okoz, ha azok sem a vizsgálati, sem az ellentétes felületre nem futnak ki. A 70°-os, esetleg a 80° vagy 85°-os hangnyalábok szélei már felületi hullámokat kelthetnek, és így hamis indikációt okozhatnak.

Hegesztési varratok esetén, az alábbi zónák vizsgálatánál adódhatnak nehézségeink:

- ◆ a varratkorona;
- ◆ az olyan varratrészlet, ami sem a korona, sem a gyök oldalról nem érhető el;
- ◆ az „X” varrat gyöke, mely az anyagvastagság felénél helyezkedik el.

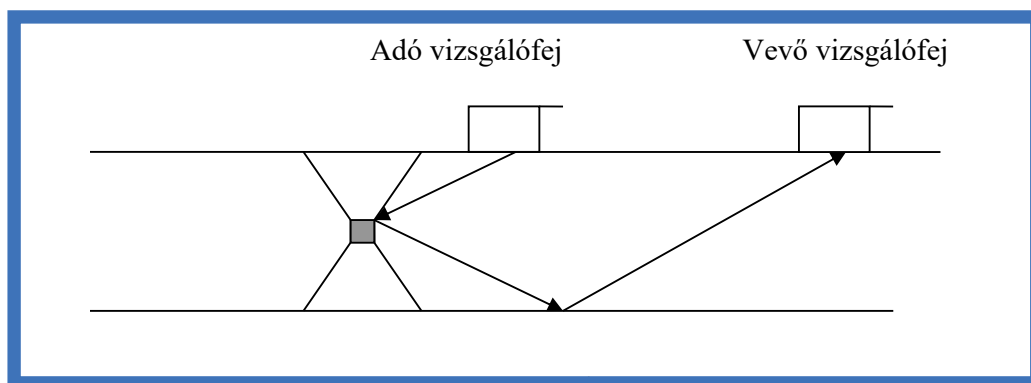
A varrat középvonalaiban előforduló kisebb, de mélyen elhelyezkedő repedések is problémát okozhatnak, különösen akkor, ha a varratkorona egyenetlen, mivel ez az egyenetlenség zavaró visszhangjeleket eredményezhet, amelyek eltakarhatják a repedés indikációját.

Az „X” varratban a varratgyök előkészítési felületei függőleges irányítottaságúak, ezért kicsi az esély arra, hogy egyszerű szögvizsgáló fej alkalmazásával ezekről bármiféle visszhangjelet kapjunk. A megoldás a kétszondás, úgynevezett tandem módszer lehet. Ennél a módszernél a vizsgált anyag vastagságát is figyelembe kell venni a teljes letapogatás folyamán.

A Tande- módszer

A 3.22 ábrán bemutatott módszert „X” varratok gyök részében előforduló anyaghibák feltárására alkalmazzuk.

3.22 ábra



A módszer egy korábban ismertetett változatában (átsugárzásos módszer) a vizsgálófejek egymással szemben, a varrat két oldalán helyezkednek el. Annál az elrendezésnél csak az anyaghiba meglétét tudjuk igazolni, de sem helyét, sem méretét nem tudjuk meghatározni.

3.13 A VIZSGÁLÓFEJEK KIVÁLASZTÁSA

Az alapkövetelményeket az MSZ EN 12668-2 szabvány írja elő, de az elveket az alábbiakban ismertetjük.

Felbontás

Ha két (vagy több) reflektor van azonos távolságra a vizsgálófejtől, és mindkettő a hangnyaláb területébe esik, akkor mindegyik reflektor kelt visszhangjelet. Ezek a visszhangjelek – a geometriai beállítástól függően – az időalapon egymáshoz nagyon közel lehetnek. Ha a vizsgálófej által kibocsátott impulzus jele széles, akkor nehéz megkülönböztetni egymástól a két egymás melletti visszhangjelet. Ha az impulzus rövid, mindkét reflektor visszhangjele jól láthatóan elkülönül az időalapon. Az ultrahangos gyakorlatban ezt nevezzük a vizsgálóegység 'felbontásának'. Ha tehát két egymáshoz közeli reflektorról kapott jel jól elkülöníthető a képernyőn, akkor a vizsgálóegység kellően jó felbontással rendelkezik az adott vizsgálathoz.

Amint már korábban említettük, az impulzus hosszát a vizsgálófej hangcsillapítása határozza meg. Így tehát a legjobb felbontást úgy érjük el, vagyis a legfinomabb részleteket akkor tudjuk jól kimutatni, ha a vizsgálófej kellően csillapított.

Az impulzus hosszát a vizsgálófej frekvenciája is meghatározza; minél magasabb a frekvencia, annál rövidebb az impulzus. Így a csillapítóelem és a frekvencia megfelelő kombinációja adja a legjobb megoldást.

Az impulzus időtartamát rendszeresen kell ellenőrizni (MSZ EN 12668-3 szabvány 3.4.4 pontja) annak igazolására, hogy a csillapítás nem szűnt meg mechanikai sérülés miatt, vagy nincs szakadás a csillapító elem és az aktív elem közt.

Minél jobb a vizsgálófej felbontása, a hangenergia behatolási képessége annál rosszabb, így ha például a vizsgálandó varrat nagy vastagságú, és ezért nagyobb hangúttávolságokban kell értékelnünk, akkor kisebb csillapítású vizsgálófejet kell használnunk, aminek következtében természetesen csökken a felbontás. Hasonlóképpen, minél magasabb a frekvencia, illetve nagyobb a csillapítás, annál kisebb lesz a hangnyaláb behatolási mélysége.

Méret

Kis átmérőjű vizsgálófejekkel jobban megközelíthetők a munkadarab (varrat) nehezen elérhető területei, de egyúttal a hangnyaláb divergenciája (széttartása) is nagyobb (ha nem fókuszált), tehát a kisméretű (kis átmérőjű) vizsgálófej nyújtotta könnyebb hozzáférésért csökkenő behatolási mélységgel fizetünk, ugyanis a hangnyomás a széttartás növelésével csökken.



Típus

A felületközelí vizsgálatokhoz olyan kétrezgős fejeket alkalmazunk, melyek hangnyalábjának közeltére még a plexi előtétbe esik. Mivel a nagy felbontáshoz szükséges nagy frekvenciás fejeknek hosszú a közeltére, ezeknek a fejeknek az előtétplexije is jellemzően hosszú lesz.

Zaj

A képernyőn megjelenő, kis amplitúdójú, de eltéréshez (geometriai jellegűhöz vagy anyagfolytonossági hiányhoz) nem köthető, a valós hibajelek értékelését zavaró jeleket nevezzük zajnak. Zajt a következők okozhatnak:

- ◆ felületi érdesség;
- ◆ szemcsés anyagszerkezet;
- ◆ villamos interferencia;
- ◆ a frekvencia (vagy a sáv szélesség) rossz megválasztása;
- ◆ túlzottan nagy erősítés választása
- ◆ sérült vizsgálófej.

A legtöbb fent említett jellegű zaj kiküszöbölhető a berendezés gondos beállításával (lásd MSZ EN 12668-3 szabvány), a berendezés specifikációjának szakszerű megválasztásával, valamint a vizsgálófej szakszerű kiválasztásával és karbantartásával. A munkadarab vizsgálat előtti előkészítésének minősége jelentős mértékben befolyásolja a csatolást és ezáltal hozzájárul a zaj csökkentéséhez.

Elektromágneses zaj jelenlétére leginkább az időalapon látható, kis amplitúdójú jelek sokasága utal. A felületi érdességre utaló zavarjelek azonban leginkább az időalap elején, az adóimpulzus közelében láthatók, melyek a felület csiszolásával megszűnnek.

A durva szemcseszerkezet a fent leírtakhoz hasonló, kis amplitúdójú zavarjeleket (zajt) kelt, melyek összetéveszthetők az elektromos zajjal, azonban alacsonyabb frekvenciára átválva ezek lecsökkenthetők, vagy akár teljesen ki is küszöbölhetők.

A készülék erősítőjének és a vizsgálófej frekvenciájának összehangolásával erősíthetjük a szonda által kibocsátott konkrét frekvenciákat, így a zavarjelek megjelenésének valószínűsége lecsökkenthető. Ezen túlmenően természetesen a külső elektromágneses rezgések hatását is minimálisra kell csökkenteni azzal, hogy a villamos interferencia forrásaitól (működő elektromos berendezésektől) távolabbra eső területen hajtjuk végre a vizsgálatot.

Jel/zaj-viszony

A jel/zaj-viszony rendszeres ellenőrzésével (MSZ EN 12668-3 szabvány 3.4.3 pontja) kell igazolni a vizsgálófej mechanikai sérülésektől való mentességét, illetve azt, hogy a vizsgálatot nem gátolják villamos interferenciából vagy felületi egyenetlenségből eredő zavarok.

A jel/zaj viszonyoknak nagyobbnak kell lenni, mint 6 dB (kétszeres viszony), de a korszerű készülékek esetében a háromszoros viszony is könnyen tartható.



3.14 A VIZSGÁLATI MÓDSZEREK MEGVÁLASZTÁSA

Rengeteg körülmény befolyásolhatja az ultrahangos vizsgálati módszer megválasztását:

1. Vizsgálandó anyag.
2. Vizsgálati eljárásra vonatkozó követelmények.
3. Felület állapota.
4. A vizsgálati felületek hozzáférhetősége.
5. A keresendő anyaghibák jellege/típusa.
6. Elfogadási határok (a már nem elfogadható anyaghibák mérete).
7. Felületek hőmérséklete.
8. A vizsgált szerkezet méretei.
9. A vizsgálandó munkadarabok száma.
10. Költségek.

1. Anyagok

Alig van olyan anyag, amely ne lenne vizsgálható ezzel a módszerrel. Mivel a jelen tananyag első sorban a hegesztések vizsgálatát végző szakembereknek készült, ezért hegeszthető anyagok vizsgálatára korlátozódik. Ide tartoznak az acél és más fémek, de a gázvezetékknél alkalmazott műanyag is. Bár műanyag csővezetékek vizsgálatára is alkalmas a kontaktmódszer, ennél jobb és gazdaságosabb az olyan automatizált ultrahangos rendszer, amely az anyaghibák észleléséhez manipulátorral mozgott, vízcsatolású vizsgálófejet használ.

Az alkalmazhatóság egyetlen akadálya azon követelmény teljesülése, hogy adott frekvenciájú hang áthatoljon a konkrét vizsgált anyagon. A vastag rozsdamentes acél profilokban előforduló durva szemcséjű varratok vizsgálatára általában alacsonyabb frekvenciájú fejeket használnak, míg finom szemcséjű hengerelt lemezek varratait magasabb frekvenciával vizsgálják.

Az inhomogenitások helyének megállapításához, vagyis a készülék geometriai beállításához természetesen ismerni kell a hang terjedési sebességét is vizsgálandó anyagban.

2. Vizsgálati technika

A módszer alkalmazását meghatározó elsődleges tényező a megrendelő előírása, ha létezik ilyen. Ez az előírás lehet belső utasítás, európai szabvány vagy ipari/ágazati specifikáció, mint például az ASME-kódok. Ez behatárolja a választható általános eljárások körét, de még így is elegendő lehetőséget nyújt a választásra az adott munkadarabra vonatkozó konkrét részleteket illetően.

3. A felület állapota

Az ellenőrzendő felület állapota lehet köszörült, csiszolt, hegesztett, sőt akár korrodált is, ami persze jelentős mértékben kihat a vizsgálati módszer megválasztására.

Az érdes felületet vizsgálhatjuk puha felületű – például cserélhető gumi koptatótalppal ellátott – vizsgálófejjel. Ennél a megoldásnál a csatolást is javíthatjuk sűrűbb géllal vagy kenőccsel, de ekkor figyelembe kell venni, hogy a felület érdessége megemelheti a képernyőn az alap zavarjeleket.



Ha kétkristályos vizsgálófejet használunk a felületi zavarjelek csökkentésére, akkor viszont figyelembe kell venni, hogy az érdes felület a hasznos jel csökkenését okozhatja.

A sima felületű alkatrészek jó csatolást biztosítanak, és akár EMAT-szondával vizsgálva is jó eredményekre számíthatunk. Merítéses módszereknél is előnyös a sima felület, ha ez manipulátorral könnyen követhető egyszerű geometriával társul.

4. A vizsgálati felületek hozzáférhetősége

Előfordul, hogy a vizsgálófej kiválasztását és a manipulációs lehetőségeket a fizikai elérhetőség korlátozza, mint például kis átmérőjű kazáncsőveknél. A kis átmérőjű fejekkel javul ugyan az elérhetőség, de megnő a hangnyaláb széttartása (kivéve a fókuszált sugárét), és romlik a behatolási mélység. Ilyen esetekben, ahol a hagyományos érintéses vizsgálatok alkalmazása korlátozott, az irányított hullámú vizsgálat is számításba jöhet.

5. A keresendő anyaghibák jellege/típusa

A vizsgálati felülettel párhuzamos, síkszerű anyaghibákat merőleges besugárzású, longitudinális hullámú vizsgálófejjel lehet a legjobban feltárni, de azok, melyek a felületre merőleges irányítottságúak, mint például egy kettős V-varrat gyökénél megjelenő kötésihiba, csak nagy besugárzási szöggel rendelkező, transzverzális fejekkel fedezhetők fel. Jó megoldás lehet még a tandem elrendezésű vizsgálófejpár vagy a TOFD-technika alkalmazása is.

A nagyméretű anyaghibákat nagy hullámhosszúságú (alacsony frekvenciájú), jó behatolási mélységgel rendelkező fejekkel lehet kimutatni.

Kisméretű reflektorok (mint például finom gázporozitás) feltárásához rövid hullámhosszú és nagy frekvenciájú hanghullám szükséges. A nagy frekvenciát a durva szemcséjű szövetszerkezet csillapítja, és nagy zajszintet kelt az időalapon.

6. Elfogadási határok

A feltárandó anyaghibák méretei határozzák meg az alkalmazandó ultrahang hullámhosszát, az pedig a vizsgálófej frekvenciáját. Mindezek együttesen már egy konkrét vizsgálati hely lehetőségeit is behatárolják. Nagyobb anyagvastagságok esetén, ahol még a nagyobb szemcseméret is korlátozza a behatolási mélységet, a munkadarab teljes átvizsgálását csak több pozícióból történő letapogatással lehet biztosítani.

Ha az anyaghiba kiterjedése nagyobb, mint a hangnyaláb szélessége (nagy- vagy vegyes reflektor), akkor a 6 vagy 20 dB-es letapogatásos módszereket alkalmazhatjuk. Ha azonban kisebb annál (kisreflektor), akkor a reflexió mérésén alapuló összehasonlító módszerek (TEN, ÖRG) jöhetnek számításba. A vizsgálati érzékenység meghatározásakor elsősorban az alkalmazott előírások az irányadók.

7. Felületi hőmérséklet

Amennyiben a vizsgálandó alkatrész hőmérséklete meghaladja a szobahőmérsékletet (illetve meghaladja a rezgő Curie-hőmérsékletét), a vizsgálathoz magas hőmérsékletű vizsgálófejek (melyek rezgő-



jének magasabb a Curie-hőmérséklete) és speciális csatolópaszták szükségesek. Másik lehetőség az érintésmentes módszerek alkalmazása (EMAT-, vagy más, levegő-csatolású rendszer).

8. A vizsgált szerkezet méretei

Kisebb munkadarabok és összetett alakú hegesztett profilokhoz a kézi kontaktvizsgálat az ideális, de nagyobb alkatrészek – hegesztett acélszerkezetek vagy hidak – vizsgálatához automatikus vizsgálóegységet célszerű használni a vizsgálati idő és a felmerülő költségek csökkentése érdekében. Csővezetékek toldó varratait ma már sikeresen vizsgálják a cső hossz tengelye körül automatikusan forgatott fázisvezérelt vizsgálófejekkel.

9. A vizsgálandó munkadarabok száma

Ha nagyszámú, kisméretű hegesztett munkadarabot kell megvizsgálni, célszerű megoldás lehet az egyes besugárzásokhoz külön vizsgálóegységeket alkalmazni a beállítási idő és a kezelési költségek csökkentése céljából. Ilyenkor célszerű az alkatrészek automatikus adagolása, sőt, a vizsgálófejek automatikus cseréje is. Az ilyen rendszereknél jól alkalmazható csatolóanyag az automatikusan adagolható víz.

10. Költségvonzat

Munkadarabok és szerkezetek roncsolásmentes vizsgálati technológiáinak kidolgozása során mindig szem előtt kell tartani azok költségvonzatát. A kimutatási kritériumok, a hozzáférhetőség, a járulékos költségek, a vizsgálati idő, a biztonsági megfontolások, esetleg a vizsgálattal járó környezeti tényezők mind befolyásolhatják azt, hogy adott esetben mely eljárást célszerű alkalmazni.

3.15 VIZSGÁLÓFEJ-CSOPORTOK

Folytonos vagy ciklikusan ismétlődő felépítésű szerkezetek, például erőművi vagy kőolajipari csővezetékek acélsőveinek hosszirányú varratai, illetve körvarratok automatikus vagy félautomatikus vizsgálatához az egyedi vizsgálófejes technikák alkalmazása túlságosan lassú és költséges.

Az egymás utáni egyedi műveletek helyett egyetlen, folyamatos művelet keretében is elvégezhető egy adott terület teljes körű vizsgálata. Különböző – longitudinális, transzverzális, merőleges és szög-sugárzó, egy vagy többreztű, hagyományos, fázisvezérelt, vagy TOFD–vizsgálófejeket alkalmasan tervezett tartóra szerelve, és egy olyan készüléket alkalmazva, mely képes több vizsgálófej egyidejű kezelésére, több vizsgálat végezhető el egy időben.

Már régóta ismeretesek az ultrahangos vizsgálat előnyei a radiográfiával szemben bizonyos varrat-hibák észlelésénél. A vizsgálatok ciklusideje azonban mérvadó tényező csővezetékek vizsgálatainál. Az automatikus ultrahangos technológia nemrégiben tört be ebbe az igényes világba. A manuális módon hegesztett vagy gépi hegesztésű csövek automatikus ultrahangos vizsgálatának előnyeit alábbiak szerint foglalhatjuk össze.



- ◆ A vizsgálat ciklusideje egy ~1 m átmérőjű cső esetén öt percnél rövidebb.
- ◆ Az adatok összegyűjtése automatikus.
- ◆ A kiértékelést támogató szoftver segít kiküszöbölni vagy csökkenteni az indikációk szubjektív értelmezésének hátrányait.
- ◆ Egyszerű, érthető grafikus adatábrázolás, „megy/nem megy” kiértékeléssel.
- ◆ Hosszirányú és keresztirányú varrathibák észlelése.
- ◆ Terepen is használható, mobil, szélsőséges környezeti feltételek mellett is megbízható konstrukció.
- ◆ A radiográfiai és/vagy manuális ultrahangos ellenőrzéssel költségek tekintetében is versenyképes.

Vizsgálófej-csoporttal működő rendszereket terveztek már légi járművek nagyméretű, szénszálas kompozitból gyártott komponenseinek – mint amilyenek a vízszintes és függőleges stabilizátorok – vizsgálatához. Az ilyen komponensek tipikus hossza elérheti a 20 m-t, szélessége pedig 2-től 4 m-ig terjed. Ezek esetében, ésszerű vizsgálati időtartam csak olyan vizsgálórendszerrel érhető el, amely biztosítja a hangnyalábok megfelelő átfedését a vizsgálati irányban.

Bár ez a rendszer bonyolultabb és terjedelmesebb, mint a manuális vizsgáló rendszer, használatával a vizsgálat időtartama a manuális rendszerrel elérhetőnek akár tizedére csökkenthető. Ezért az ilyen rendszer magasabb költségei rövid időn belül megtérülnek azáltal, hogy megbízhatósága kiemelkedő, és nagy teljesítménye eredményeként sok időt takaríthatunk meg.

3.16 A VIZSGÁLATI PARAMÉTEREK MEGVÁLASZTÁSA

Írásbeli vizsgálati utasítás megfogalmazásakor a következőket kell figyelembe venni:

Vizsgálandó termékek

A vizsgálati eljárás/módszer kiválasztását befolyásoló tényezők a következők: geometria, felület állapota, hozzáférhetőség és vizsgálati környezet.

Geometria: Sík lemezek egyszerű tompavarratánál sok esetben könnyen elérhető a varrat teljes térfogata, de csöveket oldalirányban összeillesztő, áthatással rendelkező sarokvarratok komoly fejtörést okozhatnak. A lehető legtöbb részadatra van szükség az alkalmas módszer előkészítéséhez, beleértve a varrat elrendezését, a behatolási követelményeket, a varrat metszetrajzát, szerkezetét.

Felület állapota: Hengerelés utáni állapotban a sima, sík lemez jó csatolást biztosít, és bármilyen folyadékot, például vizet, olajat vagy híg gélét használhatunk csatolóanyagként. Ha a felület korrodált, oxidálódott, vagy hengerlési reve van rajta, a csatolás biztosítása már nehezebb, és sűrűbb közvetítő anyagra van szükség. Gépszír, sűrűbb gél felvitelével vagy merítéses (vízsugaras) alkalmazással simíthatjuk ki a felületi egyenetlenségeket, de ezzel nem tudjuk kiküszöbölni a felület által okozott zajt az időalapon.



Hozzáférés: Ha a varrat egy egyenes csővezetéken vagy lemez környezetében van, akkor egyszerűen hozzáférhetünk és alkalmazhatjuk a szokásos kontaktvizsgálatot vagy a félautomata rendszereket. Csővég- vagy elágazó varratoknál és zárt kazáncsőveknél az elérhetőség sokkal korlátozottabb, és a vizsgálat az ultrahangos ellenőrzés távirányított változatát igényelheti. Kontaktvizsgálófejekkel nehezen hozzáférhető területeken az EMAT technika lehet segítségünkre, ha fázisvezérelt szondákkal olyan területeket tudunk végigpásztázni, amelyek kívül esnek a hagyományos kontaktvizsgálófejek alkalmazási körén.

Környezet: Varratok vizsgálata szükséges lehet gyártási környezetben, ahol a szerelvényeket ellenőrzött, viszonylag tiszta és hűvös munkahelyen gyártják vagy építik. Előfordulhat, hogy forró és szennyezett környezetben kell elvégezni alkatrészek és szerkezetek üzemi vizsgálatát úgy, hogy bevonatos, festett, korrodált vagy nehezen hozzáférhető felületek is előfordulnak. Amikor ilyen alkalmazásokhoz kell vizsgálati módszert választanunk, alaposan meg kell fontolni, hogy érintéses vagy távoli vizsgálatot választunk-e, hogyan készítjük elő a felületet (festék vagy oxidréteg eltávolítása), magas hőmérsékletű vizsgálófejeket használunk-e, és milyen személyi védőfelszerelést biztosítunk a vizsgáló számára a munkahelyen. Ha tengeri berendezésen (off-shore) kell varratot ellenőrizni, még a kötélen való megközelítést és a felület előkészítést, a vízből lerakódott anyagok eltávolítása során felmerülő nehézségeket is tekintetbe kell venni.

3.17 VIZSGÁLÓKÉSZÜLÉKEK ÉS RÉSZEGYSÉGEIK

3.17.1 Analóg és digitális készülékek

A hordozható analóg és digitális berendezések közötti alapvető különbség a képernyőn történő megjelenítés módjában rejlik. Az analóg készülékek katódsugárcső (cathode ray tube, CRT) segítségével ábrázolják a visszhangjeleket, míg a digitális eszközök folyadékkristályos kijelzővel (Liquid Crystal Display, LCD), vagy TFT (Thin Film Transistor) kijelzővel. A CRT képernyős berendezések a katódsugárcső hossza miatt általában nagyobb méretűek (az előlaptól a hátoldalig). A laposabb LCD kijelzős készülékek sokkal kisebbek, ezért súlyuk is kisebb és könnyebben hordozhatók.

3.23 ábra.

ANALÓG ULTRAHANGOS VIZSGÁLÓKÉSZÜLÉKEK



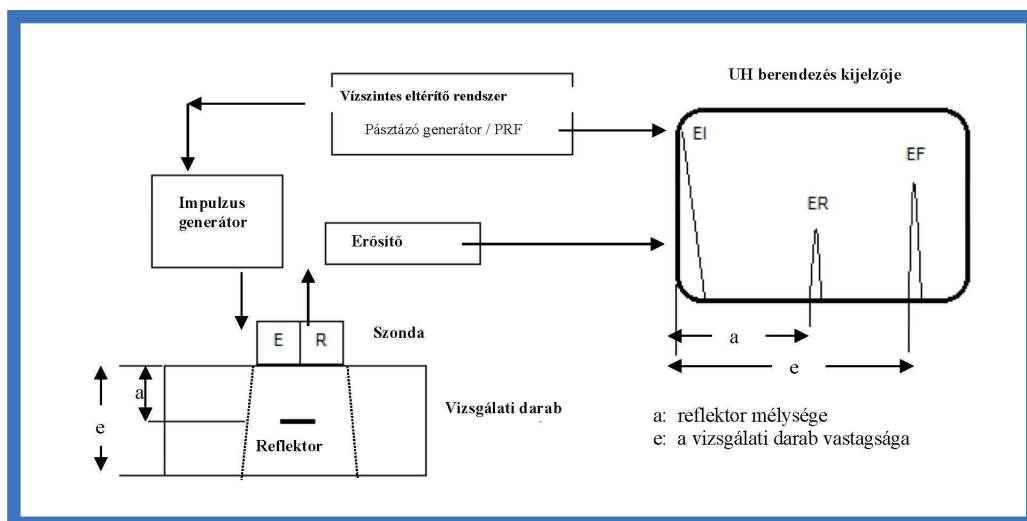
DIGITÁLIS ULTRAHANGOS VIZSGÁLÓKÉSZÜLÉKEK



Mindkét készüléktípus a következő fő részekből áll:

- ◆ Vízszintes eltérítő rendszer: pásztázó generátor (időalap) és PRF.
- ◆ Impulzusgenerátor.
- ◆ Erősítő.
- ◆ Kijelző, megjelenítő.
- ◆ Kezelőszervek, nyomógombok, stb.

3.24 ábra.



A legtöbb **impulzus-visszhang** elven működő módszer esetében ultrahangimpulzusok sorozatait vezetik a munkadarabba a vizsgálófejen keresztül, csatolóanyag közbeiktatásával a jobb hangátvitel biztosítása érdekében. A kijelzőn megjelenített első visszhangjel helye a reflektor és az anyag felülete közötti távolsággal arányos (reflektormélység), a második visszhangjel pedig az anyag vastagságát

mutatja. Ha a képernyő időalapja megfelelően be van állítva (mérésitartomány-beállítás), akkor ezeket az értékeket a képernyőről közvetlenül leolvashatjuk.

A berendezés három alapfunkciója:

- ◆ Impulzuskelés.
- ◆ A visszaverődő jelek felerősítése.
- ◆ A felerősített visszhangok megjelenítése a berendezés kijelzőjén.

Az 3.24 ábra. egy érintkezéssel, impulzus-visszhang vizsgálati módszerrel végzett A-képes megjelenítést ábrázol, amely az ultrahangos vizsgálatokban leggyakrabban alkalmazott technika.

Az ábrán látható képernyőn az **adóimpulzust** követően az **anyagfolytonossági hiányról érkező visszhangjel** és a **hátfalvisszhang jele** látszik.

A vízszintes tengelyen az időalap látható, melyről a **hangúttávolság** olvasható le, a függőleges tengelyen pedig a különböző reflektorokról (anyagfolytonossági hiányokról, hátfalról, vagy egyéb geometriai felületekről visszaverődő visszhangjelek **amplitúdójának** magassága dB-ben.

A visszhangjel amplitúdómagassága az észlelt reflektor relatív méretével arányos, ezért lehet a valódi anyagfolytonossági hiányokról kapott visszhangjelek méretét ismert méretű és hangvisszaverő képességű (idealizált) reflektorok (KTR, vagy KHF) visszhangjel méretéhez hasonlítani.

3.17.2 Szinkronizációs rendszer és impulzusgenerátor

A **vízszintes eltérítő egység** (szinkronizációs rendszer) hozza létre a pontszerű katódsugár vízszintes elmozdításához szükséges feszültséget, és vezérli a vízszintes eltérítés sebességét. A trigger segítségével a másodpercenkénti eltérítések számát, és ami ezzel megegyezik: az ultrahangimpulzusok ismétlődési frekvenciáját (PRF) is vezérli (kHz-es nagyságrend).

A **vízszintes eltérítő egység** szabályozza azt is, hogy a katódsugár vízszintes sebessége állandó legyen (a hangúttávolság-skála linearitása érdekében), valamint azt is, hogy a világítás nélküli visszafutási idő hosszabb legyen a fantom visszhangjelek elkerülése érdekében. Ugyanis, ha előbb indul az újabb adóimpulzus, mint ahogy a régi lecseng, az hamis indikációk megjelenését (fantomjeleket) eredményezhet a képernyőn.

Az **impulzusgenerátor** (impulzusadó) hozza létre a rezgőtestre jutó feszültséglökést. Kvarcnál: 1–1,5 kV, mesterséges kristálynál: 300–500 V.

Impulzusok ismétlődési frekvenciája (PRF): Az impulzusgenerátor által létrehozott ultrahangimpulzusok másodpercenkénti számát (PRF) a **trigger** vezérli. Ez az egység felel azért is, hogy az ultrahangimpulzusok, és a vízszintes eltérítés ismétlési frekvenciája megegyezzen. Hagyományos hibakereső készülékek esetén a PRF értéke általában 100 Hz és 1 kHz közötti.



3.17.3 Jelfeldolgozás

A csatolási veszteségek, valamint az anyag belsejében kialakuló, hanggyengülést okozó tényezők következtében a rezgő által a készülékbe juttatott elektromos jel rendkívül kicsi. A visszhang által keltett feszültség a kezdeti rezgést létrehozó feszültségnek csupán 0,3%-a. Ez a feszültség nem elegendő a képernyőn való megjelenítéshez.

Erősítő: A visszavert ultrahang hatására a rezgőben 10^{-3} V nagyságrendű feszültség jön létre. Ezt a feszültséget növeli meg az erősítő, mert a jel létrehozásához, vagyis a katódsugár függőleges eltérítéséhez 80–100 V feszültségre van szükség.

Az erősítés mértékét az **erősítésszabályzó** állítja be, mely lehetővé teszi, hogy a kialakuló visszhangjelek magasságainak arányát dB-ben mérjük (*ld. 3. fejezet*).

A jelek általában összehasonlítható, egyenletes karakterisztikájúak. Az erősítőnek lineárisnak kell lennie, hogy az azonos feszültségkülönbségek azonos jel nagyság-változást okozzanak az esetlegesen előforduló zavarjelek ellenére is.

3.17.4 A készülék beállítása előtti fontos ellenőrzések

A berendezés használatát megelőzően előzetes ellenőrzésekre van szükség. Ez szabványos ellenőrző testek segítségével végrehajtható tevékenységsor, melynek a készülék következő részegységeire kell kiterjednie:

- ◆ *Impulzuseltoló:* az időalap mentén egyszerre tolja el a visszhangjeleket.
- ◆ *Mérésitartomány-szabályzó:* A visszhangjelek egymáshoz képesti távolságát állítja. Az alapvonalon megjelenő visszhangjeleknek az alapvonal osztásaihoz való igazításával a jelek időkülönbségeinek, illetve a reflektorok távolságának mm-ben való beállítása, illetve leolvasása válik lehetővé.
- ◆ *Erősítésszabályzó:* A visszhangjelek magasságának szabályzója. Ez a kezelőelem a manapság alkalmazott készülékek esetében dB-ben van kalibrálva.
- ◆ *Szűrő:* A képernyőn megjelenő zavarjelek csökkentésére és eltüntetésére alkalmas, de használatkor figyelembe kell venni, hogy módosíthatja az erősítő dB-ben mérhető linearitását.
- ◆ *Üzemmódválasztó kapcsoló:* Feladata: az egykristályos és a kétkristályos (adó-vevő) üzemmód közötti átváltás.
- ◆ *Késleltetés (nullapont):* Azt a mikroszekundumban mérhető időt (távolságot) lehet beállítani vele, mely alatt az ultrahang a rezgőtől a munkadarab felületéig eljut. Ennek beállításával a vizsgálandó felülethez igazítjuk a képernyő nullpontját, illetve rögzítjük az adóimpulzus helyzetét.
- ◆ *Hangsebesség beállító:* Rögzíti az anyagbeli hangsebességet, ami a hullámtípustól függ.
- ◆ *Frekvenciaállító:* A rezgőre jutó, gerjesztési frekvencia beállítására szolgál, de a vizsgálati frekvenciát a rezgő méretei is befolyásolják.



- ◆ **További ellenőrzések:** Sugárkilépési pont ellenőrzése (szögfejeknél); Referenciatávolságok beállítása; Impulzuskövetési frekvencia (PRF) beállítása; Vizsgálatiszög ellenőrzése; Figyelmeztető kapuk és azok jelzésének logikai beállítása; Hanggyengülés ellenőrzése; Gerjesztőimpulzus feszültségének beállítása; Trigonometrikus funkciók ellenőrzése; A munkadarab alakjának, görbületének figyelembevételi lehetősége (pl. CAD rajzok alapján)

3.17.5 Kijelzés

A-kép

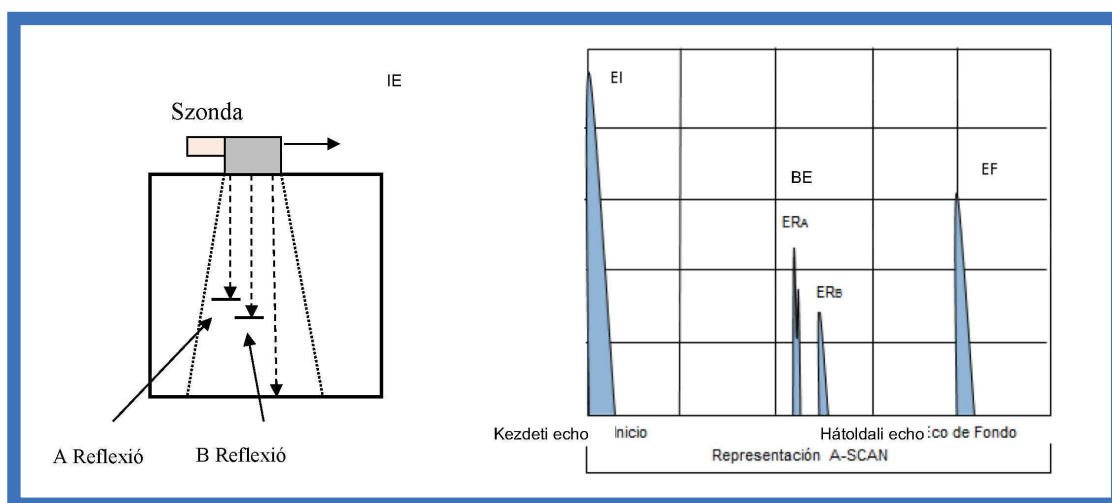
A hagyományos, kézi vizsgálatoknál széles körben alkalmazott megjelenítési forma. Automata és félautomata berendezésekben más megjelenítésekkel (B-C-D-kép) együtt is alkalmazható.

Ebben a megjelenítési módban a képernyő vízszintes tengelye (időalap) a hangúttávolságot jeleníti meg. Az időalap elnevezés a hangnak az anyagban való áthaladása alatt eltelt időre utal, de ismert vastagságú anyag esetén, egyenletes (és ismert) hang terjedési sebességet feltételezve, az eltelt idő mm-re átszámítható.

Az A-kép függőleges tengelye az amplitúdóskála, melyen a visszhangjelek magasságának értékelésével a visszhang energiája olvasható le. Ezt a skálát a berendezés erősítője segítségével állíthatjuk be.

Az A-kép függőleges tengelyéről tehát a reflektorról visszaérkező ultrahangenergia nagysága olvasható le, a vízszintes tengelyről pedig a hangúttávolság, vagyis a talált reflektorrezgőtől mért távolsága (vagy annak a vizsgálati felületre vonatkoztatott vetülettávolsága). A legtöbb A-képes megjelenítést alkalmazó készülék a jeleket rádiófrekvenciás jelként ábrázolja (RF), fél- vagy teljes hullámként.

3.25 ábra.



Az rezgő által keltett adóimpulzus visszhangjele a vízszintes tengely 0 pontjának közelében jelenik meg. Amikor a vizsgálófejjel letapogatjuk a munkadarabot, a különböző visszhangjelek különböző távolságokban jelennek meg a képernyőn. Az 3.25 ábrán a következő visszhangjeleket figyelhetjük meg: az Adóimpulzus, az A és B reflektor jele, és a Hátfalvisszhang jel (HVH).

B-kép és C-kép

Amint azt korábban említettük, ezeket a megjelenítéseket elsősorban automata vagy félautomata berendezéseknél alkalmazzák, amelyek megfelelő szoftver segítségével lehetővé teszik, hogy képi információt is kapjunk a vizsgált munkadarabról, és további következtetéseket is levonhassunk a lényeges jelzésekről.

B-kép: ez a típusú megjelenítés a vizsgált felületre merőleges, de a besugárzási iránnyal megegyező síkú metszeti képét adja a munkadarabnak.

A B-kép olyan keresztirányú képet ad a vizsgált darabról, melyen szemléletesen látható és lemérhető a reflektorok mélyégi irányú helyzete.

A B-képes megjelenítés az egymást követő A-képek egymásra illesztésével állítható elő a hangúttávolság mentén. Fontos, hogy vizsgálat közben a készülék megőrizze ezeket az A-képeket, mivel a vizsgálati folyamat végén ezekből az információkból állítja elő a B-képet (az említett képsorokból újraépítve). Ezt a megjelenítést főként a TOFD (futásidő szóródásos) technikánál, és a folyamatos falvastagság mérésnél alkalmazzák.

Sok esetben, amikor rossz a vizsgálati darabhoz való hozzáférés, korlátozott a vizsgálófej mozgására rendelkezésre álló hely, stb., akkor a B-képes megjelenítés az egyetlen megoldás, hogy grafikus regisztrátumot kapjunk a vizsgálati jelentéshez.

C-kép: a vizsgált terület felülnézeti keresztmetszetét ábrázolja. Esetenként külön eszközt alkalmaznak az indikációk megjelenítésére. A reflektorok mélységét színskálával lehet jelezni.

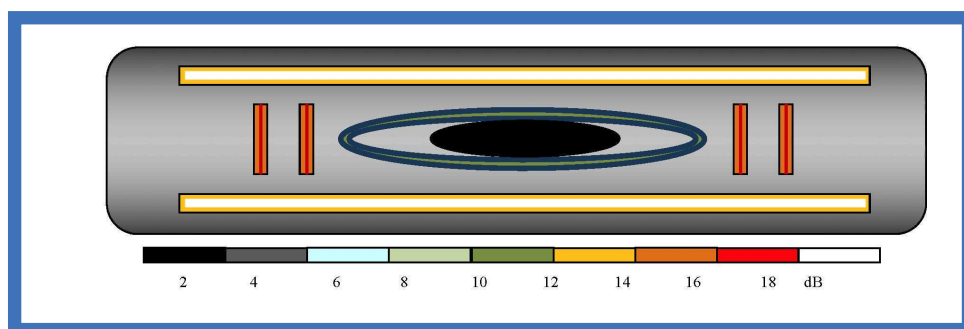
Ez a megjelenítés tehát a belső (általában) nagyreflektor helyét és méretét mutatja felülnézetből. A kép síkja párhuzamos a szkennelt felülettel.

A C-képek olyan automatizált adatfeldolgozó rendszer segítségével állíthatók elő, amit számítógép vezérel. Ilyen lehet például egy mérítéssel vizsgálati rendszer. A vonatkoztatási erősítést, illetve a munkadarab vastagságának megfelelő hangúttávolságot (futásidőt) szürke színárnyalatként látjuk, de az ettől eltérő erősítésű visszhangjeleket más és más szín jelöli.

Példa: Ha egy szénszálas kompozit munkadarabot vizsgálunk, mely különböző merevítőbetéteket tartalmaz, akkor olyan C-képet kapunk, mely az indikációk nagyságának színkódos megjelenítésével kirajzolja a munkadarab szerkezeti elemeit. Nagyon fontos ennél a vizsgálatnál, hogy meg tudjuk különböztetni a szerkezeti elemek nem releváns indikációit a lényeges hibajelektől.



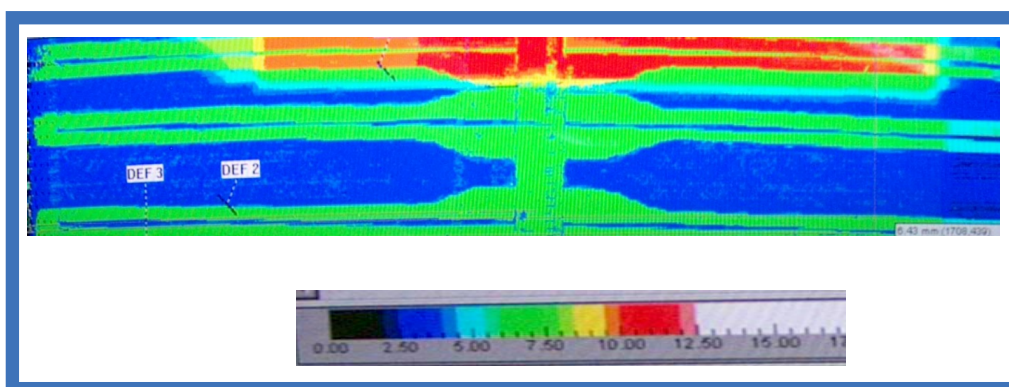
3.26. ábra.



A színekódok lehetséges meghatározása.

Az alábbi ábrán egy huzalokkal merevített MCMF-burkolatról készült vizsgálat C-képe látható:

3.27. ábra.

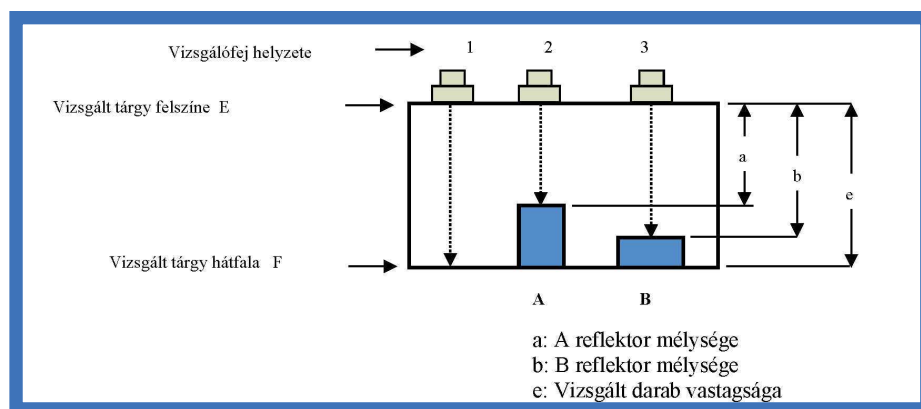


A vizsgálatot követően tárolt adatok a különböző megjelenítési módok (leggyakrabban A-, B- és C-kép) segítségével csoportosíthatók és ábrázolhatók. A modern digitális berendezések képesek mindhárom megjelenítési módot alkalmazni, gyakran egyidejűleg is.

Különböző mélységekben elhelyezkedő, körtárcsa alakú reflektorok (KTR) besugárzása esetén:

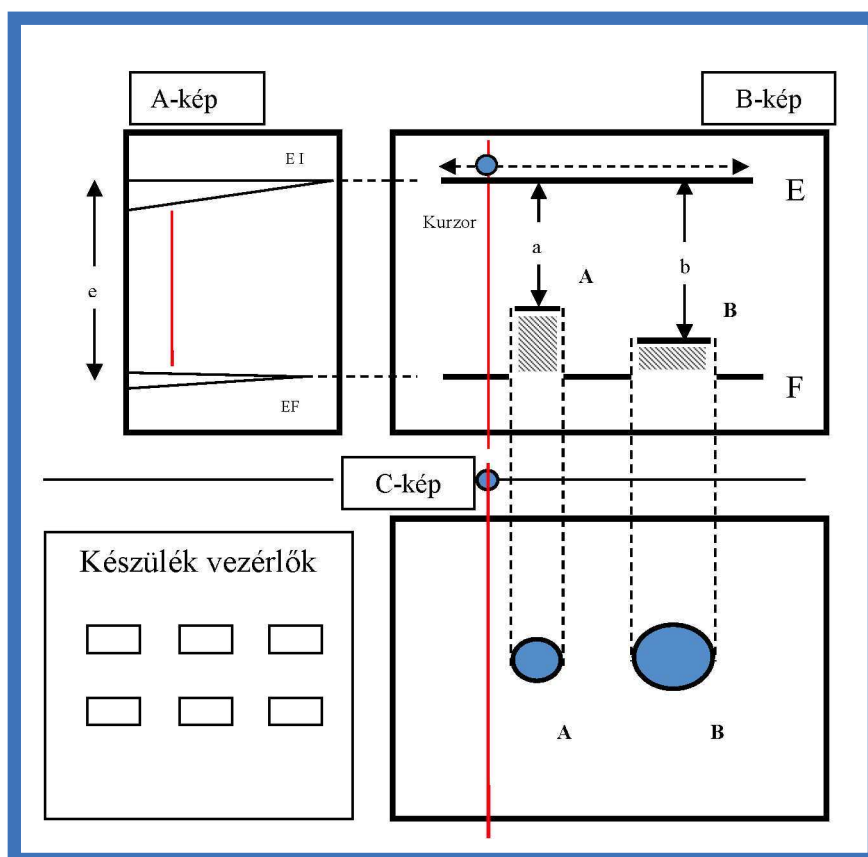
A- és B-reflektor: hátoldali furatok

3.28. ábra.



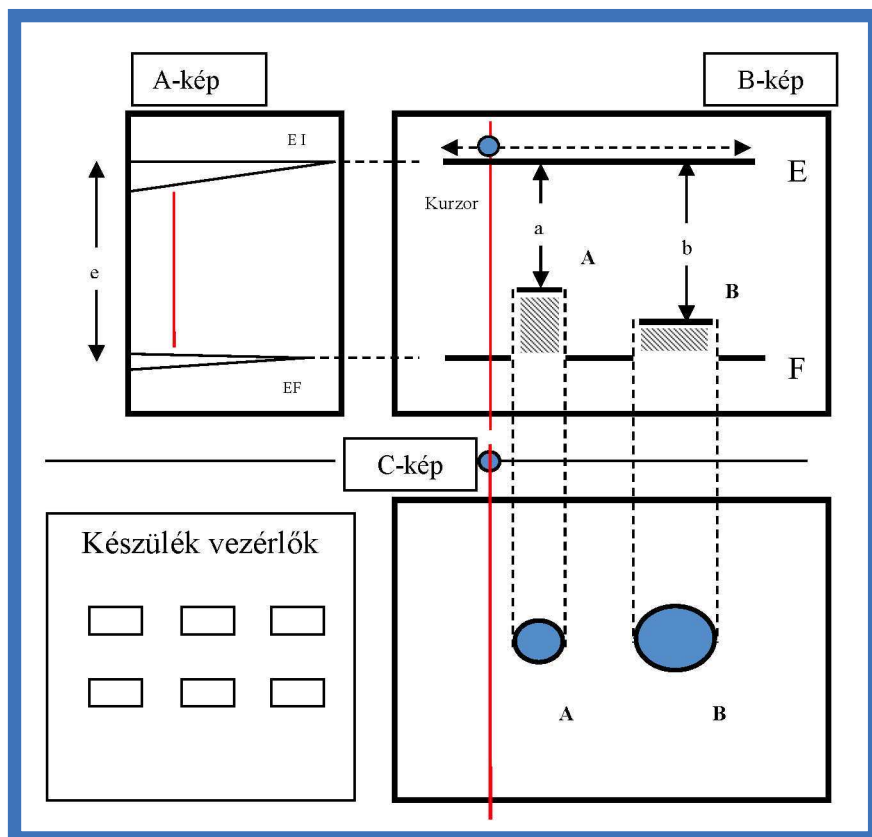
1. eset: Vizsgálófej az 1. pozícióban. A teljes falvastagságot reprezentáló – E–F-távolságnak megfelelő – alapvonal látszik az A-képen. Sehol sincs belső reflektor jele.

3.29. ábra.



2. eset: Vizsgálófej a 2. pozícióban. Az „a” távolságban lévő A reflektor (KTR) jele látható az A- és a B-képen is. (A-hátfaljel eltűnt.)

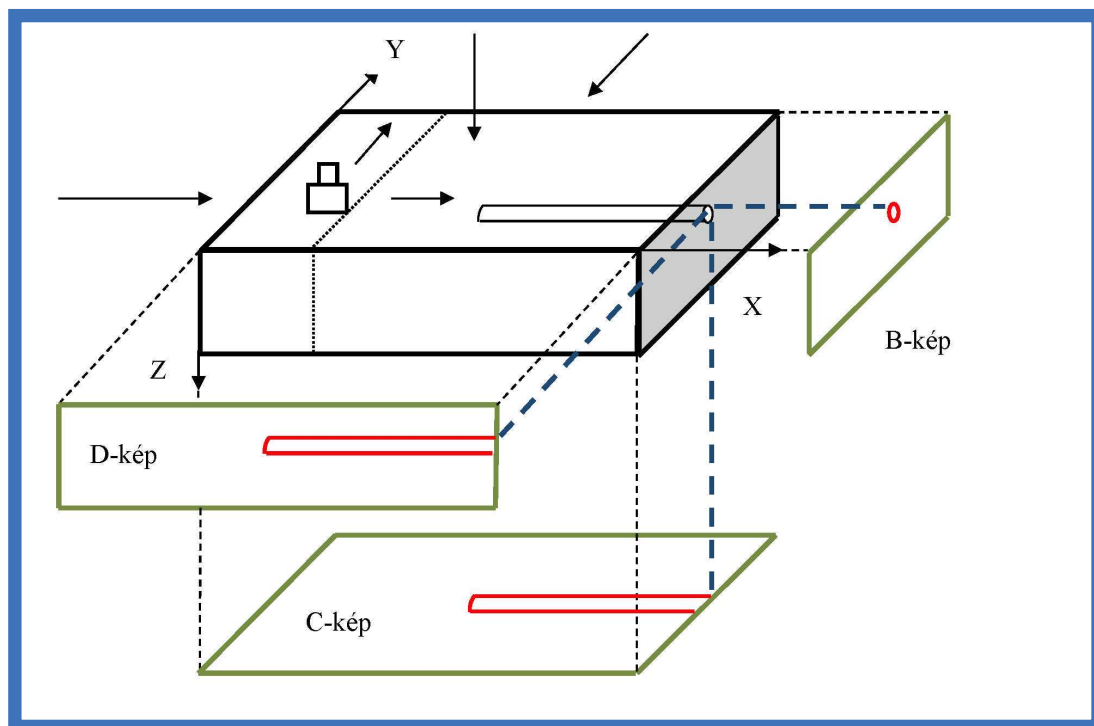
3.30. ábra.



A vizsgálófej 3. pozíciójában hasonló képet kapunk, mint a 2. pozícióban, de most a B reflektor (KTR) jeleit láthatjuk és a „b” távolságot olvashatjuk le.

Egyszerű geometriájú munkadarabok esetén a jól ismert A-képes megjelenítés mellett lehetőség van a B-, C-, és D-képes ábrázolásra is. Ezek az ábrázolások a vizsgálófej és a munkadarab egymáshoz képesti pozíciói szerint vannak elnevezve. A B-, C-, és a D-képek a munkadarab három, egymásra merőleges síkban lévő metszeti képeit ábrázolják.

3.31. ábra.



A vizsgálókészülék részegységeinek és funkcióinak részletes leírása

Vízszintes eltérítő egység

Ez az egység növekvő feszültségű lineáris, fűrészfog jelet generál a katódsugárcső vízszintes fegyverzetein vagy az LCD-kijelző vízszintes időalapján. A katódsugárcsőben az elektromos töltésű elektron-sugár elhajlik és alapesetben egy vízszintes vonalat jelenít meg a képernyőn (nem módosított, vagy RF nézetben ez a vonal a képernyő közepén halad). A feszültségváltozás linearitása alapvető fontosságú az időalapon megjelenő visszhangjelek pontos helyének azonosítása érdekében.

Impulzusgenerátor

Ez az egység – szinkronban az időalap generátorral – nagyfeszültségű, rövid időtartamú impulzus-sorozatokat generál és továbbít a vizsgálófejhez, aktiválva a rezgőt. Ezek az impulzusok, a vizsgálati módszertől függően, lehetnek négyzet-, szinus- vagy csúcs hullámok.

Impulzus ismétlődési frekvencia (PRF)

A vízszintes eltérítőegység és az impulzusgenerátor által létrehozott impulzusok aránya, befolyásolhatja a kijelzőn megjelenő képet nagysebességű alkalmazások során, például vasúti vizsgálatok esetén. A PRF a vízszintes eltérítés feszültségváltozásának arányához van beállítva, és lehetővé teszi a jelek továbbítását és fogadását egy ciklus alatt. Hagyományos berendezések esetén ez az oszcillációs frekvencia általában 100 és 1000 Hz közötti, azonban a digitális berendezésekben elérheti a 20 kHz értéket is.

Erősítő

A visszaverődő hang által keltett feszültség annyira alacsony, hogy mielőtt a jelképzés érdekében a függőleges fegyverzetekre juttatnánk, megfelelő szintre kell erősíteni. Ezen túl, a jellemző visszhangjel kialakítása érdekében a jeleket általában egyenirányítják. Az erősítő lineárisan működik, minden jelet egyenlő mértékben erősít fel, minimális torzítás és zaj mellett. A 20 mm átmérőjű rezgőt tartalmazó. hagyományos impulzus/visszhang üzemű vizsgálófejek gerjesztő feszültsége ~300 V, a visszaverődő hang által keltett feszültség pedig 1 mV körüli. A kijelzőn akkor kapunk megfelelő jelet, ha ezt a feszültséget kb. 300 V-ra erősítjük.

A fázisvezérelt vizsgálófejek egyes alkotóelemeinek kis mérete miatt az alkalmazott feszültségnek 35 és 70 V között kell lennie, így az erősítés szintje itt is magas.

Katódsugárcső (CRT)

A katódnál elektronsugár (úgynevezett katódsugár) generálódik, amely felgyorsul és a fluoreszkáló fényporral borított kijelző egyes pontjaiba fókuszálva becsapódik. A cső vízszintes és függőleges fegyverzetei a katódsugár elhajlását okozzák, és így válik láthatóvá a rezgőn kialakuló feszültségváltozás. A modern eszközök LCD (folyadékkristályos) kijelzővel rendelkeznek, és hasonló elven jelenítik meg a rezgő feszültségváltozásait.

Vezérlők és funkcióik

A készülék használatakor elsőként a kijelzőt kell beállítani. Ez a beállítás a szabványos összehasonlító testek jelei alapján történik.

Késleltetésállító

A késleltetés állításával a vízszintes eltérítő egységet és az impulzusgenerátort hangoljuk össze. Egy előtét nélküli, longitudinális vizsgálófej esetén a rezgő közvetlenül csatlakozhat a vizsgálati felülethez. Az impulzusgenerátor által kiadott első feszültséggel (adóimpulzus) a vizsgálati felület helyén látszik. Szögvizsgáló fejeknél, vagy plexi előtétlemez alkalmazásánál (adó-vevő vizsgálófejnél) a rezgő és a vizsgálati felület közötti távolság miatt az adóimpulzus helye és a vizsgálati felület helye nem esik egybe. A késleltetésállító a vízszintes eltérítő egység nulla pozíciójának az első impulzushoz képesti eltolását (késleltetését) teszi lehetővé. A vízszintes eltérítőegység ettől a ponttól kezdve távolságarányosan fogja megjeleníteni a visszhangjeleket.

Mérésitartomány-szabályzó

A katódsugár a vízszintes tengelyen időarányosan fut végig, de mivel mozgási sebessége egyenletes, a megjelenített visszhangjelek egymáshoz képesti távolságával is arányos. A hang által az anyagban megtett út hossza a hang sebességétől függ, tehát minden anyag esetén más és más. Az időalapot ezért minden anyaghoz az anyagra jellemző hangterjedési sebesség szerint be kell állítani.

Erre a célra szolgál a mérésitartomány-szabályzó, melynek segítségével az ismert anyag és annak vastagsága alapján beállítható, hogy milyen hangúttávolságban végezzük el a hibakereső tevékenységet. Gyakran alkalmaznak a mérési tartomány nagy léptékű és finom beállítására külön vezérlő elemeket.



Gyakorlatilag két kezelőszerv segítségével állítjuk be a mérési tartományt. A mérésitartomány-szabályzóval a visszhangok távolságát növelhetjük vagy rövidíthetjük, az impulzustolóval pedig úgy változtathatjuk helyzetüket a képernyőn, hogy egymástól való távolságuk ne változzon.

Erősítésszabályzó

A kijelzőn megjelenő visszhang amplitúdóját, vagyis a jelerősítés szintjét az erősítésszabályzóval állíthatjuk be. Mivel a hibaméreték értékelésében nagy szerepe van a jelek egymáshoz képesti méretének, ezt a beállítást nagyon pontosan kell elvégezni. A visszhangamplitúdók magasságát a mai hibakereső ultrahangos készülékeknél decibel (dB) arányosan lehet változtatni. A legtöbb készüléknél lehetőség van az erősítés durva és finom léptékű beállítására és leolvasására is.

Szűrés (elnyomás)

Durva szemcséjű anyagok esetében, a hangcsillapítás és a szóródás következtében a vízszintes tengely mentén zavarjelek alakulnak ki, melyek a valódi visszhangjelek értékelését megnehezítik. Ezen jelek megszüntetésére az „elnyomás” („szűrés”) funkciót alkalmazzák. A régebbi, analóg berendezésekben ezt a funkciót körültekintéssel kell alkalmazni, mert az időalap megemelkedésével az erősítő linearitása is módosul.

Üzem módkapcsoló

A vizsgálatokban alkalmazott vizsgálófejek sokfélék lehetnek: egy- vagy kétrezgős, longitudinális, vagy transzverzális hullámú, magas vagy alacsony frekvenciájú. Ezért a készüléken be kell állítani, hogy milyen vizsgálófejet vezéreljen. Az üzem módkapcsoló (és a digitális berendezésekben egyéb funkciók) segítségével végezhetjük el ezt a beállítást.

Néhány berendezésben az erősítő széles frekvenciatartományban dolgozik, de a modernebb és pontosabb berendezésekben a vizsgálófejhez igazítva keskenyebb frekvenciasáv is kiválasztható a kisebb zajszint és jobb reakciókészség érdekében.

3.17.6 Analóg készülékek

Analóg készülék használatakor a vizsgálat sikere az egyes áramkörök működésétől függ. Különösen a jeladó és a vevő áramkör egyes elemei lehetnek nagy hatással olyan kulcsparaméterekre, mint a felbontás.

Jeladó (generátor)

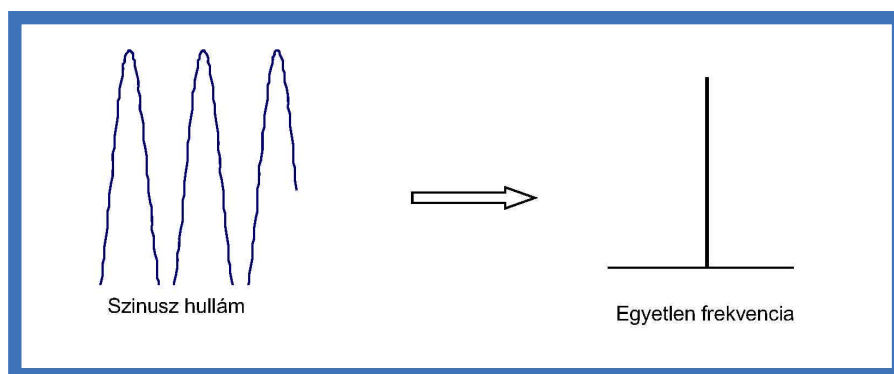
Nagyfeszültségű impulzusokat generál, amelyek elindítják az ultrahanghullámot. Az impulzusok különböző formájúak lehetnek (csúcs hullám, négyszög, stb.), amelyek leírása az MSZ EN 12668-1 szab-



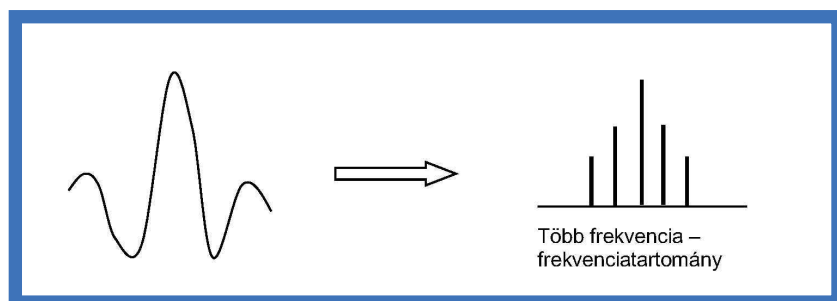
ványban olvasható. Az ultrahanghullámnak csak egy frekvenciája van (pl. 5 MHz), de valójában a jeladó által kibocsátott impulzus egy frekvenciatartományt tartalmaz, amelyet sáv szélességnek neveznek. Az ideális szinuszhullámnak csak egy frekvenciája van, amint az 3.32 ábrán látható.

Más impulzusformák viszont több frekvenciát tartalmaznak, melyek egy központi frekvencia alatt és fölött oszlanak el (3.33 ábra). A hullám formája és a frekvenciák közötti kapcsolat meghatározásának matematikai módszere a Fourier-transzformáció.

3.32. ábra.



3.33. ábra.



Különböző eszközök eltérő impulzusokat használnak, mivel nincs olyan ideális forma, amely minden feladatra alkalmas lenne. Általában a nagy hanggyengülésű anyagok kis sáv szélességű impulzusokat generáló berendezést igénylenek. Ez négyszög-impulzusok vagy túszerű impulzusok alkalmazásával valósítható meg. Azonban, ha nagy felbontás szükséges, akkor jobb szélessávú impulzusokat használni. Ennek az az előnye, hogy könnyedén módosítható csillapítás révén.

Vizsgálófej kábelek

A vizsgálófej kábel befolyásolhatja a keletkező frekvenciák sávszélességét. Ezeknek a kábeleknek általában a lehető legrövidebbnek kell lenniük, hogy minimálisra csökkentsék a (készülékbe) bemenő elektromos zajt. Azonban ha túlságosan rövid a kábel (2 m-nél rövidebb), akkor előfordulhat, hogy az impulzusvillanás továbbítódik. Ha ez megtörténik, akkor az impulzusgenerátor és a vizsgálófej a kábel hosszúságának megfelelő négyszöghullámot kelt, meghatározva az impulzus szélességét. Ez az impulzus megszüntethető kicsivel hosszabb kábel használatával. A 2 m-es hosszúságot tekintik optimálisnak.

Az impulzus kibocsátás ideje

Kis frekvenciájú alkalmazások (1–2 MHz) kb. 50 ns kibocsátási időt igényelnek. Nagy felbontású (nagy frekvenciájú) alkalmazások esetében 5 ns válhat szükségessé.

Adófeszültség

Az adófeszültségnek általában nagynak kell lennie (több száz volt). Kompromisszumos döntés szükséges, mivel a nagyobb feszültség nagyobb költségeket is eredményez. Ezen kívül az analóg áramkörök telítésbe mehetnek. Ez azt jelenti, hogy bizonyos helyreállási időre van szükségük a nagy feszültségű kibocsátást követően, ami hatással van a felbontásra. A hosszú helyreállási idő gyenge felbontást eredményez. Ez különösen akkor figyelhető meg, amikor merítéses rendszereket az optimális felbontás érdekében a felszín közelében működtetnek, például a minimum holtterben. Nagy feszültség mellett ez nagyobb ultrahangos behatolást eredményez, ami összeadódik, amikor a vizsgálatot erősen csillapító anyagokon vagy vastag falú anyagokon végzik. A kis feszültségű jelkibocsátást nem érdemes a vett jel további erősítésével kompenzálni, mivel az erősítő által okozott zaj és az elektromos zaj megzavarhatja az ultrahang jeleket.

Csillapítás

A jeladó (generátor) kimenetével párhuzamosan alkalmazott elektromos ellenállás hozza létre. A régi analóg készülékekben szélestartományú analóg potenciométert alkalmaztak, amely lehetővé tette a generált ultrahangjelek finomhangolását. A modernebb berendezések a csillapítást általában diszkrét lépések sorozatában kínálják fel. A csillapítás módosítja a kibocsátott impulzus formáját (a generált frekvencia-spektrumot) és megszünteti a vizsgálófej kábel okozta visszaverődéseket, csökkentve a látható echók sorát. Az operátor ugyanezt a hatást éri el, ha az A-képet addig változtatja, amíg tiszta visszhangjelet nem kap.



Erősítő

Az erősítő vagy vevő olyan elektronikus egység, amely minden jelet felerősít a sávszélességén belül. Egy készüléket a kisebb vagy nagyobb működési frekvenciatartomány specifikál, és ennek kiterjedése az erősítőtől függ. Bonyolítja a helyzetet, hogy az anyag csillapítása miatt a beérkező echó általában kisebb frekvenciájú, mint a vizsgálófej frekvenciája. Merítéses vizsgálatokban a víz útja szintén módosítja a frekvenciát, ez nagy (pl. 25 MHz-es vagy nagyobb) frekvencián észrevehető. Ezért az erősítőnek kisebb frekvenciatartományt kell biztosítania, mint a használt vizsgálófejé. Ha a hullám frekvenciája 5 MHz, az erősítő frekvencia-határának 1,5 MHz alatt kell lennie.

Szűrők

Bizonyos esetekben, a sávszélesség csökkentése érdekében a visszhangjel szűrőn halad át. A folytonossági hiányról beérkező jel nagy mennyiségű zajt tartalmaz, ami az impulzusgenerátortól, a szondától, az anyagtól, az erősítőtől és elektromos interferenciáktól származó zajok következménye. A különböző beállítások javíthatják az A-képes jel tisztaságát, megszüntetve ezeknek a zajoknak egy részét. Sajnos a szűrő és a csillapítás befolyásolhatja egymást, ezért az ultrahangkészülék beállítása hosszabb időt és interaktív folyamatot igényelhet, mivel az operátornak ki kell próbálnia minden lehetséges kombinációt.

3.17.7 Digitális készülékek

A digitális készülékek analóg feszültség formájában veszik az ultrahangjeleket, és analóg–digitális átalakító (A/D-konverter) segítségével alakítják át számítógéppel is olvasható digitális jelekké. A technológiával kapcsolatos szakkifejezések leírása az alábbiakban olvasható:

Tartomány

Az A/D-átalakító bemeneti tartománya meghatározza a maximális és minimális, még kezelhető feszültséget. Mivel fontos biztosítani azt, hogy az átalakító a bemenő jel tényleges feszültségét tartalmazza, a felbontás jobb lesz, ha az átalakító feszültségtartománya közel van a bemenő jeléhez.

Felbontás

Az A/D-átalakító bemeneti tartománya intervallumokra van felosztva. Minél nagyobb az intervallumok száma, annál jobb a felbontás. A felbontás általában bitben van megadva. A 12 bites felbontású

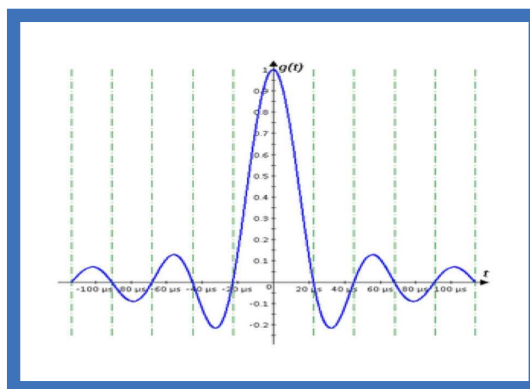


átalakító a tartományt 212 értékre osztja fel. Ez 4.096, vagyis ha a tartomány 0–100 mV, akkor a felbontás 0,025 mV. Bár a szűkebb tartomány növelné a felbontást, ez nem mindig kívánatos, mivel minden rendszernek megvan a velejáró zajszintje. Ha a felbontás ez alatt a zajszint alatt van, az instabilitáshoz vezet.

Mintavétel sűrűsége

Az A/D-átalakító mintavételi sűrűsége az analóg feszültségjel leolvasásának gyakorisága, frekvenciája. Túl kis mintavételi sűrűség egyértelműen adatvesztéshez vezethet. A Nyquist-féle mintavételezési tétel kimondja, hogy adott jel akkor állítható vissza veszteségmentesen a mintából, ha a mintavételi frekvencia legalább kétszer akkora, mint a jel legmagasabb frekvenciájú komponense. Amennyiben szinuszhullámból veszünk mintát ily módon, akkor a kép fűrészfog-jelhez (háromszög-hullámhoz) közelít. Az ultrahang információk pontosságának biztosítása érdekében a mintavételezést a hullámfrekvenciának megfelelő gyakorisággal kell elvégezni. Többcsatornás, mérítéssel ultrahangos rendszerek esetében a mintavételezés szükséges frekvenciája 100 MHz.

3.34. ábra.



A Nyquist–Shannon mintavételezési tétel a jelek digitalizálásában követendő elv (nem keverendő össze a számszerűsítéssel). A tétel szerint a jelek diszkrét mintái pontos értékek, amelyeket meghatározott pontossági szint mellett nem kerekítenek. A tétel azt bizonyítja, hogy adott periodikus jel mintából történő pontos rekonstrukciója matematikailag akkor lehetséges, ha a jel sávszélessége korlátozott, és a mintavételi sűrűség nagyobb, mint a sávszélesség kétszerese. Az eredeti analóg jel információit a fenti kritériumnak megfelelően a mintavételezési eljárásból származó teljes mintasorozat írja le.

Hasznos kapacitás

Az a tartomány, amelyben az A/D-konverter gyűjti és továbbítja az adatértékeket.

Azok az átalakítók, amelyek 10 mikroszekundum alatt gyűjtenek be és továbbítanak egy jelet, 100.000 jelmintát generálnak másodpercenként. Azonban, az A/D-konverterek nem mindig működnek maximális hasznos kapacitással.

Linearitás

Ebben az összefüggésben a linearitás azt jelenti, hogy a bemeneti tartomány egyenlő lépésközökre van osztva. A gyakorlatban ez nem pontosan így működik, és az A/D-konverter kimenet képe – szemben az analóg bemeneti jellel – nem mindig mutat linearitást.

Eltérések (nullhibák)

Az A/D-konverterek mutathatnak eltéréseket, vagyis nullától különböző értéket, nulla analógjel esetén. Ezek az eltérések minden átalakított jelet ugyanolyan mértékben érintenek.

A digitális berendezések jellemzői

A digitális berendezéseknek megvan az előnyük, hogy képesek tárolni és külön feldolgozni az ultrahang-jeleket. A tárolás és feldolgozás típusa a számítógép teljesítményének és a rendszer memóriájának függvényében változik.

Sok rendszer tárolja az echó információkat A-képek formájában. Általában ez szükséges az elektronikus kapu felállításához, amely meghatározza a releváns időalap tartományt. A rendszerek képesek a kapun belül talált nagyobb jelerősségek tárolására is. Ha ezeket az A-képeket egyesítjük a pozíciókra vonatkozó információkkal, akkor B- és C-kép is létrehozható.

Vannak olyan rendszerek, amelyek a teljes A-képes megjelenítést tudják tárolni, ami lehetővé teszi a vizsgálati adatok ismételt elemzését. Például különböző elektronikus kapuk alakíthatók ki, amelyek segítségével az információk különböző tartományokban láthatók.

A legtöbb digitális berendezés digitális A-képes megjelenítést alkalmaz (folyadékkristályos vagy számítógép képernyőn), amelyek minősége változó. Dinamikus vizsgálat esetén a berendezésnek nagy mintavételezési frekvenciával és gyors képfrissítéssel kell rendelkeznie, hogy hasznos legyen az operátor számára.



3.18 AUTOMATA ÉS FÉLAUTOMATA RENDSZEREK

Nagyon sokféle ultrahangos berendezés létezik, amelyeket a különféle területeken előforduló vizsgálati feladatok megoldására terveztek. Említhetjük a fémlamezek merítéses vizsgálatára alkalmas nagyméretű tartályokat, a csövek és rudak vizsgálatára szolgáló, forgató egységekkel felszerelt tartályokat, a kompozit anyagok vizsgálatára tervezett, soktengelyű rendszereket, a C-képes, hordozható rendszereket és számos, gépesített vizsgáló modullal rendelkező típust.

3.18.1 Automata berendezések

Számtalan termék vizsgálatára alkalmasak. Habár ezen berendezések összeszerelése sok időt és szaktudást igényel, az összeszerelést és beállítást követően megbízhatóan képesek elvégezni ugyanazt az ultrahangos vizsgálatot sokszor egymás után, a vizsgálatok alatt a paraméterek változatlanságát biztosító, korlátozott ellenőrzés mellett.

Az ilyen típusú berendezésekben az ultrahangos vizsgálófejek mozgása és a vizsgált tárgy elfogadása vagy elutasítása automatikus, ami akkor lehetséges, ha definiálható a megfelelő/nem megfelelő feltétel. Mivel az automata berendezések általában számítógéphez vannak csatlakoztatva, hatalmas mennyiségű adatot képesek tárolni. A legtöbb rendszer tartalmaz egy A-képes kijelzőt, amelyet a kezdetekkor használnak, de a normál megjelenítés más módon történik. Mind a B-, mind a C-képes megjelenítés gyakori, és vannak speciális típusok is, melyek jelentést készítenek a folytonossági hiányokról. Például a hosszú sínek vizsgálatához használt rendszer, ahol a jelentés a vasúti sín hosszúságát jelző vonal, amelynek azon szakaszai, ahol a minimum feltételek nem teljesülnek, piros színnel jelennek meg. Az ilyen automata rendszerek normál működtetését nem szükséges képzett ultrahangos személyzetnek végeznie, mivel nem lényeges az indikációk értékelése. Azonban a kezdeti beállításokat, a meghibásodások elemzését, és szinte minden kalibrációs ellenőrzést speciálisan képzett személyzetnek kell végrehajtania.

Az automata vizsgálatokban használt csatlakoztatási módszerek a vizsgálófejet kis távolságban tartják a felülettől és a rést vízzel töltik meg. A merítéses vizsgálatoknál ez statikus víztartály segítségével történik, míg más módszerek esetén a víz áramlása a felület és a papucs között folyamatos.

Napjainkra nagysebességű, automata ultrahangos vizsgálórendszereket fejlesztettek ki. Gázvezetékek körvarratainál szögvizsgálófejek sorát, kis tömegű mechanikus szkennelő berendezéseket és jelfeldolgozó rendszereket alkalmaznak. A sorba rendezett rezgőegységek elektromosan vezérelve pásztázzák körbe a hegesztési varratot. Nagyobb sebességgel vizsgálható át a varrat teljes térfogata, mert a vizsgálófej vezérlésével a hangnyalábot a hagyományos vizsgálatoknál is megszokott szögekkel egyszerre vizsgálhatjuk át. Közben a vizsgálati érzékenységet mindig az adott előírásoknak megfelelő értéken lehet tartani.

Habár az automata ultrahang-berendezéseket már jó ideje használják rudak, tömbök, lemezek, betonlapok és hegesztett acélcsövek vizsgálatában, számos anyag esetében (pl. alumínium és acél) a hegesztések vizsgálatában történő alkalmazása Magyarországon még ritka.



3.18.2 Félautomata rendszerek

Ezek a rendszerek azokban az esetekben használhatóak, amikor nagy mennyiségű, hasonló jellegű ultrahangos vizsgálatot végzünk. Ezekben a vizsgálatokban az operátor nagyobb mértékű részvétele szükséges, mint az automata rendszerek esetén, például az ultrahangos vizsgálófej kezelésében (komplex alkatrészek, stb.) vagy a jelzések értékelésében.

Félautomata rendszerek esetében – például rudak vizsgálatakor – a rudak automatikusan a vizsgálófej elé fordulnak, azonban az ultrahangos vizsgálatot operátornak kell vezetnie, hogy értékelje az információkat (pl. az A-képet), biztosítsa a vizsgálat helyes menetét és értékelje a kapott indikációkat.

A félautomata rendszerek (3D) térben is használhatók. Ebben az esetben megfelelő vizsgáló kart alkalmaznak, és az eszköz koordináta-információit, valamint az ultrahangos információkat számítógép dolgozza fel. Ez lehetővé teszi a normál A-képes megjelenítése mellett a B- és C-képes megjelenítéseket is.

Minden olyan rendszerben, ahol az adatokat számítógép veszi fel, az adatok egy későbbi időpontban is feldolgozhatók a vizsgálat helyétől távol. Ez nagyon sok helyzetben hasznos lehet, de mindennek előtt akkor, ha a vizsgálat kedvezőtlen körülmények között zajlik.

Vizsgálat előtt és után, mint minden vizsgálórendszer esetében, a félautomata rendszereket is ellenőrizni kell annak érdekében, hogy igazoljuk, hogy a vizsgálat folyamán nem módosultak a vizsgálókészülék és a kiegészítő eszközök eredeti beállításai. Ezt az ellenőrzést abban az esetben is végre kell hajtani, ha a vizsgálati munkadarab alakja, mérete, anyaga megegyezik az előző vizsgálati darabéval.

Egyedi vizsgálatok esetén (csővezetékek különleges kötéseinek, üzemi sérüléseinek, vagy korróziójának vizsgálata), a beállított paraméterek is nagy változatosságot mutatnak, ezért ezen paramétereket és a vizsgálati eredményeket a későbbi értékelések végrehajthatósága érdekében tárolni szükséges. Ebben az esetben jól jön a számítástechnikai háttér, valamint a hasonló tulajdonságú munkadarabok vizsgálatához nagy segítséget nyújt a félautomata rendszerek alkalmazása.

3.18.3 Automata és félautomata rendszerek működése

Automata rendszerek működése során számos szempontot kell figyelembe venni a megfelelő vizsgálati kapacitás érdekében:

Vizsgálati terjedelem

Ultrahangos vizsgálatokban fontos biztosítani azt, hogy az ultrahangnyaláb teljes körűen átvizsgálja a kijelölt térfogatot, amely lehet az anyag 100%-a vagy követhet más formát. A 100%-os vizsgálatokban a vizsgálófej mozgása úgy van beállítva, hogy minden egyes pásztázási vonal átfedi az azt megelőzőt. Egyes specifikációk meghatározzák az átfedés mértékét (pl. a sugárszélesség 20%-a). Mivel a sugárszélesség az anyag mélységének és az egyes vizsgálófejeknek megfelelően változik, a vizsgált anyag különböző mélységeiben kísérleti jelleggel mérést kell végezni. A kapott információ alapján beállítható a vizsgálófej nagyobb léptetése. A beállítást követően a nagyobb lépésközben megtett tényleges távolságot ellenőrizni kell lépésirányban, annak biztosítása érdekében, hogy a rendszermechanika reaktív



hatása nem csökkenti a hangnyalábok átfedését. Henger alakú termékek esetén használható spirális letapogatás is, azonban az átfedési és egyéb követelmények ugyanazok.

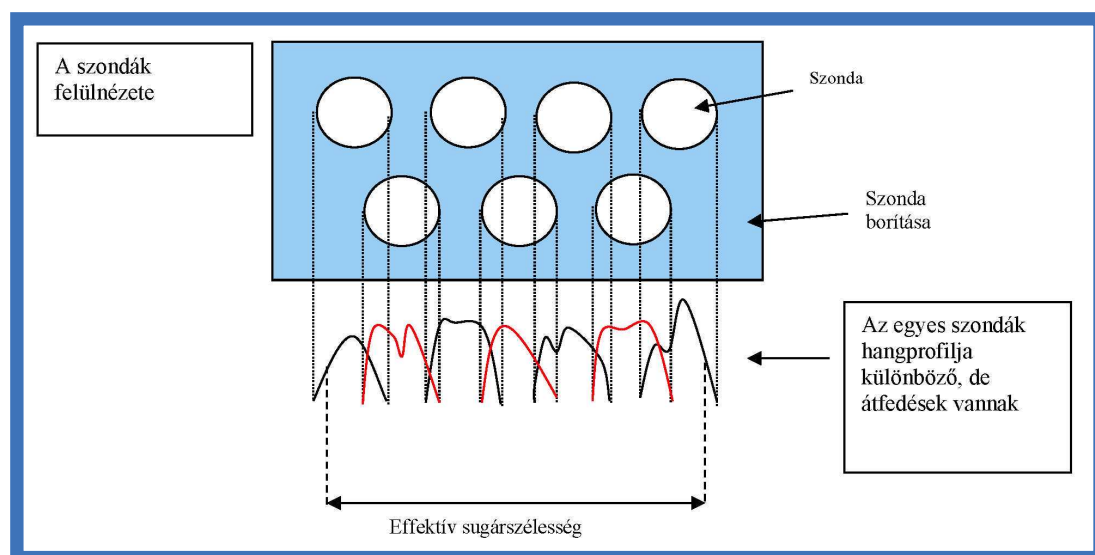
A nyalábszélesség különbözőképpen definiálható, a részleteket a vonatkozó specifikációban kell ellenőrizni. Példaként megemlítendő, hogy a nyalábszélesség meghatározható azon pontok közti távolságként, amely pontok a nyaláb tengelyének egyik, illetve másik oldalán vannak, és amely pontokban a hangintenzitás 6 dB-lel kisebb, mint a maximum érték.

Sok automata rendszerben több fejet használnak a vizsgálat sebességének növelése érdekében. Minden fej hangterét ismerni kell a különböző mélységekben, a köztük lévő megfelelő átfedés biztosítása érdekében (a hangnyalábban nincsenek üregek). Ezután a tényleges nyalábszélesség segítségével kiszámítható a fejsorozat két széle közötti megfelelő vizsgálati pásztázás mértéke (nagyobb terjedelmű szondák).

Szűrés, csillapítás, erősítés és egyéb paraméterek beállítása minden egyes fej esetén külön-külön szükséges, a közeli felületen elérni kívánt felbontás és érzékenység érdekében. Ideális esetben minden fej teljesen egyforma, a gyakorlatban azonban a hangprofilok mindig kissé különbözőek, még a nominálisan egyező szondák esetén is.

Ha a szondák sorozatba vannak rendezve, fontos annak biztosítása, hogy mindegyik összehangoltan működik a vizsgált felületnek megfelelően. Ez azért különösen jelentős, mert a felületközeli felbontást és az anyagba bejutó ultrahang intenzitását befolyásolja a vizsgálófejek nem megfelelő összehangolása. A fejsort úgy kell megtervezni, hogy elkerüljünk mindennemű kereszteződést közöttük. Az ábra mutatja a fejek helyes elrendezését sík felületek vizsgálatához. A fejek közötti távolságnak akkorának kell lennie, hogy ne okozzon kereszteződést és a fizikai korlátozást minimálisra csökkentse (a vizsgálófejek tokja mindig nagyobb, mint maga a rezgő).

3.35. ábra.



Vizsgálati sebesség

Automata rendszerek esetében kritikus a sebesség, mivel ha túl nagy, akkor a kisebb folytonossági hiányok észrevétlenek maradhatnak. A gazdasági érdekek ezzel ellentétben azt diktálják, hogy a vizsgálat a lehetséges maximális sebességgel történjen.

A maximális sebességet a legkisebb, felderítendő anyaghiány, a vizsgálandó anyag maximális vastagsága és a rendszerimpulzus ismétlődési frekvenciája (PRF) határozza meg. Általános szabály, hogy olyan sebességgel kell végezni a vizsgálatot, amely lehetővé teszi, hogy legalább két ultrahang-impulzus eljusson a legnagyobb anyagvastagság legkisebb anyaghiányáig. Néhány rendszer szoftvere nem reagál, ha csak egy impulzus emelkedik ki az elektromos zajból.

Egyes rendszerek sebességét a mechanikai kapacitás korlátozza. A sebességnek lehetővé kell tennie a szonda egyenletes mozgását a vizsgált munkadarabon. A vizsgálófej és a vizsgált darab közti távolságnak valamint a beesési szögnek állandónak kell maradnia.

Felbontás

Automata rendszerek vonatkozásában különböző szempontok érvényesülnek a felbontással kapcsolatban. Az A/D (analóg–digitális) átalakító felbontásával az 5.1.7 pont foglalkozik; a vizsgálati felbontást a pásztázási sebesség határozza meg, az előző fejezetben leírtak szerint. A kép felbontása szintén fontos tényező: tekintetbe kell venni, mi látható az anyaghiány méretéből a kijelzőn. Ez különösképp nagyméretű darabok vizsgálatakor érdekes, amelyek viszonylag kicsiben láthatók C-képes megjelenítésben a számítógép képernyőjén. A számítógép képernyőjének felbontását a rendelkezésre álló pixelek száma határozza meg. Előfordulhat, hogy egy kisméretű anyaghiány egy nagy vizsgálati felületen nem jelent több pixelt. A szoftver különböző módokat kínál: az egyik lehetővé teszi, hogy közelítéssel-távolítással a kép több részletet mutasson; a másik meghatározza, hogy bizonyos amplitúdót meghaladó (vagy bizonyos távolságot lefedő) jelzések legalább egy pixel méretben jelennek meg az ábrázolt képen.

Az ultrahang-felbontás meghatározásakor a félreértések elkerülése érdekében fontos különbséget tenni az egyes típusok között, és elkülöníteni az időalapon egymáshoz közeli anyaghiány echókat.

Megismételhetőség

Az automata rendszerek előnye a vizsgálatok megismételhetősége. A vizsgálatokat számos tényező befolyásolhatja, mint például a szonda megrongálódása, környezeti hatások (hőmérséklet), mechanikus rendszervédelem, kábelkárosodás, stb. Rendszeres ellenőrzések végzésével nagyon fontos a megismételhetőség biztosítása. Statikus ellenőrzéseket kell végezni a referenciablokkokon, valamint dinamikus ellenőrzéseket a mesterséges vagy ismert folytonossági hiányokat tartalmazó darabokon vagy blokkokon. A rendszerkapacitás ellenőrzése érdekében nyilvántartást kell vezetni a folytonossági hiányokról. A rendszer beindításakor végzett vizsgálatokban kapott eredményektől való bármilyen eltérést ki kell vizsgálni és a rendszert korrigálni kell. A vizsgálati időszak során kapott ultrahangos vizsgálati eredményeket elemezni kell és nem egyértelmű adatok esetén meg kell ismételni a vizsgálatot.

A gyakorlatban a legtöbb ultrahangos vizsgálat eredményez bizonyos számú téves jelet vagy nem létező anyaghiányt (hamis indikációk). Az utóbbi általában elfogadhatatlan, mivel az automata rendszerek működésének lényege a „biztonságos alkalmazás”. A téves eredménynek egyértelmű hatása van



a rendszer költségeire, hiszen előfordulhat, hogy a vizsgálat elfogadható darabokat utasít el. Néhány esetben az automata rendszereket az elutasított termékek manuális felülvizsgálatával is kiegészítik.

3.18.4 Átsugárzással vizsgáló automata rendszerek

Kompozit anyagstruktúrák vizsgálatakor – mint például repülőgépek burkolata – az automata ultrahangos vizsgálat C-képet jelenít meg az anyag belsejéről. Ez általában átsugárzásos módszer alkalmazásával valósítható meg.

A vizsgálandó munkadarab két oldalán a vizsgálófejeket (az adót és a vevőt) úgy helyezzük el, hogy azok hangterének egy része vízsugár előtétben halad. (Ezt vízelőfutásos módszernek is nevezik.). Ez a vízsugár egyben a csatolóanyag szerepét is betölti.

A folyamatos és állandó minőségű csatolás miatt a beállított elfogadási határok (paraméterek) nagy biztonsággal tarthatók. A vizsgálófejek együttes mozgatását előre programozott manipulátor vezérli, így a kezdeti manuális összeszerelés, és a paraméterek ellenőrzése után a rendszer nem igényel operatív beavatkozást.

Az automatizált rendszerekhez kifejlesztett további berendezésekhez speciális számítógépes szoftverek telepítése szükséges.

3.36. ábra.



3.18.5 Speciális berendezések

Vastagságmérők

Nagyon sokféle impulzus-visszhang elven működő, hordozható ultrahangos vastagságmérő létezik. Esetenként A-képes megjelenítést is tartalmaznak, ahol általában az anyagvastagság mm-ben megadott értéke olvasható le digitális eredményként. A legtöbb vastagságmérő acélra kalibrált, így hangsebesség-módosítást igényelnek, amennyiben más típusú anyagon használják őket. A vastagságmérő

tartalmaz egy elektronikus kaput, amely méri az áthaladási időt a vizsgálati felületről kapott echó és a hátfalról jövő echó között. Ezt követően a berendezés átváltja ezt az adatot távolságra, az alábbi képlet alkalmazásával (nem szabad elfelejteni, hogy mivel a hang oda-vissza halad, az akusztikus út hossza a vastagság kétszerese):

$$\text{Sebesség} = \frac{\text{Távolság}}{\text{Idő}}$$

A vastagságmérés pontossága az anyagban mért hangsebesség értékének pontosságától függ. A sebesség értéke beállítható a berendezésben vagy megmérhető egy ismert vastagságú anyag segítségével.

Azok az eszközök, amelyek az áthaladási időt attól a ponttól mérik, ahol az impulzus első szélé áthalad az időalap vonalán, pontosabbak, mint azok, amelyek a távolságot a jel csúcsából állapítják meg. Néhány alkalmazásban a kapott érték pontossága + 0,001 mm.

Ha az elektronikus kapuban lévő első nagy jel, nem a vizsgálati darab hátoldaláról, hanem annak más részéből érkezik, akkor a megjelenő érték nem a tényleges anyagvastagság lesz. Ha például a mérőeszközt rétegelt lemezek vizsgálatára használják, a mért távolság a réteghatárig mért távolság, nem pedig a vizsgált anyag hátoldaláig mért távolság. Néhány készülékben beállítható egy küszöbérték ehhez az elektronikus kapuhoz.

A legtöbb vastagságmérő illesztett vizsgálófejekkel rendelkezik. Ezek a fejek gyakran van védőpapucs, ami a kezdeti impulzust bizonyos mértékben eltéríti az anyagfelszín bemeneti echójától.

Vasúti sínek vizsgálatához használt berendezések

A sétapálcaként is ismert eszközöket gyakran használják vasutak ultrahangos vizsgálatához. Az operátor az eszközt a sínekhez szorítja, és kompressziós valamint nyíróhullámos vizsgálófejet alkalmaz. Az ultrahangos csatolóanyag lehet ellenőrzött vízbefecskendezés a kocsi hátuljára rögzített tárolóból. Az ultrahang-berendezést a kocsi felső részéhez közel rögzítik úgy, hogy az operátor a vizsgálat során folyamatosan figyelni tudja. Az eszköz rendelkezhet jeladóval, ami lehetővé teszi a sín menti távolság mérését mozgás közben.

A drágább, csúcstechnológias vizsgáló berendezések tartalmaznak egy vizsgáló kocsit is, kerékszondákkal. Ezek járműre (vonatra) rögzíthetők, amelyen szintén van egy ultrahang-berendezés, jelfeldolgozó egység és számítógép. A pálya vizsgálata során folytonossági hiányokat, például repedéseket, hibás hegesztett kötéseket, keresnek.

Kötések vizsgálatára használt berendezések

Léteznek speciális ultrahang-berendezések, amelyek a termékekben lévő kötések vizsgálatára szolgálnak, például hexagonális cellás (méhsejt) szerkezetű kompozit anyagok, szénszálas anyagok és ragasztóanyaggal összekapcsolt elemek.



Ezek a berendezések általában különböző ultrahangos és mechanikus technikák kombinációját alkalmazzák, ezzel szerezve információkat a kötésekről, pl. adó-vevő és rezonancia-technika, és mechanikaiimpedancia-elemzés.

Az adó-vevő-technika a hanghullám amplitúdóját és fázisváltozását méri, a felületen történő mozgás közben.

Az ultrahangrezonancia-technika azon az elven működik, hogy a folytonossági hiányok megváltoztatják a vizsgált darab merevségét és rezonancia frekvenciáját.

A mechanikaiimpedancia-elemzés meghatározza a vizsgált anyag merevségét és tömegét.

Ezen módszerek segítségével kimutathatók a felhasadások, szétválások (delaminációk, rétegződés) és egyéb károsodások.

Rudak vizsgálatára használt berendezések

Rudak, csövek vizsgálatára léteznek olyan speciális berendezések, amelyek olyan módon képesek forgatni a rudat, hogy az ultrahangos fejvizsgálat közben spirális pályán mozog a rúd felületén. Nagy átmérőjű rudak vizsgálatához a berendezés olyan, merítéses vizsgálatot szolgáló tartállyal van felszerelve, amely lefedi a rúd teljes hosszát. A kis átmérőjű rudak azonban általában egy kisméretű, a bemeneti és kimeneti pontokon gumitömítéssel ellátott merítő tartályon haladnak keresztül, elkerülve ezzel, hogy a víz kiszivárogjon. Különböző vizsgálofejek használhatók longitudinális és transzverzális hullámok kombinációjával.

A kezelő a vizsgálatához megfelelő, az anyag belsejében és felszínén mesterséges hibákkal rendelkező ellenőrző testet alkalmaz, ezáltal a vizsgálofej rúdhoz viszonyított optimális helyzete ezen mesterséges hibákból érkező jelek maximalizálásával határozható meg. A berendezések általában tartalmazzanak bizonyos fajta mechanikai rendszert, amely lehetővé teszi, hogy a vizsgálofej rögzített távolságban maradjon a rúdtól a vizsgálat során végzett forgatás közben. Amikor az ultrahangos jelek az A-képes megjelenítést alkalmazó berendezések segítségével optimálisak, az elektronikus kapuk működésbe lépnek és megmutatják a potenciális hibára utaló jeleket (vagy közvetlenül a folytonossági hiány jelét vagy a hátfal-visszhang hiányát). Ha a berendezés potenciális hibát észlel, a rendszer regisztrálja a folytonossági hiány rúdhoz viszonyított helyzetét, vagy riasztást ad ki, ami egyben leállítja a rendszert. Bármelyik eset fennállása esetén az operátor megkeresheti a riasztás okát. Különböző típusú anyaghiányok deríthetők fel, mint például üregek, zárványok, porozitás, felnyílások, repedések.

Lemezek vizsgálatára használt berendezések

Nagyméretű tárgyak, például lemezek merítőtartályban kompressziós hullámok segítségével vizsgálhatók. A pásztázási sebesség növelésére használhatók vizsgálofej-sorok vagy üregvizsgáló fejek. Ezekben az esetekben a kalibrációs blokkok ismert távolságú és területű és méretű, lapos fenekű fura-



tokat tartalmaznak. Az elektronikus távolságamplitúdó-korrekciónak alkalmazható az erősítés beállítására, a lemez méreteinek függvényében. Az ultrahangjel ellenőrzése kapuk segítségével történik, amelyek feltárják a potenciális folytonossági hiányok echóit és a hátfal-visszhang veszteséget. A kijelző C-képes, de az operátor A-képes megjelenítést használ a rendszer beállításához és az anyagihiányoktól érkező jelek értékeléséhez. Ha a lemezek nagyméretűek vagy nem teljesen sík felületűek, akkor szükség van egy olyan eszköz alkalmazására, amely megtartja a vizsgálófej dőlésszögét a lemez felszínén a vizsgálat közben.

A feltárt diszkontinuitások lehetnek zárványok, porozítások és rétegződés.

3.19 VIZSGÁLÓFEJEK

Dinamikus tartomány

A vizsgálófejek tényleges vizsgálati tartománya a frekvenciához kötődik. A legtöbb gyártó 500 kHz és 50 MHz közötti frekvenciájú készülékeket és fejeket kínál. A kontaktvizsgálatokhoz általában 8 MHz alatti frekvenciát alkalmaznak, a nagyobb frekvenciájú aktív elemek sérülékenysége miatt. Általában a nagyobb frekvencia nagyobb érzékenységet és felbontást, azonban csökkentett behatoló képességet von maga után. A nagyobb átmérőjű vizsgálófejek kisebb nyaláb-széttartást (divergenciát) biztosítanak. A fej teljesítményét befolyásoló egyéb tényezők az aktívelem típusa, az alsó rész anyaga, a sáv szélesség és az impedancia illeszkedés. Ezeket a tényezőket a korábbiakban vizsgáltuk.

Víz alatti vizsgálófejek

Ezt a típust érintkezés nélküli vizsgáló technikákkal alkalmazzák, ahol a csatlakozóközeg általában víz. Mivel a legtöbb esetben hosszú ideig vízben vannak, teljes mértékben vízállónak kell lenniük, mind a csatlakozási pontokon, mind a vizsgálófejen. Ez nehézséget jelenthet, mert akusztikai okok miatt a vizsgálófej felső rétege nagyon finom anyagból készül. Egyes gyártók a vizsgálófejen tökéletesen szigetelt kábeleket használnak a vízbeszivárgás lehetőségének csökkentése érdekében. A víz alatti vizsgálófejeket olyan rendszerekben használják, amelyek megfelelő távolságban tartják a fejeket mind a tartálytól, mind a munkadarabtól a vizsgálat során.

A víz alatti fejek longitudinális hullámokat generálnak, mivel a transzverzális hullámok nem terjednek vízben. Ha transzverzális hullámokkal végzett vizsgálat szükséges, akkor a fejnek szöget kell bezárnia a vizsgálandó tárgy felszínével, hogy a hullámtörés (refrakció) létrehozza a transzverzális hullámokat.

A vizsgálófejek lehetnek kör vagy négyszög (üreges) alakúak és általában 1 és 25 MHz frekvenciát használnak. Az üreges fejeknek megvan az az előnyük, hogy növelik a vizsgálat sebességét azáltal, hogy egyszerre nagyobb területet képesek lefedni. Azonban nagyobb méretük csökkentheti a felbontást. Az üreges fejek különféle ultrahangos érzékenységgel működtethetők. A jel/zaj arány problémát jelenthet, ha nagyméretű üreges vizsgálófejet alkalmazunk, mivel ezek nagy területről gyűjtik az ultrahangot.



Durvaszemcsés anyagok esetében az anyagból származó zaj a folytonossági hiányokra vonatkozó felbontásban jelentős korlátozó tényezőt jelenthet.

Szükség esetén a víz alatti fejek fókuszálhatók, szférikus vagy hengeres lencse segítségével.

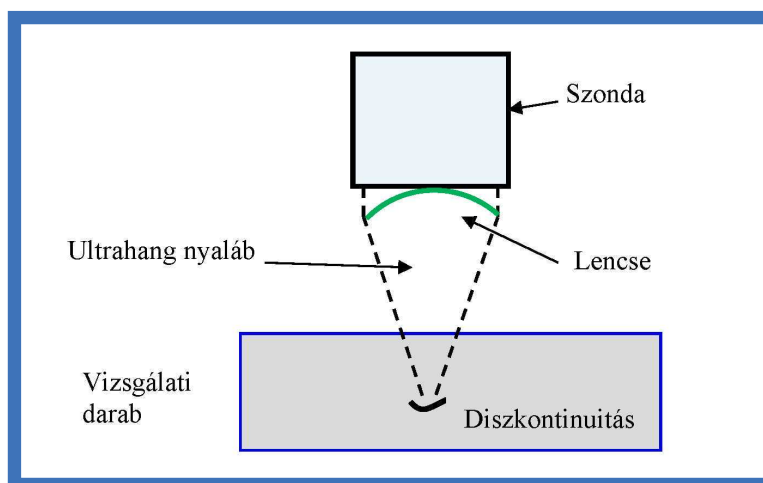
Fókuszált vizsgálófejek

Az ultrahangos fejek (hangnyalábjai) fókuszálhatók, egy pontra vagy egy vonalra, különböző módszerek segítségével, például kristályformázás, PVDF-film, műanyag akusztikus lencsék, íves tartó és elektronikus fókuszálás.

A szférikus vagy hengeres fókuszált fejek alkalmazása növeli az ultrahangnyaláb laterális felbontását a fókuszpontban vagy vonalon, ami növeli a hangnyomás amplitúdóját olyan módon, hogy a jel/zaj arány szintén növekszik.

Az ultrahangnyaláb a munkadarab egy pontjára vagy egy vonalára fókuszált, a fejtől bizonyos távolságban, amint az 3.37 ábrán látható.

3.37. ábra.



Vastagabb munkadarabok vizsgálatakor több fókuszált vizsgálófejre lehet szükség a megfelelő vizsgálati lefedettség eléréséhez.

Fermat-elven működő vizsgálófej

A Fermat-elven működő vizsgálófej szferikusan fókuszált aktív felülettel rendelkezik, a hagyományos fejeknél nagyobb méretű és kifejezetten egyfajta alkalmazásra tervezett. Javítja az érzékenységet és a jel/zaj arányt, valamint a laterális felbontást. A felület alakját olyan módon számítják ki, hogy a futásidő a felület bármely pontjától a folytonossági hiányig ugyanakkora legyen. Ennek kiszámításakor

figyelembe kell venni a várt laterális felbontást és a mező mélységet. Ezek az eszközök egyszerű elemeket tartalmazó víz alatti fejek, de alkalmazhatók a fázisvezérelt technológiában is. Eltérő vastagságú tartományokhoz különböző számú fejet kell használni. Az érintkezéssel vizsgálatokban a Fermat-féle vizsgálófejek kombinálhatók sima éllel, ami módosítja a rezgő alakját és a csatolást vízőblítéses rendszerrel vagy hasonlóval biztosítja.

Fázisvezérelt vizsgálófejek

Ezek a fejek kis rezgőkkel készülnek, melyek csaknem minden esetben egy vonalban vannak elhelyezve, bár átalakíthatók más formákra is. A fázisvezérelt fejek fontos tulajdonsága az „aktív nyílás”, amely a fej aktív hosszúságaként van meghatározva, és a fej elemeinek száma, szélessége és a köztük lévő távolság befolyásolja. A fázisvezérelt fejek leírása a 4.18 fejezetben található.

Impulzus-hosszúság mérése

Egyes specifikációk esetében impulzushossz-mérés szükséges az ultrahangos berendezés megjelenített képének értékeléséhez. Az egyes specifikációk minden esetben külön ellenőrizendők a vizsgálat elvégzéséhez szükséges részletek megismeréséhez.

Az impulzushossz mérhető az ultrahang-berendezés A-képes megjelenítése vagy oszcilloszkóp segítségével. Ez a mérés tulajdonképpen különböző paraméterek hatásának értékelése, mint például a szonda hanggyengülése, az impedancia beállítás és az erősítő sáv szélessége.

Kontaktvizsgálatok esetén a mérés elvégezhető a reflektált jelek segítségével (hátfal-echó kompressziós fejek esetén vagy keresztirányú furatról visszavert jel transzverzális hullámú fejek esetén). Az ultrahang-berendezés szabályzóiban azokban a pozíciókban vannak, amelyekben a vizsgálat is történik és a fej is csatlakozik normál üzemmódban. A berendezés időalapja mm-ben van beállítva és a visszavert jel amplitúdója a teljes képernyő magasság 100%-a. Igény szerint a mérés konvertálható mikroszekundumra is.

Az víz alatti vizsgálatokban hasznosabb, alternatív módszer az eredeti impulzus megtekintése oszcilloszkóppal és az impulzus hosszúságának mérése közvetlenül mikroszekundumban. Minden egyéb jel (pl. az előoldalról kapott reflexió) szintén látható és mérhető ezzel a módszerrel. Amennyiben az oszcilloszkóp helyett más eszközt használunk, fontos figyelembe venni, hogy az időalap beállítása általában a vizsgálandó objektumnak felel meg, a vízben létrejött jelekhez nem jó.

Vizsgálófej papucs

Sok vizsgálófej rendelkezik olyan papucsokkal, amelyek alkalmassá teszik bizonyos típusú vizsgálatokra. A papucsok készülhetnek perspexből vagy más hasonló anyagból, amely közvetíti az ultrahangot.



Bizonyos esetekben, például szögvizsgálófej esetén, a papucsok leszerelhetők, így károsodásuk esetén cseréjük lehetséges.

A vizsgálófej-papucsok különböző célokat szolgálhatnak:

- ◆ Védik a vizsgálófejet a károsodástól durva felületeken.
- ◆ A piezoelektromos kristályt rögzített szögben tartják.
- ◆ Szigetelik az aktív elemet a hőtől.
- ◆ Módosítják a vizsgálófej alakját.
- ◆ Lencseként működve fókuszálják az ultrahang nyalábot.
- ◆ Jó felbontást biztosítanak a felszín közelében.
- ◆ Maximalizálják a hangtovábbítás hatékonyságát az impedancia módosításával.

Az elhasználódott, kopott papucsok hátránya, hogy többszörös alsó visszaverődést okozhatnak, ami zavarhatja a vizsgálati zónából kapott jeleket. Az elhasznált papucsok vastagságát (a késleltetési vonal hosszát) ilyen esetben növelni kell, ami növeli az ultrahang veszteséget a papucs belsejében.

Csatlakozó kábel

A vizsgálófej kábelek különféle csatlakozókkal vannak ellátva: BNC, Lemo és mikrodot. Mivel ezeket a kábeleket általában csatolóanyagok (sok esetben víztartalmú anyagok) közelében használják, mindegyik végüket szigetelni kell, és a burkolatnak nem szabad átengednie a nedvességet. A kábeleknek elég rugalmasnak kell lenniük ahhoz, hogy normál használat közben ne törjenek el, és ez különösen fontos a hosszú kábelekkel ellátott automata rendszerekben, amelyek kábeli rendszeresen ugyanabban a formában hajlanak meg. Bizonyos esetekben a kábeleknek hőállóknak kell lenniük.

Az automata rendszerek kábeleit védeni kell az elektromos zavaroktól, különösképpen ahol hosszabbítások szükségesek.

3.20 ELLENŐRZŐ TESTEK, ReferenciablokkOK

3.20.1 Kalibrálás, ellenőrző testek

A kalibrálás a mérőeszköz beállításának pontosságára szolgál.

A készülék elektronikáját és a vizsgálófejeket elsőként úgy kell kalibrálni, hogy a tervezett funkciók szerint működjenek. Ez a művelet az MSZ EN 12668-1 és az MSZ EN 12668-2 szabványok szerint történik, és általában a gyártó vagy akkreditált kalibrációs laboratórium végzi. A további, rendszeres ellenőrzés, az MSZ EN 12668-3 szabványban leírtak szerint, a vizsgáló feladata (ld. 4.1. alfejezet).

Ezután az operátor elvégzi a berendezés szükséges beállításait, mivel az ultrahang-berendezés részei a számos alkalmazási lehetőség szerint változtathatók. A felhasználó elvégzi a rendszerbeállításokat, amelyekbe beletartozik a berendezés összeszerelése, a vizsgálófejek és a vizsgálat előkészí-



tése, és a kívánt pontossági szint ellenőrzése. A „kalibrációs szabvány” kifejezést általában csak akkor használják, ha a méréseket abszolút értékben végzik, és – mint sok esetben – az ahhoz használt referenciablokkok országos vagy európai szabványoknak felelnek meg. Itt az MSZ EN ISO 2400 (régábban MSZ EN 12223) és az MSZEN ISO 7963 (régábban MSZ EN 27963) jelű szabványokban leírt blokkokat – az ET1-es és -2-es ellenőrző testet, ld. 4.2. alfejezet) használjuk a vízszintes (időalap) és a függőleges (amplitúdó) skála beállítására.

A referenciablokkok, ellenőrző testek általános koherencia szintet képviselnek a mérésekben és segítik a felvett jelben hordozott információ értelmezését és számszerűsítését. A referenciablokkokat annak validálására használják, hogy a berendezés és a beállítások az egymást követő alkalmakkor hasonló vizsgálati eredményeket adnak, valamint hogy a különböző rendszerek is hasonló eredményeket szolgáltatnak (természetesen hasonló körülmények között). A referenciablokkokat főként a folytonossági hiányok méreteinek becslésére használják.

3.20.2 A referenciablokk anyaga

A referenciablokk nagyon lényeges az anyaghiányok ultrahangos felderítésében. A vizsgált anyaghoz hasonló anyagból kell készülniük, mivel az ultrahangos rendszer felkészítésére szolgálnak. Különösen fontos, hogy a referenciablokk anyagának hangsebessége megegyezzen a vizsgálandó tárgyával, mert az időalap beállítás csak így lesz pontos. Ezen felül, a referenciaanyag hangcsillapítási tulajdonságainak is meg kell egyezniük a vizsgált objektumával. Ha ez nem így van, akkor néhány esetben használható átviteli korrekció (ld. négy szakasszal alább). A csillapításbeli különbségek következtében fellépő bármely hiba közvetlenül befolyásolja a vizsgáló rendszernek az anyaghiányok feltárására és méretének meghatározására vonatkozó képességét.

A referenciablokk anyagának meg kell egyeznie a vizsgált tárgy anyagával, és a mesterséges reflektornak, amennyire lehetséges, ugyanolyannak kell lennie, mint a folytonossági hiánynak. Az utóbbi követelmény jelenti a nagyobb korlátot a legtöbb referenciablokk esetében. A lapos fenekű furatok vagy a keresztirányú hengeres furatok általában nem képviselik jól a tényleges folytonossági hiányokat. A referenciablokkok reflektáló felületei szinte minden esetben jobb hangenergia reflektorok (simább és egyenletesebb felszínüknek köszönhetően) és nagyobb jeleket produkálnak, mint a hasonló méretű folytonossági hiányok. „Valószerűbb” anyaghiányok reprodukálása nagyon költséges lenne, ezért a detektált folytonossági hiányok mérete csak becsülhető. Az ilyen mérések módszereivel (ÖRG és TEN) kapcsolatos információk az előző fejezetben megtalálhatók.

3.20.3 Anyagfelszín

A blokk felületének állag és érdesség tekintetében meg kell egyeznie a vizsgált tárggyal. Bármilyen különbség befolyásolná a vizsgált munkadarabra jutó hang intenzitását, ezáltal az érzékenységet. A túlságosan sima felület módosíthatja a csatolást és véletlenszerű (téves) echókat generálhat.



3.20.4 Görbületek

Görbe felületek vizsgálatakor a kalibrációs blokknak szintén íveltnek kell lennie. Ellenőrizni kell a specifikációt annak megállapítására, hogy mennyire változhat a blokk görbületi sugara a vizsgált darabhoz viszonyítva. Általában mesterséges folytonossági hiányokat tartalmazó darabokat alkalmaznak, melyeket a vizsgálandó termékek egyikéből alakítottak ki.

Ha nem áll rendelkezésre görbült felületű blokk, akkor görbületi korrekciós grafikont kell készíteni. Ez létrehozható kísérleti módszerrel, megfelelő reflektort munkálva be a blokkba a görbült felszín alatt különböző távolságokban, majd meghatározva az ezekről származó jelek amplitúdóját. A „korrekció” szükséges amplitúdóváltozás, amely a görbült felszínen mért jeleket a sík felszínen mért értékekre (vagy DAC értékekre) hozza. A görbület sugarában bekövetkezett bármilyen változás hatással van az ultrahang nyaláb fókuszára, ezért a referenciablokko(k)at különböző felszíni görbületekkel kell kialakítani.

3.20.5 Referenciablokkok (EN 583-1 szabvány, 6.5 pont)

A szabvány szerint, amikor a vizsgált tárgy visszhang-amplitúdóit a referenciablokkon kapott visszhangokhoz hasonlítjuk, az anyaggal, a felszín tulajdonságaival, alakjával és a blokk hőmérsékletével kapcsolatos bizonyos követelményeket is figyelembe kell venni.

Ahol lehetséges, a referenciablokknak a vizsgálandó anyaggal egyező specifikus akusztikai tulajdonságokkal rendelkező anyagból kell készülnie, valamint a felszíne jellemzőit tekintve is hasonlónak kell lennie a vizsgálandó tárgyhöz. Ha ezek a tulajdonságok nem egyeznek, akkor átviteli korrekció alkalmazása szükséges. Az MSZ EN 583-2 szabvány tartalmazza a korrekció meghatározásához szükséges tennivalók leírását.

Figyelembe kell venni a referenciablokk és a vizsgálandó tárgy geometriai tulajdonságait is. További részleteket ezzel kapcsolatban ugyancsak tartalmaz az MSZ EN 583-2 szabvány.

A referenciablokk geometriáját, méreteit és a reflektorok helyét minden esetben külön-külön kell meghatározni, specifikus szabványok és szabályzatok alapján. A reflektorok helye és száma a teljes vizsgált zónára vonatkozik.

3.20.6 Átviteli korrekciók

Az átviteli korrekció az a beállítás, amely rögzíti az ultrahangos berendezés jelerősítőjét, miközben a vizsgálófej a kalibrációs vagy referenciablokktól a vizsgálandó munkadarabhoz kerül. Ez magába foglalja a csatolás, a visszaverődés és a csillapítás megváltozása miatt fellépő veszteségeket.

Az MSZ EN 583-2 jelű szabvány követelményei szerint, ezt a beállítást négy óránként, valamint a vizsgálat végén el kell végezni.



3.20.7 Átviteli korrekció (hegesztett kötések; MSZ EN ISO 17640 szabvány, 10.4 pont)

Amikor külön blokkokat használunk a referenciaszintek megállapításához, a vizsgált tárgy és a blokk közötti átviteli különbségek mérése megfelelő számú pontban történik. Az MSZ EN 583-2 szabvány tartalmazza az erre alkalmas technika leírását.

Ha a különbség kisebb, mint 2 dB, akkor nincs szükség korrekcióra; ha azonban 2 dB-nél nagyobb, de 12 dB-nél kisebb, akkor kompenzáció szükséges. Ha az átviteli veszteség meghaladja a 12 dB-t, akkor meg kell vizsgálni az okát, és amennyiben lehetséges, a vizsgált felületet a későbbiekben elő kell készíteni.

Ha nincs egyértelmű oka a nagy korrekciós értékeknek, akkor a vizsgált tárgy különböző részein meg kell mérni a csillapítást, és amennyiben jelentős eltérést találunk, meg kell fontolni a korrektív intézkedéseket.

Minden esetben ugyanazt a csatolóanyagot kell használni az átviteli korrekció ellenőrzésekor; ideális esetben a referenciablokk felületi állapota, amennyire lehet, hasonló a vizsgált tárgyéhoz.

3.20.8 Egyéb értékelési előírások

Bár nincsenek specifikálva Európában, az USA-ban és más országokban (Japán, Kína, stb.) szabványokban, bizonyos esetekben másféle referenciablokkok használatát írják elő, így ezekről is beszélni kell.

Az AWS felbontáskalibráló-blokk segítségével határozható meg az AWS és AASHT követelmények szerinti szögvizsgáló-fejek felbontása. A bevéssett index-markerek 45°, 60° és 70° törési szögű nyalábokhoz használatosak.

A területamplitúdó-blokkokat nyolc darabos sorozatban szállítják, és nagyon hasonlóak a távolsági/területamplitúdó-blokkokhoz. Azonban a területamplitúdó-blokkokban állandó a fémtestbeli hangút-távolság (3"), a furatok mérete pedig 1/64" és 8/54" között váltakozik, 1/64"-os közökkel. A blokkokat a folytonossági hiány mérete és a jelamplitúdó közötti kapcsolat meghatározására használják, a különböző méretű furatokról érkező visszhang-jelek összehasonlítása révén.

3.20.9 Mesterséges reflektorok és tényleges anyaghianyok viszonya

Bizonyított, hogy a folytonossági hiányok méretének becslése olyan módszerekkel, mint például az amplitúdótávolság (mélység) szerinti korrekciója (ahol a kalibrációs blokkokban lévő mesterséges reflektor amplitúdóját meghatározták), nem ad a tényleges mérettel pontosan egyező értéket.

A mesterségesen létrehozott anyaghianyok (mint pl. a lapos fenekű zsákfuratok vagy a keresztirányú furatok) felszíne általában sima reflektáló felület, ami az ultrahang nyalábhoz viszonyítva 90°-os síkban van. Ezzel szemben a valódi folytonossági hiányok gyakran durva és nem sík felületűek. Ezek a tényezők arra utalnak, hogy egy valós anyaghiany jobban szórja az ultrahangot, ami kisebb visszhang-



jelet eredményez. Ezen felül, a nagyobb méretű, valódi anyaghiányok orientációja lehet olyan, hogy nem verik vissza a teljes hangenergiát a vizsgálófej felé.

3.21 CSATOLÓANYAGOK

Csatolás

A vizsgálófej és a vizsgálandó tárgy felszíne közötti levegő kiszorítása érdekében folyékony vagy fél-folyékony csatoló anyagot használnak:

- ◆ finom gépolaj,
- ◆ gél,
- ◆ paszta,
- ◆ zsír,
- ◆ víz.

Ha a csatolóanyag megszakad (megszűnik a csatolás), a hangenergia nem jut be a vizsgálandó anyag belsejébe, ami a kívánt jel csökkenését, vagy teljes elvesztését jelentheti.

Érintkezéssel vizsgálatok esetén a vizsgálófejet manuálisan mozgatjuk a vizsgálati darab felületén. Ügyelni kell a csatolóanyag folyamatos, egyenletes jelenlétére. Merítéses vizsgálatok esetén a jelvesztés lehetőségének szinte nulla.

3.21.1 Nem folyékony csatoló anyagok

Csatolóanyagokat minden érintkezéssel ultrahangos vizsgálatban alkalmaznak a hangenergia továbbításának elősegítése érdekében, a vizsgálófej és a vizsgálati tárgy között. Ezekben a vizsgálatokban a csatolóanyag általában viszkózus, nem toxikus, nem korrozív folyadék, gél vagy paszta.

Számos hétköznapi anyag, mint a víz, motorolaj, zsír, sőt néhány, kereskedelemben kapható termék, pl. hajszelé vagy tapétázáshoz használt ragasztó, is alkalmazható ultrahangos csatolóanyagként.

A csatolóanyag másik funkciója az, hogy kiegyenlíti a kisebb felületi egyenetlenségeket. A használt csatolóanyag típusa az alkalmazás körülményeitől és a vizsgált darab tulajdonságaitól függ.

Számos esetben, például a repülőgépiparban alkalmazott kompozit anyagok esetén, a hagyományos csatolóanyagok elszennyezhetik a felületet vagy korróziót okozhatnak.

A csatolóanyag-mentes, gördülőkeres vizsgálofejek alkalmazása kis frekvencián (2 MHz alatt) lehetséges, és a kompozit anyagokban jellemző nagyfokú hanggyengülés miatt nagy impulzus-szélességű, kis érzékenységű vizsgálatra alkalmasak.

A gördülőkeres vizsgálofejek jelentős fejlődésen mentek keresztül a kezdeti, olajjal megtöltött gumikerékhez képest, amelyben egy merülőfej volt helyezve. A mai gördülőkeres vizsgálofejekhez már sokféle átalakító (rezgőegység) illeszthető.



A kerékszonda két fő komponensből áll: a különböző fejeket tartalmazó tengelyből és a kerékből, amely a tengely körül forog precíziós csapágyakon. A kerékre illesztett, cserélhető burkolat jelenti az ultrahangos csatolást a rezgő és a vizsgálati darab között.

Mivel az űr- és légijárműipari vizsgálatok magasabb frekvenciát igényelnek, olyan gördülőkerekes vizsgálófej létrehozására volt szükség, melyek alkalmazhatók ezeken a frekvenciákon is (5 MHz) impulzus-visszhang módban, megfelelő érzékenységgel rendelkeznek, és alternatívái lehetnek a vízsugaras csatolású, és a merítéses vizsgálófejeknek.

Ebben az alkalmazásban váltak ismertebbé a hidrofil polimerek, mint száraz csatolóanyagok érintkezéses vizsgálathoz. A hidrofil anyagok nagy mennyiségű vizet szívnak magukba, puhává és rugalmassá válnak, a vizsgálati felületen szárazak maradnak, ugyanakkor mechanikai nyomás hatására fenntartják a nedvesítést.

A frekvencia növelésével a gumiban és a plexiben nő a hanggyengülés, de a hidrofil polimerekben nem. Ebből az következik, hogy az ilyen típusú száraz csatolóanyagrendszer széles frekvenciaskálán használható.

3.21.2 Egyéb csatolóanyagok

Propilénglikol: Jó általános csatolóanyag, gyakran használják sima felületeken, magas hőmérsékletű anyagok falvastagságának mérésénél. Jó nedvesítő tulajdonságokkal rendelkezik, nem korrodál, nem támadja az iparban alkalmazott fémes anyagokat, és vízzel könnyen lemosható. Mivel kémiailag nem reaktív és nem párolog gyorsan, alkalmas plexielőtétellel végzett vizsgálat esetén is. Az ajánlott legmagasabb vizsgálati hőmérséklet körülbelül 90°C.

Glicerín: Szintén általánosan használt csatolóanyag. A propilénglikollal szemben vannak előnyei és hátrányai is. A glicerín előnye az, hogy viszkózusabb és nagyobb az akusztikus impedanciája, aminek köszönhetően előnyös a durva felületeken és a nagyobb csillapítású anyagok esetén. A glicerín akusztikus impedanciája $2,42 \times 10^5 \text{ g.cm}^2/\text{s}$ (1,61 a propilénglikolé, 1,5 a motorolajé és 1,48 a vízé – azonos nagyságrendben és egységben). A glicerín akusztikus impedanciája nagyon közel áll a műanyagéhoz, és közelebb van a fémekéhez, mint más folyadékoké, ami hatékonyabb hangátvitelt biztosít a vizsgálófej és a vizsgálati darab között. Fémek vizsgálatában a propilénglikolhoz képest a glicerín 3–6 dB-lel növeli a jelmagasságot.

A glicerín használatának hátránya, hogy ha nem távolítjuk el a vizsgálati tárgy felszínéről, akkor oxidokat képezhet és korróziót okozhat bizonyos fémekben, mivel a légkörből magába szívja és megtartja vizet. Ezáltal penészedéshez és gombásodáshoz is vezethet.

Ezzel ellentétben, a glicerín jó akusztikai tulajdonságainak köszönhetően gyakran javasolt öntvények vizsgálatánál, de használat után alaposan le kell mosni. A korróziós hatás műanyagokban nem fordul elő. A maximális javasolt hőmérséklet kb. 90°C.



Szilikonolaj: Nem párolog el és vízben nem oldódik, így a szilikonolaj nem szárad meg, ill. nem mosódik le. Ez előnyt jelent, mivel tartós csatolóanyagként használható szögfejes vizsgálatnál, azonban a vizsgálati felületről történő eltávolítás nehézsége korlátozza alkalmazását.

Géltípusú csatolóanyagok: Durva felületekre ajánlott, pl. homokba öntött fémek és kompozit anyagok esetén, ahol a nagy viszkozitása és a viszonylag nagy akusztikus impedanciája erősen korlátozza a hang terjedését, ha a vizsgálófej nem érintkezik egyenletesen a vizsgált felülettel. A géltípusú csatolóanyagokat szintén alkalmazzák hegesztett kötések vizsgálatánál, ahol a vizsgálófejjel széles sávban kell a felületet letapogatni. Ezekben az esetekben az előny egyszerűen abban rejlik, hogy a gél gyorsan eloszlik a nagy felületeken, és fenntartja a jó csatolást. A gélek szintén hasznosak mennyezet alatti vagy függőleges falakon végzett vizsgálatokban, mivel jól tapadnak a felületre (nem cseppenek és folynak le). A gél csatolóanyagok többsége mérsékelt forró felületeken is alkalmazható, kb. 90°C-ig.

3.21.3 Vizesgél-csatolóanyagok hátrányai

A száraz porállagú csatolóanyagok vízzel összekeverve gélt alkotnak. Az ilyen kevert csatolóanyagok koncentrációja megváltozhat, vizesállagú lehet, ami korrózióhoz is vezethet. Ez a probléma emulgeálószer hozzáadásával orvosolható.

Ha egy kis mennyiségű, zsírban oldódó emulgeálószer adunk a csatolóanyaghoz (éppen annyit, amennyi halvány rózsaszínűre színezi), akkor az emulgeálószeres csatolóanyag 10 nappal később is gélállagú lesz, míg a nem kezelt csatolóanyag folyékonná válik. Az emulgeálószer a hangátvitelben semmiféle problémát nem okoz, és nem lép reakcióba a vizsgált anyaggal. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy bizonyos előírások vagy specifikációk tilthatják a csatolóanyag emulgeálószerrel történő keverését. Általános vizsgálati alkalmazásokban viszont működik.



4

TERMÉKISMERET

4.1 METALLURGIAI ÉS FÉMTANI ALAPISMERETEK

Az ércektől a fémekig

A metallurgia a fémek ércből való kinyerésére szolgáló folyamatok és az átalakításokkal járó fizikai és kémiai változások tanulmányozásának tudománya. Beletartozik az ötvözetek, valamint azok mechanikai alakításainak és hőkezeléseinek tanulmányozása is. A metallurgia kifejezetten vassal és vasötvözetekkel foglalkozó ágát vaskohászatnak hívják.

A nehézfémek, mint például a vas, réz, cink és mások kinyerését négy lépésre lehet bontani:

- ◆ Az ércek dúsítása.
- ◆ Pörkölés.
- ◆ Redukció.
- ◆ Finomítás.

Acél előállításához a nyersvasat egy olvasztókemencében megolvasztják, ócskavasat, vastartalmú ötvözeteket, salakképző adalékot, hőfejlődést és égést elősegítő anyagokat adva hozzá. Ezeket az elemeket a kívánt finomítási eljárásnak megfelelő koncentráumban adagolják.

Az acélgyártás különböző módozatait, a kezdetektől (nagyolvasztók) napjainkig (LD konverter és elektrokemencék) a 4.1. táblázat foglalja össze.

4.1. táblázat. Az acélgyártás módozatai

ACÉLGYÁRTÁSI ELJÁRÁSOK	
Finomítás levegővel	Nagyolvasztók Bessemer (savas) Thomas (bázikus)
Finomítás oxidokkal	Siemens–Martin kemencék (savas – bázikus)
Finomítás oxigénnel	LD-konverter
Finomítás elektrokemencékben	Ívkemencék Indukciós kemencék Duplafrekvenciás kemencék



A fémek szerkezete és rácshibák

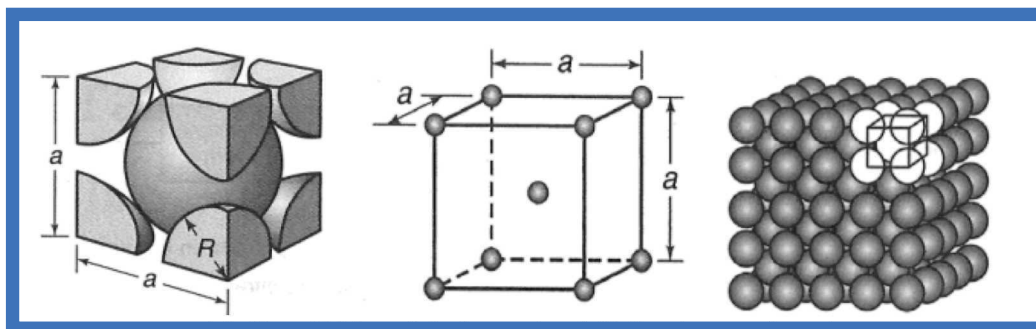
A folyékony halmazállapotú fém (tisza fém vagy ötvözet) megszilárdulása a fém olvadáspontja alatt az olvadékban létrejövő kristálycsírák kialakulásával kezdődik. Ezekhez a csírákhoz újabb atomok kapcsolódnak, és végül rendezett szerkezetű szemcsékből álló szilárd fém alakul ki. Az atomok (valójában ionok) szabályos térbeli elrendeződését kristályrácsnak nevezik.

A kristályszemcsék növekedése nem tökéletes, a kristályrácsokban a legtöbb esetben eltérések, kristályhibák keletkeznek. Az egyetlen csírából növekedett, egységesen rendezett szerkezetű kristályszemcsét egykristálynak nevezik. Speciális körülmények között akár nagyméretű egykristályok is létrejönnek, illetve létre hozhatók. Általában azonban a kristályosodás nagyon sok pontok indul meg a fémolvadékban, és a különböző irányban növekvő kristályok egymást akadályozzák a növekedésben. Így szabálytalan felülettel rendelkező kristályszemcsék, úgynevezett krisztallitok keletkeznek. A sokféle irányítottságú szemcsékből álló fémet polikristálynak nevezzük. A fémolvadékok, ha csak nincs valamilyen külső behatás (például erősen irányított hőelvonás), mindig így szilárdulnak meg.

A fémek szerkezete

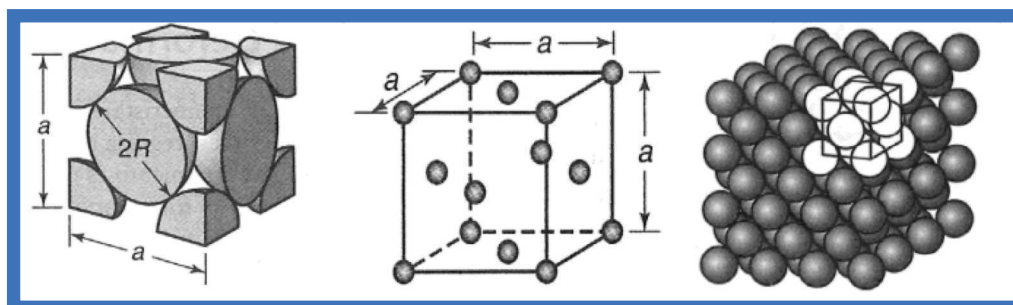
Mint már fent is írtuk, a fémek megszilárdulása során az atomok összerendeződnek és kristályszerkezetek alakulnak ki.

4.1 ábra. Térben középpontos köbös rácsszerkezet



Térben köbös szerkezetű az α -vas (ferrit), a króm, a molibdén, a volfrám (W), a vanádium (V), stb.

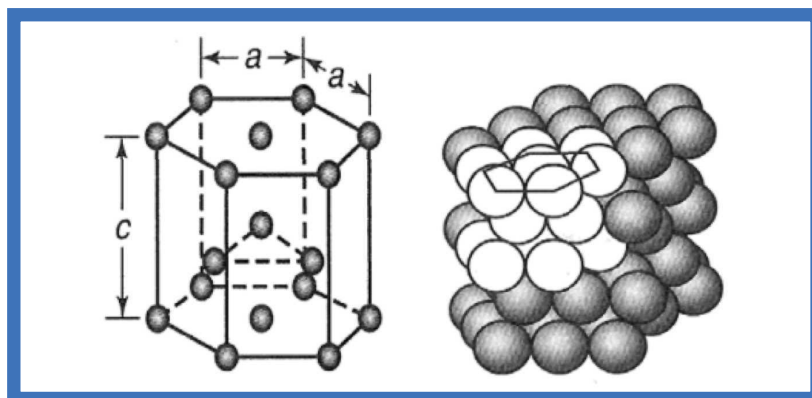
4.2 ábra. Lapközepes köbös rácsszerkezet



Lapközepes köbös rácsszerkezetű fém a γ -vas (ausztenit), a nikkel, az ólom (Pb), az ezüst (Ag), stb.



4.3. ábra. Szoros illeszkedésű hexagonális rács

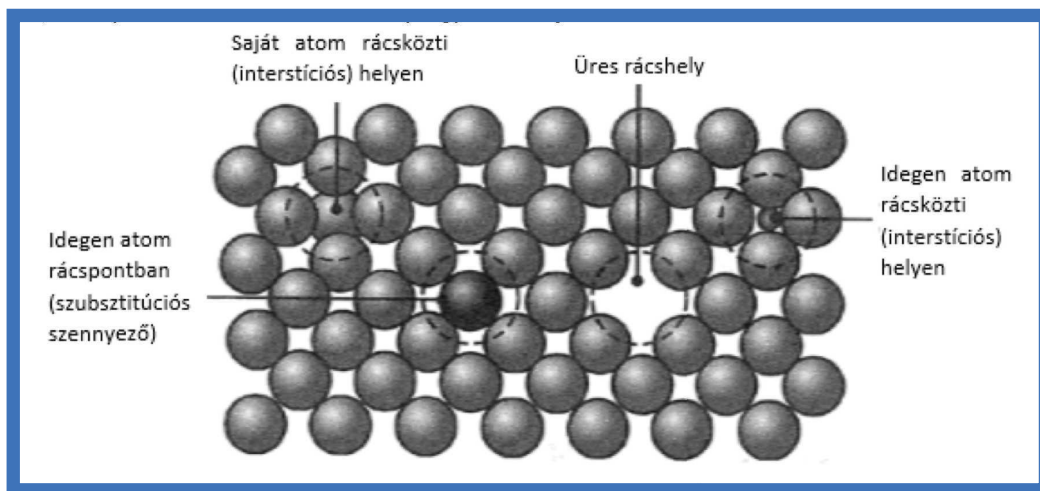


Ilyen rácsszerkezetű fémek a berillium (Be), kadmium (Cd), kobalt (Co), magnézium (Mg), titán (Ti), cink (Zn) és cirkónium (Zr).

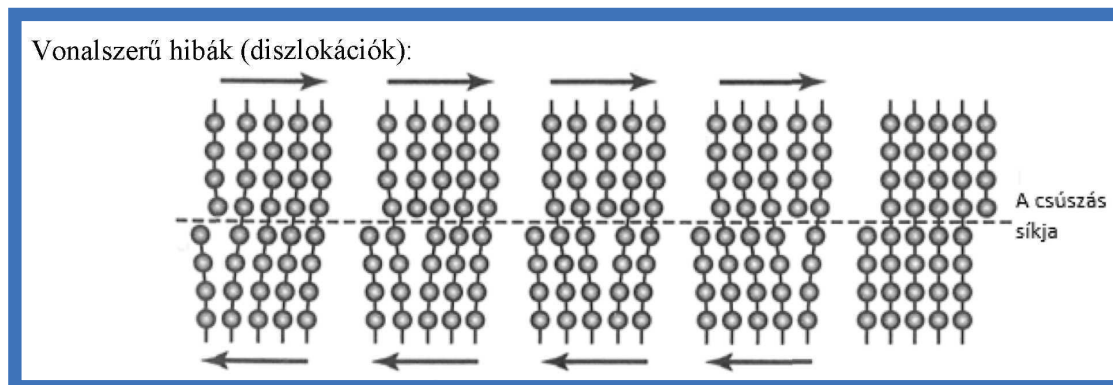
Rácshibák a fémek szerkezetében

Ponthibák, amelyek a fémet alkotó kristály egyes atomjait érintik:

4.4. ábra. Pontszerű rácshibák

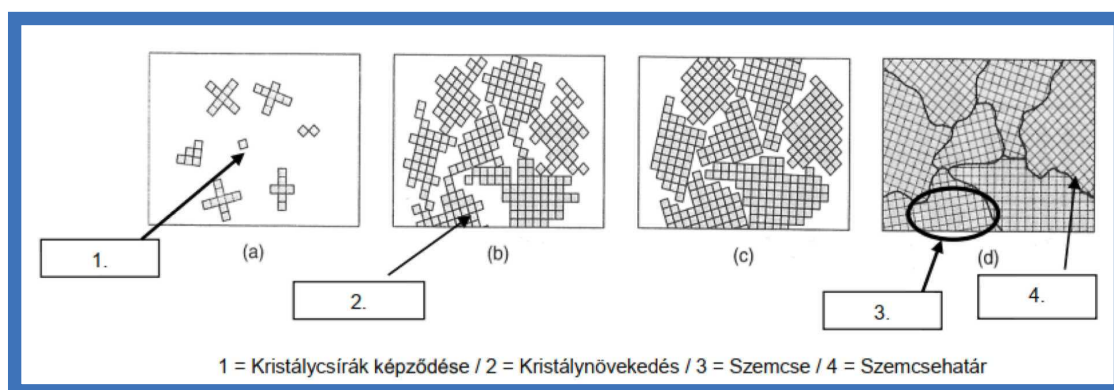


4.5. ábra. (Él)diszlokáció mozgása



Felületi hibák (szemcsék és szemcsehatárok):

4.6. ábra. A fém megszilárdulási folyamata



Az anyagok mechanikai tulajdonságai

A mechanikai jellemzőkkel írható le az, hogy a fémek hogyan viselik el a külső erőhatásokat (húzás, nyomás, csavarás, ütés, fárasztás, stb.), illetve hogyan reagálnak ezekre az erőhatásokra.

Definíciók

- ◆ **Keményység:** Az anyag külső behatolással szembeni ellenállása.
- ◆ **Ridegedés:** Az alakváltozó-képesség csökkenése. Hidegalakítás hatására egyes fémek keménysége, ridegsége és szilárdsága nő.
- ◆ **Rugalmasság:** Szilárd anyagok azon tulajdonsága, hogy a rájuk kifejtett erőhatás megszűnését követően visszanyerik eredeti alakjukat és méretüket.
- ◆ **Képlékenység:** Egyes szilárd anyagok azon képessége, hogy alakjuk az alkalmazott, külső feszültség hatására maradandóan megváltozik anélkül, hogy közben elszakadnának vagy eltörnének.



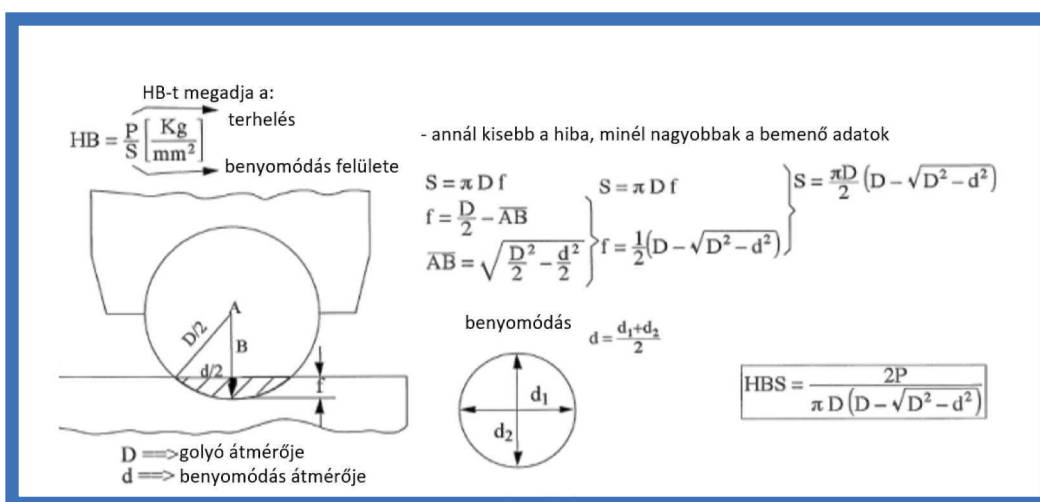
- ◆ **Ütőmunka:** Az anyag által nyúlás és törés során elnyelt energia. A dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállás mértéke.
- ◆ **Szívósság:** Egyes anyagok azon tulajdonsága, hogy hirtelen erőhatásra nyúlás és törés nélkül képesek reagálni.
- ◆ **Nyújthatóság:** A képlékenység egyik változata, egyes anyagok azon tulajdonsága, hogy finom huzalokká húzhatók. (Mértéke az anyagnak a törésig elért plasztikus nyúlása.)
- ◆ **Alakíthatóság:** Az anyag azon tulajdonsága, hogy vékony szalagokká hengerelhető.
- ◆ **Törékenységi:** Egy anyag akkor törékeny, ha ütés hatására maradó deformáció nélkül könnyen eltörik.
- ◆ **Kifáradás:** Anyagtörés, ami a törési terhelésnél lényegesen kisebb, sokszor ismétlődő, változó terhelés hatására alakul ki.
- ◆ **Kúszás:** Magas hőmérsékletnek és folyamatos, állandó nagyságú terhelésnek kitett anyagok jellemzője. Az anyag lassan, folyamatosan deformálódik a ráterhelés pillanatától kezdve.

Brinell-keménység

A fémek behatolással szembeni ellenállásának egyik mértéke. Az eljárás során egy meghatározott átmérőjű, igen kemény anyagú golyót préselnek a vizsgálandó anyag felületébe, adott terheléssel (P), adott ideig. A golyó volfrámkarbidból készül. Az alkalmazott terhelés $P=KD^2$, ahol K a mérendő anyagtól függő állandó, D pedig a golyóátmérő.

Acél és öntöttvas esetében $K=30$, értékét a vonatkozó szabvány – MSZ EN ISO 6506 – tartalmazza. A golyóátmérő 1 mm, 2 mm, 2,5 mm, 5 mm és 10 mm lehet.

4.7. ábra. Brinell-keménység



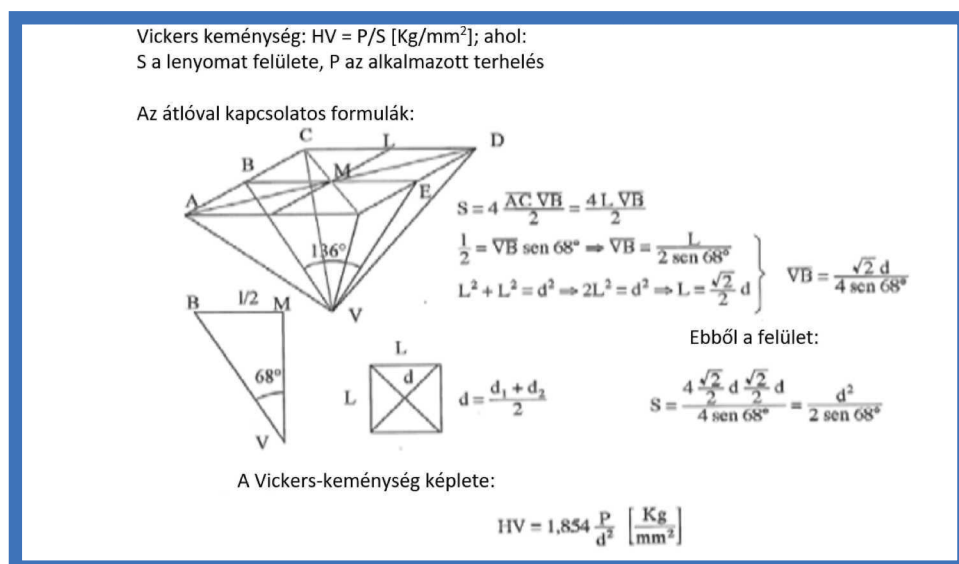
A teszt elvégzését követően megméri az anyagon és átlagolják a benyomódás két, egymásra merőleges átmérőjét (d), majd a golyó átmérőjének (D) és az alkalmazott terhelésnek (P) az ismeretében, a 6.11. ábrán szereplő képlettel kiszámítják a Brinell-keménységet. A lenyomat és a terhelés ismeretében gyakran táblázatból keresik ki a keménység értékét.

Vickers-keménység

Az anyag behatolással szembeni ellenállásának másik mértéke. Ez az eljárás a Brinell-féléből ered, az a különbség, hogy ennél egy 136° -os lapszögű gyémánt gúlat nyomnak a felületbe (4.8. ábra). A mérést az MSZ EN ISO 6507 jelű szabvány szabályozza.

A Brinell-eljáráshoz hasonlóan, a lenyomat átlójának (d), valamint az alkalmazott terhelés (P) értékének ismeretében egy egyszerű képlet adja meg a Vickers-keménységet:

4.8. ábra. Vickers-keménység



Rockwell-keménység

Szemben a Brinell- és Vickers-eljárásokkal, ezt a keménységet a behatolás mélysége és nem a lenyomat nagysága alapján határozzák meg. A vonatkozó szabvány: MSZ EN ISO 6508.

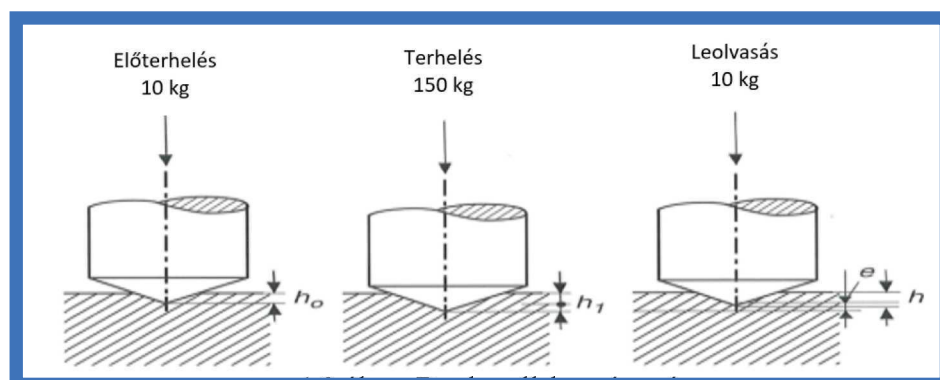
Kétfajta behatoló testet használnak:

- ◆ 0,2 mm sugárral lekerekített hegyű, 120° -os gyémánt kúpot vagy
- ◆ $1/8''$ vagy $1/16''$ átmérőjű volfrámkarbid golyót.

A terhelőerőt két fokozatban fejtik ki: először 10 kg előterheléssel állítják be a rendszert majd a főterhelést adják rá (4.9. ábra). A főterhelés levétele után a gépen elhelyezett mérőóráról leolvasható a keménység.



4.9. ábra. Rockwell-keménység

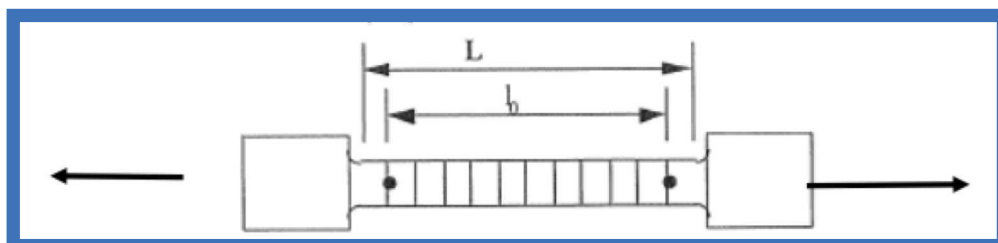


Szakítóvizsgálat

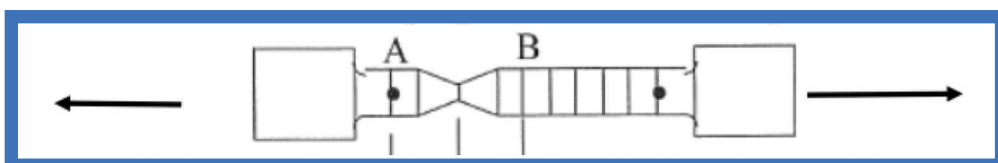
Ez olyan roncsolásos vizsgálat, amelynek során szabványos alakú próbatestet a hossz tengelyének irányában kifejtett, fokozatosan növelt terheléssel, állandó sebességgel megnyújtanak, egészen addig, amíg az el nem szakad.

A próbatestek három szakaszból állnak: a vizsgálati szakaszból (melynek keresztmetszete állandó), a befogásra szolgáló fejrészből és a kettő közötti – megfelelő lekerekítéssel elkészített – átmenetből. A próbatestek méreteit a vonatkozó szabvány írja elő.

4.10. ábra. Szabványos próbatest a kiinduló állapotban

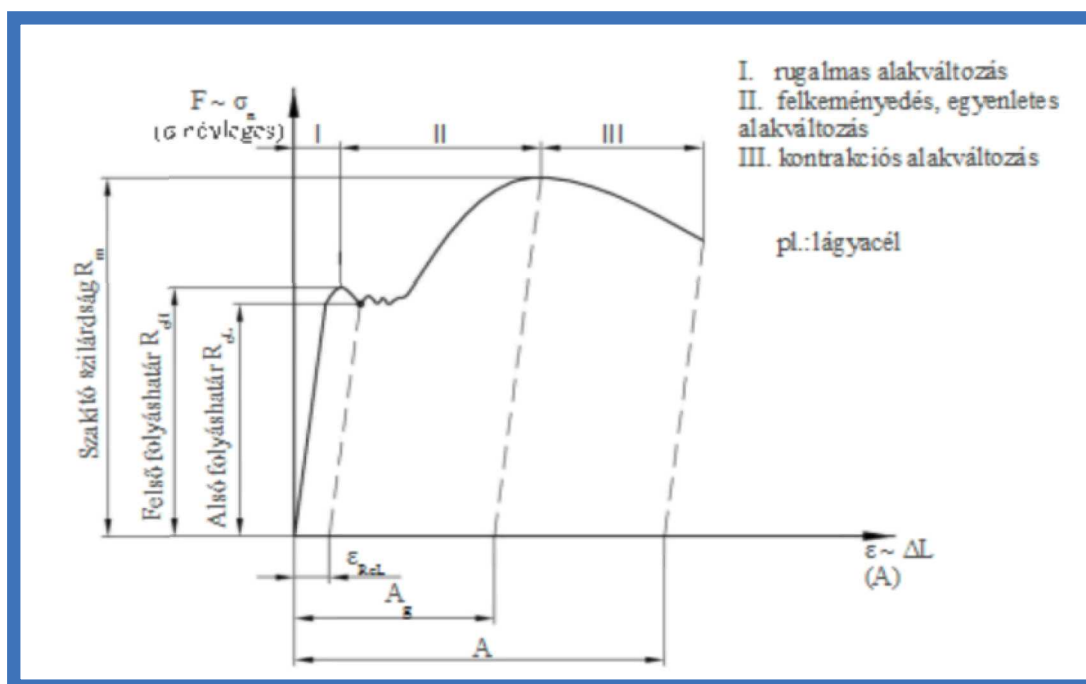


4.11. ábra. A próbatest deformálódik a húzófeszültség hatására



A szakítóvizsgálat eredményét, azaz a próbatest által felvett erőt a megnyúlás függvényében az úgynevezett szakítódiaagramon jelenítik meg. Az erő és megnyúlás értékeiből származtatható a feszültségnyúlás-diagram, amilyen a 4.12. ábrán is látható.

4.12. ábra. Feszültségnyúlás-görbe



A szakítóvizsgálatból az MSZ EN ISO 6892-1 jelű szabvány szerint meghatározható anyagjellemzők és jelöléseik a következők:

- ◆ Folyáshatár, azaz a maradó alakváltozás kezdetét jelentő feszültség:
- ◆ $R_{p0,2} = F_{p0,2}/S_0$, ahol a számlálóban a maradó alakváltozás kezdetéhez szükséges erő, a nevezőben pedig a próbatest eredeti keresztmetszete szerepel.
- ◆ Szakítószilárdság, azaz a maximális erőhöz tartozó feszültség:
- ◆ $R_m = F_m/S_0$, ahol a számlálóban a vizsgálat során mérhető legnagyobb erő, a nevezőben a próbatest eredeti keresztmetszete áll.
- ◆ Szakadási nyúlás, azaz a próbatest relatív hosszváltozása a szakadásig:
- ◆ $A = (L_u - L_0)/L_0$ [%], ahol L_u az elszakadás után összeillesztett próbatesten mért jeltávolság mm-ben és L_0 a jeltávolság eredeti hossza mm-ben.
- ◆ Kontrakció, azaz a relatív keresztmetszet-csökkenés elszakadáskor:
- ◆ $Z = (S_0 - S_u)/S_0$ [%], ahol S_u az elszakadás után összeillesztett próbatesten, a szakadás helyén mért átmérőből meghatározható keresztmetszet mm²-ben és S_0 a próbatest eredeti keresztmetszete mm²-ben

Rugalmassági vagy Young-modulusz

A rugalmassági modulusz vagy Young-modulusz a feszültségnyúlás-görbe lineáris részének meredeksége, az anyag merevségének mértéke.

A rugalmassági, avagy Young-modulusz (E) a rugalmas alakváltozás tartományában alkalmazott feszültség (σ) és a fajlagos nyúlás (e) hányadosa:

$$E = \sigma / e$$

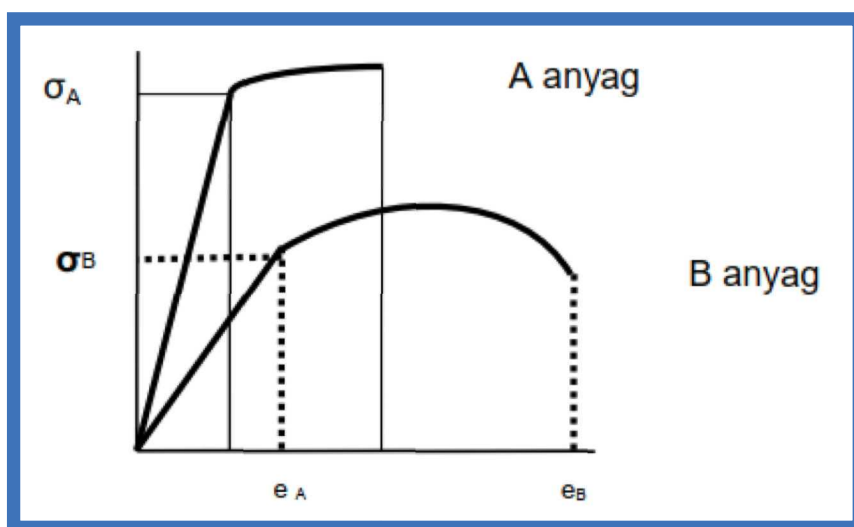
A rugalmassági modulusz ugyanígy értelmezendő és számítandó, és értéke azonos lesz, akkor is, ha egytengelyű nyomófeszültséget alkalmazunk és a test azzal egyező irányú zsugorodását mérjük.

Szívósság

Az anyag dinamikus erőhatásokkal szembeni ellenálló képessége, a törés nélküli nyúlás képessége. Az anyag azon kapacitása, hogy a képlékeny zónában energiát nyeljen el, ami energia visszaalakulás nélkül meg is marad az anyagban.

Minél nagyobb egy anyag rugalmassági határa, szilárdsági határa és teljes (szakadási) nyúlása, annál nagyobb a képlékeny alakváltozáshoz tartozó görbe alatti terület, azaz az anyag szívóssága.

4.13. ábra. Szívósság



Amint azt a 4.13. ábra. mutatja, az A-anyag rugalmas zónáját meghatározó egyenes vonal nagyobb magasságot ér el, ugyanakkor a képlékeny zónát meghatározó görberész rövidebb, kisebb a görbe alatti terület, ami azt jelenti, hogy az anyag rugalmassági határa nagy, és nagyobb a szilárdsága, de kisebb az alakváltozó képessége. Ezzel szemben, a B-anyagnak szélesebb a képlékeny zónája, nagyobb terület van a görbe alatt, tehát az anyag szívósabb.

Nyomófeszültség

Nyomóvizsgálat során az anyagot két párhuzamos lap (nyomószerszám) közé helyezve, megfelelő hőmérsékleten összenyomják, így szereztve információt arról, hogyan viselkedik az anyag bizonyos alakítási folyamatokban. A mért feszültségek jellemzőek lehetnek sajtolásnál, kovácsolásnál, hengerlésnél, stb.

Csavarási szilárdság

A csavarási szilárdság olyan test deformációjával kapcsolatos, amely két, azonos nagyságú, de ellentétes értelmű erő (egy erőpár) hatásának van kitéve.

Csavaró (idegen szóval: torziós) vizsgálatnál a próbatestet csavaró nyomatékkal deformálják. A képlékeny alakváltozás nagyobb, mint a szakítóvizsgálatoknál. A torziós vizsgálat közvetlen információt szolgáltat a nyírás alatt lévő anyag viselkedéséről.

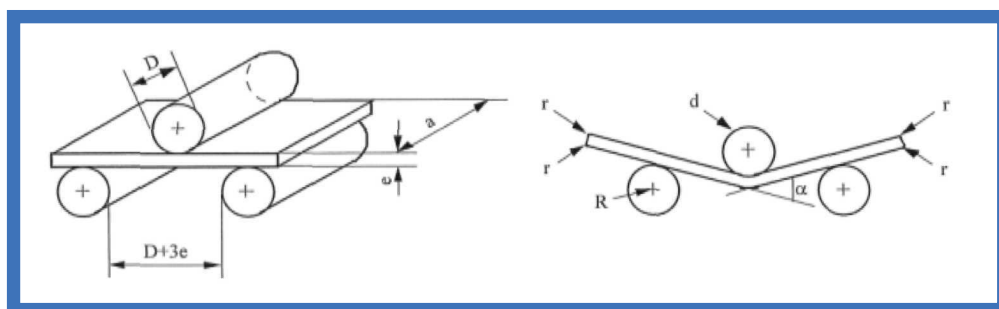
Hajlítóvizsgálat

Fémek képlékeny viselkedésének tanulmányozására szolgáló vizsgálat. Lehetőséget ad szakítóvizsgálattal nehezen vizsgálható, rideg anyagok szilárdságának meghatározására is.

A próbatesteket szabványos feltételek között meghajlítják és figyelik a repedések megjelenését a külső íven, ahol a húzófeszültség nagyobb (4.14 ábra). A vizsgálatok szobahőmérsékleten és magas hőmérsékleten is elvégezhetők.

Ilyen vizsgálatnak vetik alá az acélok hegesztett kötéseit, megállapítandó, hogy a hegesztés hője milyen hatással van az adott anyag deformációs képességére.

4.14. ábra. Hajlítóvizsgálat

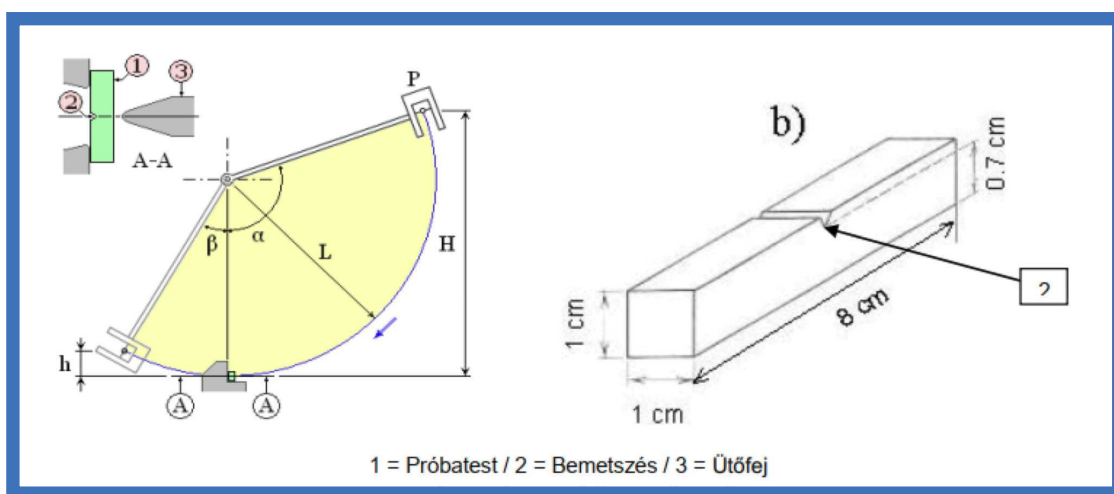


Ütőmunka

Az anyag szívósságának mértéke. Megadja, hogy az anyag mennyire képes ellenállni az ütésnek. A bemetszett és hagyományosan alátámasztott próbatest hajlító- vagy szakítóerővel való eltöréséhez szükséges energiával mérik (ütőmunka).

Az ütőmunkát a Charpy-féle ütővizsgálattal határozzák meg (4.15 ábra). A vizsgálat ötlete onnan ered, hogy tudni akarták, miért következik be fáradásos törés az anyagokban.

4.15. ábra. Charpy-féle ütővizsgálat



Az ábra. alsó részén, az inga alsó holtpontjában, az „A” jelzések között van a szabványos próbatest (ld. b) ábra. is), melyet úgy helyeznek el, hogy a H-magasságból elengedett ütőfej nekiütközzön, mégpedig azon az oldalán, ahol nincs bemetszés. Az ütőfejjel való ütközést követően a próbatest eltörik, az ütőfej pedig h magasságig emelkedik fel.

A vizsgálattal mérhető, hogy mennyi energia szükséges a töréshez. Minél nagyobb a szabványos próbatest anyagának törékenysége, és minél kisebb a szívóssága, annál könnyebben töri el az inga a próbatestet, és annál magasabbra (h) lendül az ütőfej az ütközés után. A nagyon képlékeny és szívós anyagok nagy mennyiségű energiát képesek elnyelni, az ütközésnek akár törés nélkül is ellen tudnak állni. Ez utóbbi esetben az ütőmunka értékét nem határozzák meg.

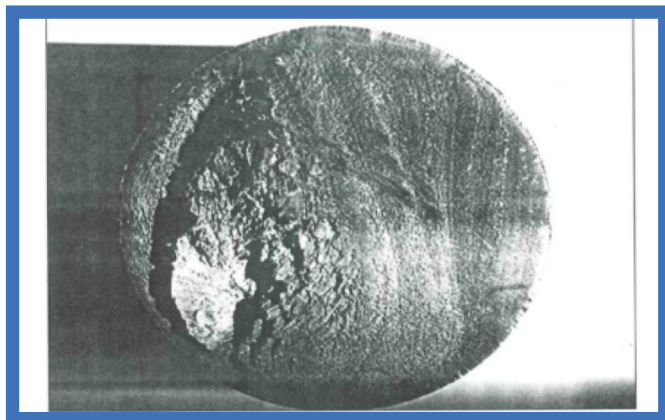
Törés

Törés során egy tömör test kettő vagy több darabra esik szét, külső erő (feszültség) hatására. A törés két részfolyamat – repedések megjelenése, illetve repedések terjedése – eredményeként jön létre.

A ridegtörés esetén a törés az anyag rugalmas és nem a képlékeny deformációjának tartományában következik be, azaz ridegtörés esetén az anyag nem deformálódik képlékenyen.

A szívós törés viszont maradó alakváltozással jár együtt, tehát a képlékeny zónában következik be. A szívós törést megelőzően minden esetben jelentős mértékű képlékeny alakváltozás tapasztalható, amelynek nagy a keresztirányú kiterjedése, a töretfelület görbült és érdes (tésztazerű, matt).

4.16. ábra. Szívós, majd ridegtöréssel eltört anyagrész



Töreték: ridegtörés, szívós törés

Kifáradás

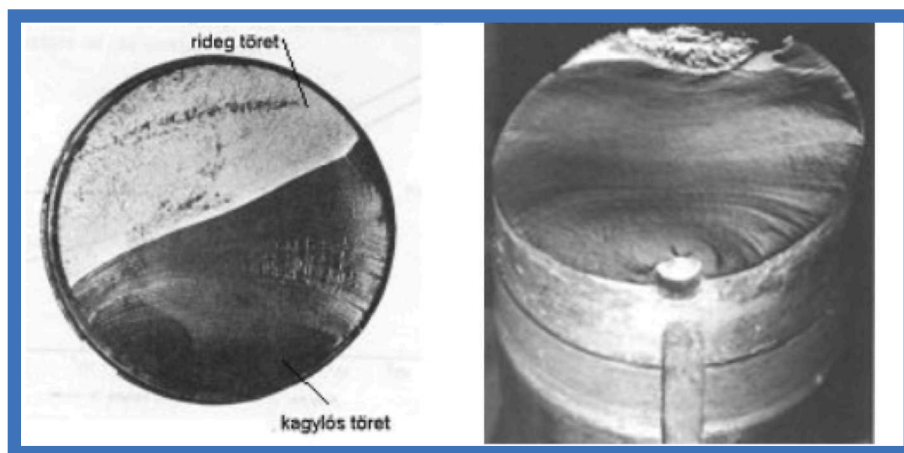
Ha egy fémét időben változó nagyságú és irányú, sokszor ismétlődő feszültségnek teszünk ki, akkor az már az állandó húzófeszültség esetén mérhető szakítószilárdságnál kisebb terhelések mellett is eltörik. A fémek e gyengeségét nevezik kifáradásnak.

A fáradás alatti viselkedést a következő paraméterek határozzák meg:

- ◆ az alkalmazott terhelés kinetikája
- ◆ az eredő feszültségtípus
- ◆ a munkadarab megmunkálásának módja (húzás, hajlítás, csavarás, stb.)
- ◆ a munkadarab felületének minősége.

A fáradási törés kezdetén, annak első jeleként, mikrorepedések jelennek meg (4.17 ábra), majd ezek – a terhelés ismétlődésével – elkezdnek lassan növekedni, és anyagrészek csúsznak el egymáshoz képest (kagylós repedésterjedés zónája, finoman barázdált és szürke felület). Közben a nem repedt anyagrészekben a feszültség állandóan nő, egészen addig, amíg az anyag el nem veszíti ellenálló képességét (ridegtörési zóna, fényes és durva felület)

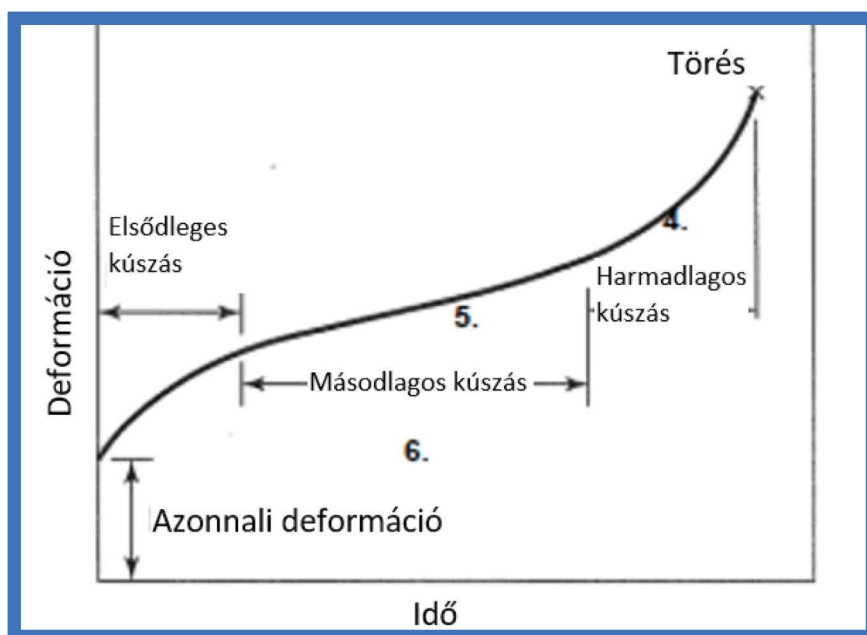
4.17. ábra. A kagylós repedésterjedés és a ridegtörés zónája fárasztott próbatesteken



Kúszás

A magas hőmérsékleten tartós terhelésnek kitett anyagok folyamatosan, képlékenyen deformálódnak. Ezt a fontos jelenséget – amit kúszásnak neveznek – figyelembe kell venni a különböző berendezések tervezésekor, mivel meghatározza a magas hőmérsékleten üzemelő anyagok hasznos élettartamát. Az úgynevezett kúszási görbék segítségével tanulmányozható, hogyan változik az anyag deformációjának sebessége, és – ismerve az anyag viselkedését egy bizonyos időpontig – megjósolható, mi fog történni hosszabb távon (4.18. ábra).

4.18. ábra. Kúszási görbe



Az elsődleges és másodlagos kúszás időben mindig hasonlóan zajlik le, ami azt jelenti, hogy előrevetíthető a harmadlagos kúszás kezdete, amikor az anyagot már cserélni kell, mert – az adott terhelés és hőmérséklet mellett – rövid idő maradt hátra a törés bekövetkezéséig.

Vasötvözetek

Az iparban használt legtöbb terméket fémekből és ötvözetekből, főleg acélból állítják elő, ezért fontos ismerni ezen anyagok szilárdságát, de belső szerkezetüket és kémiai összetételüket is, hiszen a gyártott darabok, szerkezetek üzemközbeni viselkedése ezeken múlik.

Az acél vas–szén-ötvözet, melyben legfeljebb 2%-os a széntartalom, és kis mértékben más ötvöző elemek is vannak. Ezek az ötvözőelemek speciális tulajdonságokat kölcsönözhetnek az acélnek, mégpedig függően attól, hogy milyen arányban keverik ezeket a vashoz. Más elemek, mint a kén és a foszfor, viszont szennyezők, melyek acélbeli mennyiségét majd minden esetben csökkenteni kell.

Az ötvözés célja általában az, hogy valamilyen speciális tulajdonságú acélt állítsanak elő, mint például:

- ◆ nagyobb mechanikai szilárdságút,
- ◆ alacsony vagy magas hőmérsékleten kémiai ellenállót,
- ◆ nagyobb keménységűt (jobban edzhető).

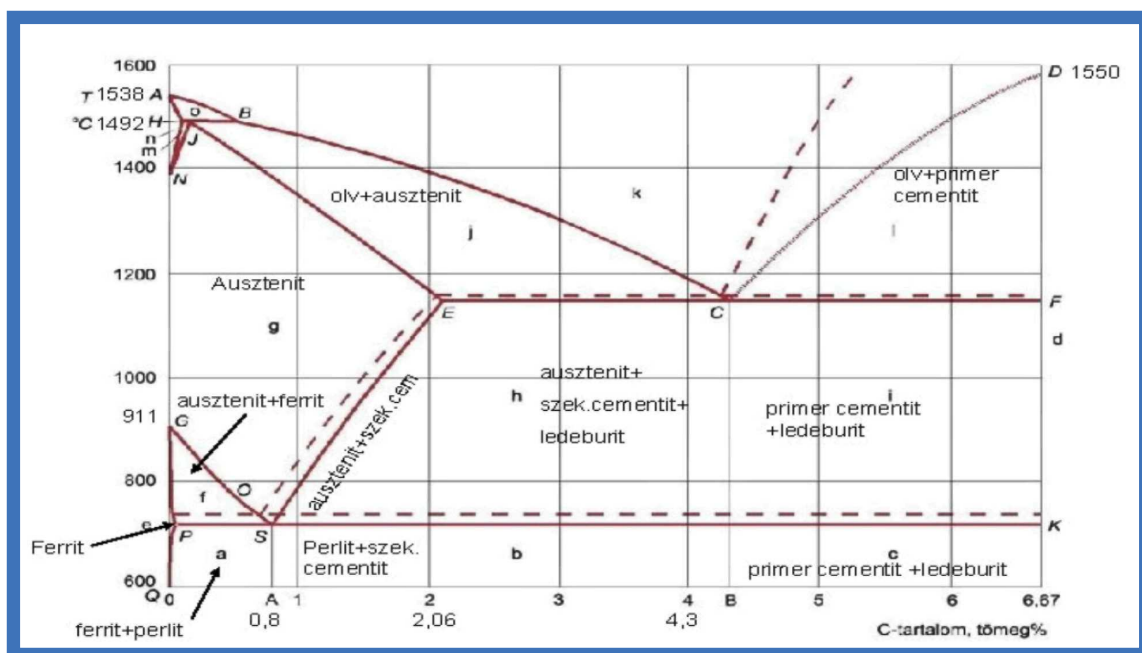
Ötvözött acélnak vagy különleges minőségű acélnek nevezik azokat az acélokat, amelyek bizonyos tulajdonságait ötvöző anyagok hozzáadásával érik el.

A vas–szén-állapotábra

Az acélok tulajdonságainak megismeréséhez a vas–szén állapotábra. (lásd 4.19 ábra) tanulmányozásán keresztül vezet az út. Az állapotábra egy úgynevezett fázisdiagram, melynek X-tengelyén a százalékos széntartalmat ábrázolják, az Y-tengelyén pedig a hőmérsékletet. A diagram vonalai a különböző fázisokat és azok keverékeit választják el egymástól. A fázisok és keverékeik – melyek csak vasat és szenet tartalmaznak alkotóelemként – közötti különbség az, hogy milyen hőmérsékleten és milyen széntartalom mellett létezhetnek önmagukban, illetve más fázissal egyensúlyban.



4.19. ábra. Vas–szén-állapotábra



Ferrit: A vas α -val jelölt, térközepes köbös rácsszerkezetben, a benne oldott szénnel együtt megszilárduló módosulata, amelyben a vasatomok (voltaképpen ionok) a kockarács csúcsait és a kockák középpontjait foglalják el, a szénatomok pedig a szabadon hagyott, rácsközti pontokban helyezkednek el. A ferrit fázis vas–szén-szilárd oldat.

Nagyon kis területet foglal el a vas–szén állapotábrán. A legtöbb szenet 723°C fokon oldja a ferrit, de az sem haladja meg a 0,028%-ot.

A legpuhább és legképlékenyebb acélféleség.

Ausztenit: A szilárd vas γ -val jelölt módosulata, melyben a vasatomok (ionok) a kockarács csúcsait és a kockák oldallapjainak középpontjait foglalják el (lapközepes köbös rácsszerkezet). Ez az elrendezés több (rácsközti) teret enged a beoldódó szénatomoknak. Ez a fázis is szilárd oldat.

Amint az az állapotábráról leolvasható, az oldott szén koncentrációja 0,8%-tól 2,06%-ig változhat. Az oldékonyság 723°C -on a legkisebb, míg 1130°C -on a legnagyobb. Mivel az ausztenites szerkezet széles hőmérséklet-tartományban több szén oldására képes, így nagyobb helyet is foglal el a diagramon. Szobahőmérsékleten nem stabil fázis, azonban a krómmal és nikkellel erősen ötvözött acélok ekkor is megtartják ausztenites szerkezetüket. Ezek az acélok nem mágnesezhetők és az ötvözők mennyiségétől függően hő-, illetve korrózióállóak.

Cementit: A vaskarbid (Fe_3C) fázis neve. Keménnyé és rideggé teszi az acélt.

Fontos megjegyezni, hogy ezek a fázisok vagy szerkezetek lassú lehűlés esetén alakulnak ki.

Perlit: Váltakozva elhelyezkedő ferrit és cementit lemezkék alkotta eutektoidos ötvözet. (Az eutektoid szilárd fázisból egy bizonyos hőmérsékleten – az úgynevezett eutektoidos hőmérsékleten – létrejövő, ugyancsak szilárd, kétfázisú szövet.) Perlit ausztenitből keletkezik 723°C fokon, 0,8% széntartalom mellett, fázisai a ferrit és a cementit.

A 0,8%-osnál kisebb, illetve nagyobb széntartalmú ötvözeteket hipo-, illetve hipereutektoidos ötvözeteknek nevezik.

A perlit a lágyabb ferritből és a keményebb cementitből áll, keménysége a ferrité és a cementité közé esik. Mechanikai tulajdonságai a lemezkék méreteitől függenek.

Ledeburit: Olvadékból 1147°C fokon, 4,3% széntartalom mellett keletkező, szilárd, ausztenitből és cementitből álló eutektikum. (Az eutektikum abban különbözik az eutektoidtól, hogy közvetlenül olvadékból keletkezik, nem szilárd fázisból. Az átalakulást és hőmérsékletét eutektikus átalakulásként, illetve eutektikus hőmérsékletként emlegetik.)

A 4,3%-osnál kisebb, illetve nagyobb széntartalmú ötvözeteket hipo-, illetve hipereutektikus ötvözeteknek nevezik.

Martenzit: Nem egyensúlyi szerkezetű – ezért az állapotábrán nem szereplő – szövet, a gyorsított acélok egyik komponense. Magas hőmérsékletű ausztenit-fázis gyors lehűtésével (amit edzésnek, idegen eredetű szóval kvencselésnek neveznek) állítják elő.

A magas hőmérsékletről (>900°C), ahol az ausztenit stabil fázis, történő gyors lehűtés következtében a szén- és vasatomok egy nagyon kemény és rideg, torzult tetragonális szerkezetbe rendeződnek át; ez a martenzit. Szénben túltelített szilárd oldat, ami annak köszönhetően alakul ki, hogy a szénatomok nem tudnak kidiffundálni a vasrácsból.

Hőkezelések

Hőkezelésnek nevezik azokat a szabályozott hevítési és hűtési folyamatokat, amelyek következtében a fémek és ötvözetek szerkezeti változásokon mennek keresztül.

Típusai:

Gyorshűtés (edzés)

Olyan hőkezelés, amelynek célja az acél keménységének és szilárdságának növelése. Három szakaszban hajtják végre:

- ◆ *A fém hevítése:* A munkadarabot kemencébe helyezik, majd lassan 500°C-ra, ezt követően pedig gyorsan az edzési hőmérsékletre (860–950°C-ra) melegítik fel, hogy létrejöjjön az ausztenites fázis (végbemenjen az ausztenitesítés).
- ◆ *Hőntartás* (a hőmérséklet homogenizálása): Az edzési hőmérsékletet addig tartják fenn, amíg a munkadarab egésze teljesen át nem veszi azt.



- ◆ **Gyorshűtés:** A munkadarabot kiveszik a kemencéből és alkalmas közegben (víz, olaj, emulzió, nagy nyomású gáz, stb.) gyorsan lehűtik.

A lassú hűtéssel ellentétben, gyors hűtés során nincs széndiffúzió, ami nélkül az ausztenit nem alakul át ferrit és perlit vagy cementit és perlit.

A folyamat eredménye egy szénben túltelített, tetragonális szerkezet, a martenzit, ami nagyon torzult és abnormálisan kemény.

Megeresztés (temperálás)

A gyors hűtött acélok a martenzites fázisba beszorult szénatomok miatt nagy belső feszültséggel terheltek, emiatt ridegek és ebben az állapotban felhasználásra alkalmatlanok. Ezért célszerű elvégezni egy második hőkezelési műveletet is, a megeresztést vagy temperálást.

A megeresztés célja az, hogy a keménység számottevő csökkentése nélkül csökkentsék az acélban lévő belső feszültségeket, és ezáltal javítsák az anyag mechanikai jellemzőit:

- ◆ csökkentsék a ridegséget, a törékenységet és a rugalmassági határt
- ◆ növeljék az anyag szívósságát.

A megeresztő hőkezelés abból áll, hogy a gyors hűtött acélt felhevítik egy viszonylag alacsony, a kritikus hőmérsékletnél kisebb hőmérsékletre (170–220°C), és megfelelő időtartamú hőntartás után hagyják lehűlni – általában levegőben, olykor vízben vagy olajban.

Minél magasabb a megeresztés hőmérséklete, annál kisebb lesz az anyag keménysége.

Lágyító hőkezelés

Ennek a hőkezelésnek a céljai az alábbiak:

- ◆ az anyag lágyítása,
- ◆ az anyag képlékenységének, alakíthatóságának, megmunkálhatóságának és szívósságának a növelése,
- ◆ a mikroszerkezet regenerálása.

A gyors hűtés ellentéte, segítségével visszaállítható az anyag alapszerkezete.

A teljes átkristályosodással járó lágyító hőkezelés alkalmával az anyagot valamivel alacsonyabb hőmérsékletre melegítik fel, mint edzésnél (ausztenítés, 800–925°C), majd ezen a hőmérsékleten tartják addig, amíg a teljes anyag ausztenitessé nem válik, végül ugyanabban a kemencében hagyják kihűlni.



Normalizálás

A hidegalakított acélok szerkezete perlitese, viszonylag nagyméretű és igen szabálytalan alakú szemcsés. Normalizálással a szemcséket finomítják, csökkentik átlagos méretüket, valamint egységesítik a szemcsék méretét. A normalizálást gyakran alkalmazzák melegen alakított acélok, öntvények vagy hegesztett kötések szövetszerkezetének feszültségmentesítésére, homogenizálására is.

A folyamat során 30–50°C-kal a felső kritikus hőmérséklet fölé hevítik az anyagot, majd levegőben közepes sebességgel lehűtik. Acélok esetében ez azt jelenti, hogy a munkadarabot előbb ausztenitessé teszik, aztán perlitté alakítják.

Termokémiai kezelések

Ezeknek a kezeléseknek a segítségével a fémek felületének állapotát módosítják, javítják úgy, hogy azok a későbbiekben az elvárt üzemi követelmények szerint viselkedjenek. Elsősorban a kopásnak vagy más, nagy felületi igénybevételnek kitett munkadarabokon alkalmazzák, amelyeknél követelmény a kemény, kopásálló felület (kéreg) és a szívós mag.

Az előbbieken tárgyalt hőkezelésekhez képest – amelyek során a fémet ausztenitesítési hőmérsékletre (800–900°C) kell hevíteni, majd ezen a hőmérsékleten kell tartani, hogy a külső és belső hőmérséklete azonos legyen – a termokémiai kezelés célja csak a felület keménységének a megnövelése, megtartva a munkadarab belsejének szívósságát. A termokémiai kezelésekben kémiai elemek is részt vehetnek, amelyek a felhevített fém felületén megtapadnak és diffúzió révén a felület alatti rétegbe jutnak.

A leggyakrabban alkalmazott eljárások:

- ◆ Cementálás.
- ◆ Nitridálás.
- ◆ Karbonitridálás.
- ◆ Nitrocementálás.
- ◆ Szulfidálás.

Öntöttvasak

Öntöttvasnak olyan vasötvözeteket neveznek, amelyek vasból, 2–4,5% szénből és legfeljebb 3,5% szilíciumból állnak.

Mechanikai tulajdonságaik és nagy széntartalmuk miatt alkalmazásuk korlátozott. Kemények, de ugyanakkor ridegek is, nem alakíthatók sem kovácsolással, sem hengerléssel.

Fajtái:

- ◆ Szürkeöntvény.
- ◆ Gömbgrafitos-öntvény.
- ◆ Fehérvas-öntvény.



AZ ACÉLOK TÍPUSAI

Szerkezeti acélok

Ezeket az acélokat krómmal és nikkellel vagy krómmal és molibdénnel ötvözik, gyorsítással és temperálással kezelik, majd finoman megmunkálják.

A nikkel nagy szívósságot kölcsönöz az acélnek, a mangán és a molibdén az edzhetőséget javítja, a króm pedig a kopásállóságát növeli. A 0,3% és 0,4% közötti széntartalom elegendő keménységet biztosít, és nem csökkenti a szívósságot.

A szerkezeti acélok között szerepelnek a kis (0,1%–0,25%) széntartalmú, betétben edzhető (cementálható) acélok.

Kis széntartalmú acélok

Ezek az acélok kevesebb, mint 0,25% szenet tartalmaznak, gyorsítással nem növekszik érdemben a keménységük. A legtöbb esetben az acélműből érkező formájában használják fel ezeket, hőkezelés alkalmazása nélkül.

A 0,25% és 0,79% közötti széntartalmú acélokat általában előkovácsolt vagy durvahengerelt állapotban dolgozzák fel, és gépalkatrészeket gyártanak belőlük.

Szerszámacélok

Ebben a csoportban szerepelnek azok az acélok, amelyekből általában szerszámokat – anyagok alakjának, méretének vágással, sajtolással, forgácsolással történő módosítására szolgáló eszközöket – gyártanak.

Széntartalmuk 0,3% fölötti, bár bizonyos esetekben kisebb, 0,1%–0,3% széntartalmú acélokból is készítenek szerszámokat.

A szerszámacélok csoportjának legfontosabb képviselői az alábbiak:

- ◆ Szénacélok.
- ◆ Gyorsacélok.
- ◆ Nem vetemedő acélok.
- ◆ Ötvözött szerszámacélok (krómmal és volfrámmal ötvözöttek).

Hőálló acélok

Magas hőmérsékletet elviselő acélok. A krómmal, nikkellel és szilíciummal ötvözött, ausztenites hőálló acélokból 1200°C-ig használható munkadarabokat gyártanak.

Az oxidációval szembeni ellenállás növelésére bizonyos mennyiségű nikkelt, nitrogént és ritka föld-fémeket adnak hozzájuk, amelyek elősegítik a krómatomok diffúzióját és az ausztenit tágulását, ezzel növelve az ötvözött acél termikus szilárdságát.



Motorok szelepeihez és lapátjaihoz, kemencék falaihoz, rácsaihoz és egyéb alkatrészeihez, üvegöntés öntőformáihoz, vezetőcsövekhez használják ezeket az acélokat, tartósságukat az üzemi nyomáshoz igazítják.

Ötvözött acélok

Ötvözött acéloknak nevezik azokat, amelyek a szénen, szilíciumon, mangánon, foszforon és kénen kívül viszonylag jelentős mennyiségben tartalmaznak olyan más elemeket, melyekkel javíthatók egyes, fontos tulajdonságok. Ilyen további ötvözőelem a nikkel, a króm, a vanádium, a volfrám, a molibdén, a kobalt, a titán, a cirkónium, az ólom, a szelén, a bór és a nióbium.

Korrózióálló acélok

A korrózióálló acélok olyan ötvözetek, amelyekben legalább 11% Cr található. A króm az acél felületén egy nagyon vékony, folyamatos és stabil passzíváló réteget alkot. Ennek köszönhető a korrózióálló viselkedés.

Azon kívül, hogy ellenállnak a korróziónak, nagy a mechanikai szilárdságuk (a szénacélok szilárdságának legalább a kétszerese), valamint egyaránt ellenállnak a magas és a nagyon alacsony (kriogén) hőmérsékleteknek. Termékek széles választéka alakítható ki belőlük könnyen, melyek különféle felületi kezelésekkkel esztétikussá tehetők.

VIZSGÁLATTÍPUSOK

A vizsgálat eredménye bizonyíték arra, hogy az anyag, munkadarab vagy szerelvény megfelel vagy nem felel meg a korábban megállapított feltételeknek. A vizsgálatok, céljuk és kivitelezésük módja szerint, a következőképpen osztályozhatók:

- ◆ méretellenőrzések,
- ◆ funkcionális vizsgálatok,
- ◆ roncsolásos vizsgálatok,
- ◆ roncsolásmentes vizsgálatok.

Méretellenőrzések

Ezekkel a vizsgálatokkal megállapítható, hogy az adott objektum méretei a meghatározott tűréseken belül vannak-e. A közvetlen méretellenőrzéseket mechanikus eszközökkel (például mikrométerrel) vagy optikai úton végzik.



E vizsgálatok jellemzője, hogy nem okoznak sérülést a munkadarab felületén vagy belsejében. Alkalmazásuk, amennyiben a méretek a vizsgált objektum lényeges tulajdonságai, a minőségellenőrzés tipikus eszköze.

A deduktív módszerekkel végzett, indirekt méretellenőrzések célja ugyanaz, mint a direkt méréseké, megvalósításukhoz általában a roncsolásmentes vizsgálati repertoárt veszik igénybe. Például anodizált (eloxált) bevonat örvényáramos vastagságmérése ilyen indirekt vizsgálat.

Fontos megjegyezni, hogy a mérésekhez kalibrált vagy hitelesített eszközöket kell használni. Ez a biztosítéka annak, hogy a különböző helyeken és időpontokban elvégzett (azonos típusú mennyiségre vonatkozó) mérési eredmények egymással és szabványok, előírások által megadott értékekkel összehasonlíthatók legyenek. Ez a követelmény az említett indirekt mérésekre és általában bármilyen roncsolásos vagy roncsolásmentes vizsgálatnál felhasznált mérőeszközökre is érvényes.

Funkcionális vizsgálatok

Ezek olyan vizsgálatok, amelyek során a normál üzemi feltételeknél szigorúbb körülmények között vizsgálják a munkadarabot vagy szerkezeteket. A vizsgálat során mutatott viselkedésükből megtudható, hogy üzem közben meghibásodnak-e majd vagy sem. Például tartályok és csővezetékek nyomáspróbája ilyen vizsgálat.

Roncsolásos vizsgálatok

Ezeket a vizsgálatokat általában a vizsgálandó munkadarabokból kivett mintákon végzik, azzal a következménnyel, hogy e minták a vizsgálat során megsérülnek, sőt használhatatlanná válnak.

Az így nyert információ pontos, viszont a módszer nem használható a végtermékeken, csak a termékeket reprezentáló, kiválasztott mintadarabokon, melyek a jellemző információkat szolgáltató vizsgálat során tönkremennek. A mintavételt statisztikai elvekre alapozzák.

Ha valamely vizsgálatot egy teljes munkadarabon vagy berendezésen végzik, akkor azt funkcionálisként sorolják be, ha a munkadarab vagy berendezés egy kivágott részén végzik, akkor – az előző gondolatmenetet követve – roncsolásosként.



4.2 GYÁRTÁS- ÉS TERMÉKISMERET (ÖNTÉS, ALAKÍTÁSOK, FORGÁCSOLÓ MEGMUNKÁLÁSOK, HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK)

ÖNTÉS

Általános tudnivalók

Öntéskor az olvadt állapotú fémet egy öntőforma üregébe töltik, melynek alakja megfelel a gyártandó munkadarab tervezett alakjának. A megszilárdulás során a fém felveszi az öntőforma alakját, így összetett formájú, belső üregekkel, üreges keresztmetszetekkel rendelkező vagy nagyméretű, egyedi elemek is önthetők.

A munkadarabot elő lehet állítani egyetlen művelettel, de úgy is, hogy az első lépésben kapott öntecset később további gyártási műveleteknek vetik alá, amíg létre nem jön a kívánt forma. A különböző termékek és darabok gazdaságosabban állíthatók elő így, mint más eljárásokkal. Minden felhevíthető és megolvasztható fém esetében alkalmazható.

Öntéskor, a folyékony és szilárd állapot közötti fajtérfogat (sűrűség) különbség, továbbá a hőtágulás jelensége miatt, a megszilárduló fémek általában összehúzódnak. A zsugorodás mértéke akkor a legnagyobb, ha az anyagot szobahőmérsékletre hűtik le.

Következésképpen, az öntéskor keletkező folytonossági hiányokat, hibákat főleg

- ◆ az öntési művelet,
- ◆ a különböző alkotórészek eltérő dermedési sebessége és
- ◆ a folyamat során fellépő hőmérséklet-gradiens határozza meg.

Nagyon fontos az öntőforma kivitele és geometriája.

Az öntési folyamatban az öntőforma gyártása az első lépés. Az öntőforma egy üreget tartalmaz, ami megadja az öntött munkadarab alakját.

Minden egyes fém más-más százalékos mértékben húzódik össze lehűléskor, így az öntőformát az öntendő speciális anyag figyelembevételével kell megtervezni. Az üreget kissé túl kell méretezni, számolva a megszilárdulásból és a művelet során bekövetkező lehűlésből adódó zsugorodással. Az öntőforma ürege az öntvény külsejét szabja meg. Lehetnek azonban a munkadarabnak belső felületei, melyeket az öntőforma belsejében elhelyezett úgynevezett magok segítségével alakítanak ki. Az öntőformát minta segítségével készítik el, ami legalább két részből áll.

Az öntőformákat különböző anyagokból, például homokból, gipszből, kerámiából és fémekből készítik. Az öntési folyamatokat gyakran az alkalmazott öntőformák típusa szerint osztályozzák. Az öntőforma anyaga és feltöltésének módja alapján a következő fő típusokról, illetve eljárásokról beszélhetünk:

- ◆ egyszer használatos öntőformák,
- ◆ többször használatos öntőformák,
- ◆ kompozit öntőformák.



Fő öntési eljárások egyszer használatos öntőformákkal

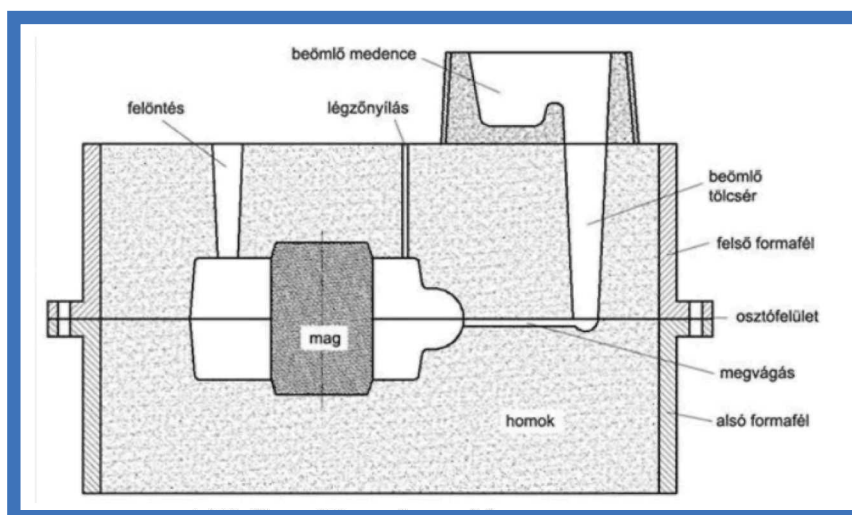
Homokformázás

A homokformázás a leggyakrabban használt eljárás, ezzel állítják elő az öntvények össztömegének a nagyobbik részét. Szinte minden öntés végezhető homokformázással, alkalmazható magas olvadáspontú fémekre, például acélra, nikkelle és titánra.

Homokformázás során az olvasztott fémot homokból készült öntőformába öntik, hagyják megszáradni, majd összetörik az öntőformát és kiveszik a munkadarabot. Általában szilícium-oxid tartalmú homokot használnak, mely lehet:

- ◆ természetes kötésű (agyagkötés),
- ◆ szintetikus (tőmederből nyert homok, kedvelt a szabályozhatóbb összetétele miatt).

4.20. ábra. Homok öntőforma metszete

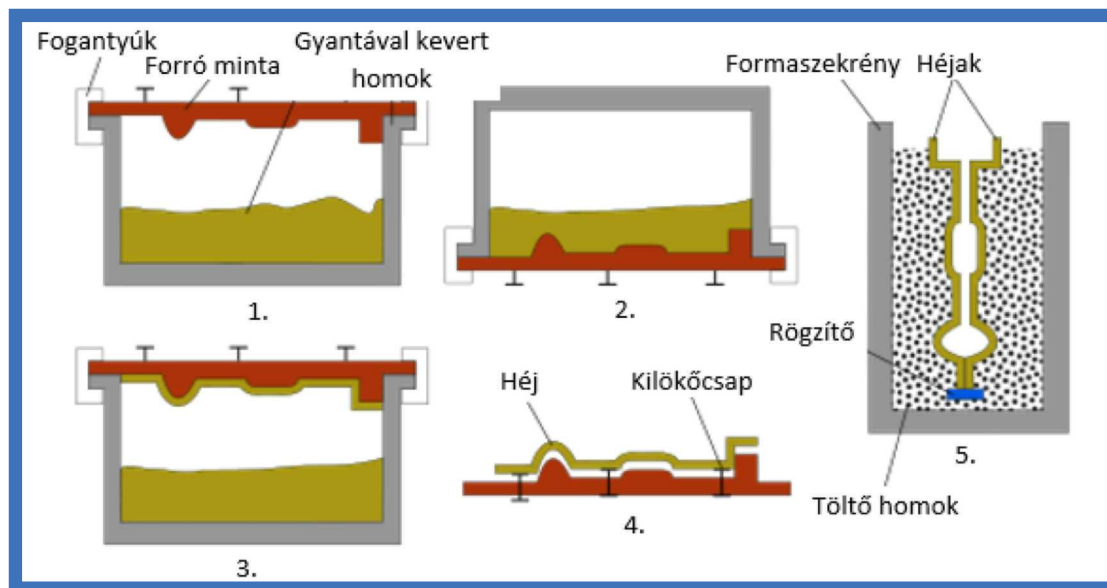


A magokat az öntvény belső felületeinek kialakítására használják. A magok a belső felületek (illetve üregek) természetes méretű makettjei. A magot az öntés előtt helyezik be az öntőforma belsejébe, így amikor a folyékony fém befolyik, az öntőforma üregének felülete és a mag között dermed meg, egyszerre formázva meg az öntvény külső és belső felületeit.

Héjformába öntés

A héjöntés a homoköntéshez hasonló öntési eljárás, amely során az olvadt fémot egy egyszer használható öntőformába öntik. A forma egy vékony falú héj, amelyet homok-gyanta keveréknek a minta köré történő felhordásával hoznak létre. A fémből készült mintát több héjformához újra felhasználják. Az újrafelhasználható minta nagyobb gyártási sebességet enged, míg az eldobható formák összetett geometriák öntését teszik lehetővé.

4.21. ábra. A héjöntés műveleti sorrendje



Gipszformázás

Az öntés ezen típusa hasonló a homokformázáshoz, azzal a különbséggel, hogy az öntőforma gipszből és nem homokból készül. A gipszhez zsírkövet és szilíciumoxid homokot kevernek, így szabályozzák a zsugorodást és a keményedés idejét, csökkentik a repedések kialakulásának esélyét és növelik a szilárdságot. Az öntőforma úgy készül, hogy a gipszet vízzel összekeverik, majd a keveréket műanyag vagy fém mintába öntik és hagyják megkeményedni.

A gipsz öntőformák nem viselik el az olyan magas hőmérsékleteket, mint amelyeket a homokformák igen, ezért csak alacsony olvadáspontú fémek – mint alumínium, magnézium, cink és egyes rézötvözetek – öntésére korlátozódik az alkalmazásuk.

Gipsz öntőformákkal általában kis darabokat öntenek. Ezeknek a formáknak nagy előnyük az, hogy jó végső felületi állapotot és méretpontosságot biztosítanak, valamint az, hogy vékony öntvények is készíthetők a segítségükkel.

Keramikus formázás

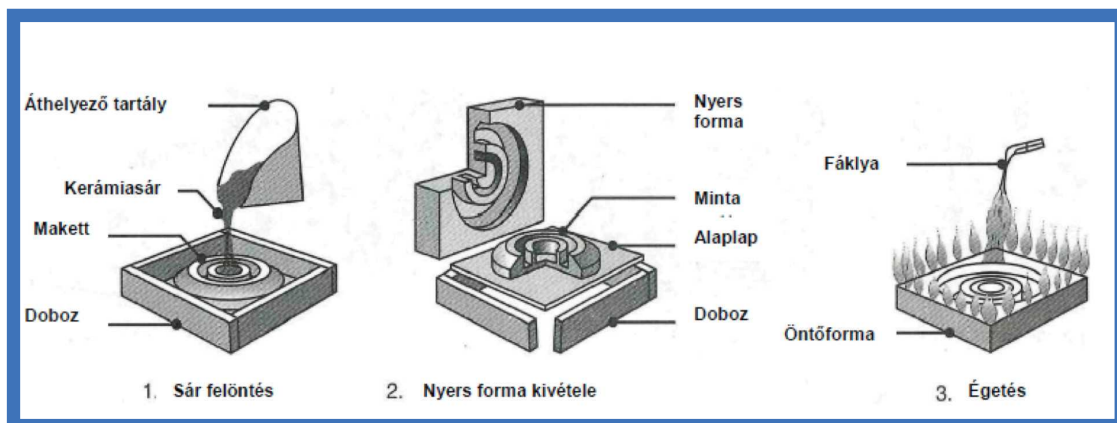
A keramikus formázás hasonló a gipszformázáshoz. Az öntőformák precíziósnak tekinthetők, kiváló méretpontosságot és végső felületi állapotot biztosítanak.

A mintát többször tűzálló habarcsba (gipsz elefántcsont porral keverve) mártják, és minden egyes bemeztéskor egy kerámiasár-réteg kerül rá a mintára. Később a mintát kiveszik, az öntőformát pedig kemencében kiégetik, így a tűzálló anyag megkeményedik.

Ezzel az eljárással vastartalmú fémeket öntenek és más, magas hőmérsékletű öntésekhez használják, például rozsdamentes acélok és szerszámacélok készítése.



4.22. ábra. A keramikus öntés munkafázisai



Precíziós öntés

Ennek az eljárásnak a lényege az, hogy viaszból készítenek mintát a kívánt munkadarabról. A mintának pontosan vissza kell adnia a gyártandó munkadarab minden jellemzőjét.

A mintákat öntéssel készítik el: a forró viaszt a megfelelő tűrésekkel rendelkező mester-öntőformába öntik vagy fecskendezik. A tűrések megállapításánál figyelembe veszik a viasz és az öntőfém zsugorodását.

Ezután a mintára bevonatot visznek fel: többször szilíciumdioxid-sárba vagy más, finomszemcsés, tűzálló anyagba merítik, és így hozzák létre az öntőformát. A tűzálló anyag finom szemcséi sima felületet adnak, ami felveszi a viasz minta felületének részleteit. Végül az öntőformát körülbelül nyolc órán át levegőn megszárítják, és megvárják, amíg megkeményedik.

A kész öntőformát fejre állítják és felhevítik, hogy a viasz megolvadjon és kifolyjon az üregből. Ezután az öntőformát magas hőmérsékletre hevítik, biztosítandó, hogy minden szennyezőanyag eltávozzon belőle, mert ezzel is segítik az olvadék áramlását az üregben.

Az utolsó lépések: a fém betöltése és megszilárdulása, majd az öntőforma szétbontása és leválasztása a kész öntvényről, valamint az egyes részek leválasztása a beömlő rendszerről.

Ezzel az öntési eljárással nagy pontosságú és összetett felépítésű öntvények hozhatók létre. Az eljárást azért hívják viaszveszejtősnek, mert a viasz minta elvész a kioltás során, és minden öntvényhez új mintát kell készíteni.

Fő öntési eljárások többször használatos öntőformákkal, kokillákkal

Két részből álló, könnyen nyitható és zárható, acél öntőformát használnak. Az üreget és a beömlő rendszert az öntőforma két részének forgácsolásával alakítják ki, hogy nagy méretpontosságot és jó végső felületi állapotot érjenek el.

Ezzel az eljárással általában alumíniumot, magnéziumot, rézötvözeteket és – ritkán – szürke vasöntvényt készítenek.



A szürke vasöntvény öntési hőmérséklete azonban magas – 1250°C és 1500°C közötti – ami jelentősen lerövidíti az öntőforma élettartamát. Ilyen hőmérsékleteken tűzálló anyagból készült formákra van szükség.

Az öntvény belső felületeinek kialakításához magok elhelyezésére van szükség. Ezek a magok készülhetnek fémből, de alakjuknak lehetővé kell tenni az öntvény eltávolítását a formából, vagy mechanikusan kiserelhetőnek kell lenniük. Ha ez nem valósítható meg, akkor homokmag is használható.

Centrifugális öntés

A centrifugális öntés számos, nagy sebességgel forgó öntőformával végzett öntési módszer neve, melynek során az olvadt anyagot a centrifugális erő juttatja el az öntőforma külső részeibe. A csoport tartalmazza a valódi centrifugális öntést, a fél-centrifugális öntést, és a centrifugált öntést.

Kisnyomású öntés

Kisnyomású öntéskor a folyékony fémek kis, megközelítőleg 0,1 MPa nyomással préselik be az öntőforma üregébe. Ennél az eljárásnál a fém egy, az öntőforma üregéhez függőlegesen illeszkedő, tűzálló csövön folyik át. Ennek a hagyományos öntéssel szembeni előnye az, hogy az öntőformába nem levegővel érintkező folyékony fém, hanem az olvasztótégelyben (öntőüstben) lévő olvadék közepéből vett, tiszta fém kerül be. Így a felszíni porozitás és az oxidáció lehetősége csökken, ami jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező munkadarabot eredményez, továbbá nyomás hatására tömörebb lesz az öntvény.

Nyomásos öntés öntőszerszámba (kokillába)

Ez többször használatos, fémből készült öntőformával végrehajtható öntési eljárás, melynek során az olvadt fém nagy nyomással préselik be az öntőüregbe. A nyomást a megszilárdulás alatt fenn kell tartani, majd később, az öntvény kivételéhez az öntőformát ki kell nyitni.

Ezeknek az öntőgépeknek két fő típusa létezik: melegkamrás és hidegkamrás gép. A két típus a fém injektálásának módjában és az alkalmazott nyomásban különbözik egymástól.

Öntés során keletkező folytonossági hiányok

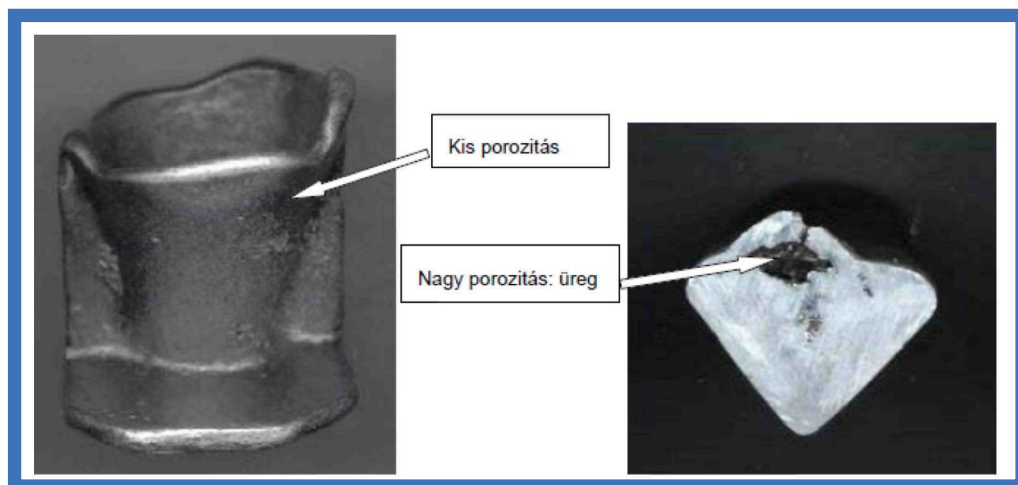
Üregek

Az üregek változó méretű, észrevehetően háromdimenziós kiterjedésű, vagy a felületre nyitott, vagy a külső tér felé kapcsolattal nem rendelkező, zárt folytonossági hiányok. Az üregek az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- ◆ Zsugorodási üregek vagy lyukak.
- ◆ Gázzárványok: pórások és buborékok.



4.23. ábra. Pórusok és azokból képződött üreg



Az öntecs zsugorodási repedései

Ezek a – felszíni vagy belső – repedések a hűlési folyamat alatti, akadályozott zsugorodás miatt keletkeznek az öntvényekben. Létrejöttük végső soron a túl magas hőmérséklet, a nagy öntési sebesség vagy a túl gyors hűlés okozta belső feszültségre vezethető vissza.

Melegrepedés akkor következik be, amikor a megszilárdulás utolsó vagy a hűtés első fázisában a „nyomásnak nem engedő” öntőforma korlátozza az öntvény megszilárdulás utáni zsugorodását. Ez a folytonossági hiány a fémnek egy olyan pontban bekövetkező szétválása, ahol a természetes zsugorodás pótlásához szükséges olvadék hiánya miatt nagy erők koncentrálnak.

Kiválások

A kiválások a fémek bizonyos ötvözőinek helyi feldúsulásai. Jellemzően olvadékok megszilárdulásakor alakulnak ki ott, ahol az ötvöző koncentrációja meghaladja a helyi hőmérsékletnek megfelelő, szilárd fázisbeli oldékonysági küszöböt. Minél magasabb a hőmérséklet, annál nagyobb ez a küszöbérték, azaz annál több ötvözőelem tud a szilárd fémbe – a rácspontokban vagy a rácsközi helyeken eloszolva – feloldódni. (Egyébként ez az összefüggés az olvadékokra is igaz.) A magasabb hőmérsékleten oldódó ötvözőknek lehűléskor ki kell válniuk. Ez a jelenség a szegregáció.

Zárványok

A zárványok nem fémes anyagok – például salakok, oxidok vagy idegen részecskék –, melyek olvadáspontja nagyobb, mint az alapanyagé. Előfordulhatnak mind a felszínen – akár kérget alkotva is –, mind az öntvényen belül.

A nemfémes zárványok nagy hányadát az olvasztott acélhoz a kemencébe, az öntőüstbe vagy az öntőformába adagolt dezoxidáló anyagok (alumínium, szilícium, mangán, stb.) oxidjai és szulfidjai alkotják.

Hidegkötés

Ha két adag fémolvadékot úgy töltenek be egy öntőformába, hogy az egyik adag túl gyorsan hűl le és nem lesz elegendően forró a másik adaggal való összeolvadáshoz, akkor úgynevezett hidegkötés jön létre. Változó görbületű, sima és kerek peremű folytonossági hiányként jelenik meg. Akkor várható, ha az öntés nem kellően folyamatos, illetve valamilyen okból megszakítják azt.

Felületi többlet vagy hiány

Ezek az eltérések az öntőforma hibáinak, töréseinek, repedéseinek vagy a két öntőforma fél egymáshoz képesti elmozdulásának a következményei.

- ◆ Dudur.
- ◆ Anyaghiány.
- ◆ Felületi eltérések, hibák.

Nem megfelelő méret és alak

Rosszul tervezett vagy hibásan összeállított minta, egyenetlen zsugorodás, torzult öntőforma vagy az öntőforma részeinek pontatlan összeillesztése – például a két öntőformafél eltolódása – miatti geometriai eltérések. (Az eltérés azt jelenti, hogy a kész munkadarab mérete és alakja nem egyezik meg a specifikációban előírtakkal.)

Hasonló eltérés származik a mag eltolódásából is. Ez esetben azonban az eltolódás függőleges, mert az olvadék felhajtó ereje felemeli a magot az öntőformához képest.

Alakítások

Az alakítás – pontosabban szólva: a képlékeny alakítás – a fémek és ötvözetek alakjának és méreteinek megváltoztatására irányuló művelet, amit az anyag képlékeny folyását és deformálódását kiváltó külső erők alkalmazásával valósítanak meg.

Hideg- és melegalakítás

Melegalakítást az újrakristályosodási hőmérsékletnél nagyobb, de ahhoz közeli hőmérsékleten végeznek. Olyan esetekben alkalmazzák, amikor az anyag nagymértékű alakváltozást eredményező, képlékeny megmunkálására van szükség.

A melegalakítás fő hatásai az alábbiak:

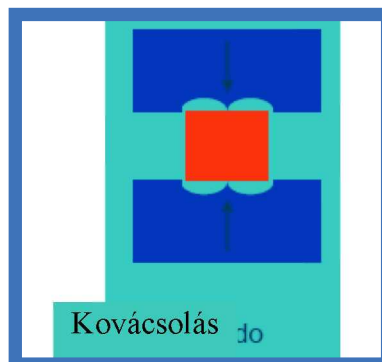
- ◆ Az alakításhoz szükséges erők kisebbek.
- ◆ Az alakítás és az újrakristályosodás egyidejű hatása elősegíti a finomabb szemcseszerkezet létrejöttét.
- ◆ Az anyagban nem lesznek maradó feszültségek.
- ◆ Az anyagszerkezet egységesebb lesz.

A hidegalakítás jóval az újrakristályosodási hőmérséklet alatt történik. Csak kisebb alakváltozást igénylő esetekben alkalmazandó, ha jobbítani kell az anyag mechanikai jellemzőit és/vagy a kész munkadarab felületének minőségét. Az egymást követő alakítási lépésekben bevitt károsodások összegződnek, a fém felkeményedik.

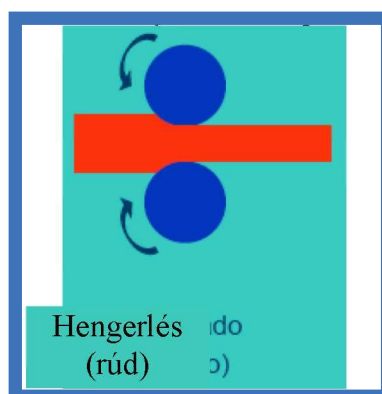


Fő képlékenyalakítási eljárások

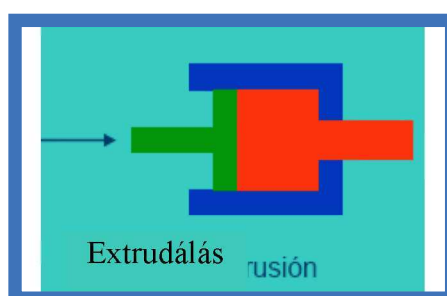
Kovácsolás és sajtolás – a kezdeti forma kialakítása kalapáccsal, sajtoló szerszámmal.



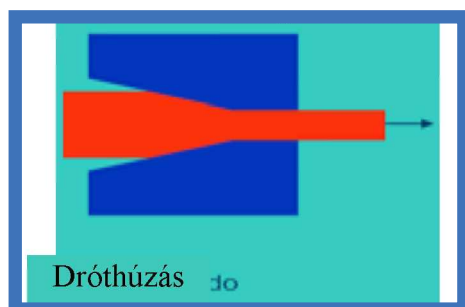
Hengerlés – lemezek, rudak, csövek, zártszelvények és más profilok kialakítása



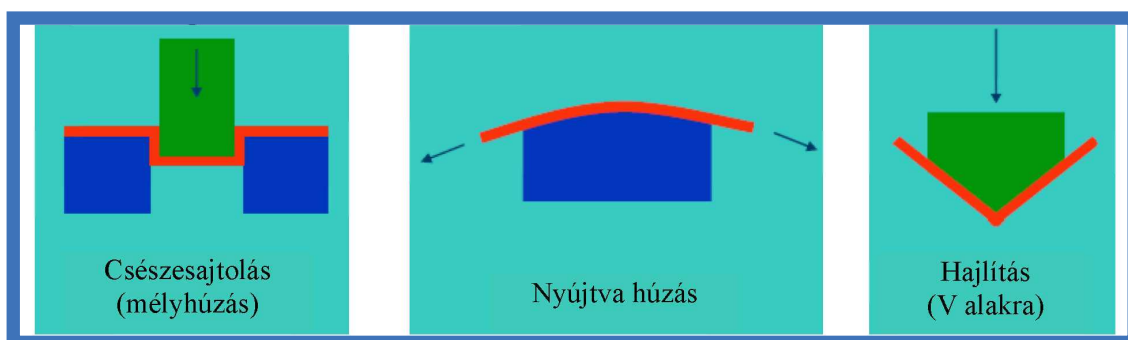
Extrudálás – az anyagot meghatározott nyíláson préselik át



Dróthúzás – kis átmérőjű rudak, illetve huzalok átmérőjének csökkentése



Lemezfeldolgozás – lemezek továbbalakítása



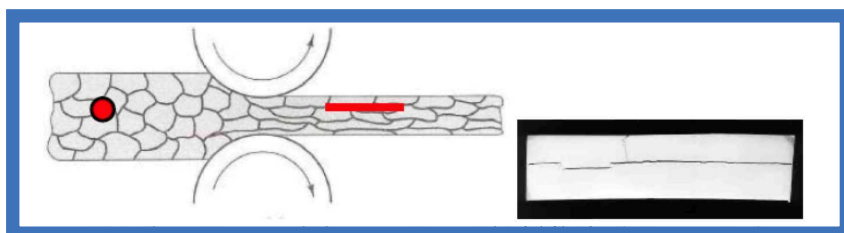
Az ilyen műveletek során általában úgynevezett elsődleges alakítási folytonossági hiányok jönnek létre.

Alakítások során keletkező folytonossági hiányok

Rétegződések, réteg elválások és gyűrődések

Ezek akkor keletkeznek, ha a bugában, tuskóban lévő, belső folytonossági hiányok – például gáz-zárványok, nemfémes zárványok, zsugorodás miatti üregek (lunkerek), belső repedések – a hengerlési folyamat alatt nem hegednek össze, hanem megnyúlnak és ellapulnak és így általában a lemezek vagy bugák felületével párhuzamos folytonossági hiányokhoz vezetnek.

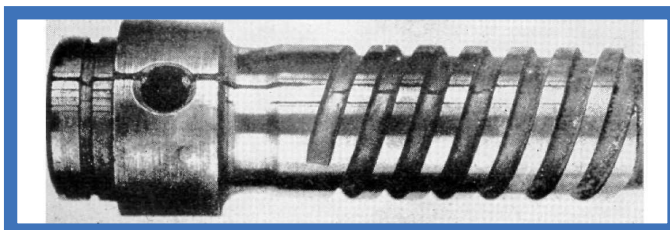
4.24. ábra. Hengerelt lemez rétegződési hibája (rétegeessége)



Eresedés

Eresedés az öntés során keletkező fémes zárványokból a hengerlés folyamán alakul ki. Ezek jellemzően felszíni, a hengerlés irányára merőleges vagy azzal párhuzamos folytonossági hiányok.

4.25. ábra. Képlékeny alakítás nyomán a felszínen megjelenő ér

*Rúdanyagokban keletkező gyűrődések*

Gyűrődések akkor keletkeznek, amikor a felületi anyagfelesleget a hengerek nagy erővel préselik és ezzel kitüremkedést vagy önmagába záródó bemélyedést okoznak, amelyek általában egyenes vagy enyhén ívelt vonalú, a felülettel párhuzamosan futó vagy azzal kis szöget bezáró folytonossági hiányok. Az anyagfeleslegből gyűrődés alakulhat ki, de kevés fém esetén, amikor nincs elegendő anyag a hengersor által megmunkált tér kitöltésére, az anyaghiány melletti tartományt a henger nyomása tömöríti, és így a kész rúdanyagban barázda jön létre.

Kovácsolási gyűrődések

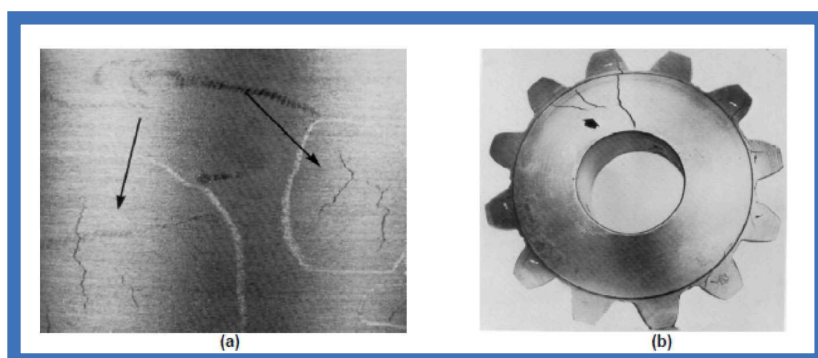
Ezek akkor keletkeznek, amikor valamennyi anyag ráhajlik a felületre, ahhoz erősen hozzátapad, de nem heged össze vele. Az ilyen jellegű hibák nem megfelelő kovácsbélyeg használatára, túlzott mennyiségű kovácsolandó anyagra, vagy az anyag szerszámon belüli rossz elhelyezésére vezethetők vissza. A kovácsolási gyűrődések általában felületre nyitottak és a felszínnel párhuzamosak vagy azzal kis szöget zárnak be.

4.26. ábra. Gyűrődések kovácsdarabon

*Hűlés okozta repedések*

A munkadarab különböző tartományainak – belső feszültséget és ennek következtében repedést okozó – egyenetlen hűlése miatti folytonossági hiányok (4.27. (a) ábra). Ilyenek különösen könnyen alakulnak ki edzéskor (4.27. (b) ábra).

4.27. ábra. Hűlési (a) és edzési (b) repedések indikációi



Kovácsolás okozta repedések

Olyan kovácsolási eljárásokra jellemző folytonossági hiányok, melyek során az anyag teljes tömegében, dinamikus módon inhomogén feszültségek keletkeznek, amelyek az anyagot felrepezstik.

A repedések általában a munkadarabnak az alakító szerszámmal viszonyított mozgásirányára merőlegesek. Ha ez a hatás az alakítás közben forgó munkadarabokban érvényesül, akkor torziós repedésekről beszélünk.

4.28. ábra. Kovácsolás okozta repedések

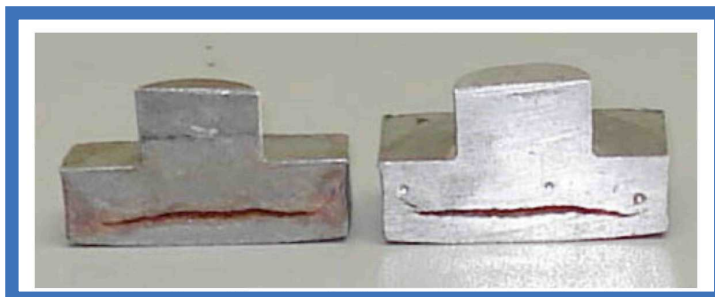


Szakadások

Ezek olyan képlékeny alakításokra jellemző hibák, melyek során a munkadarabra az anyag állapotához és típusához képest rendkívül nagy erők hatnak (kovácsolás, sajtolás, stb.). A szakadások az alkalmazott erőre merőleges irányban alakulnak ki, nyitott végű, különböző mélységű folytonossági hiányok formájában.



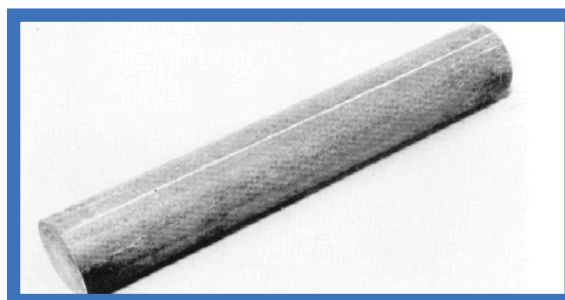
4.29. ábra. Kovácsolásból származó szakadás



Barázdák

Felszíni repedésekből, gyűrődésekből vagy az öntecs felszínéhez közeli gázzárványokból eredő, hengerlés közben kialakuló, felszíni, hosszirányú folytonossági hiányok. Extrudált munkadarabokon a barázdák a szemcsék megnyúlásának irányát követik.

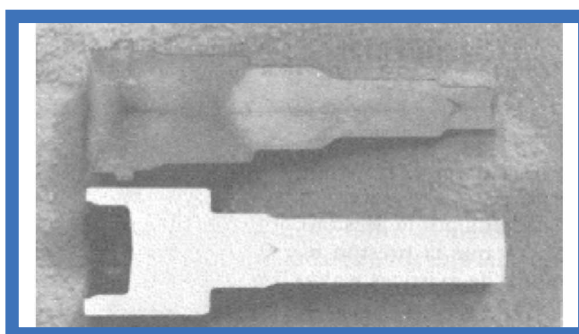
4.30. ábra. Hosszirányú barázda



Belső repedések

A belső repedések a deformációs övezet tengelyében kialakuló erőviszonyok miatt keletkeznek akkor, amikor az anyag az alakító szerszámon áthalad. Ebben az övezetben az anyag nagymértékű képlékeny alakváltozáson megy át, ami a középvonal mentén szakadásokhoz vagy belső repedésekhez vezethet.

4.31. ábra. Belső repedés hidegfolyatott csavarokban



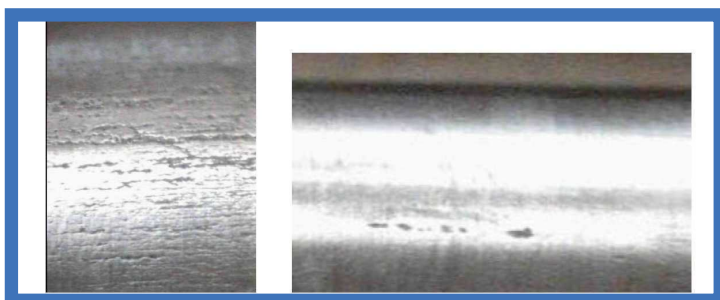
Belső szakadások

Ilyenek akkor keletkeznek, amikor az anyagra ható erő tengelyirányú és meghaladja azt az értéket, amit az anyag képlékeny alakváltozással még követni tud. A belső szakadás megjelenése nagyon gyakran másféle belső folytonossági hiányokkal, például salak zárványokkal, hozható összefüggésbe. Az alapanyagtól eltérő összetételű és nagyobb keménységű zárványok jelenléte miatt ugyanis képlékeny alakításakor az anyagban nagy, helyi belső feszültségek keletkezhetnek.

Dróthúzás és hajlítás során keletkező repedések

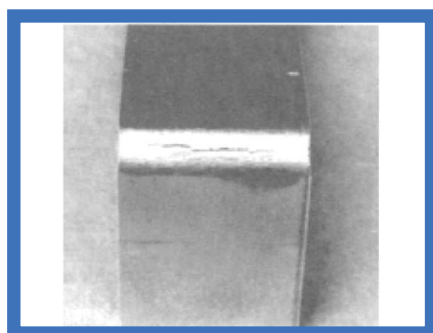
Dróthúzás közben több okból keletkezhetnek repedések a felületen, ha a húzószerszámon való áthaladáskor az anyag szorul és a szerszám felületéhez tapad. Az ilyen repedések – hibás húzószerszám, elégtelen kenés, vagy a huzal felületére tapadt és a szerszám alá kerülő, kemény részecskék miatt – hosszirányú csíkok formájában jelennek meg.

4.32. ábra. Dróthúzásból származó felületi repedések



Hajlítás során, az anyag által elszenvedett deformáció következtében, bizonyos hajlítási szög túllépése esetén a hajlított zóna legnagyobb húzófeszültségnek kitett, külső részén repedések jelenhetnek meg.

4.33. ábra. Hajlítás közben keletkező repedések



Forgácsoló megmunkálások

Az öntési vagy képlékeny alakítási eljárásokkal gyártott termékeket a használatba vétel előtt gyakran további megmunkálásnak – a végső formát megadó forgácsolásnak és csiszolásnak – kell alávetni. A forgácsolás és csiszolás célja a fölösleges felületi anyagrétegek eltávolítása, a termék tervezett alakjának és előírt felületi minőségének pontos elérése. A forgácsoló megmunkálásokat ezért másodlagos műveleteknek tekintik.

Az anyagleválasztást különféle forgácsoló szerszámokkal – esztergagéppel, marógéppel, fúrógéppel, köszörűgéppel, stb. – végzik. A forgácsoló megmunkálásoknak sok típusa létezik, de ezek általában a következőképpen csoportosíthatók:

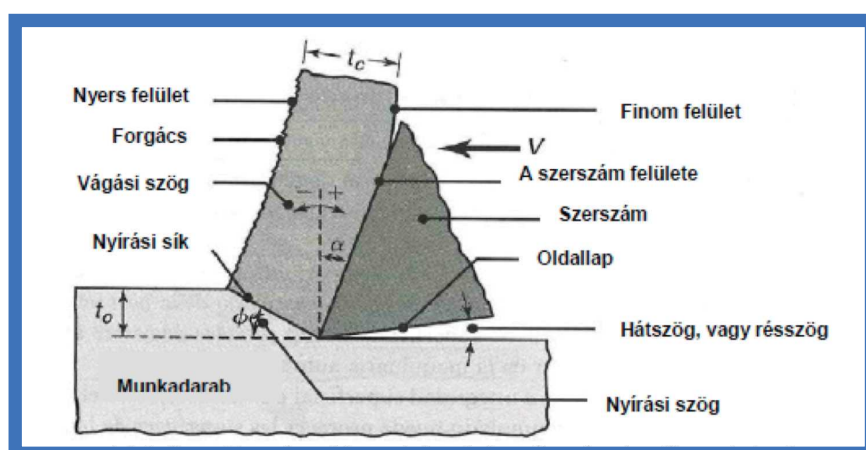
- ◆ Vágások (folyamatos forgácsolás késsel): Olyan eljárások, melyek során a leválasztott anyag forgácsnak nevezett, többé-kevésbé folyamatos csikok formájában távozik. Ezekhez egy vagy több, meghatározott formájú éllel rendelkező megmunkáló szerszámot alkalmaznak.
- ◆ Abrázív eljárások (csiszolások): Ezen megmunkálások közben a fölösleges anyag kis részecskék formájában válik le, mint például köszörüléskor és hasonló műveleteknél.

Fejlett megmunkálási eljárások is léteznek, melyekhez elektromos, vegyi, termikus, hidrodinamikai és lézeres technikákat használnak fel.

A forgácsolási folyamat jellemzői

Forgácsolással anyagot távolítanak el a munkadarabról, forgácsok formájában. A forgácsok nyírás révén keletkeznek, és úgy válnak le, ahogy egy kártyapakli legfelső lapját szökték lehúzni (felgörbítve a lap szélét).

4.34. ábra. Forgácsolás nyírással és a forgács leválasztásával



Mint minden képlékeny alakváltozással járó folyamatban, a forgácsolás közben disszipált energia is hővé alakul és növeli a forgácsolási zóna hőmérsékletét. A magas hőmérséklet csökkenti a szerszám szilárdságát, keménységét, merevségét és kopásállóságát, és emiatt a szerszám deformálódhat.

A hőmérséklet emelkedése méretváltozásokat von maga után, ami nehezíti a méretpontosság, illetve a tűrések tartását.

A súrlódás és a kopás csökkentése és ezzel a szerszám élettartamának növelése, valamint a munkadarab felületi minőségének javítása érdekében úgynevezett hűtő-kenő folyadékot kell használni. A folyadékkelárasztás, fecskendezés vagy porlasztás útján jut a forgácsolási területre.

MEGMUNKÁLÁSI ELJÁRÁSOK

Marás

A marás marógéppel, illetve annak marófejébe befogott, számos vágóélet tartalmazó, forgó szerszámmal – a marószerszámmal – végrehajtott forgácsolás.

A marás fontos paramétere a vágási sebesség (v), az egy fogra jutó előtolás (f) és a vágási mélység (d), melyeket minden munkadarab esetében pontosan meg kell határozni.

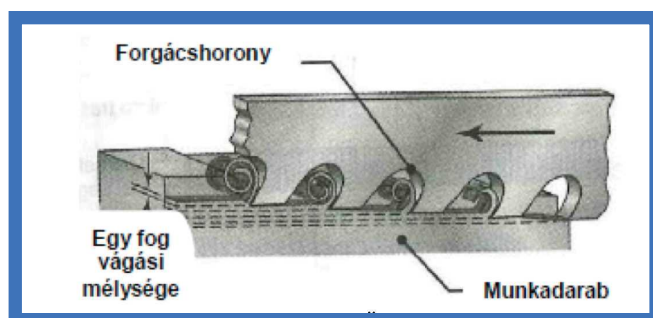
Gyalulás

Gépi forgácsolás, melyet gyalugépnek nevezett berendezéssel végeznek. A megmunkálandó darabot gépsatuba fogják be vagy csavarokkal szorítják le. A gyalulás célja vízszintes, függőleges vagy ferde, sík felületek előállítása a munkadarabon, anyagleválasztással.

Üregelés

Az üregelés bonyolult geometriájú üregek, lyukak vagy nyílások és külső felületek kialakítására szolgáló forgácsolási módszer. A szerszám egy fokozatosan növekvő méretű, sokfogú húzómaró, amit egyenes vonalban áttolnak vagy áthúznak az előkészített furaton, üregen.

4.35. ábra. Üregelés



Darabolás

A darabolás célja a munkadarab egy részének levágása, illetve több részre vágása. A levágott részeket rendszerint további megmunkálásnak, esetleg alakításnak vetik alá. A darabolás általános eszköze a fűrészgép, a kisebb átmérőjű rudakat és csöveket azonban gyakran esztergagépen darabolják.

Fúrás

Olyan forgácsolási művelet, melynek során egy forgó szerszám – a fúró – előtolás közben furatot vág az anyagba. A fúró szárát a fúrógép tokmányába fogják be. A furatból kimunkálandó anyagot a fúróhegy élei választják le, és a forgácsot a fúró spirális hornyai hordják ki a furatból. A fúrószár nem vesz részt a forgácsolásban, csak a fúró megtámasztását, a fúróhegy megvezetését és a forgács eltávolítását biztosítja.

Csiszolószerszámmal végzett megmunkálások

Ilyen megmunkálások a köszörülés, a hónolás és a polírozás. A csiszolószerszámok felületén vagy teljes térfogatában kemény, éles, szabálytalan alakú, kisméretű részecskék vannak, melyek a főlegesen anyagot apró forgácsok vagy por formájában választják le a munkadarab felületéről. Ilyen csiszolószerszámok, például, a csiszolótárcsák, a köszörűkövek, valamint a csiszolópapírok és -vásznak.

Az abrazív anyag lehet alumíniumoxid, szilíciumkarbid, bórnitrid és gyémánt.

A csiszolóanyag szemcseméretét, illetve a csiszolás finomságát a szemcseszámmal adják meg. Minél nagyobb a szemcseszám, annál kisebb a szemcseméret.

Durvább felületeket eredményező megmunkálások

Szemcseszórás (abrazív levegősugárral végzett kezelés):

Az eljárás lényege az, hogy csiszoló hatású részecskéket fúvatnak száraz levegő vagy nitrogén sugárral a munkadarabra. A felület tisztítására, elsősorban revétlenítésére használják.

Sörétszórás:

A szemcseszórással azonos módszer, azzal a különbséggel, hogy a munkadarabra fúvott részecskék változó (0,1–0,8 mm) méretű fémszemcsék.

Vágó eljárások

- ◆ Lézeres vágás.
- ◆ Elektronsugaras vágás.
- ◆ Plazmasugaras vágás.
- ◆ Vízugaras vágás.
- ◆ Lángvágás.



Forgácsolás során keletkező folytonossági hiányok

A forgácsoló megmunkálások során keletkező folytonossági hiányok a megmunkáló szerszámok nem megfelelő teljesítményével, helyi túlmelegedéssel és a nem kellő hűtéssel függnek össze.

Hasadások

Nem megfelelő teljesítményű szerszámmal végzett megmunkálás miatt keletkező kis anyagszétválások. Ezek általában rövidek, fogazottak és a megmunkálás irányára merőlegesek.

Köszörülés okozta repedések

Kemény, fémes felületeken helyi túlmelegedés, túl nagy fogásmélység vagy túlzott köszörülési sebesség miatt képződő finom repedések. A túlmelegedést a nem kielégítő mértékben hűtött szerszámmal végzett megmunkálás okozza.

Forgácsolási repedések

Olyan folytonossági hiányok, amelyek rosszul beállított – az anyag leválasztása közben az anyag keményedéséhez vezető – megmunkálás esetén jönnek létre. A keménység növekedése a forgácsolási mélységtől, a megmunkáló szerszám élének minőségétől, a megmunkálandó anyag jellemzőitől és a szerszám geometriájától függ.

A megmunkálás után visszamaradó nyomok feszültséggyűjtő helyek és hozzájárulhatnak az alkatrész idő előtti meghibásodásához. Az indikációk általában nagyon finom és nagyon kontúros vonalakból álló háló formájában jelennek meg.

Hónolási repedések

Hónoló megmunkálás során (például belső égésű motorok hengereinek felületén) keletkező csekély mélységű, éles, felületi folytonossági hiányok, amelyek az abrazív megmunkáláskor a nem megfelelő hűtés, a túl nagy forgácsolási sebesség, vagy a túl sok egy menetben leválasztott anyagmennyiség és az ezekből következő túlmelegedés számlájára írhatók. Irányuk a hónolás irányára merőleges.



HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK

Bevezető

A hegesztés olyan gyártási eljárás, mellyel két anyag – általában fémek vagy hőre lágyuló műanyagok – között hővel vagy hővel és erőhatással oldhatatlan kötést, tehát kohéziós kapcsolatot hoznak létre. Leggyakrabban úgynevezett ömlesztő hegesztést végeznek, amelynél az összekötendő anyagokat megolvasztják. A művelet során megolvad a hozaganyagnak nevezett hegesztőanyag is, és az olvadékok összekeverednek, majd együtt megszilárdulva létrehozzák a kötést – azaz a varratot. Az olvadékok keveréke az ún. hegfürdő.

Esetenként egyidejű nyomással és hővel, vagy önmagában nyomással hegesztenek. Ez különbözik a lágy- és keményforrasztástól, melynek során két munkadarabot alacsony olvadáspontú, megolvasztott forrasztanyaggal rögzítenek egymáshoz, a munkadarabok megömlesztése nélkül.

A hegesztéshez számos különböző energiaforrás alkalmazható, mely lehet gázláng, villamos ív, lézernyaláb, elektronsugár, súrlódás és ultrahang. Az ömlesztő hegesztések közül a legelterjedtebb az, amelynél a két fém egyesítéséhez szükséges energiát villamos ívből nyerik (ívhegesztés). Hőre lágyuló anyagok ömlesztő hegesztéséhez valamilyen szerszámmal vagy forró gázzal való közvetlen érintkezés révén biztosítják a szükséges hőt.

A hegesztési eljárások osztályozása az MSZ EN ISO 4063:2016 jelű szabvány szerint

A hegesztési eljárásokat az MSZ EN ISO 4063:2016 jelű, nemzetközi szabvány tartalmazza. Meghatározza a hegesztések nevét és a hozzájuk tartozó eljárásokat; valamint minden egyes eljárást hivatkozási számmal azonosít.

A fő eljárások a következők:

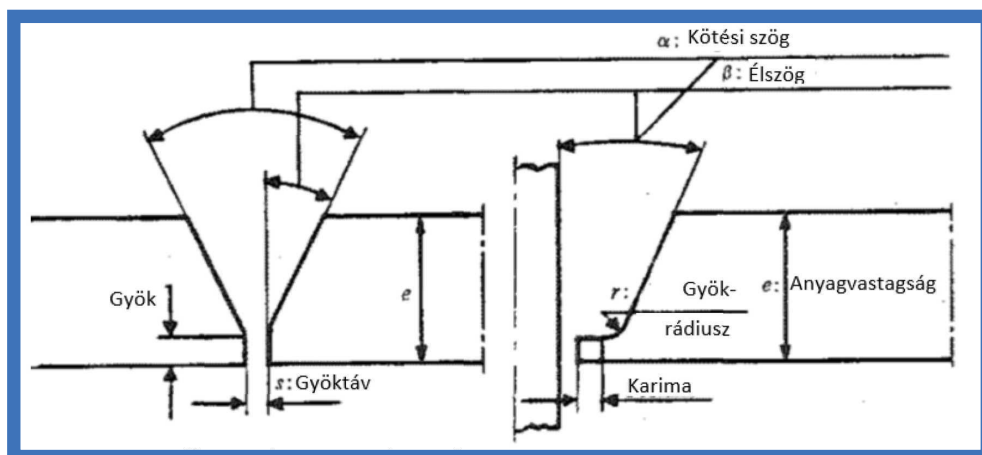
- ◆ 111. Kézi ívhegesztés bevonatos elektródával.
- ◆ 114. Ívhegesztés porbeles huzalelektrodával.
- ◆ 121. Fedett ívű hegesztés tömör huzalelektrodával.
- ◆ 122. Fedett ívű hegesztés szalagelektrodával.
- ◆ 131. Ívhegesztés tömör huzalelektrodával és védőgázzal (MIG-hegesztés).
- ◆ 135. Ívhegesztés tömör huzalelektrodával és aktív gázzal (MAG-hegesztés).
- ◆ 136. Ívhegesztés porbeles huzalelektrodával és aktív védő-gázzal (MAG-hegesztés).
- ◆ 138. Ívhegesztés fémpor beles huzalelektrodával és aktív védőgázzal (MAG-hegesztés).
- ◆ 141. Nem fogyóelektrodás ívhegesztés semleges gázzal (TIG-hegesztés).
- ◆ 311. Autogén hegesztés (gázhegesztés/lánghegesztés).



Hegesztett kötések tervezése és geometriája

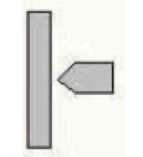
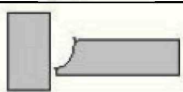
A hegesztés végrehajtása előtt vágásra és élélőkészítésre van szükség. A jó kötés érdekében a megfelelően elvégzett vágás és előkészített él alapvető fontosságú.

4.36. ábra. A hegesztett kötések tervezésében használt terminológia



A hegesztendő felületek (élek) előkészítésének módjától függően öt különböző kötéstípust különböztetnek meg: tompakötés, sarokkötés, átlapolt kötés, L-kötés (külső sarokkötés) és homlokkötés.

Tompakötések élélőkészítései		
Derékszögű	6 mm vastagságig és 3 mm gyöktávig alkalmazható, kétoldali hozzáférés mellett.	
V alakú	4 – 15 mm az ajánlott anyagvastagság A nyílásszög csökkentésével akár 30 mm vastagságú anyag is hegeszthető	
X vagy kettős V alakú	15 – 100 mm vastagságú anyagokhoz ajánlható, mivel a hegesztés által létrehozott feszültségeket a kétoldali hegesztés kompenzálja	
U alakú	akkor alkalmazzák, amikor a munkadarab csak egy oldalról hozzáférhető a V alakút helyettesítheti nagy anyagvastagságoknál	
Kettős-U alakú	hasonlóan a kettős-V alakhoz – csak mindkét oldaluk felől hegeszthető munkadarabokon szabad létrehozni	

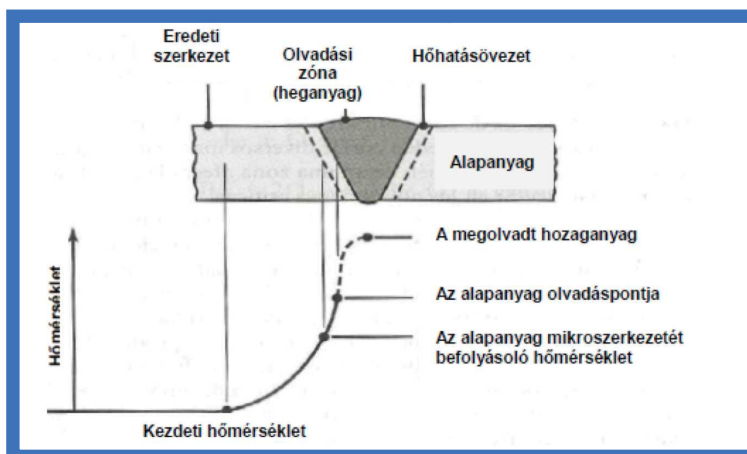
Sarokkötések élélőkészítései		
Derékszögű	Akkor alkalmazható, ha nincs szükség teljes átolvadásra	
Fél-K alakú	Akkor készítének ilyen, ha teljes átolvadást kell elérni, és a kötéshez csak egy oldalról lehet hozzáférni.	
K alakú	Akkor alkalmazzák, ha a kötés mindkét oldalról hozzáférhető, és a munkadarab vastagsága meghaladja a 15 mm-t.	
Fél-U vagy J alakú	Ilyen élt nagyon vastag alapanyag esetében célszerű kialakítani, ha a lerakandó hozaganyag mennyiségét csökkenteni akarjuk.	

Hegesztési zónák

A hegesztés folyamata alatt az alapanyag és a hozaganyag igen magas hőmérsékletre hevül fel, ami hatással van azok kémiai összetételére, valamint a hegesztett kötés és környezete lehűlés utáni metallurgiai szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira.

A hegesztés kapcsán a következő zónákat különböztetik meg:

4.37. ábra. A normál zónás ömlesztő hegesztések jellemzői



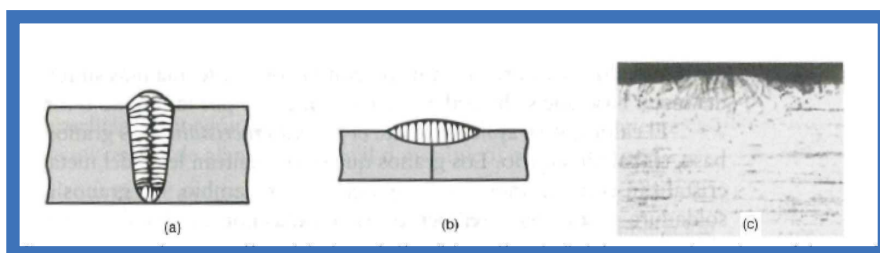
A heganyag megszilárdulása

A folyamat az öntéshez hasonló, mivel az anyag környezeti hőmérsékleten szilárdul meg, és a hőáram mentén hosszú oszlopokból álló – dendrites – szemcseszerkezet jön létre. A szemcsék normál esetben párhuzamosak a hegesztett lemezek síkjával.

A varrat szerkezetét, a szemcsék alakját befolyásolja a hegesztés módja és paraméterei, az alapanyag és a hozaganyag minősége, továbbá az, hogy történt-e előmelegítés.

A szemcsék nagyok (alacsony hőmérséklet), így a heganyag kis szilárdsággal, szívóssággal és képlékenységgel rendelkezik. Ezek a paraméterek a hozaganyag helyes megválasztásával és/vagy hőkezeléssel javíthatók. Az előmelegítés is hasznos lehet, sőt jó hővezetőképességű anyagok (például alumínium és réz) esetében kimondottan fontos, mert ennek hiányában a hegesztés alatt keletkező hő gyorsan disszipálódik és eloszlik az alapanyagban.

4.38. ábra. Szemcseszerkezet teljes (a) és sekély (b) mélységű áthegesztés után. Hidegen hengerelt nikkelszalagon lézersugárral készített varrat csiszolati képe (c).

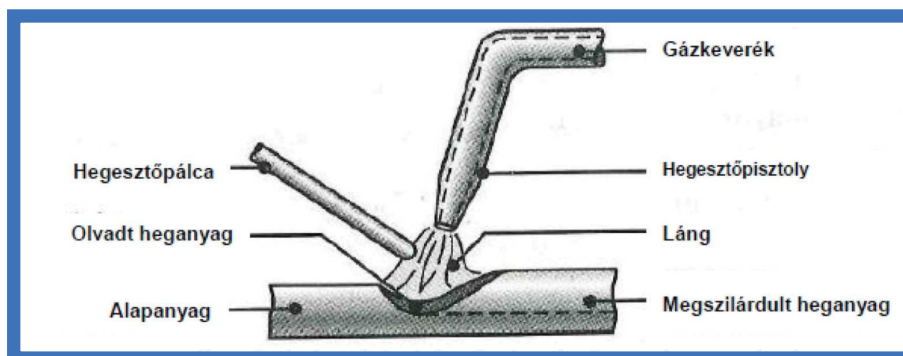


Gázhegesztés (lánghegesztés)

Ezt az eljárást az MSZ EN ISO 4063:2016 szabvány a 311-es számmal, míg az AWS-kód, ha az éghető gáz acetilén (más néven: disszugáz), akkor oxi-acetilén hegesztésként (OAW) azonosítja. A szakmában régóta elterjedt elnevezése: autogén hegesztés.

Az eljárás lényege az, hogy egy gázkeverék – normál esetben acetilén (éghető komponens) és oxigén (égést tápláló komponens) – elégetésével fejlesztik az olvasztáshoz szükséges hőt. A hozaganyagot csupasz vagy az összeolvadást elősegítő szerrel bevont hegesztőpálca tartalmazza.

4.39. ábra. Oxigénnel és éghető gázzal végzett hegesztés elve

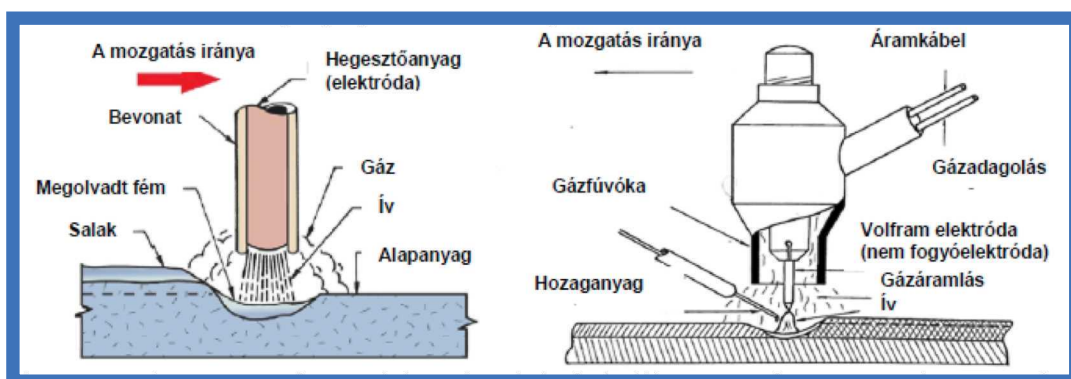


Az eljárás lassú, kis termelékenységgel és csak 6 mm-nél vékonyabb anyagoknál célszerű használni, mert bár vastagabb anyagok is hegeszthetők így, de azok ívhegesztéssel gazdaságosabban.

Ívhegesztés

Az eljárás a hegesztendő munkadarab és az elektróda közötti villamos ív létrehozásán alapul. Az akár 10.000°C hőmérsékletű ív szolgáltatja a hegesztéshez szükséges hőt. Az elektróda lehet fogyó- és nem fogyóelektróda. Az előbbi anyaga megolvad és a megolvadt alapanyaggal együtt képezi a varratot, míg az utóbbi használatkor külön hozaganyagra van szükség.

4.40. ábra. Ívhegesztés bevonatos fogyóelektródával (balra), illetve semleges gázzal és nemfogyó volfrám elektródával (jobbra)



Ívhegesztési eljárások:

- SMAW** (Shielded Metal Arc Welding): Kézi ívhegesztés bevonatos elektródával
Az eljárás jele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 111
- GMAW** (Gas Metal Arc Welding): Védőgázos ívhegesztés huzalelektródával, MIG/MAG
Az eljárás jele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban, a gáz fajtájától függően, 131 (inert – azaz semleges – gáz, MIG) vagy 135 (aktív gáz, MAG)
- FCAW** (Flux-Cored Arc Welding): Ívhegesztés porbeles leolvadó elektródával
Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 114 (gáz nélkül) vagy 136 (gázzal)
- MCAW** (Metal-Cored Arc Welding): Ívhegesztés fémpor beles huzalelektródával
Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 138
- SAW** (Submerged Arc Welding): Fedett ívű hegesztés
Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 121 (tömör huzalelektróda) vagy 122 (szalagelektróda)
- TIG** (Tungsten Inert Gas Arc Welding): Volfrám elektródás, inertgázos ívhegesztés
Az eljárás számjele és rövidítése az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 141, illetve TIG
- PAW** (Plasma Arc Welding): Nem fogyóelektródás, plazmaíves hegesztés
Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 15

Elektrogáz hegesztés

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 73

Ellenállás-hegesztések

Az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 2-es számú eljárásnévvel jelölt ellenállás-hegesztés során a szükséges hőenergiát a hegesztendő munkadarabok felületei közötti, viszonylag nagy átmeneti ellenálláson átfolyó, nagy intenzitású elektromos áram kelti. Az átmeneti ellenállás függ a kötés konfigurációjától és az anyagok elektromos vezetőképességétől. Ellenállás-hegesztésnél hozaganyagot nem alkalmaznak.

Az áram átfolyása közben és után össze kell nyomni a hegesztendő felületeket. Az ellenállás-hegesztés alatt keletkező hőmennyiséget a Joule-törvényből számíthatjuk ki:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

ahol

Q = a keletkező hőenergia (W),

I = áramerősség (váltóáram esetén effektív áramerősség) (A),

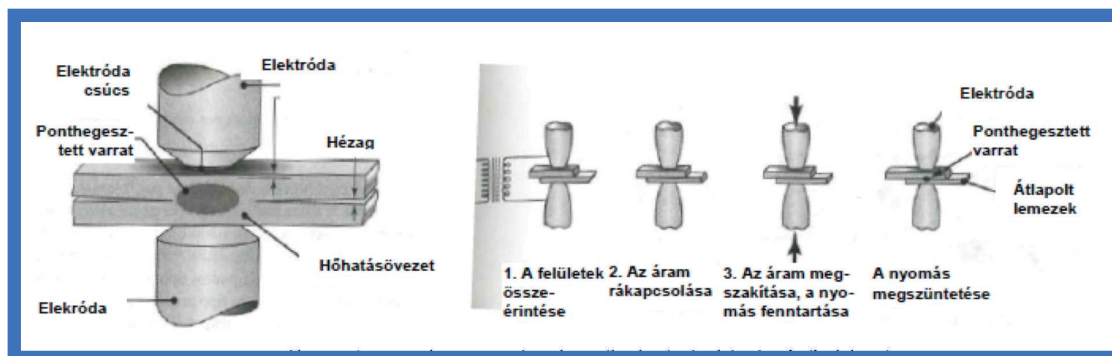
R = az átmeneti ellenállás (Ω),

t = az áram átfolyásának időtartama (s).

Az ellenállás-hegesztések körébe tartoznak az alábbi módszerek:

- ◆ ponthegeztés (21, RSW = Resistance Spot Welding)
- ◆ vonalhegeztés (22, RSEW = Resistance Seam Welding)
- ◆ dudorhegeztés (23, RPW = Resistance Projection Welding)
- ◆ leolvasztó tompahegeztés vagy szikrahegeztés (24, FW = Flash Welding)
- ◆ zömítő tompahegeztés (25).
- ◆ nagyfrekvenciás hegesztés (29, HFRW = High-Frequency Resistance Welding)

4.41. ábra. A ponthegeztés elve (balra) és lépései (jobbra)



Elektrosalakos hegesztés

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 72, AWS-kódja ESW (Electroslag Welding).

Az alapanyag és a hozaganyag megömlesztésére ennél az eljárásnál is elektromos ívet használnak. A megolvadt fémbe juttatott fedőpor ugyancsak megolvad és egyre mélyebb salakfürdőt alkot, ami vezeti az elektromos áramot. Amint a salak hőmérséklete és vezetőképessége növekszik, az ív kialszik, és az olvadt salakon átfolyó hegesztő áram – az ellenállás-hegesztésekhez hasonlóan – Joule-hőt kelt. A salak ellenállása elég nagy a szükséges hőenergia előállításához. Mindeközben a salaknak egy másik, fontos szerepe is van: védi a hegfürdőt az atmoszférikus hatásoktól.

Ezzel az eljárással 50–900 mm vastagságú lemezek hegeszthetők, függőleges vagy ahhoz nagyon közeli pozícióban.

A lerakási sebesség nagy, ugyanakkor a varratfém és a hőhatásövezetbeli anyag szívóssága nem elég nagy, ami a durva szemcseszerkezetnek köszönhető. Emiatt a hegesztés után még hőkezelní kell a munkadarabot.

Lézer- és elektronsugaras hegesztés

A lézersugaras eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 52, AWS-kódja LBW (Laser Beam Welding).

A lézersugaras hegesztés olyan ömlesztő eljárás, melynek során lézersugár által szállított energia olvasztja meg a hegesztendő anyagokat, majd az olvadt fémek megszilárdulásával jön létre a munkadarabok között a megfelelő kötés. Az energiaforrás tehát elektromágneses sugárzás. A lézerberendezés monokromatikus (egyszínű, azaz jól meghatározott hullámhosszúságú), alapvetően párhuzamos sugarakból álló nyalábot állít elő, aminek igen csekély a széttartása, ezért nagy távolságokon sem csökken számottevően az intenzitása. A lézersugár kis területekre fókuszálható, ami nagy energiasűrűséget eredményez.

Lézersugaras hegesztés esetén nincs szükség hozaganyagra, a kötés a hegesztendő zóna felhevítése révén alakul ki. Nagyon jó eredménnyel alkalmazható alumínium, titán és szuperötvözetek esetében.

A fő előnyök a következők:

- ◆ Vastag munkadaraboknál is alkalmazható.
- ◆ Nagyon keskeny varratok készíthetők.
- ◆ Nagyon kicsi a hőhatásövezet kiterjedése.

Az elektronsugaras eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2016 szabványban 51, AWS-kódja EBW (Electron Beam Welding).

Ennél az eljárásnál az anyag megömlesztéséhez szükséges hő nagy energiasűrűségű elektronsugár szolgáltatja. Az elektronnaláb szóródásának elkerülése érdekében a nyaláb forrását és a mun-



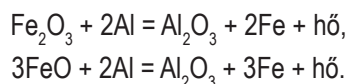
kadarabokat általában (közös) vákuumkamrába helyezik, ami növeli a költséget és – a hegesztendő munkadarab geometriájától függően – bizonyos nehézségeket jelent.

Az elektronsugaras hegesztés egyfelől előnyös, mert nagy anyagsűrűségek esetén is használható, valamint nagyon keskeny varratot és hőhatásövezetet eredményez. Másfelől hátrányos, mert drága, mert a vákuumkamra korlátozza az alkalmazhatóságát, és mert a művelet közben röntgensugárzás keletkezik, ami külön védőintézkedéseket igényel.

Termithegesztés

Az eljárás számjele az MSZ EN ISO 4063:2011 szabványban 71, AWS-kódja TW (Thermite Welding).

Ez az – egyik legrégebbi – eljárás azon alapul, hogy az alumínium tiszta vassá redukálja a vas oxidjait. Ezeket az erősen exoterm (hőfejlődéssel járó) kémiai folyamatokat a következő reakcióegyenletek írják le:



4.42. ábra. Termithegesztés – a termitpor égése és így módon összekötött sínvégek



Manapság leggyakrabban vasúti sínek és csövek kötésére, valamint hibás vagy törött öntvények javítására alkalmazzák. Az összehegesztendő élekre tűzálló tartályt illesztenek, és az abba beletöltött – vas-oxid és alumínium por keverékéből álló – termitport begyűjtik. A begyűjtés után a reakció nagyon gyors. A hőfejlődés hatására a redukált vas (termitacél) megolvad és mintegy hozaganyagként az élek közé folyik. Van olyan eset, amikor csak a képződött salak hőtartalmát használják fel a hegesztés céljára, a termitacélt nem.

Ömlesztés nélküli hegesztések

Hideghegesztés – az egyesítendő felületeket szobahőmérsékleten a folyáshatáruknál lényegesen nagyobb feszültséggel egymáshoz nyomják. AWS-kódja CW (Cold Welding).

Dörzshegesztés – az egyik hegesztendő munkadarabot rögzítik, a másikat pedig, állandó összenyomó erő alkalmazása mellett, forgatják, majd – a kellő hőmérséklet elérésekor – a forgást leállítják és a nyomóerőt jelentősen megnövelik. AWS-kódja FRW (Friction Welding).

Ütvehegesztés – töcsavarok, csapszegek egyidejű intenzív nyomással és nagy áramú ívvel való hegesztésére szolgál. Ív az előzetesen egymáshoz nyomott és árammal átjárt felületek széthúzásakor keletkezik. A kötés robbanásszerűen, ezredmásodpercek alatt jön létre, amikor a felizzott felületeket nagy sebességgel ismét összenyomják. AWS-kódja PEW (Percussion Welding).

Diffúziós hegesztés – szorosan érintkező felületek között, mérsékelt nyomással, magas hőmérsékleten (az olvadáspont 50–70%-án) hoznak létre kötéseket. AWS-kódja DFW (Diffusion Welding).

Ultraszónikus hegesztés – a hegesztett kötés a munkadarab felületén lokálisan keltett, nagyfrekvenciájú rezgés energiája révén jön létre. A művelet közben a munkadarabok érintkeznek egymással és mérsékelt, izosztikus nyomásnak vannak kitéve. AWS-kódja USW (Ultrasonic Welding).

Robbantásos hegesztés – az egyik vagy mindkét munkadarabra felvitt robbanóanyag (például lőpor) réteget felrobbantják, és a detonáció a két felületet összepréseli, mechanikailag egymáshoz köti.

Kemény- és lágyforrasztás

Kemény- vagy lágyforrasztás estén az összekötendő munkadarabok anyagától eltérő kötőanyagot – forrasztanyagot – használnak. A forrasztanyag a művelet során megolvad, az olvadáspontja alacsonyabb az alapanyagok olvadáspontjánál. A kapilláris hatás miatt a folyékony állapotú forrasztanyag beszivárog az összekötendő két munkadarab közé, ott szétterjed és kitölti a hézagot. Általában metalurgiai kötés jön létre az alapanyag és a közbeiktatott forrasztanyag között.

Attól függően nevezik kemény-, illetve lágyforrasztásnak a műveletet, hogy a forrasztanyag olvadáspontja 450°C felett vagy alatt van-e.

A szükséges hő többféleképpen lehet előállítani: lánggal, kemencében, elektromos árammal (páka), indukciós hevítéssel, stb. A forrasztanyagnak ellenállónak kell lennie a galvanikus kapcsolat vagy a diffúzió miatti korrózióval szemben.

Mechanikai kötések

A mechanikai kötések kötéselemekkel vagy azok alkalmazása nélkül valósítják meg. A kötőelem nélküli változatokat szokás alakokkal záróknak is nevezni, míg a kötőelemesek elsősorban erővel, illetve anyaggal zárnak. Az ilyen típusú kötések létesítése során az alkatrészek között vagy oldható, vagy oldhatatlan kapcsolat jön létre.



Oldható kötés esetén az alkatrészek roncsolás, károsodás nélkül szétválaszthatók. Az előbbire példa a csavaros kötés, az utóbbira a szegecselés.

Tipikus kötőelemek a csavarok, anyák, szegecsek, csapok és reteszek, melyekhez előzetesen furatokat, illetve hornyokat kell kialakítani a munkadarabokban.

Hegesztéskor előforduló, gyakoribb technológiai hibák

A különböző hegesztési eljárások során elkövetett technológiai hibák következményeként alakulhatnak ki a hegesztett kötések eltérései, folytonossági hiányai.

A szokásos technológiai hibák a következők:

- ◆ hibásan megválasztott áramerősség és/vagy feszültség,
- ◆ nagyon kicsi vagy nagyon nagy sebességek,
- ◆ nem megfelelő távolságok az elektród és a munkadarab között (rövid vagy hosszú ív)
- ◆ túlságosan gyors lehűlés,
- ◆ nem megfelelő tisztaság a varratsorok között,
- ◆ nem megfelelő típusú elektródák,
- ◆ hibás vagy rosszul konzervált elektródák,
- ◆ védőgázzal kapcsolatos hiányosságok,
- ◆ nem megfelelő kötés-előkészítés,
- ◆ nem kellően tiszta felületek,
- ◆ nem megfelelő környezeti feltételek.

Ömlesztő hegesztés során keletkező eltérések

Az ömlesztő hegesztés során keletkező eltérések – melyekbe definíció szerint beletartoznak a folytonossági hiányok is – osztályozásához és precíz leírásához az MSZ EN ISO 6520-1 szabvány szolgál alapul. A tévedések elkerülése érdekében az eltéréseket magyarázatok vagy, ha szükséges, képek segítségével definiálja.

Eltérés: folytonossági hiány a varratban vagy különbség a tervezett geometriához képest

Hiba: nem megengedett (mértékű, típusú) eltérés

A szabvány az eltéréseket hat fő csoportba sorolja be:

- ◆ repedések,
- ◆ üregek,
- ◆ szilárd zárványok,
- ◆ összeolvadási hiány és hiányos átolvadás,
- ◆ alak- és méret eltérések,
- ◆ egyéb eltérések.

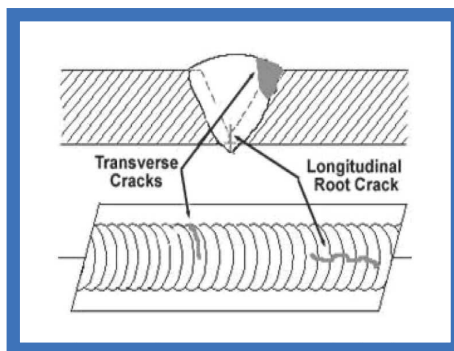


Repedések

Repedések – illetve az azokat kiváltó feszültségek – elsősorban az alábbi okok miatt jelennek meg:

- ◆ túl nagy áramintenzitás,
- ◆ gyors lehűtés,
- ◆ túlzott mértékű megfogás,
- ◆ helytelen hegesztési sorrend,
- ◆ nem elegendő mértékű előmelegítés,
- ◆ varratok találkozása (csomópontok).

4.43. ábra. Példa varratbeli repedésekre: keresztirányú a varratdudorban (balra) és hosszirányú a gyökben (jobbra)



Előforduló repedéstípusok:

- ◆ Melegrepedés.
- ◆ Hidegrepedés.
- ◆ Réteges tépődés (elsősorban sarokvarratoknál fordul elő).
- ◆ Hőkezelés okozta repedés.

Üregek

Minden üreg a megolvadt fém belsejében kialakuló anyagihiányra vezethető vissza. A hiányzó olvadék helyét gázok foglalják el.

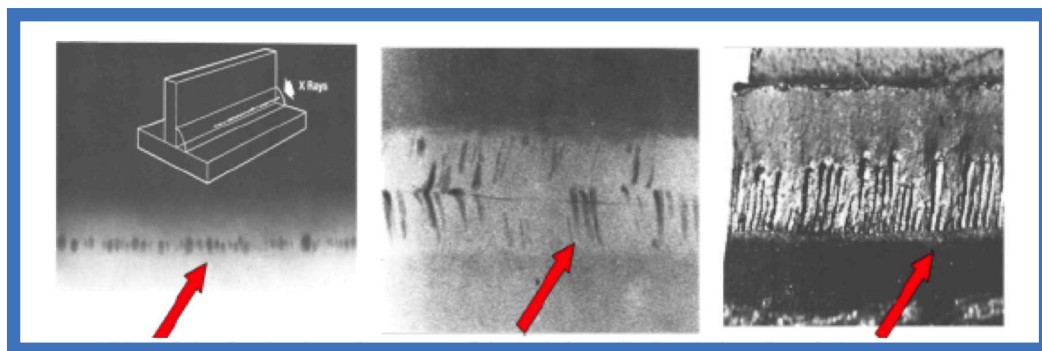
Az üregek megjelenésének fő okai a következők:

- ◆ nem tiszta kötési élek,
- ◆ festék vagy zsír jelenléte,
- ◆ nedves elektróda-bevonat vagy bevonat nélküli vég.

A különböző üregtípusok alakjuktól, helyüktől, csoportos voltuktól és a kiváltó októl függően osztályozhatók:

- ◆ Gázzárványok, gázpórusok.
- ◆ Tömlő alakú gázzárványok.
- ◆ Egyenletes gázporozitás.
- ◆ Kezdeti pórusok.
- ◆ Felületi porozitás.
- ◆ Mikroporozitás.
- ◆ Zsugorodási üregek.

4.44. ábra. Tömlő alakú gázzárványok röntgenfelvételeken (balra és középen) és egy varrat metszetének mikroszkópos képén (jobbra)

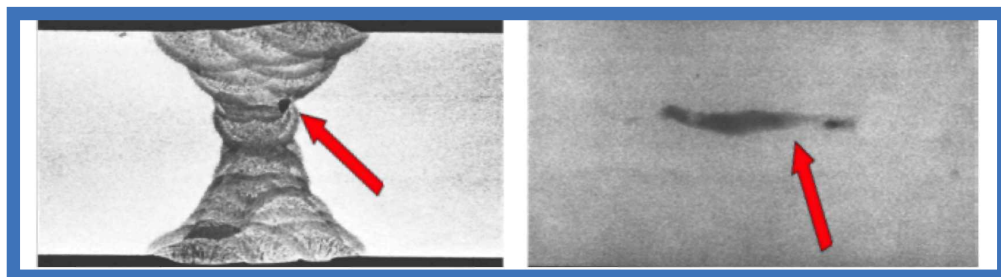


SZILÁRD ZÁRVÁNYOK

Salakzárványok, folyósítószer zárványok

A varratokban akkor keletkeznek zárványok, ha a megolvadt fémben végbemenő reakciók következményeként az elektróda-bevonatból vagy a hegesztéskor képződő salakból szilárd részecskék – általában oxidok és szilikátok – maradnak benn a varratban.

4.45 ábra. Különálló zárvány makrofelvele (balra) és soros zárványok radográfiai felvétele (jobbra)



Fémes zárványok

A TIG (gyakran AWI-ként emlegetett) hegesztési eljárással – azaz semleges (argon) védőgáz atmoszférában, nem fogyó volfrám elektródával – készített varratok igen tiszták, salakmentesek, de előfordulhat, hogy zárványokként volfrám részecskék kerülhetnek a varratba.

ÖSSZEOLVADÁSI HIÁNY ÉS HIÁNYOS ÁTOLVADÁS

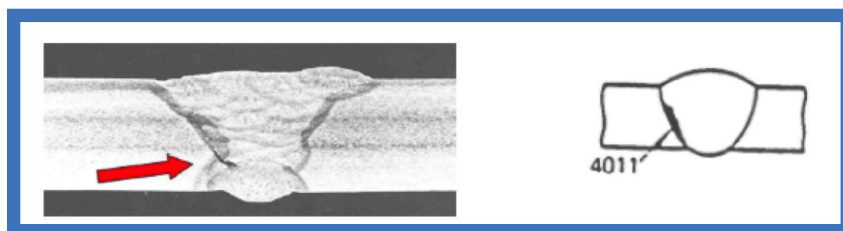
Összeolvadási hiány

Összeolvadási hiány alatt a lerakott heganyag és az alapanyag vagy a varrat két, egymást követő rétege között hiányzó kötést értik. Létrejön egyfajta tapadás, de az összeolvadás nem teljes, tehát valódi kötés nem alakul ki.

Az összeolvadási hiány főbb okai az alábbiak:

- ◆ hibás hegesztési technika.
- ◆ túl hosszú ív.
- ◆ kis áramintenzitás.
- ◆ túlzott mértékű hegesztési sebesség.
- ◆ rossz elektróda-pozíció.
- ◆ nem megfelelő élelőkészítés (összeolvadási hiány az élnél).
- ◆ szennyeződés a varratéleknél.

4.46. ábra. Alapanyag és heganyag közötti hiányos összeolvadás – makrofelvétel és az MSZ EN ISO 6520-1 szabványbeli vázlat.



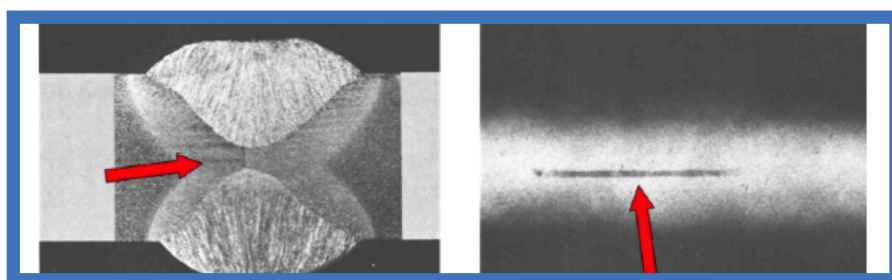
Hiányos gyökátolvadás

Hiányos gyökátolvadás akkor jön létre, amikor a varratgyökben nem olvad meg teljesen az alapanyag és hiányzik belőle a heganyag. Ez nagyon veszélyes varrathiba, mivel nagy helyi feszültségeket és kis kifáradási szilárdságot eredményező árokként funkcionál, ráadásul lokális korróziós folyamatok elindulására is alkalmas hely.

A hiányos gyökátolvadásnak okai lehetnek:

- ◆ túl hegyes leélezési szög,
- ◆ elégtelen hőbevitel kis áramerősség miatt,
- ◆ túlságosan hosszú ív,
- ◆ túl nagy élmagasság,
- ◆ túl kicsi éltávolság.

4.47. ábra. Hiányos gyökátolvadást mutató makro- és radiográfiai felvétel



ALAK- ÉS MÉRETELTERÉSEK

Szélkiolvadás

Helytelen hegesztés okozta, egyenetlen, hosszanti árok az alapanyagban, a fedővarratsor szélénél, vagy az előzetesen lerakott heganyagban. Dinamikus terhelések esetén veszélyes folytonossági hiány, mert az árok feszültséggyűjtő hely lesz a varrat szélén.

A megjelenéséhez kedveznek az alábbi feltételek:

- ◆ túlzott mértékű áramintenzitás,
- ◆ nagy hegesztési sebesség,
- ◆ az elektróda rossz pozícionálása.

Éleltolódás, szögeltérés

Ezek a geometriai eltérések arra vezethetők vissza, hogy rosszul állítják össze a munkadarabokat a hegesztéshez, illetve elmozdulnak vagy deformálódnak azok a hegesztés során. A nem megfelelő összeállítás azt jelenti, hogy a lemezeket vagy csöveket nem azonos síkban fektetik fel és illesztik egymáshoz, illetve nem megfelelően rögzítik azokat. Az ebből adódó eltérést párhuzamos éleltolódásnak nevezik. Ha a gyártás során deformációk lépnek fel, akkor a kötés szöge fog eltérni a tervezettől, ezt szögeltérésnek nevezik.



4.48. ábra. Párhuzamos éleltolódás és összeolvadási hiány a varratgyökben egy hegesztett kötés metszeti képén



Túlzott méretű varratdudor

Ez az eltérés túl nagy merevséget ad a kötésnek és így feszültséggyűjtő hatású az üzemelés során jelentkező dinamikus igénybevételek esetén.

Az eltérés kialakulásának oka lehet:

- ◆ a nem megfelelő élelőkészítés,
- ◆ a nagy áramintenzitás és a kis hegesztési sebesség,
- ◆ a túlzott elektródaméret.

Túlzott sarokvarrat domborúság

Túl nagy mennyiségű heganyag van a sarokvarrat fedőrétegében.

Ráfolyás

Ráfolyásról akkor beszélünk, ha a heganyag a kötési élen túl ráfolyik az alapanyag felületére. Mivel az alapanyag itt nem olvad meg, összeolvadás sincs. Ezért a ráfolyás (amit gyakran hideg ráfolyásnak neveznek) kritikus feszültséggyűjtő zóna lehet üzemelés közben fellépő terhelések esetén. Keletkezhet mind a fedőrétegben, mind a gyökoldalon.

Ráfolyásokat eredményez:

- ◆ a nem megfelelő hegesztési technika,
- ◆ a kis hőbevitel (kis áram intenzitás vagy feszültség),
- ◆ vastag fedőrétegek felrakása sarokvarratoknál, nehéz hegesztési pozícióban.

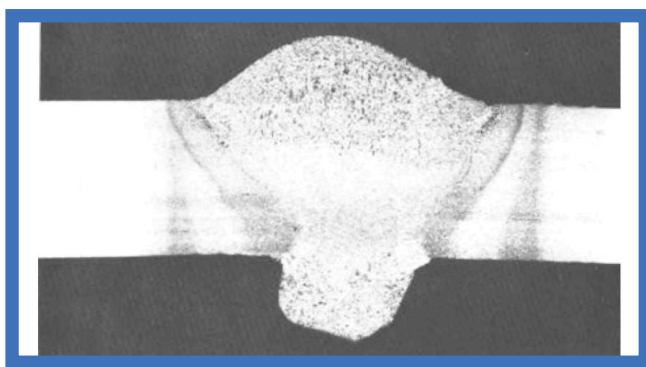
Túlzott gyökátfolyás

Lényegében arról van szó, hogy túl sok hozaganyagot rak le a hegesztő a varratgyökben (is), ami túlzott mértékű átolvadással és a gyökoldalon kifolyó és ott megdermedő heganyaggal jár együtt. Egyoldalról végzett hegesztéseknél előforduló eltérés.

A túlzott gyökátfolyás főbb okai az alábbiak:

- ◆ túlzott mértékű éltávolság,
- ◆ nagy áramintenzitás,
- ◆ csökkentett hegesztési sebesség és rövid ív.

4.49. ábra. Túlzott gyökátfolyás metszeti képe

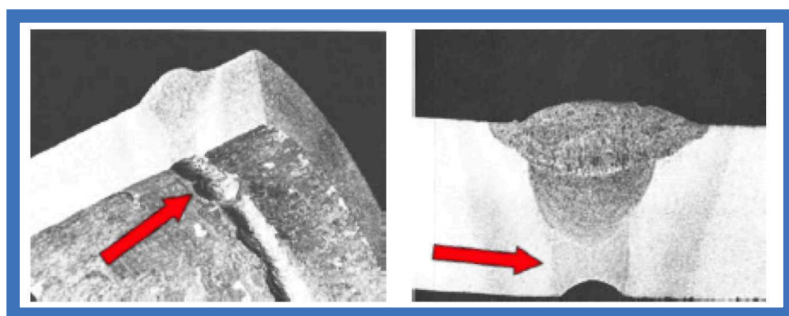


Gyökoldali beszívódás

Ilyen jellegű eltérés a heganyag zsugorodásakor jön létre, ha:

- ◆ nem megfelelő az élőkészítés,
- ◆ kevés a hozaganyag,
- ◆ nem elegendő a bevitt hő,
- ◆ alkalmatlan a hegesztési technika,
- ◆ a gyökoldali gáz nyomása túl nagy.

4.50. ábra. Beszívódott, homorú varratgyökről készült felvételek



További alak- és méreteltérések

- ◆ Sarokvarrat aszimmetria.
- ◆ Ömledék-megfolyás.
- ◆ Átlyukadás.
- ◆ Újrakezdési hiba.

EGYÉB ELTÉRÉSEK

Ez a pont az MSZ EN ISO 6520-1 jelű szabvány szerinti 1. – 5. csoportba nem tartozó – a szabványban a 6. csoportba besorolt – eltéréseket ismerteti, a teljesség igénye nélkül. Az itt nem tárgyalt egyéb eltérések a szabványban olvashatók.

Ívgyújtási nyom

Az alapanyag felszínén, beégés miatt létrejövő elváltozás, amit az ívgyújtás vagy hegesztés közben a varrat szélén kívülre kerülő ív okoz. Az égési nyomokból olyan folytonossági hiányok fejlődnek ki, melyek dinamikus terhelések hatására növekedni fognak.

Fröcskölések

Fémcseppek, melyek a hegesztés során – olvadt állapotban – az ömledékből kifröccsentek vagy a hozaganyagból lecseppentek, és az alapanyaghoz vagy a már megdermedt varrathoz tapadtak és azon megszilárdultak.

Megjelenésük visszavezethető:

- ◆ a túlzott mértékű hegesztő áramra,
- ◆ a szennyezett fogyóelektródára, ami robbanásokat kelt az ívben,
- ◆ a helytelenül megválasztott védőgázra.

Volfrám-fröcskölések

Volfrám elektródából leváló, az alapanyag felületére vagy a megdermedt heganyagra rátapadó fémrészecskék.

Letörési nyom

A hegfürdő megtámasztásához használt alátét(lemez) letörésekor keletkező sérülés.

Köszörülési, vésési nyom

Köszörűvel, vésővel vagy más szerszámmal okozott helyi sérülés.

Aláköszörülés

Túlzott mértékű köszörüléssel előidézett anyagvastagság csökkenés.



Rézszenyeződés

Az elektromos paraméterek helytelen megválasztása miatt MIG/MAG-eljárásnál (fogyóelektródás védőgázos ívhegesztésnél) a réz érintkezőcső megolvadhat, és ez által réz juthat a heganyagba.

SAW-eljárásnál keletkező felületi eltérések

SAW-eljárás, azaz fedett ívű hegesztés, során megjelenő felszíni nyomok, melyek a rosszul megszáritott vagy kevés dezoxidálószeret tartalmazó folyósítószernek köszönhetők.

4.3 ÜZEMELŐ BERENDEZÉSEK KÁROSODÁSAI (KORRÓZIÓS FOLYAMATOK, MECHANIKAI ÉS TERMIKUS EREDETŰ KÁROSODÁSOK)

Üzemelés és annak során kialakuló folytonossági hiányok

Miután egy terméket különböző gyártási eljárásokkal elkészítettek, és elvégezték rajta a befejező felületi műveleteket és hőkezelést is, a termék előbb-utóbb valamilyen szerkezet, berendezés alkatrészévé válik, és annak működése, üzemelése közben különböző igénybevételek – mechanikai feszültségek, környezeti hatások (tengervíz, atmoszféra, stb.) – érik. Ha bármelyik igénybevétel túlzott mértékű, meghaladja a tervezettet – aminek oka lehet a szerkezeti elemre jutó terhelés nem megfelelő eloszlása, anyagának gyengesége, többletmechanikai feszültség, folytonossági hiány véletlen vagy nem véletlen megjelenése, korrozív közeg jelenléte – akkor a szerkezeti elemben (további) folytonossági hiányok keletkeznek.

Az üzemelő alkatrészek, szerkezeti elemek épsége, stabilitása szempontjából nemcsak az igénybevétel pillanatnyi vagy átlagos mértéke, hanem az időtartama is számít. Ezt feltétlenül figyelembe kell venni akkor, ha a működési körülmények például kúszást, fáradást vagy korrozíót tesznek lehetővé. Természetesen nagyon fontos tényező a hőmérséklet is, ami befolyásolja az anyagok mechanikai tulajdonságait és egyes károsodási folyamatok előre haladásának sebességét.

Az üzemelés közben létrejövő folytonossági hiányok – röviden összefoglalva – az alábbiakra vezethetők vissza:

- ◆ a szerkezetet és annak elemeit, anyagait illető tervezési eltérések,
- ◆ a beépített anyagok, alkatrészek hibái,
- ◆ a gyártási folyamat hiányosságai,
- ◆ szerelési, összeállítási hibák,
- ◆ mechanikai sérülések,
- ◆ nem megfelelő üzemeltetési feltételek,
- ◆ az igénybevételek (figyelman kívül hagyott) lokális halmozódása,
- ◆ a rendszeres ellenőrzés, karbantartás elmulasztása.

A folytonossági hiányok mindenképpen lerontják az elem szilárdságát és sok esetben a berendezés üzemi hatásfokát is. A különféle eredetű repedések, üregek és egyéb anyaghiányok számának,



sűrűségének és méreteinek növekedése pedig az elem tönkremenetelét és a szerkezet integritásának megszűnését vonja maga után, végső soron akár katasztrófához is vezethet. Az ezekből adódó gazdasági, környezeti és közvetlen egészségügyi kárt, illetve annak veszélyét mindenképpen hangsúlyozni kell.

Ma már egyfelől a megalapozott elméleti háttér (fizika, kémia, törésmechanika), másfelől a számítástechnikai kapacitások lehetővé teszik, hogy szakemberek modellezzék a károsodási folyamatokat: meghatározzák azok sebességét, megbecsülik a berendezés várható, hasznos élettartamát és kiszámítsák a folytonossági hiányok kritikus – az adott berendezés további működtetéséhez még elfogadható – méreteit. Ez segítheti az üzemeltetőket abban, hogy a lehető leggazdaságosabb döntéseket hozzák meg (karbantartási stratégia, a berendezés felújítása, cseréje, stb.). A döntésekhez természetesen szükség van roncsolásmentes vizsgálati eredményekre is. Az egyre megbízhatóbb számítások tehát közvetve azt az igényt támasztják az anyagvizsgálati technológiákkal és magukkal az anyagvizsgálókkal szemben, hogy egyre megbízhatóbb eredményeket szolgáltatassanak a detektált folytonossági hiányok méreteiről.

KORRÓZIÓS FOLYAMATOK

Bevezető

A korrózió a fémek által elszenvedett olyan kémiai- vagy elektrokémiai hatás, amelyet a környező közeg (atmoszféra, tengervíz, talaj, stb.) fejt ki a fémtestre, és amely rendszerint a fém sérüléséhez, károsodásához – elvékonyodásához, kilyukadásához, stb. – vezet. A közeg fajtájától függően gáz-, folyadék- vagy talajkorrózióról szoktak beszélni.

A korrózió legismertebb példája az acéltermékek, -alkatrészek rozsdásodása, ami kezdetben csak a felületi réteget érinti, de végül képes teljesen tönkretenni a szerkezeteket (például karosszériákat, tengeri sétány korlátokat, vízmelegítőket). (Ráadásul a rozsdaképződés térfogat-növekedéssel jár, ami számottevő mechanikai feszültséget kelthet és jelentős többletkárt okozhat bizonyos szerkezetekben, lásd vasalt betonelemek megrepedése, törése.)

A fémek termodinamikailag stabil vegyületeket – tipikusan oxidokat, szulfidokat és hasonlókat – „igyekeznek” létrehozni. Ezért például – a nemesfémek kivételével – reakcióba lépnek a levegő oxigénjével. (Megjegyzés: A termodinamikailag stabil állapot – ami egyébként minden kémiai elem, így a korróziós folyamatokban gyakran főszerepet játszó oxigén, kén és halogén elemek számára is kedvező – több körülménytől, például hőmérséklet, nyomás, a kémiai reakcióban részt vevő elemek fajtái, elektromos feszültség jelenléte, függ.)

Kémiai és elektrokémiai korrózió

A károsodási folyamat mechanizmusa szerint két típust szoktak egymástól megkülönböztetni: kémiai és elektrokémiai korróziót.



A kémiai korrózió lényege az, hogy a fém és a korrozív közeg között – a fémfelületen keresztül – nincs elektromos töltésátmenet (elektronáram). A fématomok persze ekkor is adnak át elektron(oka)t a közeg atomjainak, de ez mindig 1–2 atomátmérőnyi térrészben történik meg. Kémiai korrózió például fémek oldódása savban vagy oxidálódása levegőben, nedvesség kizárása mellett (száraz oxidáció). Az utóbbi változatnál a korróziós sebesség általában csak magas hőmérsékleten jelentős, ezért közönséges hőmérsékleten a levegőn történő oxidációval szemben már a nedvesség eltávolítása is hatásos védekezés.

Az elektrokémiai korrózióhoz egyidejűleg három tényező megléte szükséges: anódként, illetve katódként viselkedő fém, valamint elektrolit. Két, fontos mellékfeltételnek is teljesülnie kell: az anód és a katód között legyen – az elektronok áramlását biztosító – fémes kapcsolat, továbbá az elektrolitnak legyen olyan alkotóeleme, amely felveszi a katódból kilépő elektronokat. Anód és katód lehet ugyanazon fémtest két, eltérő minőségű (ötvözetű, hőmérsékletű, stb.) tartománya. Az elektrolit általában sók, savak vagy lúgok vizes oldata.

Az elektrokémiai korróziót szokták galvanikus korrózióként is emlegetni, mivel a két, különböző minőségű fém és az elektrolit voltaképpen egy galvánelemet alkot, melyben a kisebb normálpotenciálú – azaz az aktívabb – fém anódként működik és korrodálódik, míg a nemesebb fém katódként viselkedik és változatlan marad. Acél és réz alkotta cella esetében, például, az acél az aktívabb – a korrodálódó – fém, a réz pedig a nemesebb – a változatlanul maradó.

A 4.51. ábrán az elektrokémiai korrózió következménye látható, különböző normálpotenciálú fémek érintkezése esetén. A – Cr- és Ni-tartalmának köszönhetően – nemesebb, korrózióálló acélalkatrészek épen maradtak, míg a szénacél elemek korrodálódtak. (Megjegyzés: Ilyen fémpárosításnál számolni kell azzal, hogy idővel a korrózióálló acél is károsodik.)

4.51. ábra. Rozsdásodó szénacél anyák és alátétek korrózióálló acélfülön



Egyenletes és helyi korrózió

A károsodás felületi eloszlása alapján is csoportosíthatók a korróziós folyamatok. Az egyenletes vagy általános korrózió a fém teljes felületére kiterjed, míg a helyi vagy lokális folyamat csak kicsiny, olykor mikroszkópikus méretű területeket érint.

Az egyenletes korrózió egy fémtest egészének fokozatos feloldódása, tönkremenetele, amit vala-

milyen agresszív közeg idéz elő. Még mikroszkopikus léptékben sincsenek kitüntetett támadási pontok a felületen. Példaként említhető egy cinkdarab savas közegben lejátszódó korróziója, melynek során a teljes felület nagyon hasonló módon károsodik.

Ez a legkedvezőbb korróziótípus, mivel a korrózió egyenletes, és az idő múlásával növekvő anyagvesztés (vastagságcsökkenés) mértéke kiszámítható, a korrodálódó szerkezeti elem hasznos élettartama megbecsülhető. Továbbá, ki lehet számítani azt, hogy milyen mértékben kell túlméretezni a komponenst ahhoz, hogy egy bizonyos, korlátozott ideig üzemben tudjon maradni.

A helyi korróziós folyamatok főbb típusai:

- ◆ Atmoszférikus réskorrózió.
- ◆ Lyukkorrózió.
- ◆ Kristályközi korrózió.
- ◆ Szelektív korrózió (nagyon eltérő normálpotenciálú ötvözők).

Mechanikai hatásokkal együtt járó korróziós folyamatok

A különféle berendezéseket, szerkezeteket üzemelésük közben nem ritkán nemcsak valamilyen agresszív közeg támadja, de egyidejűleg mechanikai igénybevétel is éri. A tartós mechanikai hatás – például fárasztás, koptatás – sokszor önmagában is tönkreteszi a szerkezeti elemeket, a korrózió pedig rendszerint felgyorsítja ezt a folyamatot. Hangsúlyozni kell, hogy bizonyos esetekben éppen a mechanikai hatás következtében indul be a korrózió, mert megreped vagy erodálódik a fémen lévő védőréteg. (De önmagában a repedések keletkezése vagy a kopás nem tekintendő korróziónak.)

Mivel a mechanikai igénybevétel nem egyenletes az érintett elem egészén, a hozzá kapcsolódó korróziós jelenség is helyi jellegű, bár nagyobb felületekre is kiterjedhet, mint például kavitációnál.

Főbb típusok:

- ◆ Feszültségkorrózió.
- ◆ Korróziós kifáradás.
- ◆ Eróziós korrózió.
- ◆ Súrlódási korrózió.
- ◆ Kavitációs korrózió.
- ◆ Hidrogén –ridegedés.

Korrózióvédelem

A korrózió elleni védekezés érdekében mindenekelőtt néhány, alapvető tervezési szempontot – féanyag, közeg anyaga és konstrukció – kell átgondolni. Ha ezek alapján mégsem lehet kedvező korróziós tulajdonságokkal rendelkező rendszert építeni, akkor gondoskodni kell valamilyen aktív (elektrokémiai) vagy passzív (bevonattal biztosított) védelemről.



- ◆ Megfelelő fémes anyagok alkalmazása.
- ◆ Berendezések konstrukciójának módosítása.
- ◆ Az agresszív közeg módosítása.
- ◆ Anódos és katódos védelem.
- ◆ Konverziós kezelések (foszfátózás, kromátózás, anódos oxidáció).
- ◆ Fémes bevonatok.
- ◆ Festékek.

MECHANIKAI ÉS TERMIKUS EREDETŰ KÁROSODÁSOK

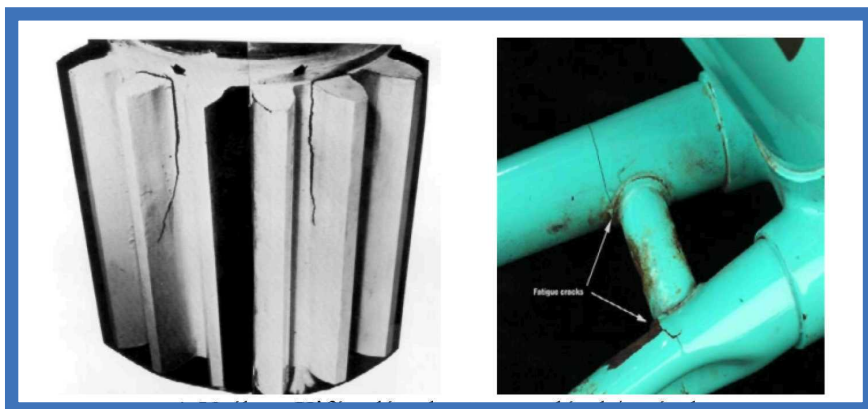
Fáradásos repedések

A kifáradás okozta, rendszerint felületről kiinduló repedések a munkadarab egyes geometriai jellemzőivel, valamint a felületének állapotával kapcsolatosak:

- ◆ keresztmetszet-váltások vagy szinguláris pontok (furatok),
- ◆ peremek, élek, csúcsok rádiusza,
- ◆ felületi érdesség-csúcsok,
- ◆ kötőelemek (hüvelyek) helyzete,
- ◆ gyártási hibák,
- ◆ egyéb, üzemelés közbeni károsodások.

Fáradásos repedések folyáshatár alatti, időben változó/változó terhelések (például rezgésből származó feszültségek) következtében keletkeznek különböző alkatrészekben. Elsősorban feszültséggyűjtő helyeken jelennek meg, például keresztmetszet-átmeneteknél vagy ahol a szomszédos elem éle bizonyos mértékű feszítő hatást fejt ki. A fáradt törések csírai mindig a felületen vannak, ezért a felület durvasága, a felszíni zárványok és repedések számottevően csökkentik a kifáradási határt.

4.52 ábra. Kifáradás okozta repedések/törések



A kífáradáshoz vezető, ciklikus deformációk lehetnek hajlítások, csavarások, húzások és összenyomások, az adott szerkezet és elem működési mechanizmusától vagy az igénybevételt jelentő környezettől függően.

Törések magas hőmérsékleten

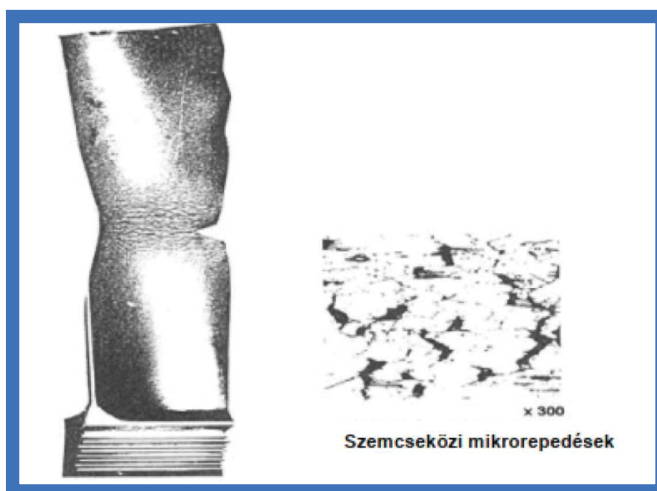
Előfordulhat az, hogy a hőmérséklet változásakor az alkatrész nem tud szabadon tágulni vagy zsugorodni, és ezért jelentős belső feszültség keletkezik, ami termikus kífáradás nélkül is töréshez vagy képlékeny deformációval (például kihajlással) járó károsodáshoz vezet.

Ha egy szerkezeti elemet – nem tervezett – intenzív hőhatás ér (például tüzeset miatt), és hőmérséklete hirtelen, nagymértékben változik meg, akkor is kialakulhatnak nagy belső feszültségek, mert az anyag nem képes kellő sebességgel deformálódni. Ennek nyomán gyorsan terjedő repedések jelenhetnek meg, és az elem eltörhet. Ezt a jelenséget hősokknak nevezik.

Kúszás és kúszási repedések

A kúszás folyamatos, képlékeny alakváltozás, ami akkor jön létre, ha az anyagot magas hőmérsékleten – az olvadáspontjának felénél valamivel nagyobb hőmérsékleten – tartósan, a folyási határánál kisebb húzófeszültséggel terhelik. A folyamatos deformáció, a terhelés mértékétől függően, előbb vagy utóbb töréssel (szakadással) végződik.

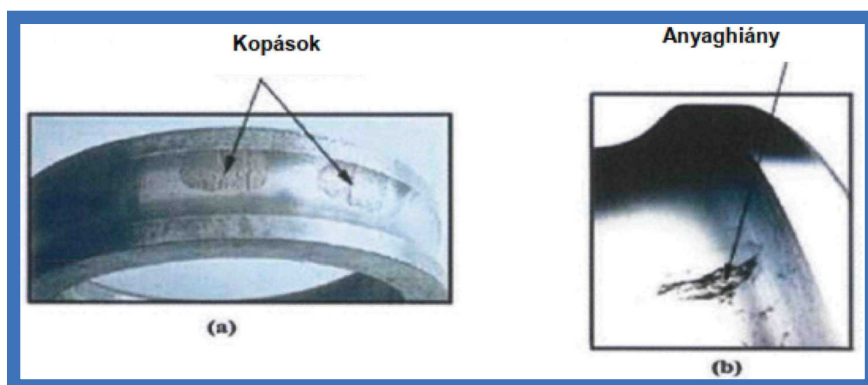
4.53. ábra. Kúszás – makroszkópikus és mikroszkópikus megjelenés



Kopások

A berendezések, gépek és szerszámok mozgó vagy mozgó közeggel érintkező alkatrészeinek hasznos élettartama – a legtöbb esetben – egyrészt felületük állapotától, másrészt pedig az igénybevételek hatására elszenvedett sérülésektől függ. Az egymással érintkező anyagok relatív elmozdulásai során keletkező, elsősorban a köztük fellépő súrlódásra visszavezethető sérülések mindig felületi anyagvesztések (anyagfogyások, vastagságcsökkenések). A folyamatot, illetve magát az anyagvesztést kopásnak nevezik. (Megjegyzés: A súrlódással, kopással és kenéssel foglalkozó tudományterület a *tribológia*. A súrlódás következményeit tribológiai hatásként is emlegetik.)

4.54. ábra. Kopásnyomok csapágygyűrűkön, a görgők nyomvonalában

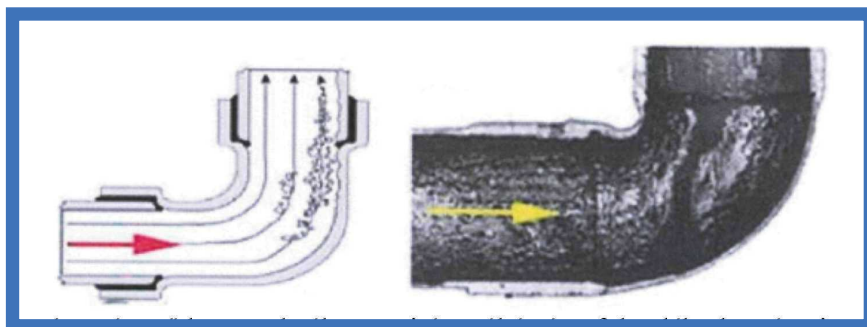


Erózió

Erózió alatt azt folyamatot értik, melynek során egy – fémes vagy nem fémes – felületről mikroszkópikus méretű szemcsék válnak le a felületen súrlódó, illetve a felületre becsapódó folyadék-részecskék miatt. A kopás mértéke függ attól, hogy a részecskék milyen szögben érkeznek az adott felülethez. Nagymértékben függ attól is, hogy az áramló folyadék szilárd részecskéket is visz-e magával.

Ilyen kopás fémszerkezeteken és fémszerelvényeken várható. Jellemző területek például a centrifugál szivattyúk, a gőzvezetékek, a csonkok és fúvókák, stb. A jelenség a károsodás bizonyos részleteiből ismerhető fel, például éles él lekerekedik (propeller kopása). Az eróziós kopás megváltoztathatja lapátkerekek, turbinalapátok és terelőlapok alakját és így módon jelentős mértékben csökkentheti az üzemi hatásfokot.

4.55. ábra. Egy sárgaréz cső kanyarulatában, az irányváltás és a folyadéksebességmiatt fellépő erózió



Kavitáció

A kavitáció nem más, mint gőzbuborékok keletkezése folyadékban. Ennek az a fizikai feltétele, hogy a folyadékban uralkodó nyomás lokálisan a folyadék gőznyomása alá csökkenjen. A buborékképződést mindenféle inhomogenitás – a folyadékban lebegő, apró részecskék, a folyadékot határoló edény falának egyenetlenségei és a már kivált buborékok – elősegíti. Ezeket kavitációs magoknak nevezik.

A buborékokat az áramló folyadék tovább sodorja, és ha olyan helyre érnek, ahol a folyadékban a nyomás meghaladja a gőznyomást, akkor a gőzbuborékok robbanásszerűen összeomlanak. A buborékok megszűnése lökéshullámokat indít el, ami akár több tízezer bar nyomásingadozást eredményezhet a folyadékot határoló – többnyire fém – felületeken. Akár 500 m/s sebességű lökéshullám is keletkezhet, ami a fém felületét károsíthatja, létrehozva olyan mikroüregeket, amelyeknél újabb buborék-összeomlásokra kerülhet sor. A felületi üregképződés folyamata tehát folyamatosan gyorsul.

4.56. ábra. Kavitációs sérülések egy pillangószelepen (balra) és egy tolózárón (jobbra)



A kavitáció elleni védekezést azzal kell kezdeni, hogy áramlástani szempontból megfelelő konstrukciót kell tervezni, kiiktatva például a szűkületeket, ahol a folyadék felgyorsul, miközben nyomása csökken. Ha a kavitáció elkerülhetetlen, akkor a felületekre gyakorolt hatást kell csökkenteni úgy, hogy a fémet speciális, nagy szilárdságú anyaggal borítjuk be. A kavitáció által okozott sérüléseket pedig jelentős mértékben csökkenti az, ha kis mennyiségű levegőt adunk a vízhez.

Hidrogén-repedések

Korróziós folyamatok során hidrogénionok (protonok) jelenhetnek meg a fémfelületen, melyek leg többje H_2 hidrogén molekulát alkot. Ugyanakkor, a termodinamikai egyensúly részét képezi az, hogy egy kis hányaduk hidrogénatomként marad fenn, és ezek a nagyon kisméretű atomok – a meglévő koncentráció különbség miatt – bediffundálhatnak a fém kristályrácsába a rácsközi helyeken át (intersticiós diffúzió). A diffundáló hidrogénatomok nem illeszkednek a rácsközi helyekhez és így deformációt okoznak a szerkezetben, melynek következtében növekszik a belső energia. Az adott fém viszont mindent „elkövet”, hogy csökkentse a belső energiáját. (Olyan spontán folyamatok zajlanak le, melyek eredményeként a fém kisebb energiájú állapotba kerül.) Ennek módja ez esetben az, hogy a hidrogénatomok a fémrács üregeiben gyűlnek össze. Lesz tehát egy üregek felé irányuló diffúzió, és az üregek mintegy megkötik a hidrogénatomokat.

Az üregekben felhalmozódó hidrogénatomok molekulákká egyesülnek, aminek révén nagyon nagy (több ezer bar) nyomás jön létre a rácsban. Ez a lokális nyomás sokkal nagyobb, mint az anyag folyáshatára, ezért képlékeny deformációt okoz. Ha ez a – molekuláris hidrogénhez vezető – folyamat lágyabb acél felületének közelében játszódik le, akkor később felrepedő buborékot (hólyagot) és így felszínre kerülő repedést eredményez, ha viszont a fém belsejében játszódik le, akkor mikrorepedések jelennek meg az üregek mellett, amelyek külső feszültség hatására megnőnek, és végül anyagtörést okoznak.

A hidrogénnek tulajdonítható ridegedés, illetve repedések keletkezése megfigyelhető nagyszilárd-ságú ferrites és martenzites acélokon (sok hidrogén esetén), titánon, cirkóniumon és ötvözeteiken, valamint galvanikus krómrétegeken. Fontos megemlíteni, hogy hegesztéskor a hegesztőanyag és a környezet nedvességtartalma, valamint az alapanyag szennyezettsége miatt kerülhet hidrogén az ömledékbe, ahonnan tovább diffundál a hőhatásövezetbe. Tehát varratok környékén korróziós folyamat híján is megjelenhetnek a gyártás során hidrogénrepedések, melyek aztán üzemelés közben tovább terjednek.

A hidrogénrepedések az anyagfelületen már előzetesen meglévő folytonossági hiányokból indulnak ki, de ha nincsenek ilyen hiányok, akkor a hidrogén – mivel át tud diffundálni a fémeken – belső repedéseket hoz létre.

Öregedés

Öregedés alatt az anyagokban hosszabb idő alatt lezajló, kedvezőtlen szerkezeti változásokat értik. E folyamatot belső és külső tényezők egyaránt előidézhetik. Belső tényező például a belső feszültségek fokozatos csökkenése (relaxáció), az instabil kémiai összetétel vagy szövetszerkezet. Külső tényező lehet például hőmérsékletváltozás, ultraibolya sugárzás és nagyenergiájú ionizáló sugárzás.

A szerkezetváltozás bizonyos ötvözetek esetében előnyös is lehet, mert javulhatnak a mechanikai tulajdonságok. Így van ez például a – bennük lévő kiválások módosulása révén – természetesen öregedő alumíniumötvözeteknél, ha hetekig vagy hónapokig hevertetik azokat szobahőmérsékleten, vagy a gyorsan lehűlt lágyacéloknál, melyek keménysége nő meg hevertetés közben (edzési öregedés). Természetesen ezeket a kedvező lehetőségeket az alapanyagok és a termékek gyártása során használják ki, nincs közülük az üzemelő berendezésekben végbemenő, káros folyamatokhoz.



4.4 KOMPOZITOK

Szénszálas kompozit anyagok

Kompozitok jellemzői, szerkezetei

A hőre nem lágyuló műanyag kompozitok legelterjedtebben alkalmazott gyártástechnológiái az alábbiak:

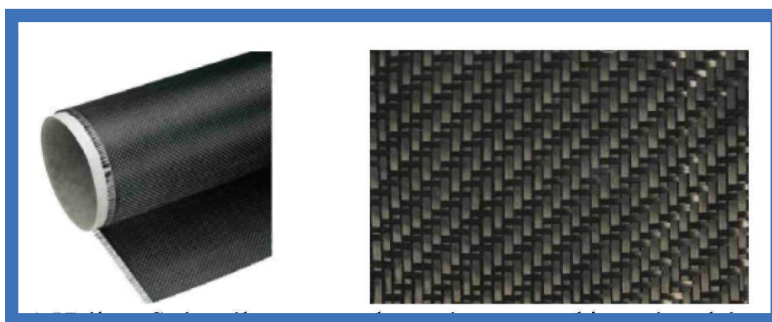
- ◆ kézi laminálás,
- ◆ szálszórás,
- ◆ vákuum-injektálás,
- ◆ pultrúzió (szálfeszítés mellett térhálósodik a gyanta),
- ◆ sajtolásos BMC és SMC technológia.

(Megjegyzés: A két, angol elnevezésből származó rövidítés tömörszerű, illetve lemez formájú kompozit előgyártmányra utal.)

A szénszálas anyagok főbb jellemzői a következők:

1. nagy mechanikai szilárdság, nagy rugalmassági modulusz,
2. kis sűrűség, más anyagokhoz – például az acélhoz – viszonyítva,
3. vegyi anyagokkal szembeni ellenálló képesség,
4. jó hőszigetelő képesség,
5. alaktartó képesség növelt hőmérsékleten is, ha a beágyazó anyag hőálló,
6. jó tűzállóság.

4.57. ábra. Szénszálas szövettekercs és a szövet kinagyított képe



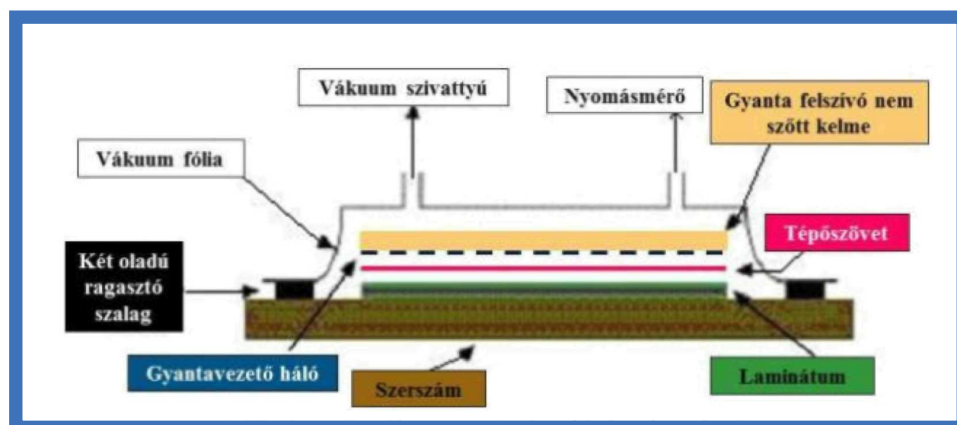
Kompozitok gyártása

Az első lépés az elkészítendő munkadarab előállítására alkalmas szerszám kialakítása. Erre helyezik rá – a tervvel és a gyártási utasításokkal összhangban – az előre megtervezett sorrendben (rétegrend) a különböző erősítő struktúrákat (szövetrétegeket és szénszálas szalagokat), méhsejtpanel magokat, fémes vagy nem fémes elemeket, stb., amíg a kívánt szerkezet össze nem áll.

A vákuumszásos eljárás hasonló a kézi lamináláshoz, amelynél az erősítő rétegeket és a folyékony állapotú impregnáló gyantát felváltva rétegezik kézzel. Ez esetben azonban a termék térhálósodása

(kikeményedése) nyomás alatt megy végbe, így nagyobb száltartalom és jobb minőség érhető el, mivel megfelelő technológiai paraméterek beállítása mellett gyakorlatilag nincsenek légzárványok. Elsősorban epoxi- és fenolgyanták a mátrixanyagok, erősítőanyagként pedig számos, egyébként nehezen nedvesedő, vastag erősítő szövet alkalmazható.

4.58. ábra. A vákuumos technológia elrendezése



Először az erősítő rétegeket helyezik a szerszámba, majd feltöltik azt folyékony gyantával, és a szerszám felőli oldalról a laminátumot levákuumozzák. A tépőszövetet azért alkalmazzák, hogy a laminátum feletti rétegek ne kössenek hozzá a termékhez. E fölött van a gyantavezető háló és a fölösleges gyantát felszívó, nem szőtt réteg (például paplan), majd a vákuumfólia, amelyet a kétoldalú ragasztó rögzít légmentesen körbe a munkafelülethez. A vákuumfólia alól szivattyú szívja ki a levegőt, megfelelő (~0,8 bar) nyomás alatt tartva a laminátumot a térhálósodás ideje alatt.

Végül az egész szerelvényt autoklávba teszik, ahol a gyantakötőanyag térhálósodik (polimerizálódik) – a nyomás, az idő és a hőmérséklet szigorú ellenőrzése mellett. A kémiai folyamat befejeztével a szerelvényt kiveszik az autoklávból és a szerszámról leválasztják a kompozit szerkezetet.

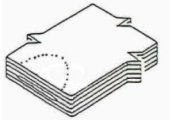
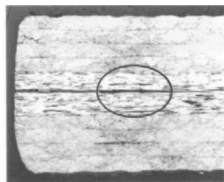
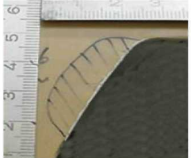
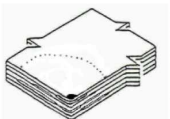
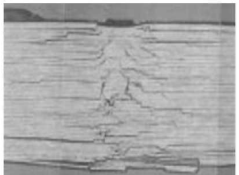
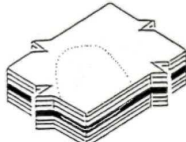
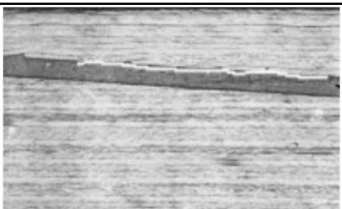
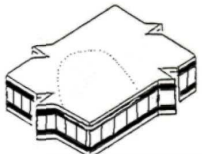
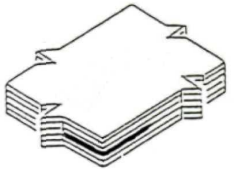
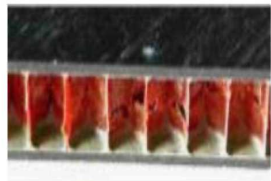
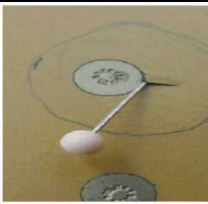
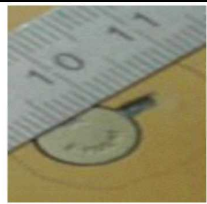
Kompozit anyagok folytonossági hiányai

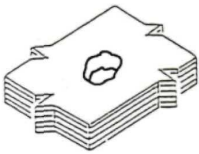
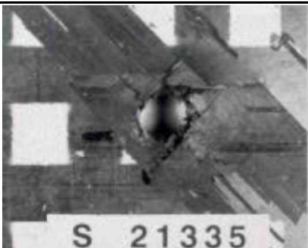
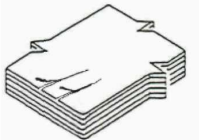
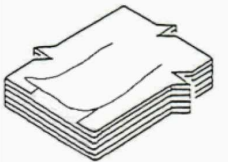
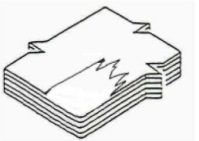
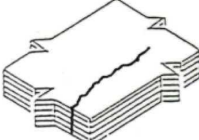
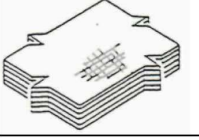
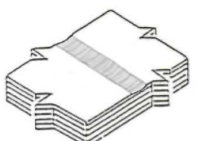
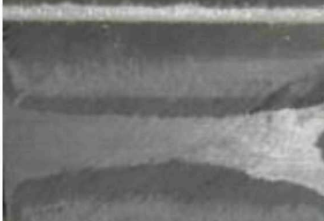
A vizsgálatok szempontjából fontos az, hogy tisztában legyünk a munkadarabokban – a gyártási folyamat során vagy az üzemeltetés időtartama alatt – kialakuló folytonossági hiányok eredetével és típusaival.

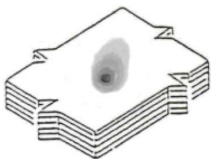
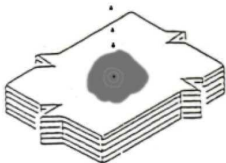
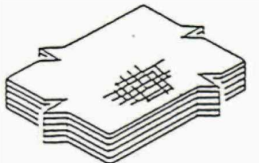
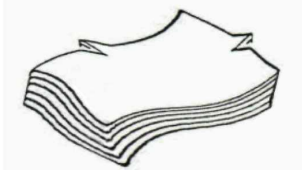
A folytonossági hiányok főbb forrásai

- ◆ Összeállítás.
- ◆ Polimerizáció.
- ◆ Végso megmunkálás.

Gyakoribb folytonossági hiányok

Egyedi rétegszétválás	  
Több rétegre kiterjedő delamináció	  
Ragasztási hiba	 
Mag és bevonat szétválása	 
Zárvány	 
Mag szétzúzódása	 
Porozitás	Főleg monolit szerkezetű darabokban vagy méhsejtpanellekben kialakult gázzárványok. (nincs kép)
Kötőelemmel kapcsolatos sérülések	  

Fúrással okozott sérülések		
Laza szálak		
Laza felületi rétegek		
Hiányzó vagy törött szálak		
Repedések		
Erózió		
Súrlódás miatti kopás		

Hőhatás okozta károsodások	 
Szennyeződés	
Általános kopás	 
Alakváltozás	





5

ALKALMAZÁSOK ÉS AZ INDIKÁCIÓK ELEMZÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE

5.1 AZ ALKALMAZOTT TECHNIKÁK MEGVÁLASZTÁSA

Hegesztések ultrahangos vizsgálata során különféle típusú anyagfolytonossági hiányok tárhatók fel, amelyek a képernyőn megjelenített visszhangok jelzései alapján négy fő kategóriába sorolhatók:

- ◆ Pontszerű.
- ◆ Vonalszerű.
- ◆ Komplex .

*Sík***Térfogatos.**

- ◆ A **pontszerű** anyaghiánynak nincs mérhető hosszúsági, szélességi, és mélységi kiterjedése, így az anyaghiány pontos mérete nem meghatározható. Ebbe a kategóriába tartoznak az apró gáz-zárványok, a sűrű fémzárványok vagy a kisméretű salakzárványok.
- ◆ A **vonalszerű** anyaghiánynak nem mérhető a szélességi és mélységi kiterjedése, csak hosszúsága. Ebbe a csoportba tartoznak az olyan típusú visszaverődések, mint az összefüggő salakzárvány vagy a hegesztési varrat gyökhiánya.

A **komplex** anyaghiánynak két típusa létezik:

a – A **sík** anyaghiánynak van hosszúsági és szélességi kiterjedése, de mélységi nincs. Ebbe a kategóriába sorolhatók a hegesztési varrat oldalfalán található összeolvadási hibák, a repedések vagy a lemezek felületi átlapolásai, melyek pl. a hengerlés során nem olvadtak össze az alapanyaggal.

b – A **térfogatos** vagy volumetrikus anyaghiányoknak van hosszúsági, szélességi és mélységi kiterjedése is. Ebbe a csoportba tartoznak a nagyobb gáz-zárványok, és salakzárványok, a gyökösszeolvadási hiányok vagy a csoportos porozitás, ahol az anyag teljes térfogatának vizsgálata a cél.

A hegesztett kötések merőleges vizsgálata általában kontakt módszerrel történik, az alábbi technikák valamelyikével:

- ◆ Egyszeres visszhang.
- ◆ Többszörös visszhang.

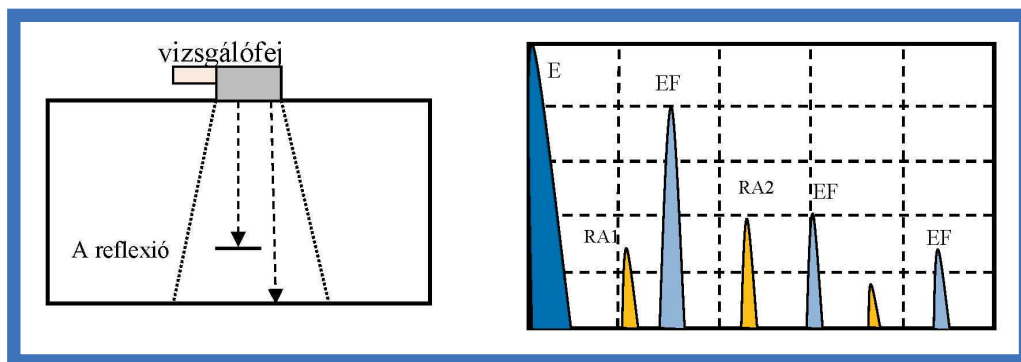
Egyszeres visszhang: a vízszintes tengely hossza (az időalap teljes szélessége) a vizsgálati darab vagy fémlemez mélységét jeleníti meg. A képernyő bal oldalán az adóimpulzus látható, a jobb oldalon pedig az első hátfalvisszhang.



A vizsgálati darabban lévő bármely anyaghiánytól érkező jel az említett két jel között helyezkedik el, és helyzete alapján mérhető annak mélységi pozíciója.

Többszörös visszhang: ez a módszer elsősorban síkpárhuzamos felülettel rendelkező munkadarabok (lemezek) esetén alkalmazható. A vízszintes tengelyt úgy kell beállítani, hogy a képernyőn két, vagy több ismétlődő hátfaljel is látható legyen. Ebben az esetben a képernyő bal oldalán az adóimpulzus látható, majd ezt követően egymástól azonos távolságban az első, a második és a további visszhangjelek. Az anyagfolytonossági hiányoktól származó jelek szintén ismétlődően jelennek meg: Az adóimpulzus és az első hátfalvisszhang jele között, majd ezt követően a többszörös hátfalvisszhang jelek között szintén távolságarányosan.

5.1. ábra.



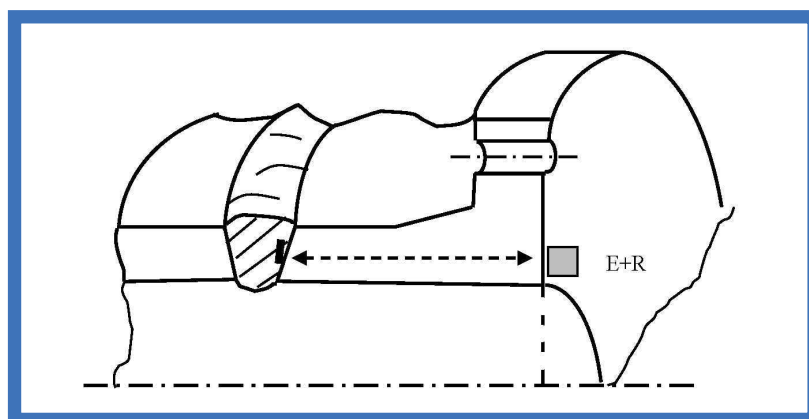
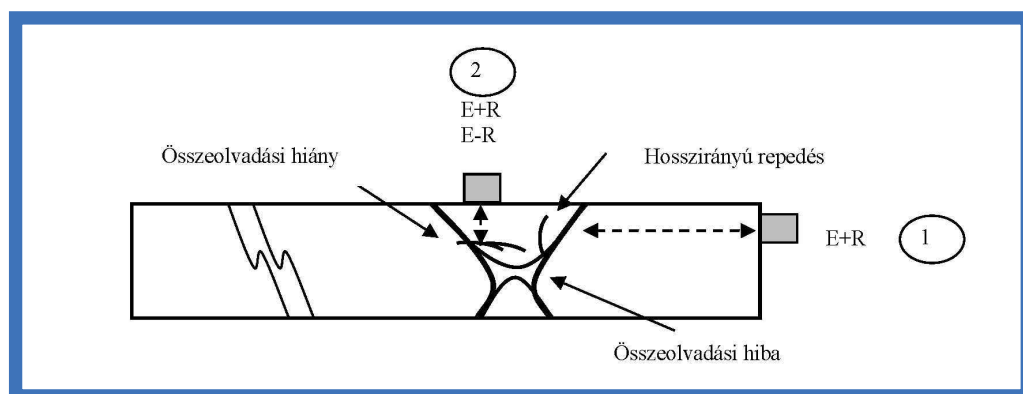
Mindez a 5.1 ábrán látható. A (sárga) hibaindikációk a (kék) hátfalvisszhang jelekkel távolságarányosan többszörözve jelzik az anyagfolytonossági hiány jelenlétét. A hátfalvisszhang jelek magassága a távolság négyzetével fordított arányban csökken. Az is látható, hogy az első HVH előtti hibajel kisebb a másodiknál. Ennek az az oka, hogy a hiba még a hangtér fókusztávolságán belülre esik, ahol a hangenergia térben és időben szabálytalanul változik. A továbbiakban – a távolságban – a hátfaljelekhez hasonló arányban csökkennek a hibajelek.

VIZSGÁLAT MERŐLEGES BESUGÁRZÁSSAL

Tompakötés

A tompakötések vizsgálata ezzel a technikával csak akkor lehetséges, ha a varrat felülete síkra munkált, vagy ha a varrat a vele párhuzamos oldalról megfelelően hozzáférhető, és csak a sugárzásra merőleges hibák mutathatók ki.

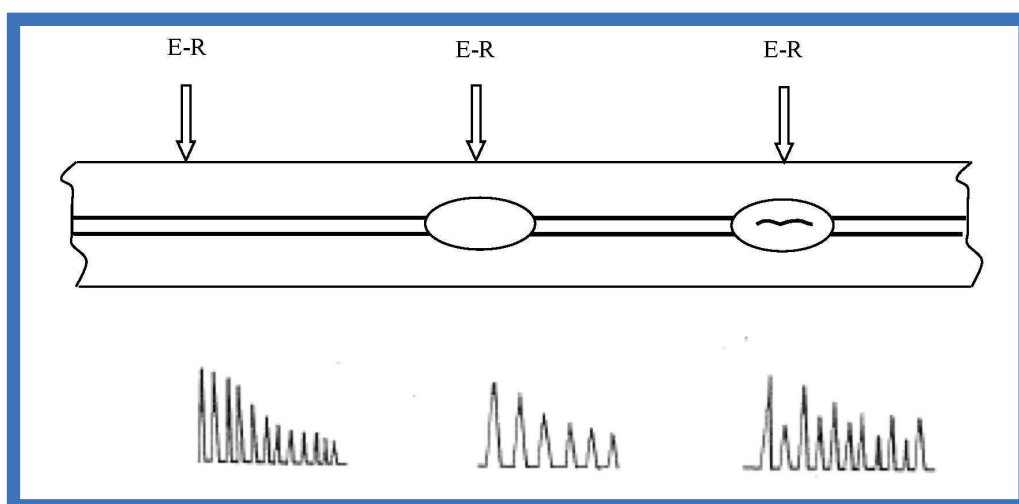




Ponthegeztések

A ponthegeztések szintén vizsgálhatók normál merőleges besugárzással, kontakt és impulzus-visszhang technikával, mivel a ponthegeztésekben előforduló gyártási eredetű folytonossági hiányok általában párhuzamosak a lemezfelülettel (5.3. ábra).

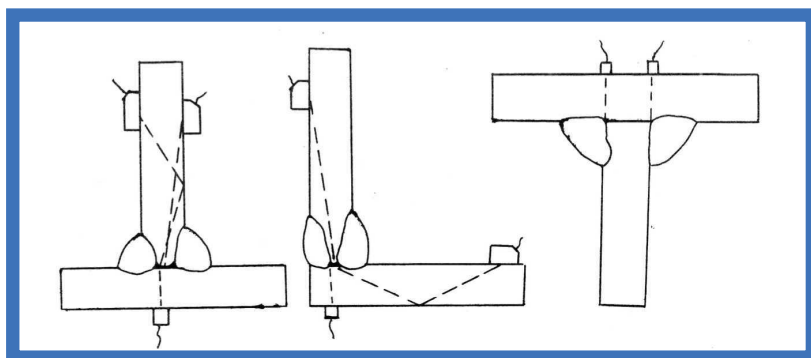
5.3. ábra.



T- és L-alakú kötések

Az ilyen típusú kötéseknél vizsgálatának elsősorban az a célja, hogy a lemezek közötti összeolvadási hiányt feltárjuk, illetve megállapítsuk annak mértékét. (5.4. ábra).

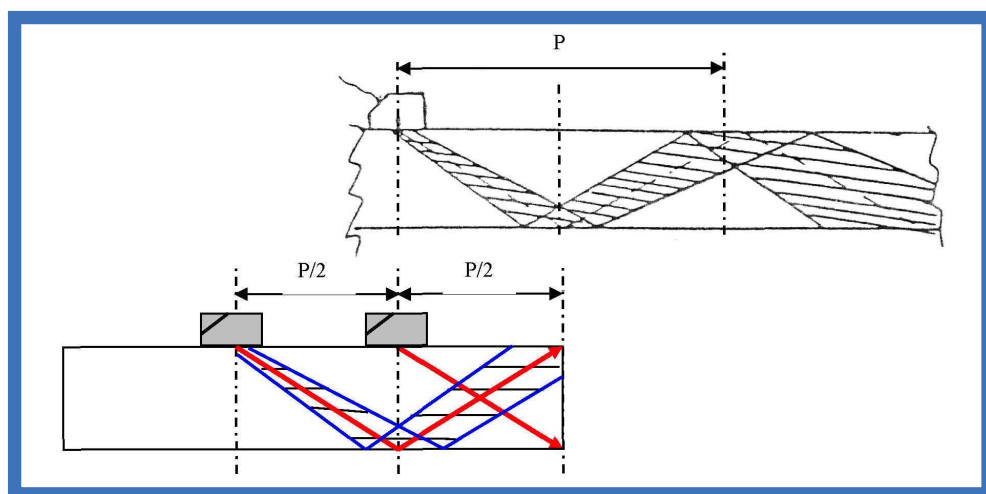
5.4. ábra.



Vizsgálatok ferde besugárzással

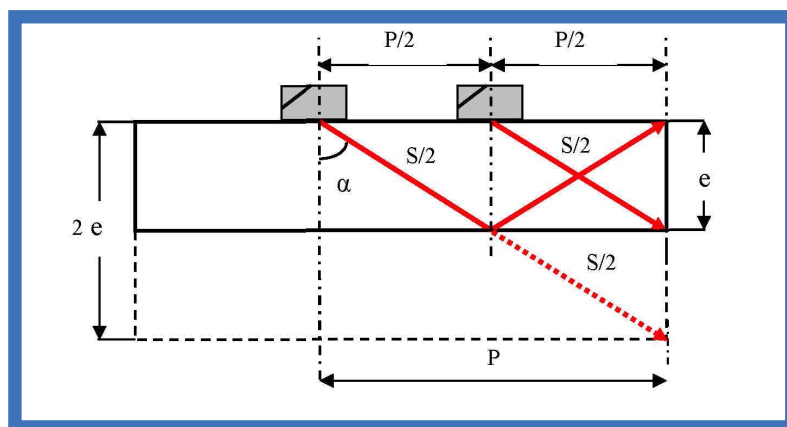
A hegesztett kötések vizsgálatában ez a legelterjedtebb technika, ugyanis alkalmazása során kiválasztható a varrat alakjának leginkább megfelelő besugárzási szög. Alkalmazható egyszerű és bonyolultabb alakú tárgyak esetében is. Sok esetben elegendő az is, ha a munkadarab egyik felületéhez van csak hozzáférésünk. Amennyiben a vizsgálati darab rendelkezik két párhuzamos felülettel, lehetséges, hogy a teljes térfogat átvizsgálható egyetlen ferde beesési szögű vizsgálófejjel. A ferdén beeső hangnyaláb a hátfalokról a beesési szöggel megegyező szögben visszaverődik, és úgy halad tovább. A két párhuzamos felület között tehát oda-vissza (cikk-cakokban) halad, így a fej mozgatásával lehetővé válik a munkadarab teljes térfogatának átvizsgálása.

5.5. ábra.



Habár a 5.5 ábrának megfelelően a hangnyaláb széttartása a visszaverődések után is tovább nyílik, a maximális hangnyomással rendelkező fősugár törési szöge mindig megegyezik a beesési szöggel. A széttartási szög ugyanakkor a rezgő méretétől, és frekvenciájától függ. Ezzel a vizsgálattal az olyan anyagfolytonossági hiányok mutathatók ki, melyek síkja közel merőleges a fősugárra. Ha a fősugárral épp a lemezszél alsó vagy felső szélét sugározzuk be, akkor a képernyőn a megfelelő távolságban megjelenik annak indikációja.

5.6. ábra.



Ha ez a visszhangjel maximális amplitúdójú, akkor biztosak lehetünk abban, hogy a fősugár épp a lemez élét találja el. A vizsgálófejen bejelölt sugárkilépési pont, és a lemezszélek távolsága ezekben az esetekben megegyezik az úgynevezett fél, vagy egész ugrástávolsággal.

Következésképpen, a vizsgálófej teljes ugrástávolságban való elmozdításával, lehetővé válik a vizsgálati térfogat mindkét átló mentén való átvizsgálása. Annak érdekében, hogy a hegesztési varratok hőhatásövezete is a vizsgálati zónába essen, a vizsgálófejet 1,25 ugrástávolságnyi hosszon kell mozgatni.

Az egész és fél ugrástávolságok számítása:

α – a vizsgálófej besugárzási szöge

e – lemezvastagság

P – ugrástávolság

$$\boxed{\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{2e}} \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{P}{2} = e \operatorname{tg} \alpha \\ P = 2e \operatorname{tg} \alpha \end{array} \right.$$

Az alábbi táblázat a $2 \operatorname{tg} \alpha$ különböző szögekhez tartozó értékeit mutatja:

α	45°	60°	70°
$2 \operatorname{tg} \alpha$	2	3,46	5,5

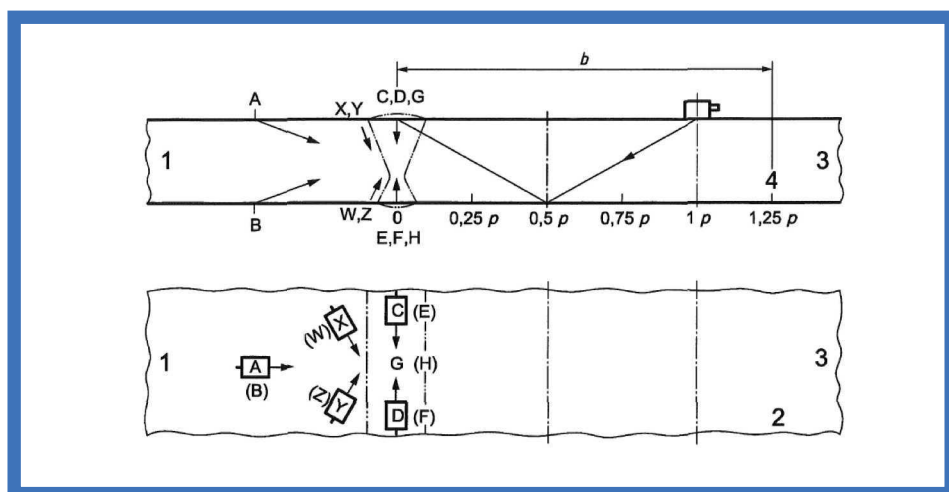
Tehát az ugrás- és félugrás-távolságok megállapításához csak a fémlemez vastagságának ismerete szükséges, amelyet meg kell szorozni a vizsgálófej besugárzási szögének megfelelő $\operatorname{tg} \alpha$ -érték kétszeresével.

Fémtermékek esetén az alkalmazott módszert sok esetben az határozza meg, hogy a munkadarab a vizsgálat elvégzésékor a gyártási folyamat mely fázisában tart. Nem alkalmazható ugyanaz az eljárás a megmunkálatlan alapanyagok vizsgálatára, mint a már készre gyártott, alakított és/vagy normalizált termékek esetében.

Általános szabályként elmondható, hogy az első vizsgálatot ajánlott elvégezni a gyártási folyamat első fázisában, annak ellenére, hogy a legtöbb hiba ekkor még nem észrevehető. A további gyártási fázisban (pl. hőkezelésnél) a rejtett, vagy a kritikus szintet meg nem haladó eltérések megnövekedhetnek. Tehát az egyes lépések befolyásolhatják a termék minősítését.

A hegesztett kötések ultrahangos vizsgálatára vonatkozó MSZ EN ISO 17640 szabvány a különböző varratípusok és méretek függvényében megadja alkalmazandó vizsgálófejfajtákat és pozíciókat.

Tompakötés fémlemezekben és csövekben



ULTRAHANGOS ANYAGVIZSGÁLÓ

1. táblázat. Tompakötés fémlamezekben és csövekben

Vizsgáló szint	Alapanyag vastagság	Longitudinális jelzések										Transzverzális jelzések				Megjegyzések	Nettó
		Szükséges adatok:										Szükséges adatok:					
		Szükséges adatok:										Szükséges adatok:					
		Szükséges adatok:										Szükséges adatok:					
		Szükséges adatok:										Szükséges adatok:					
Vizsgálófej szögek	Vizsgálófej helye	Kutatási zóna szélessége	Vizsgálófej helye	Vizsgálatok száma összesen	Megjegyzések	Vizsgálófej szögek	Vizsgálófej helye	Vizsgálatok száma összesen	Megjegyzések	Nettó							
p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p							
Vizsgálat - L	Vizsgálat - L	Vizsgálat - N	Vizsgálat - N	Vizsgálat - T	Vizsgálat - T	Vizsgálat - T	Vizsgálat - T	Vizsgálat - T	Vizsgálat - T	Vizsgálat - T							
8 ≤ t < 15	1	A ≤ 1,25 p	1,25 p	—	2	a	1	(X ∈ Y) o (W y Z)	4	c							
15 ≤ t < 40	1	A ≤ 1,25 p	1,25 p	—	2	a	1	(X ∈ Y) o (W y Z)	4	c							
8 ≤ t < 15	1	A ≤ 1,25 p	1,25 p	—	2	a	1	(X ∈ Y) o (W y Z)	4	c							
15 ≤ t < 40	2 ^f	A ≤ 1,25 p	1,25 p	—	4	b	1	(X ∈ Y) o (W y Z)	4	c							
40 ≤ t < 60	2	A ≤ 1,25 p	1,25 p	—	4	b	2	(X ∈ Y) o (W y Z)	8	c							
60 ≤ t ≤ 100	2	A ≤ 1,25 p	1,25 p	—	4	b	2	(C y D) e (E y F)	4	d							
8 ≤ t < 15	1	A ≤ 1,25 p	1,25 p	G o H	3	d	1	(C y D) e (E y F)	2	d							
15 ≤ t < 40	2	A ≤ 1,25 p	1,25 p	G o H	5	d	1	(C y D) e (E y F)	4	d							
> 40	2	A ≤ 1,25 p	1,25 p	G o H	5	d	2	(C y D) e (E y F)	4	d							

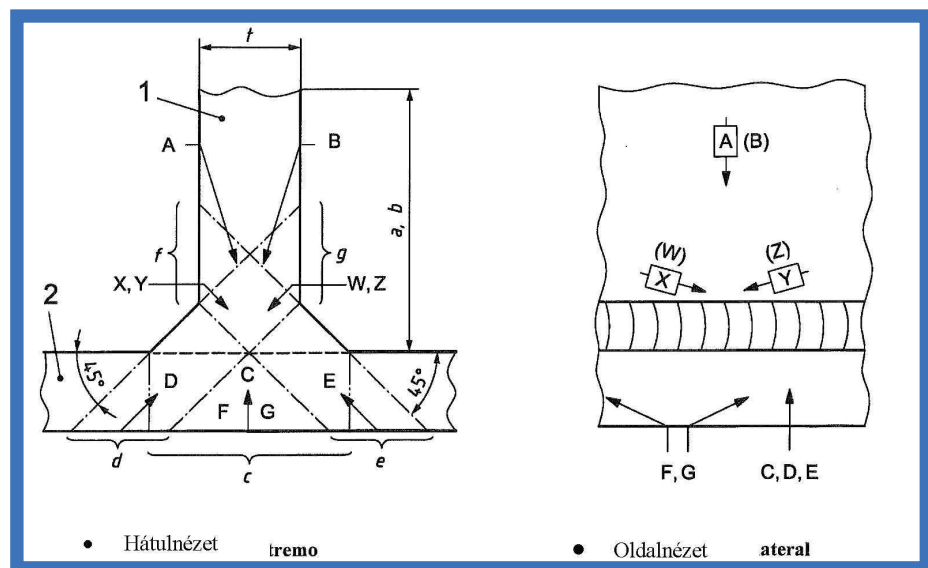
a Megállapodással korlátozható egy oldalról végzett vizsgálatra.
b Külön megnevezéssel további vizsgálat a módszerrel.
c Csak külön megállapodás esetén szükséges.
d A hegesztési varrat felületének meg kell felelnie az 1. fejezetben szereplő követelményeknek. Ehhez szükséges lehet a hegesztés átfedésének csiszolása. Azonban a csövek egy oldalról végzett kerületi vizsgálatánál a hegesztés külső felületét kell csiszolni.
e Ha csak egy oldalról hozzáférhető, akkor két szögben kell alkalmazni.
f A 15 mm ≤ t ≤ 25 mm intervallumban egy szög alkalmazása is elég, ha a frekvencia kisebb, mint 3 MHz.

MEGJEGYZÉS

Vizsgálat – L: Longitudinális jelek felkutatása anguláris vizsgálófejjel.
Vizsgálat – N: Megfelelő vizsgálófejjel végzett vizsgálat.
Vizsgálat – T: Transzverzális jelek felkutatása transzverzális vizsgálófej segítségével.
A teljes vetített távolság.

T alakú tompa kötés

5.8. ábra.



2. táblázat. T-alakú tompa kötés

Vizsgál ati szint	Alapanyag vastagság	Longitudinális jelzések						Transzverzális jelzések				
		Szükséges adatok:						Szükséges adatok:				
		Vizsgálófej szögek	Vizsgálófej helye	Kutatási zóna szélessége	Vizsgálófej helye	Kutatási zóna szélessége	Vizsgálatok száma összesen	Vizsgálófej szögek	Vizsgálófej helye	Kutatási zóna szélessége	Vizsgálatok száma összesen	Megje gyzése k
		palpáció	Vizsgálat - L Exploración-L	palpáció	Vizsgálat - N Exploración-N	palpáció	Vizsgálat - T Exploración-T	palpáció	Vizsgálat - T Exploración-T	palpáció	Vizsgálat - T Exploración-T	
A	$8 \leq t < 15$	1	A o B	$1,25 p$	C ^a	—	1	—	—	—	—	a
	$15 \leq t < 40$	1	A o B	$1,25 p$	C ^a	e	2	—	—	—	—	a
B	$8 \leq t < 15$	1	A o B	$1,25 p$	C ^a	—	2	1	(F y G)	e	2	b
	$15 \leq t < 40$	1	A y B	$1,25 p$	C ^a	e	3	1	(F y G) o (X o Y) o (W y Z)	f ^c g	2	b
	$40 \leq t \leq 100$	2	A y B	$0,75 p$ $0,75 p$	C ^a	e	5	1	(F y G) o (X o Y) o (W y Z)	f ^c g	2	b
C	$8 \leq t < 15$	1	A y B	$1,25 p$ $1,25 p$	C ^a	e	3	2	F y G	f ^c g	4	b
	$15 \leq t < 40$	2 1	(A y H) y (D y E)	$1,25 p$ $1,25 p$ d + e	C ^a	e	7	1	(F y G) y (X o Y) o (W y Z)	f ^c g	4	b
	$40 \leq t \leq 100$	2 1	(A y B) y (D y E)	$0,75 p$ $0,75 p$ d + e	C ^a	e	7	2	(F y G) y (X o Y) o (W y Z)	f ^c g	8	b
	> 100	3 1	(A y B) y (D y E)	$0,75 p$ $0,75 p$ d + e	C ^a	e	9	3	(F y G) y (X o Y) o (W y Z)	f ^c g	8	b

a. Nem releváns.
b. Csak külön megállapodással.
c. Tandem technikával helyettesítendő az A vagy B szintről, ha a C nem lehetséges.

MEGJEGYZÉS Vizsgálat - L: Longitudinális jelek felkutatása anguláris vizsgálófejjel.
Vizsgálat - N: Megfelelő vizsgálófejjel végzett vizsgálat.
Vizsgálat - T: Transzverzális jelek felkutatása transzverzális vizsgálófej segítségével.
A teljes vetített távolság.

p

p Es la distancia proyectada completa.

5.2 HEGESZTETT KÖTÉSEK ANYAGFOLYTONOSSÁGI HIÁNYAI

Az ultrahangos vizsgáló szakembernek ismernie kell a hegesztési varratokban előforduló lehetséges gyártási eredetű (és egyéb) anyagfolytonossági hiányokat, valamint azok ultrahangos szempontból lényeges sajátosságait, és tipikus jelformáit.

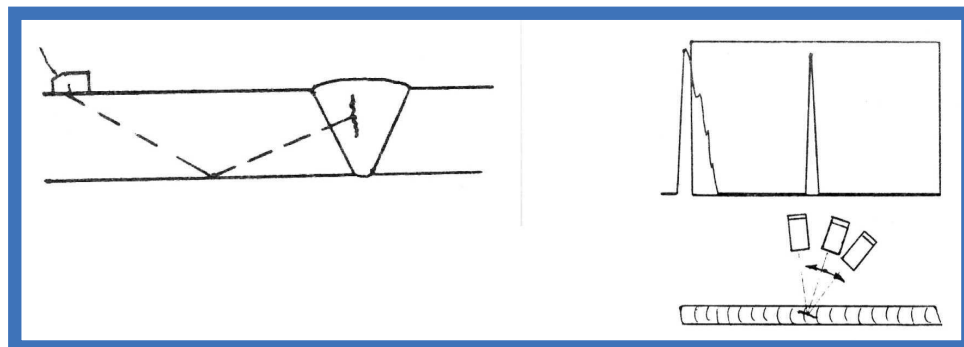
BELSŐ ELTÉRÉSEK

Repedések

Érdes falú, nagyon jó visszaverődéssel rendelkező anyagfolytonossági hiányok. Jellemzően vékony és nagyon magas visszhangjeleket képez. (5.9 ábra).



5.9. ábra.



A repedés orientációjától függően lehet, hogy csak a varrat egyik oldala felől észlelhető, illetve a vizsgálófej elforgatásával a jelmagasság hirtelen csökken le.

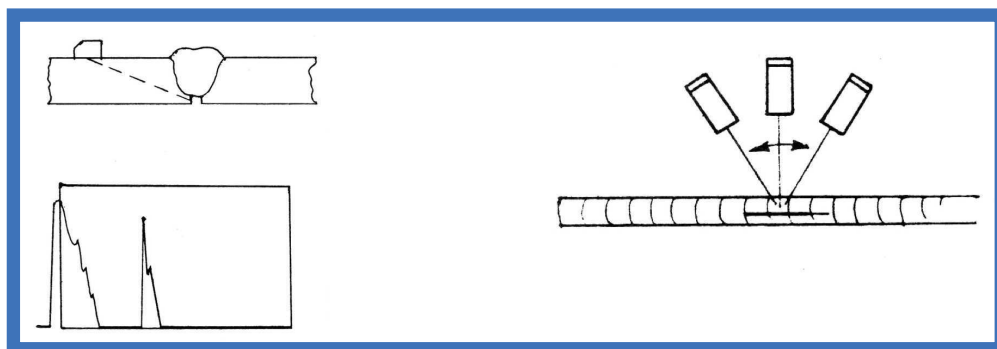
Ha a repedés hosszanti irányú és a gyökben található, akkor könnyen összetéveszthető a gyökhiánnyal, vagy a gyökátfolyással, de ha alaposan vizsgálattal észlelhető, hogy a repedés jele azokkal ellentétben nagyon vékony és határozott.

A kimutathatóságot illetően a hosszanti irányú repedéseket viszonylag könnyű kimutatni, míg az keresztirányú repedésekről ugyanez nem mondható el, mivel azok feltárásához a vizsgálófejet a varrattal csaknem párhuzamosan kell vezetni.

Gyökhiány

Ez a hibatípus sima falú és nagyon jó a hangvisszaverő képessége, magas és határozott visszhangjelet ad, bár a repedés jelenél szélesebbet. Esetenként salakzárványokhoz kapcsolódik, amelynek következtében a jel kissé kiszélesedik, és több csúccsal is rendelkezhet, amint azt a 5.10 ábra mutatja.

5.10. ábra.



Az összeolvadási hiány szinte minden esetben a hegesztési varrat tengelyével párhuzamos irányú. A vizsgálófejet elforgatva az jel gyorsan eltűnik.

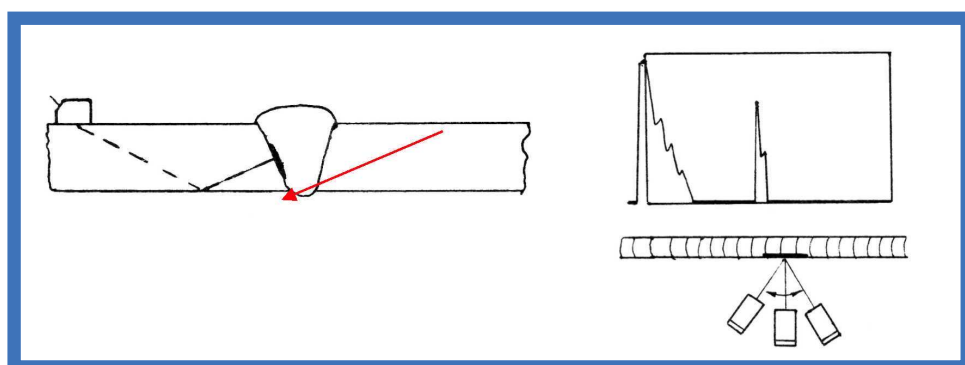
Ha a hiba a gyökben található, akkor összetéveszthető a gyökátfolyással, azonban az összeolvadási hiba jele mindig vékonyabb, és általában a gyökjel elején látható.

A varrat mindkét oldaláról kimutatható, de nem ugyanoda méretezzük. Ha nem V-, hanem X-varratról van szó, akkor a gyökhány logikus módon a varrat közepén keletkezik. Ebben az esetben, ha nagy a lemeztavastagság, és 45 vagy 60°-os besugárzási szöggel vizsgálunk, akkor előfordulhat, hogy az ilyen gyökhiba rejtett marad, mivel a függőleges orientáltságú reflektorról más irányba törik a hang. Ekkor más vizsgálati elrendezésre (átsugárzásos módszer), illetve valamilyen egyéb adó-vevő vizsgálatra lehet szükség.

Összeolvadási hiány, vagy kötésihiba

Az ilyen típusú anyaghányok jó hangvisszaverő képességgel rendelkeznek és sima falúak. A visszhangjelek magasak és szűkek, és általában csak a varrat egyik oldaláról észlelhetők. Szinte mindig a ferde lemezelek mentén erednek, bár ritkán előfordul, hogy a varratsorok közül indulnak ki (5.11 ábra).

5.11. ábra.



Ha a vizsgálófejet elforgatjuk, a jel gyorsan eltűnik.

Ha az összeolvadási hiány a ferde éleken helyezkedik el, akkor a kimutathatósága nagyon jó, azonban, amint azt már említettük, csak egy oldalról. Ha a varratsorok között helyezkedik el, akkor nagyon nehéz kimutatni, ilyen esetben a hibahely meghatározásánál rendkívül körültekintően kell eljárni.

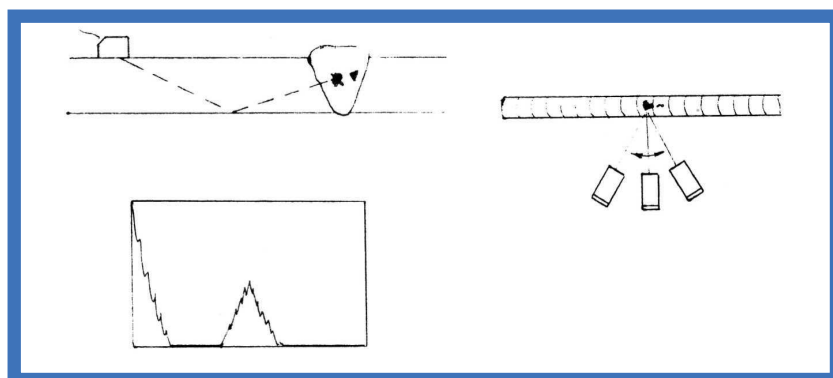
Salakzárvány

Egyenetlen felületű anyaghány, nagyon szabálytalan szélekkel, amelyek a varrat bármely részében megtalálható. Lehetnek különállóak vagy csoportosak.

A visszhangjel alakja nagyon jellemző (5.12 ábra), mivel alkalmanként fenyőfa alakú, máskor azonban, amikor finom, sorba rendezett, könnyen összetéveszthető a kötésihibával.



5.12. ábra.



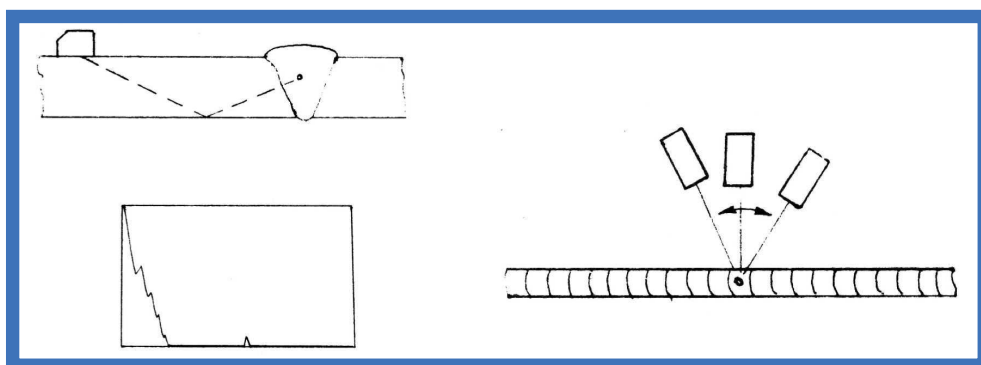
Ha a vizsgálófejet a zárvány körül elforgatjuk, akkor a visszhangjel alakja és magassága is megváltozik.

Kézi ívhegesztések esetén ez a leggyakrabban előforduló anyagfolytonossági hiány. Amint már említettük, a varrat bármely részében megtalálható, és sokszor kapcsolódnak gyökhiányhoz. Kimutatásuk nem nehéz.

Gázzárványok

A gázzárványok lehetnek gömb alakúak, vagy elnyújtott (hengeres) formájúak. A vizsgálófejet az anyagihiány körül elforgatva megmarad a visszhangjel. Ha kicsik és különállóak, akkor rossz a hangviszszaverő képességük, és visszhangjelek kisméretűek (5.13. ábra). Ha csoportosan vannak jelen, akkor a salakzárványokhoz hasonló, de kisebb amplitúdójú jeleket produkálnak.

5.13. ábra.



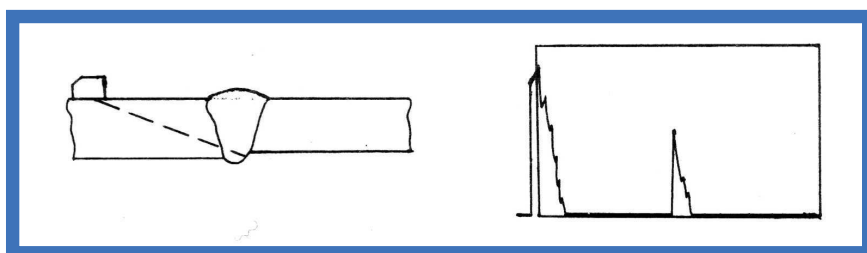
Ezen anyagihiányok kimutathatósága nem könnyű, ha különállóak, azonban ha csoportosan fordulnak elő, vagy hengerek, feltárásuk nem jelenthet nehézséget. A hegesztés mindkét oldaláról kimutathatók.

FELÜLETI ELTÉRÉSEK

Egyenetlen varratszélek

A varratszél egyenetlenségére a ferde élek reflexiójából következtethetünk (5.14. ábra). A képernyőn megjelenő visszhangjel nem túl magas és gyorsan eltűnik, amikor a vizsgálófejet elforgatjuk.

5.14. ábra.



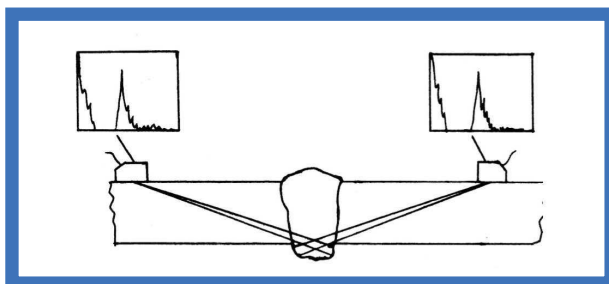
Ugyanazt az egyenetlenséget csak a varrat egyik oldaláról lehet kimutatni.

Ha a varratgyök kiképzése megfelelő, nagyon alacsony visszhangjelként láthatjuk a gyököt a kijelzőn.

Túlzott gyökátfolyás

A visszhangjel a varrat alsó széléről érkezik, ahogyan az a 5.15. ábrán is látható.

5.15. ábra



A visszhangjel általában széles, magassága változó, és nem mindig látható a varrat mindkét oldaláról. Mindkét irányból vizsgálva fél ugrástávolságon túl látjuk a visszhangjelet.

Egyenetlen varratkorona

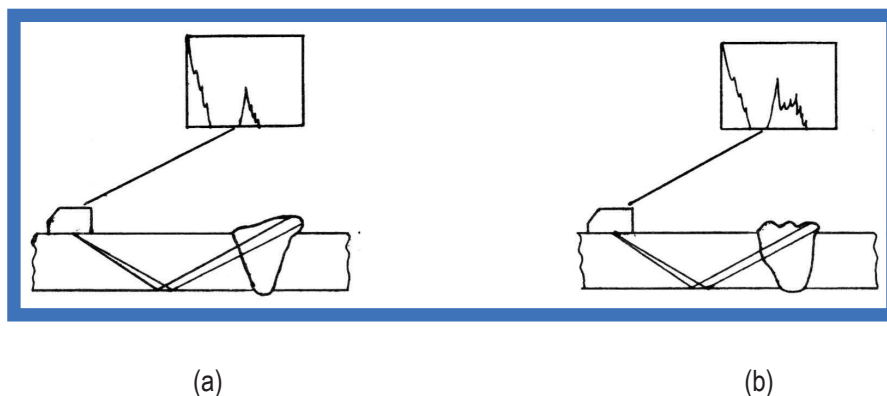
Két eset lehetséges:

Első: túlzott átfedés (korona oldali túlfolyás) (5.16. ábra. a).

Második: a varrat felszíne nagyon szabálytalan (5.16. ábra. b).



5.16. ábra.

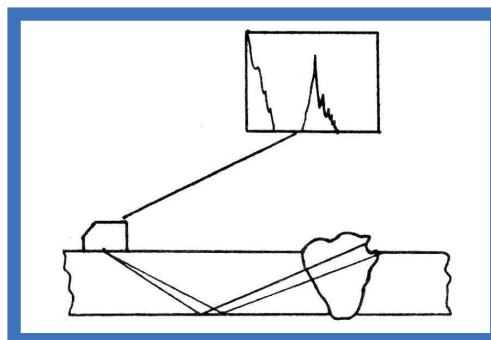


A visszhangjelek mindkét esetben szélesek és szabálytalan szélűek, a vizsgálófej elfordításakor eltűnnek.

Szélkiolvadások

Szélkiolvadások akkor keletkeznek, ha a hegesztést túl nagy áramerősséggel végzik és a lemez-szél megfolyik. A korona széle mentén szakaszosan jelentkező, nyitott, hosszanti üregként repedések elindítója lehet (5.17 ábra).

5.17. ábra.



A visszhangjelek szélesek, szabálytalan vonalúak, és elég nagy az amplitúdójuk. Gyorsan eltűnnek, ha a vizsgálófejet elforgatjuk.

Az ultrahangos vizsgálat elvégzését megelőzően a szemrevételezés során ezeket a hibákat fel kell tártani és figyelembe kell venni a vizsgálat során, mivel befolyásolhatják az indikációk értelmezését. A leírt külső és belső eltérések elfogadása vagy elutasítása minden esetben az alkalmazott eljárás vagy szabvány alapján történik.

Az alábbiakban további gyártmányok esetén alkalmazott lehetséges ultrahangos technikákat mutatjuk be:

Öntvények, rudak, bugák és durván kovácsolt munkadarabok.

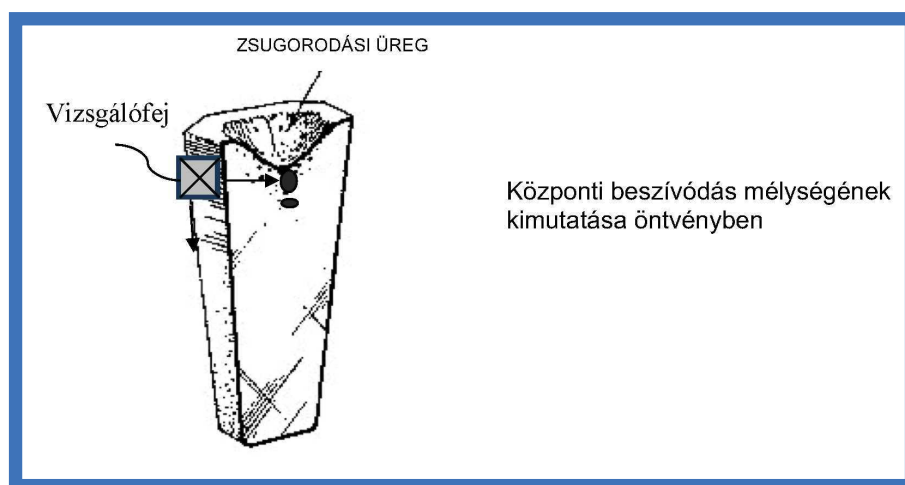
A termékek minőségi feltételeinek biztosítása érdekében fontos ismerni azok gyártási folyamatát. A gyártás folyamán létrejövő igénybevételek anyaghibák keletkezési okai lehetnek, ezért csak ezek ismeretében lehet megtervezni a legmegfelelőbb vizsgálati technikát.

5.3 ÖNTVÉNYEK, RUDAK ÉS DURVÁN KOVÁCSOLT DARABOK

Az esetek többségében az öntvények vizsgálata azon anyagfolytonossági hiányok feltárására korlátozódik, amelyek a munkadarab további megmunkálását, felhasználását megghiúsítanak. Ilyen hiba lehet például a *zsugorodás*. Nagyméretű öntvények esetén a nagy szemcseméret miatt nagy lesz a hanggyengülés. A vizsgálat tervezésekor ezt is figyelembe kell venni.

Az öntvények ultrahangos vizsgálatát ezért célszerű longitudinális hullámokkal és nagyméretű (a darab méretétől függő), alacsony frekvenciájú vizsgálófejjel elvégezni. Speciális esetekben a szemcseméretet hőkezeléssel lehet csökkenteni.

5.18. ábra.



A vizsgálatot az öntvény tengelyéhez viszonyítva keresztirányban kell elvégezni.

Az öntvények leggyakrabban acélból vagy alumíniumból készülnek. Ultrahangos vizsgálatuk során a felmerülő jelentősebb problémák a következők: a darab alakja, a felszín kidolgozása és a durvaszemcsés szerkezet (nagymértékű hanggyengülés).

A legfontosabb kimutatandó anyaghibák: hossz és keresztirányú repedések, valamint a porozitás.

Kovácsolt bugák

Az ötvényeket követő gyártási folyamatokban a cél a termékek javítása előformázással, amely javítja az ultrahangos módszerrel vizsgálandó anyag viselkedését.

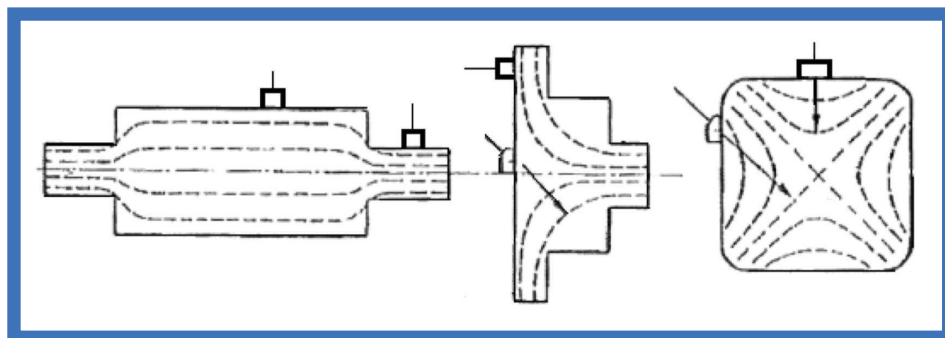
Ez a folyamat a *kovácsolás*, mely sok esetben, a jobb alakíthatóság érdekében magas hőmérsékleten történik. Kevesebb lesz így a visszamaradó feszültség, és egységesebb, finomabb lesz az anyagszerkezet.

Ezekben a termékekben a legjellemzőbb anyaghibák a következők: pelyhesedés, zsugorodások, nem fémes zárványok, belső repedések és nyomási eredetű repedések.

Ultrahangos vizsgálatra általában alacsony frekvenciát (0.5–1 MHz) alkalmaznak, de gyorsűtés vagy temperálás után alkalmazható 2 és 5 MHz közötti frekvencia is.

A kovácsolási anyaghibák szálirányúak, ezért a hangnyalábot erre az irányra merőlegesen kell a darabba juttatni. (5.19 ábra).

5.19. ábra.



Nagyméretű tárgyak esetén a vizsgálatot általában 45°-os vizsgálófejjel végzik.

A vizsgálat elvégezhető kontakt, és teljes, vagy helyi merítéses eljárással is.

Rúdanyagok

Kör, négyszög vagy hatszög keresztmetszetű rudak esetében a következő anyaghibák fordulnak elő leggyakrabban: repedések, zsugorodási üregek, zárványok és pelyhesedés.

A legtöbbször merőleges besugárzású vizsgálófejet alkalmazunk 2 és 4 MHz közötti frekvencián. A 30 mm-nél nagyobb átmérőjű acélrudak kontakt vizsgálata során a kerület mentén 90°-ban eltolva a paláston végig két vonalban kell elvégezni a letapogatást.

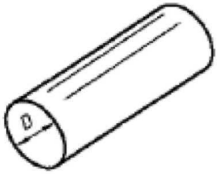
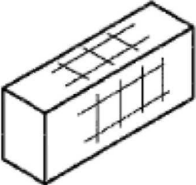
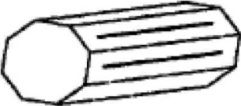
A vizsgálatot védőpapuccsal ellátott vizsgálófejjel kell elvégezni, és nagy viszkozitású csatolóanyagot kell használni (olaj). A hangnyaláb fősugara a keresztmetszethez képest átlós irányú legyen.

Kis átmérőjű rudak esetén 4–5 MHz frekvenciát alkalmazunk. Ebben az esetben a pontosabb felhelyezés, és a jobb hangátvitel érdekében a védőpapucst a munkadarab görbületének megfelelően be kell csiszolni.

Az MSZ EN 10308 szabvány acélrudak ultrahangos vizsgálatára vonatkozó 8.2.3 pontja szerint a frekvenciának 1 MHz és 6 MHz között kell lennie.

Rúdanyagok teljes körű letapogatását az MSZ EN 10308 szabvány 1. táblázatában szereplő elvek szerint kell elvégezni. Ügyelni kell arra, hogy a rácsvonalak távolságát úgy válasszuk meg, hogy azzal biztosítva legyen a vizsgálófej átmérőjéhez képesti minimum 10%-os átfedés.

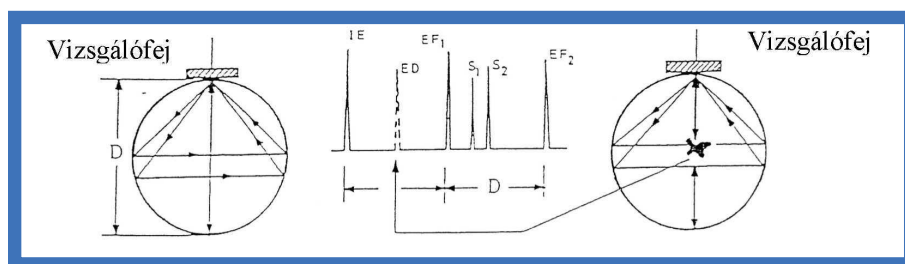
Merőleges hangnyalábbal végzett vizsgálat
Cobertura de sonda con sonda normal

Típus Tipo	Hálózatonkénti vizsgálat ^{a,b} Sondeo por retículo	Vizsgálati vonalak ^c Lineas de sondeo	Teljes vizsgálat ^{a,b} Sondeo completo
1a 	Átmérő, D vagy vastagság, t mm $D \leq 200$ $200 < D \leq 400$	2 vonal 90°-ban 3 vonal 60° vagy 120°-ban	Teljes vizsgálat körben, legalább a hengeres felületen 180°-ban
1b 	$t \leq 150$ $150 < t \leq 400$	Egy vonal két felületen Három vonal két felületen	Teljes vizsgálat két merőleges felületen
1c 	$t \leq 150$ $150 < t \leq 400$	1 vonal két felületen. 1 vonal minimum a felület felén.	Teljes vizsgálat minimum a csatlakozó felület felén.

a További vizsgálat végezhető, amennyiben erről a kért ajánlatban vagy megrendelésben megegyezés született.
b Cikk-cakk vonalú vizsgálat végezhető adott terület teljes hosszában ugyanolyan ellenőrzés mellett.
c Ha az 1a vagy 1b típusok esetén a szemben lévő oldalt nem érjük el, a vonalak számát szimmetrikusan meg kell duplázni.
d A hálózati vonal szeparációknak meg kell egyezniük a vastagsággal maximum 200 mm-ig.
La separación de las líneas de retículo debe ser igual al espesor hasta un máximo de 200 mm.

Fontos figyelembe venni a hangnyaláb széttartását (divergenciáját), mivel a rúd belsejében kialakuló háromszög alakú visszaverődéseknek köszönhetően mellékviszhangok keletkezhetnek, ahogyan azt a 5.20 ábra. mutatja.

5.20. ábra.



Az adóimpulzust 1E követően láthatjuk az első hátfalvisszhangot EF1 a rúd átmérőjével megegyező D távolságban. Ezt követi egy mellék-visszhangjel S1, majd egy másik mellék-visszhangjel S2. Végül megjelenik a második hátfalvisszhang EF2, a 2D távolságban.

A rúd belsejében található minden anyagfolytonossági hiány megjelenik 1E és EF1 között, valamint EF1 és EF2 között is. Ez utóbbiakat a mellék-visszhangok miatt nehéz lenne kiértékelni, ezért csak az első hátfalvisszhangig terjedő távolságban értékelünk.

Gyártósorba épített vizsgálórendszerrel a teljes keresztmetszet vizsgálatát merítéses eljárással, több vizsgálófej egyidejű alkalmazásával végezzük. A rúdanyag hosszanti irányban halad a vizsgálófejek alatt, melyek elhelyezkedése a következő: két merőleges vizsgálófej egymáshoz képest 90°-ban található, ezek vizsgálják a rúd középső zónáját, míg két másik szögsugárzó a szélső területet ellenőrzi.

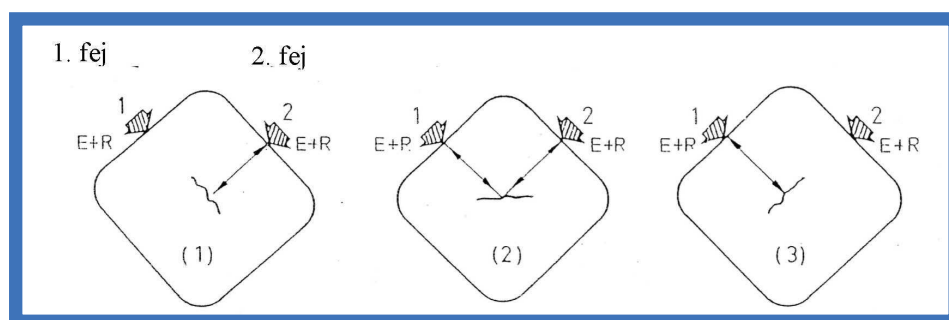
Nagyon durva felületű munkadarab esetén zavarjelek lehetnek a víz–acél felületi határ visszhangjele mögött, amely elfedheti a belső anyaghibák jeleit. Ilyen esetekben fókuszált vizsgálófejjel csökkenthetők ezek a zavarjelek.

Bugák

Bugák lehűlésekor az anyag középső részének eltérő zsugorodása miatt keletkeznek különböző anyagfolytonossági hiányok. Megjelenhetnek repedések és zárványok is.

Az 50 mm-nél vastagabb kerek és négyzet keresztmetszetű bugák vizsgálata merőleges vizsgálófejekkel történik. Az oldalakkal párhuzamos irányú hibákat impulzus-visszhang rendszerű vizsgálattal, az átlós hibákat két, szintén impulzus-visszhang üzemre kapcsolt vizsgálófejjel tárhatjuk fel a 5.21. ábra szerint.

5.21. ábra.



Az ábrán (1) a repedést a 2. szonda mutatja ki. Az ábrán (3) az 1. szonda kapja a repedésből érkező jelet. Az ábrán (2) az egyes vizsgálófejek által kibocsátott impulzusok az anyaghibáról a másik vizsgálófej irányába verődnek vissza.

Automata berendezésekben a bugák görgőkön csúsznak 60 m/min sebességgel a berendezés vezérlője felé, ahol fotocellák érzékelik a munkadarabot, és ekkor csatlakoznak a felületre a vizsgálófejek.

5.4 SAJTOLT, KOVÁCSOLT ÉS HENFGERELT TERMÉKEK

Sajtolt termékek

A sajtolt termékek vizsgálatában a nehézséget a tárgyak összetett alakja, durva szövetszerkezete (amely nagy hanggyengülést eredményez) és a formázás típusa okozza.

A leggyakoribb gyártási anyaghibák a következők:

- ◆ üregek és gázbuborékok; az utóbbi akkor, ha kisméretű, pórusszerű,
- ◆ salak- vagy homokzárványok,
- ◆ hűtés vagy megszilárdulás során keletkező belső repedések.

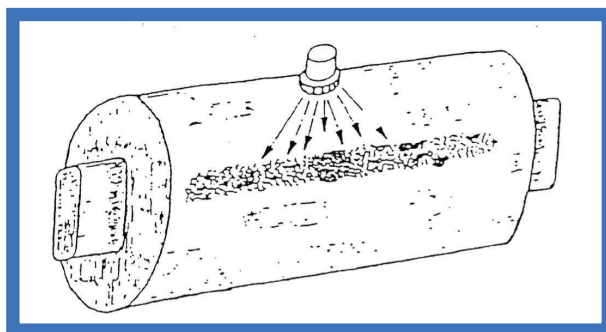
A leggyakrabban alkalmazott technika az impulzus-visszhang elvén működő kontaktvizsgálat mérőleges besugárzású, kopásálló vizsgálófejjel, alacsony frekvencián és rövid impulzusokkal.

Ha lehetséges ferde beesési szög alkalmazása, akkor sokkal könnyebb a jelzések értelmezése.

Kovácsolt termékek

A 5.22 ábrán egy durván kovácsolt darab nagyobb anyaghibák feltárása érdekében végzett vizsgálata látható, amelynek célja, hogy elkerüljük e hibák későbbi megjelenését a darabok gyártási folyamata során. Ezzel felesleges további kiadásokat és időt takaríthatunk meg.

5.22. ábra.



Kovácsolt termékek alapanyagaként rudakat, csöveket, bugákat és durván kovácsolt anyagokat használnak, ezért ezekben az alapanyagokban előforduló feltáratlan belső repedések, zsugorodások, stb. a további megmunkálás során is megmaradnak és átalakulnak.

Felszíni vagy belső repedések keletkezhetnek.

A belső anyaghibákat feltáró technikák nagyon hasonlóak a sajtolt darabok esetén alkalmazottakhoz (5.22. ábra), azonban az anyaghibák megjelenési formája legtöbbször rétegesség jellegű, de apróbb. Az átkovácsolt munkadarab anyagszerkezete finomabb szemcséjű, tömörebb – kisebb a hanggyengülés, és a vizsgálati felszín a jobb kidolgozás miatt egyenletesebb. Mindez hozzájárul ahhoz, hogy a vizsgálatot eredményesebben elvégezhessük.

Hengerelt termékek

A következő termékek tartoznak ebbe a csoportba: fémlapok, lemezek és csövek.

Fémlemezek vizsgálata

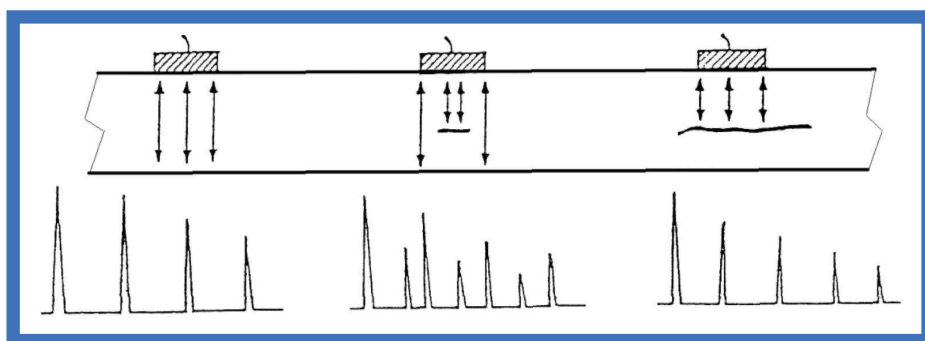
Az alapanyagban maradó üregek a hengerlési eljárás során sem záródnak be. Hosszú lapos anyagfolytonossági hiányok formájában a hengerelt termék (lemez) középső zónájában rendeződnek el. Megjelenési formája miatt rétegességnek nevezzük.

Ha az anyaghiba közel volt az alapanyag felületéhez, vagy ha a hengerlés során túl nagy nyomóerőt (szúrásmélység) alkalmaznak, illetve, ha a munkadarabnak alacsony a hőmérséklete, könnyen kialakulhat az alapanyag felgyűrődéséből egy rálapolódás. Az anyag átlapolott felületei ekkor sem olvadnak össze. Szögfejjel lehet esélyünk felfedezni őket, de mivel a kialakult anyagihiány felülete nem teljesen párhuzamos a lemezfelülettel, és túl közel is eshet ahhoz, így ultrahangos vizsgálattal feltáratlan maradhat. Ez esetben felületi vizsgálati eljárással sikerrel járhatunk, ugyanis az átlapolódás a felületen sem záródik össze. Az ilyen repedések iránya a hengerlési irányra merőleges.

A feltárandó diszkontinuitások jellemzőitől függően a vizsgálati technikák eltérőek.

A rétegességet és rálapolódást a lemez vastagságától függően egyszeri vagy többszörös hátfalvisszhang megjelenítésével kell vizsgálni merőleges vizsgálófejjel. Legtöbb esetben az impulzus-visszhang rendszerű kontaktvizsgálat megfelelő, de a kisebb falvastagságoknál a kétkristályos, adó-vevő fejek alkalmazására van szükség, melyeknek kicsi a közelterük (5.23. ábra).

5.23. ábra.



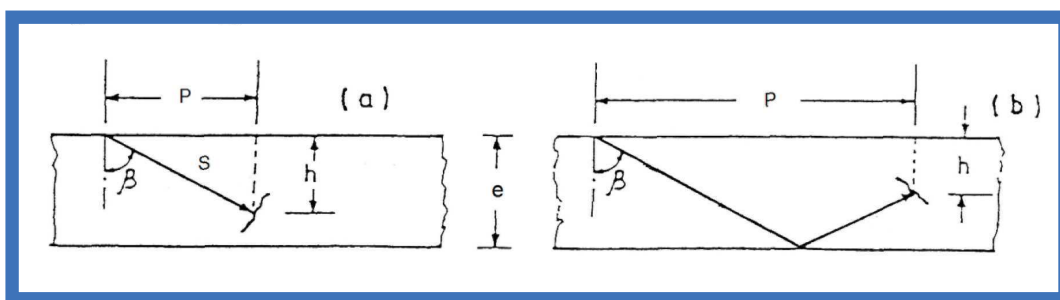
Nagy kiterjedésű vizsgálat esetén a merítéses technika is alkalmazható (teljes + helyi).

Speciális esetekben alkalmazható az átsugárzásos technika is, ez azonban leginkább a méhsejt-szerkezetű anyagok belső része és a burkolata közötti tapadási vagy kötési hiányok feltárására alkalmas. Ezzel a módszerrel viszont nem mutatható ki a rétegesség felülettől való távolsága (mélysége).

Nagyon kis falvastagságok esetén a Lamb-féle hullámok alkalmazása is kezd elterjedni.

A kontakt, szögvizsgáló fejjel végzett, impulzus-visszhang elven működő vizsgálatok segítségével a felszínre merőleges vagy ferde irányú anyaghibák mutathatók ki. 5.24. ábra. Ezt a módszert a hegesztések vizsgálatának tárgyalásakor már bemutattuk.

5.24. ábra.

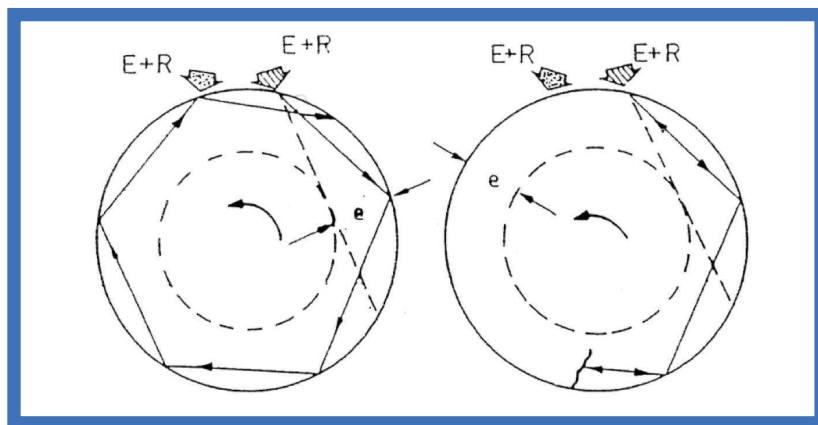


Csövek vizsgálata

Csövek gyártási hibái: a gyártási folyamatból eredően, és attól függő orientációjú, külső és belső felületen megjelenő repedések és gyűrődések, valamint az anyag belsejében található repedések és zárványok.

A gyártás során leggyakrabban alkalmazott vizsgálat a szögfejjel végzett körkörös vagy a merőleges besugárzású vizsgálat egy vagy két vizsgálófejjel, egy vagy két kristályos vizsgálófejjel, illetve impulzus-visszhang, vagy átsugárzásos módszerrel. Utóbbi esetben a vizsgálófejeket párhuzamosan kapcsolva, ellentétesen fordítva kell alkalmazni. (5.25 ábra)

5.25. ábra

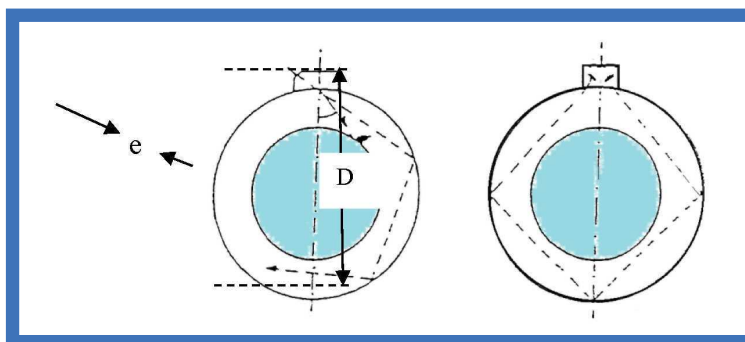


Nemrégiben kifejlesztésre került egy teljes bemerítéses automata technika is, ahol a csövek spirális, vagy egyenes vonalú mozgása mellett a vizsgálófejek is körülfordulnak a csövek tengelye körül.

Nagy átmérőjű csövek esetén a kontaktvizsgálat terjedt el, de a kis átmérőjű (50 mm-nél kisebb) csövek esetén azonban a merítéses vizsgálat előnyösebb. Ennek során a cső forog, miközben tengely irányú mozgást is végez. Az előtolást úgy állítják be, hogy az adott csőtérfogatot 100%-ban lefedje. Közepes átmérőjű csövek esetén (120 mm-nél kisebb) a cső tengelyirányban halad, míg a vizsgálófejeket rotor mozgatja. Ezeket a csöveket négy 90°-os szögben elkülönített szondával vizsgálják, amelyek 150 fordulat/perc sebességgel forognak.

A gyártási vizsgálatokban, csakúgy, mint a karbantartások során, figyelembe kell venni a fontosabb paramétereket, vagyis a cső külső átmérőjét és a falvastagságot. Meg kell nézni az $e/D \leq 0.2$ arány értékét, ahol „e” a cső falvastagságát, „D” a külső átmérőt jelöli.

5.26. ábra



Általános szerkezeti acélban a transzverzális hullám elsődleges (besugárzási) határszöge 33°. Ennél a törési szögnél a longitudinális hullám törési szöge már akkora, hogy kilép a felületre, tehát nem zavarja a transzverzális hullámmal való értékelést. Ez a besugárzási szög viszont meghatározza csővizsgálatok esetén a vizsgálható csőgeometriát, ugyanis a belső felületről kiinduló repedések csak akkor mutathatók ki biztonságosan, ha a hangnyaláb fősugara érinti azt. Tapasztalatok és számítások alapján tehát azok a csövek vizsgálhatók tangenciális elrendezésben szögvizsgáló fejjel, melyeknél az e/D arány kisebb, mint 0,2, vagyis a falvastagság kisebb, mint a külső átmérő ötöde. 5.26 b ábra

Azok a csövek, melyeknél a fenti arány 0,2-nél nagyobb, longitudinális hullámú vizsgálófejjel vizsgálándók.

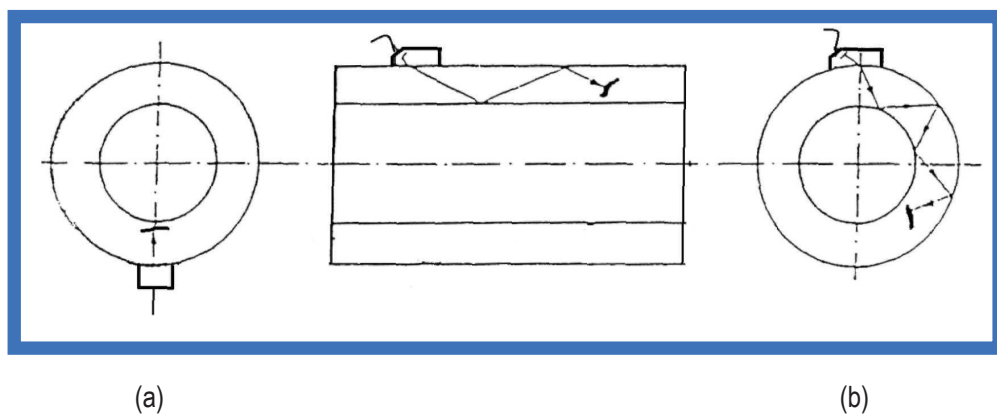
Csővek karbantartási vizsgálata során, az orientáció szerint osztályozva, a következő hibákkal találkozhatunk:

- ◆ *lamináris*: nem megfelelő vastagság, rétegesség és átfedések,
- ◆ *radiális*: repedések, barázdák és bemetszések,
- ◆ *transzverzális*: transzverzális repedések és gyűrődések.

A lamináris elhelyezkedésű hibák feltárása általában merőleges vizsgálófejjel történik, 4 és 5 MHz közötti frekvencián, valamint kétkristályos adó-vevő vizsgálófejjel (5.27. a.) ábra).

A radiális és transzverzális helyzetű hibák feltárása szögvizsgáló fejjel történik, 4 és 5 MHz közötti frekvencián (5.27. b.) ábra).

5.27. ábra.

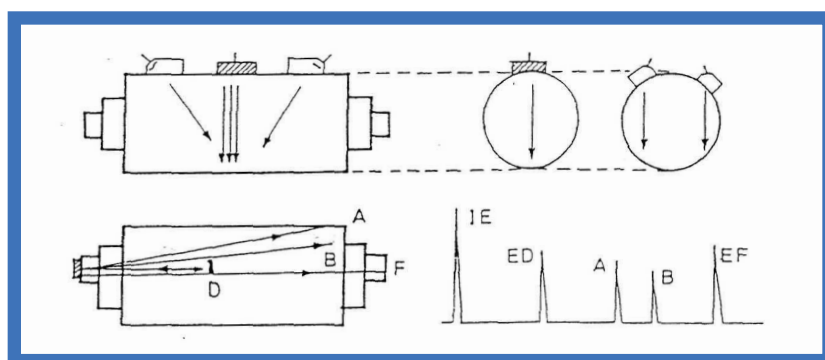


A törési szöget az e/D aránynak megfelelően kell megválasztani.

Tengelyek és csapok vizsgálata

A munkadarab igénybevételétől függően előforduló hibaorientáltságnak megfelelően kell kiválasztani a besugárzási irányokat. Azonban, ha a hengeres felület nem hozzáférhető, az ilyen típusú alkatrészek vizsgálatát a véglap felől, merőleges fejjel kell elvégezni. (5.28 ábra) Ezzel a technikával elkerülhető az elemek szétszerelése.

5.28. ábra.



Az ilyen típusú vizsgálat azonban számos hullámátalakulással kapcsolatos problémát is felvet. A lépcsős tengely sarkain törő hanghullámok átalakulhatnak, és a kialakuló mellékviszhangok elfedhetik a lényeges indikációkat.



Ha a vizsgált darab alakja egyenletes – például rúd –, akkor a mellékvisszhangok mindig az első hátfalvisszhang mögött jelennek meg; azonban ha a darabok az ábrán bemutatottakhoz hasonlóan alakosak, akkor a megjelenő mellékvisszhangok (fantom jelek) repedést jelezve bizonytalanná teszik az értékelést.

A megfelelő sugármenet kialakítása érdekében nagy átmérőjű rezgővel rendelkező vizsgálófejet és magas frekvenciát kell alkalmazni.

Az ilyen típusú darabokban előforduló leggyakoribb anyagfolytonossági hiányok a tengelyhez képest keresztirányú fáradásos repedések.

Ezek a kritikus zónákban erednek, például: átmérő-változásnál vagy húzott szálban (igénybevételtől függően).

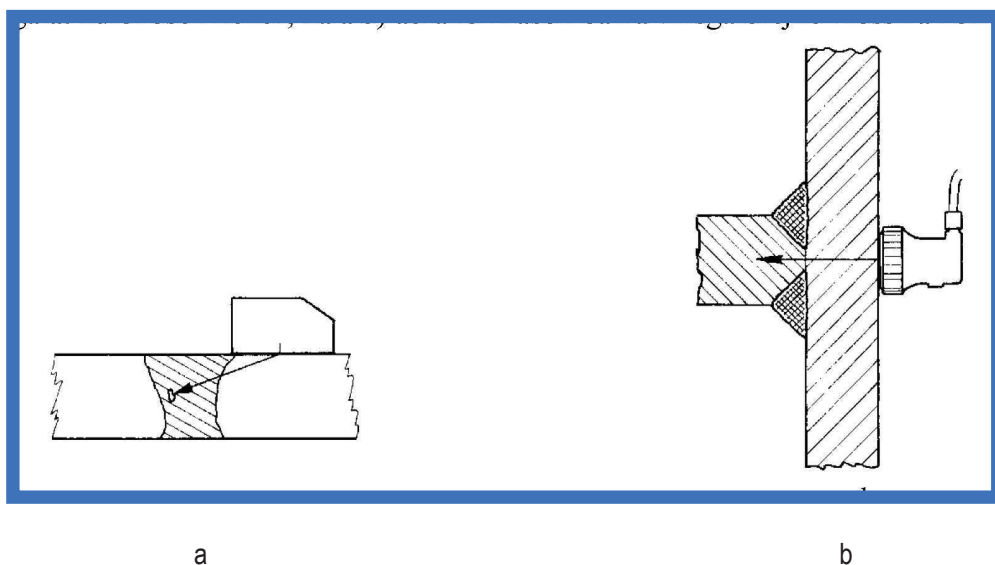
Ha a hengeres felszín hozzáférhető, azt szögvizsgáló fejjel, transzverzális hullámokkal kell vizsgálni, mivel így a keresztirányú repedések jobban kimutathatók és a mélységük is meghatározható. Alkalmazható a fél és egész ugrástávolság is.

5.5 A GEOMETRIA ÉS A SZÖVETSZERKEZET HATÁSA

Geometria

Az ultrahangos vizsgálat jellegét és bonyolultságát nagyban befolyásolja a vizsgálandó anyag szerkezete és összetettsége. A vizsgálat szempontjából legegyszerűbb geometriai formát az 5.29 a) ábrán látható lemunkált koronával és gyökkel rendelkező tompavarrat képviseli. Ennek ellentétét, a bonyolultabb vizsgálati formát az 5.29. b) ábra. mutatja, ahol két lemez T-alakú hegesztése látható részleges átolvadással. A vizsgálat különösen nehéz, ha a b) ábrához hasonlóan a vizsgálófejnek rossz a hozzáférhetősége.

5.29. ábra.



A maximális érzékenység elérése érdekében az anyagfolytonossági hiányok helyének és méretének pontos meghatározásához az az ideális, ha a hangnyaláb fősugara 90° -os szöget zár be az anyagfolytonossági hiány hangvisszaverő síkjával. Ezek alapján az alábbi vizsgálatok alkalmazhatók:

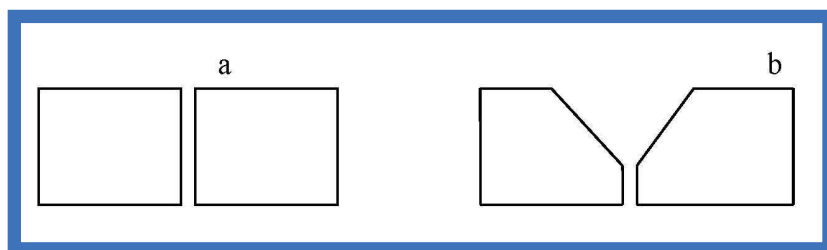
- ◆ A vizsgálati felszínnel párhuzamos, sík jellegű anyagfolytonossági hiányok longitudinális vizsgálófejekkel tárhatók fel leghatékonyabban.
- ◆ A vizsgálati felszínnel valamilyen szöget bezáró, sík jellegű anyagfolytonossági hiányok feltáráshoz szögsugárzók alkalmasabbak. Általában transzverzális hullámú vizsgálófejeket alkalmazunk, de némely esetben longitudinális hullámú szögsugárzóra is szükség lehet.
- ◆ A térfogatos anyagfolytonossági hiányokat legalább két irányból, vagy a vizsgálati munkadarab két oldaláról szükséges vizsgálni.
- ◆ A sarkokból, élekről, illetve a kis és vegyes reflektorokról érkező visszhangjelek értékelése reflexióképesség alapján történik ÖRG/DAC/ (összehasonlító reflektor görbe) vagy TEN/DGS/ (távolság–erősítés–nagyság) diagramok alapján a hozzáféréstől függően transzverzális, vagy longitudinális hullámokkal.

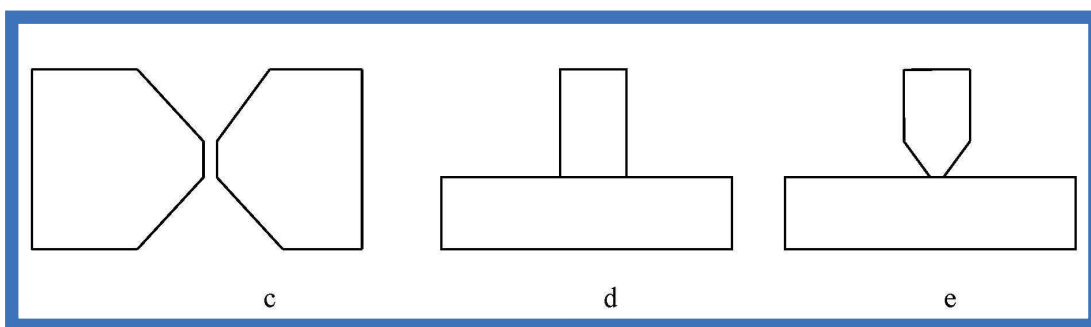
A hegesztés és a geometriai konfigurációk kapcsolata

A 6. fejezetben leírtaknak megfelelően nagyon sokféle hegesztési eljárás létezik, és a hegesztés geometriai kialakításának is számos típusa van. A leggyakoribbak a következők:

- ◆ Lemezszelek előkészítése nélküli tompavarratok. Ezt a típust leginkább akkor használják, ha az alapanyag vastagsága 6 mm-nél kisebb, általában 1 és 2 mm közötti. Ilyenek például az alumínium TIG-hegesztések vagy az elektronsugaras hegesztések.
- ◆ Egyszerű V-tompavarrat. Itt a hegesztett terület bemenete nyitott, hozzáférést biztosítva az első varratsornak (gyökvarrat) és a további varratsoroknak.
- ◆ Dupla V-tompavarrat. Itt a gyök helye a lemezzvastagság felénél van, a V-alak mindkét irányba nyitott. Vastagabb lemezből készült anyagok esetén használják, a hegesztés során fellépő hőfeszültség következtében kialakuló deformáció csökkentése érdekében.
- ◆ Sarokvarrat. Valamilyen szögben álló lemezek összehegesztése a lemezszelek előkészítése nélkül. Hegesztési csomópontok esetén fordul elő ez a kialakítás.
- ◆ Kétoldali fél V-varrat, szögben álló lemezek összehegesztésénél. Vastagabb szelvényeknél alkalmazzák, ahol teljes áthegesztettségre van szükség.

5.30. ábra





Az „a” ábrán látható kialakítás esetén bármely kötésihiba a vizsgálati felszínre merőleges. Az ilyen anyaghibákat általában 70°-os (vagy akár 80°-os) beesési szögű vizsgálófejjel lehet kimutatni mivel így biztosítható, hogy az anyaghiba síkja és a hangnyaláb fősugara közel 90°-os szöget zárjon be. A felületre kijutó hibák esetén szóba jöhetne még a 45°-os vizsgálófej, de kis lemezvastagságnál ekkor már hozzáférési nehézségekbe ütközhetünk.

A „b” ábrán látható varratnál a varrat kötésihibáinak kimutatásához 60 vagy 45°-os vizsgálófej szükséges, leélezés szögétől függően. A gyökhiány „szögtükör” jellegű reflektort eredményez, amely általában 45°-os szögű vizsgálófejjel mutatható ki. Széles varratkorona, illetve kis lemezvastagság esetén nem mindig alkalmazható 45°-os szögű vizsgálófej, mivel a vizsgálófejjel nem lehet a varrat tengelyét oly mértékben megközelíteni, hogy a hangnyaláb fősugara elérje a varratgyököt. Ebben az esetben a 60°-os vizsgálófejjel még sikeresek lehetünk.

A „c” ábrán látható hegesztés gyökhibájának kimutatásával azért lehetnek nehézségeink, mert a hang besugárzásának irányához képest nincs merőleges síkú reflektor, valamint nem alakul ki „szögtükör” sem, mint a „b” típus esetében. Az ilyen hegesztést az „a” típushoz hasonlóan kell vizsgálni, vagy speciális, két vizsgálófejes (tandem) módszerrel.

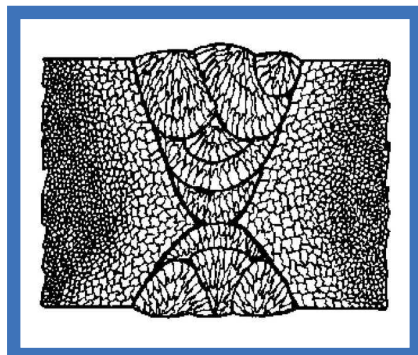
A „d” kialakítású varratok vizsgálatára, ha megfelelő a hozzáférés (5.30 ábra), akkor alkalmas lehet a merőleges besugárzású, longitudinális vizsgálófej a lemezek közötti salak, vagy kötésihiba mértékének meghatározására.

Az „e” ábrán teljes keresztmetszetben átváradt varrat elrendezése látható. A gyökrész beolvadásának hiányosságai az alsó lemez felől, merőleges vizsgálófejjel mutathatók ki. A varrat többi részét szögvizsgáló fejjel vizsgáljuk.

Az anyagszerkezet

Amint azt korábban említettük, a hegesztési varratok, és alapanyagaik szövetszerkezete nagyban különbözhet. Az előzőekben már volt szó a szövetszerkezet hatásáról, azonban a következőkben nézzük kicsit részletesebben az ultrahang terjedésére gyakorolt hatást.

5.31. ábra



Az 5.31 ábrán egy több rétegben felrakott, kétszeres V (vagy X) kialakítású tompavarrat szövetszerkezetét látjuk. A varrat két oldalán az alapanyag finom szövetszerkezete, befelé haladva a hőhatás övezet egyre durvább szemcséjű, de egyenletes eloszlású szemcséi láthatók, majd az egyes varratrétegekben erősen strukturált (oszlopos szemcséjű) durva szemcseszerkezet látható.

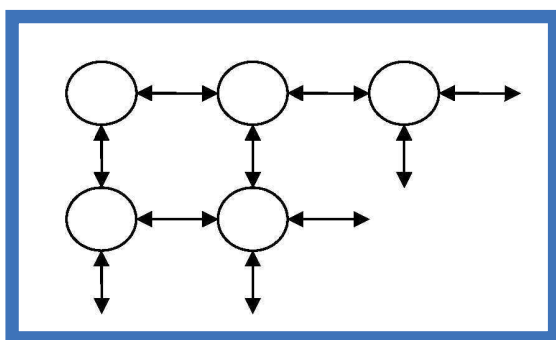
A hanghullámra a különböző szerkezetű anyagrészek eltérő hatást gyakorolnak. A következő jelenségek különböző változásaira kell számítani. (Lásd a 4. fejezet 4.11 pontját):

- ◆ szóródás,
- ◆ diffrakció (elhajlás),
- ◆ hanggyengülés.

Szóródás

Mechanikus erőbehatás következtében – ami lehet egy ultrahang impulzus is – minden rugalmas anyag rezgésbe jön. A rezgés mértékét alapvetően a kiváltó (ultrahang) impulzus frekvenciája határozza meg, de a rezgés az adott anyagra jellemző erősséggel, és sebességgel fog továbbterjedni. Vagyis az ultrahangot közvetítő közeg anyagi részecskéi között fennálló kötés, és összetartó erő határozza meg az ultrahang terjedésének módját.

5.32. ábra



Az ultrahang-impulzusok a fémek kristályos szerkezetében az atomok egymáshoz képesti elmozdulását okozzák. Ehhez a mozgáshoz energiára van szükség. A bevezetett energia egy része az atomok sűrűlédásakor hővé alakul. Elmondhatjuk, hogy ez a hőfelszabadulás az ultrahang-energia egy részének elvesztésével jár.

Minél finomabb és homogénebb a szövetszerkezet, annál kisebb a szóródás miatti hanggyengülés. Ultrahangos vizsgálatok esetén tehát, a finomabb szerkezetű kovácsolt anyagok kevésbé gyengítik a hanghullámokat, mint a durva szemcseszerkezetű öntvények.

Diffrakció (elhajlás)

Az anyagok belső szerkezetének köszönhetően a szemcsehatároknál a hang irányt változtathat a belső szerkezet szemcséinek mérete és iránya szerint. Az így elhajló hanghullámok nem a rezgő irányába verődnek vissza, ezért energiájuk hasznosítatlan marad. Ezt a hatást diffrakciónak nevezzük. Az ebből származó hangvesztesség mértéke a következőktől függ:

- ◆ a vizsgált anyag szemcseszerkezete,
- ◆ az ultrahang hullámhossza.

Azokban az anyagokban, amelyekben a szemcseméret nagyobb, mint az ultrahang hullámhossza (durvaszemcsés anyagok), a hanghullám egy része a szemcséről visszaverődik. A visszaverődő hanghullámok kis amplitúdójú zavarjeleket okozhatnak a képernyőn. A hanghullámok másik része a szemcsehatárokon elhajlik, irányt változtat. A szemcsék mögött így kialakuló, egyre csökkenő méretű árnyékteret ez az elhajlási jelenség, vagyis a diffrakció okozza.

Ha a szemcseméret kisebb, mint a hullámhossz (ez a leggyakoribb vizsgálati helyzet), akkor a hang tulajdonképpen szinte akadálytalanul haladhat tovább.

Abban az esetben, ha a szemcseméret a hullámhosszal összemérhető, vagyis közel azonos nagyságúak, akkor a hangenergiának csak kevés része verődik vissza – vagyis kevesebb zavarjelet észlelhetünk a képernyőn – de a szemcséken a hang nagy része szétszóródik.

A diffrakció vizuális bizonyítéka az időalap mentén helyenként megjelenő több alacsony amplitúdójú jel, amelyeket gyakran neveznek „interferencia jeleknek”.

A kisugárzott hangenergia csökkenésének okai

- ◆ Két közeg közti csatolás jósága: Csatolási (akusztikus) impedancia.
- ◆ Hangnyaláb széttartásából eredő veszteség.
- ◆ Energia elnyelődés az atomok közti energiaátvitel során: Abszorpció.
- ◆ A szemcsehatárokon történő elhajlás.



Hanggyengülés

Az előzőekben említett okok közül az abszorpció és a diffúzió eredményeként jelentkező veszteséget nevezzük együttesen hanggyengülésnek. A hanggyengülés minden esetben e két jelenség kombinációjaként fogható fel.

Az egyik anyagról a másikra történő áthaladás közben az ún. csatolóanyagon is áthalad a hang, mely anyag bármilyen jól vezeti is a hangot, akusztikus ellenállást jelent. Ezt csatolási impedanciának nevezzük.

A széttartási veszteséget úgy vesszük észre leginkább, ha egy nagyreflektor (hátfal) jelét ugyanolyan erősítés mellett különböző távolságokból vizsgáljuk. A távolabbi hátfal jele csökkentett amplitúdójú. A kisugárzott hangtérben $1/a$ szerint csökkenő hangnyomás a hátfalról visszaverődve (a kétszeres hangút miatt) 6 dB veszteséggel érkezik vissza a rezgőhöz. Ez a jelenség a hangnyaláb széttartásnak köszönhető. A hátfaljelhez hasonlóan a kisreflektorok jele is a távolság növekedésével egyre kisebb lesz. (Ez az alapja az ÖRG szerinti értékelésnek.)

Egy adott hangterű vizsgálófej használata esetén az előzőekben tárgyalt okok miatti hanggyengülés a vizsgált anyagra jellemző, távolságarányos jelcsökkenést okoz. A reflektornagyság (hibaméret) meghatározáskor ezt mindenképpen figyelembe kell venni.

A hanggyengülés mértéke

Az ultrahangos hibanagyság meghatározásban betöltött szerepe miatt a hanggyengülés nagyságát a hibafeltárást célzó vizsgálatok előtt meg kell határozni.

Hátfalvisszhang különbség

Az első hátfalvisszhang jelét állítsuk egy alkalmasan választott, jól vizsgálható referencia szintre (pl. a teljes képernyő magasság 80%-ára), majd jegyezzük fel dB-ben az erősítést. Az erősítés növelésével a megjelenő második hátfalvisszhang jelét szintén állítsuk ugyanerre a magasságra, majd ezt is jegyezzük fel.

A két eredmény közti különbség a hangenergia csökkenésének eredménye. Mivel a hangnyaláb széttartás miatti veszteség minden egymás utáni hátfalvisszhang esetén 6 dB, az ennél nagyobb mértékű jelvesztés a diffúzió és az abszorpció, vagyis a hanggyengülés okozza.

Hanggyengülési együttható

Az említett módszer nem veszi figyelembe az anyag vastagságát.

Az anyagvastagságot is számításba vevő módszert az MSZ EN 583-3 jelű szabvány tartalmazza.

Annak 5.5.2 pontja a referenciaanyag ismert és a vizsgálandó anyag ismeretlen hanggyengülési együtthatójának összehasonlításával foglalkozik. Az egyenlet a következő:



$$\alpha_{\text{ismtlen}} = \alpha_{\text{ism}} + \frac{E_{\text{HVVH1}} - E_{\text{HVVH2}}}{2 \times \text{anyagvastagság}} \text{ [dB/m]}$$

ahol:

α_{ismtlen} : ismeretlen hanggyengülési együttható

α_{ism} : ismert hanggyengülési együttható

E_{HVVH1} : az első hátfal-visszhanghoz tartozó erősítés

E_{HVVH2} : a második hátfal-visszhanghoz tartozó erősítés

Ez a módszer csak akkor alkalmazható, ha az alábbi feltételek teljesülnek:

- ◆ Az első hátfalvisszhang legalább a köztér-távolság háromszorosában van.
- ◆ A besugárzott hátfal pontosan merőleges a hangnyaláb fősugarára.
- ◆ A munkadarab oldalfala nem befolyásolja a hangnyaláb-széttartást.
- ◆ A csatolóanyag, valamint a referenciablokk és a vizsgált darab felületi tulajdonságai megegyeznek.

5.6 A VIZSGÁLATI PARAMÉTEREK HATÁSAI

Frekvencia

Amint azt korábban kifejtettük, az alkalmazott hanghullám frekvenciáját a vizsgálatnál használt rezgő vastagsági mérete határozza meg. Ennek a tulajdonságnak önmagában kevés hatása van a vizsgálatra, azonban következményekkel jár a hullámhossz tekintve. A modern frekvenciaszűrő rendszerek segítségével bizonyos anyagjellemzők hatása kiszűrhető.

Hullámhossz

Reflektorok kimutathatósága: az általános irányelv szerint a legkisebb kimutatható reflektor mérete megegyezik a hullámhossz felével.

Behatoló képesség: általában vizsgálati anyag szemcsenagysága határozza meg. A nagyméretű szemcsék nagyobb mértékű diffúziót okoznak, ami a vízszintes tengelyen megjelenő apró jelek (zaj) formájában látható. Ez megnehezíti a kisebb reflektorok felismerését.

Alapfrekvencia

A vizsgálofejek működése akkor a leghatékonyabb, ha el tudjuk érni, hogy az elektromos, illetve a létrejövő mechanikus frekvencia egybeessen a rezgő alapfrekvenciájával.



$$F_c = \frac{C}{2e}$$

ahol C = a rezgőre anyagában mérhető hangsebesség és e = a rezgő vastagsága.

Ez a rezgő ideális gerjesztési frekvenciája a rezonancia frekvencián, ahol $e = \lambda/2$.

Ha a rezgőt a rezonancia frekvenciától eltérő frekvencián gerjesztjük, akkor az adott frekvencián is oscillál, azonban kényszerített módon, vagyis kisebb amplitúdóval.

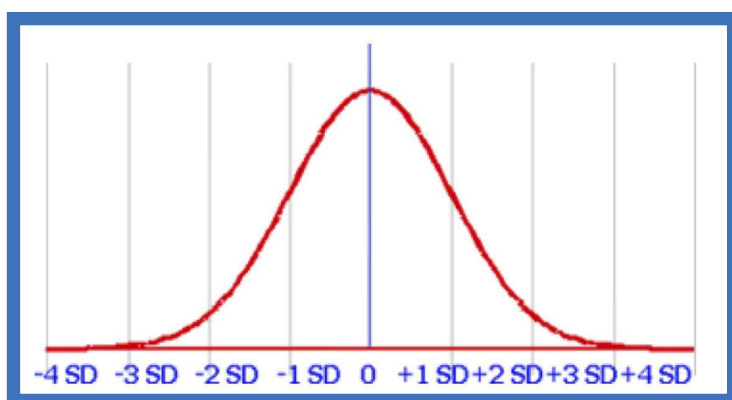
Sávszélesség

Minden rezgő képes az alapfrekvenciájától különböző frekvencián rezegni. Azt a frekvenciatartományt, melyen a rezgő képes a rezgésre, sávszélességnek nevezzük.

A rezgő mögött elhelyezett csillapító test befolyásolja a vizsgálófej sávszélességét is. Erősebb csillapítás nagyobb sávszélességet eredményez.

Az alábbi ábrán egy vizsgálófej frekvencia szerinti normál eloszlásgörbéjét láthatjuk:

5.33. ábra



A 5.33 ábrán látható görbén a rezgő alapfrekvenciája a 0 pontnál van. A -3 SD és +3 SD pontok az alapfrekvenciától való standard eltérés háromszorosát mutatják a kisebb és nagyobb frekvenciák felé. Egy erősen csillapított rezgőnél, ha a névleges frekvencia értéke 5 MHz, akkor a -3 SD pont a -2 MHz frekvenciát jelenti, míg a +3 SD pont a 8 MHz-et. Tehát a sávszélesség 2 MHz-től 8 MHz-ig terjed.

A függőleges tengelyen az adott frekvenciájú jelek erősségét (amplitúdóját) látjuk, amely 2 MHz és 8 MHz értéken esik le gyakorlatilag 0-ra. Ezért egy vizsgálófej sávszélességét nem ezekkel az értékekkel adják meg, hanem általában a -6 dB-es amplitúdókhoz tartozó, -1 SD és +1 SD pontokkal, vagyis a 4–6 MHz-es intervallummal ez esetben.

A nagyfrekvenciájú ultrahangok hamarabb elnyelődnek abban a közegben, amelyben terjednek, és alapvetően is kisebb az erősségük, mint a kisfrekvenciájú hangoknak, ami megnehezíti a kisebb



reflektorok kimutatását, azonban a sáv szélességen belüli kisebb frekvenciák könnyebben belépnek az anyagba és relatíve nagyobb jeleket generálnak.

Zaj

Az anyagfolytonossági hiányok kimutathatósága sok tényező függvénye. Például nagymértékben függ az ultrahang-hullámhossz és az anyagfolytonossági hiány méretének arányától, de a reflektorokról visszaverődő hang mennyiségét a reflektor két oldalán lévő anyag akusztikus impedanciája közötti különbség (hangvisszaverő vagy -elnyelő képesség) is befolyásolja. A légrések, gázzárványok határfelületéről általában nagyobb arányban verődik vissza a hang, mint a fémes zárványokról, mivel az akusztikus impedanciájuk közötti különbség sokkal nagyobb.

A anyaghiányok kimutathatóságának jó mércéje a jel/zaj viszony (S/N), amely azt jelzi, hogy az anyaghiány felől érkező jel nagysága hogyan aránylik azon jelek nagyságához, melyeket a külső vagy belső tényezők által okozott zaj kategóriájába sorolunk. Az általános követelmény minimum 1–3 jel/zaj arány. Az abszolút zajszinthez képest a relatív zajszint az alábbi tényezőktől függ:

- ◆ A vizsgálófej mérete és fokális tulajdonságai.
- ◆ A vizsgálófej frekvenciája, sáv szélessége és hatékonysága.
- ◆ A hangút, illetve hangúttávolság (vizsgálati anyagtól függően).
- ◆ A reflektor felületének minősége (görbe vagy durva, egyenetlen felület).
- ◆ A reflektor irányítottsága a hangnyaláb főtengelyéhez viszonyítva.
- ◆ A fém szövetszerkezete által okozott zaj.
- ◆ A reflektor, mint határfelület két oldalán lévő anyagok akusztikus keménységétől.

A jel–zaj–arány (S/N) és ebből következően az anyaghiány kimutathatósága:

- ◆ Az anyaghiány méretének növekedésével javul.
- ◆ A hangnyaláb fókuszáltságának mértékével együtt növekszik.
- ◆ Az impulzus szélesség csökkenésével növekszik: az anyaghiányok kimutathatósága fordítottan arányos az ultrahangos vizsgálófej által generált impulzus időtartamával: minél rövidebb az impulzus (magasabb frekvenciánál), annál jobban kimutatható az anyaghiba. Nagyobb sáv szélesség esetén is ez a kedvezőbb.
- ◆ Nagy sűrűségű és/vagy magas ultrahang terjedési sebességű anyagokban csökken; mivel a jel–zaj arány (S/N) fordítottan arányos az anyag sűrűségével és az akusztikus sebességgel.

Jelfeldolgozás

Aszámítástechnikai hardverek és szoftverek folyamatos fejlődésének köszönhetően az RMV-adatok értelmezése egyre könnyebbé válik. Azonban az ultrahangos zaj mellett jelentős problémák merülhetnek fel az ultrahangos vizsgálat során kapott adatok automatikus értelmezésében. A zajhatások mini-



malizálására alkalmazott hagyományos eszközöknek vannak hátrányai. Például a frekvenciamezőszűrő hátrányosan befolyásolhatja a „jó” adatokat és az átlag csökkentheti a vizsgálati arányt.

A zaj csökkentésének másik módja a változó frekvenciájú impulzusokon alapuló jelfeldolgozó rendszerek alkalmazása. A változó frekvenciájú jelek időben ugyanolyan hosszúságúak és sávszélességűek. Természetükből adódóan különböznek a sztenderd jelfeldolgozó technikáktól, mint pl. a korreláció, amely nem igényel magas szintű matematikai ismereteket.

Az anyag hatása

Ha egy finomszemcsés anyag két szemcséje közti határhoz ultrahang-impulzus ér, akkor az impulzus nagy mértékben áthatol a határon és a hangenergiának csak egy kis hányada verődik vissza. A hangimpulzus alig jut be a szemcsék közti térbe és ennek köszönhetően gyakorlatilag nincs hanggyengülés.

A rugalmasan izotróp vagy kevésbé anizotróp anyagok jól továbbítják a hangot, és általában könnyen vizsgálhatók ultrahanggal.

Ha minden szemcse ugyanabban az irányban nyúlt meg, mint pl. a hidegen hengerelt lemezekben, akkor az anyag jól vezeti a hangot, legalább is egy irányban.

Ha a szemcsék elrendeződése véletlenszerű, akkor a hangimpulzus különböző elasztikus tulajdonságokkal találkozik a határfelületeken, az anyagon való áthaladás közben. Ennek eredménye jelentős hangszóródás. Ez a szóródás számottevő lehet, ha az anyag hanggyengülési szintje magas, ami lehetlenné teszi a hangok továbbítását.

A rugalmas anizotrópia szintje azonban önmagában nem mércéje az anyag hangtovábbító tulajdonságának. A másik nagyon jelentős anyagtulajdonság az átlagos szemcseméret.

Az anizotróp rugalmasságú anyagokban a hang szóródása csak akkor jelentős, és az ultrahangos vizsgálat csak akkor válik kérdésessé, ha a szemcsék elérnek egy, a terjedő ultrahang hullámhosszához képesti bizonyos méretet.

Az egyik leginkább anizotróp rugalmasságú anyag az acél. Az acél rugalmassági anizotrópiája különböző tényezőktől függ: a képlékeny alakítás típusa (pl. kovácsolás, hengerlés); az ötvözet tartalma (rozsdamentes vagy lágy) és a hőkezelés módja és időtartama (pl. lassan hűtött és normalizált). Ezek a tényezők megváltoztatják a szövetszerkezetet, következésképpen jelentősen befolyásolják a hang szóródását.

Acélszerkezet módosulása

Számos acéltípus tulajdonságai megváltoztathatók és javíthatók megfelelő hőkezeléssel. (A vas-szén fázisdiagram a 6. fejezetben szerepel.) Általános szabályként elmondható, hogy a hőkezelés az acél hőmérsékletét pontosan az ausztenit átalakulási vonalra emeli, majd lassan lehűti (normál lágyítás), finomítva a szemcsét, ami jelentősen csökkenti a szemcseméretet. Ez kiemelkedő jelentőségű a hanggyengülés és az anyagon belüli szóródás csökkentése szempontjából.



Hőkezelést követően még azok az acéltípusok is kielégítő eredménnyel vizsgálhatók ultrahangos módszerrel, amelyek a hőkezelést megelőzően erre nem voltak alkalmasak. A szemcse finomítása csökkenti a hang szórását a szemcse határokon, olyan módon, hogy ahol előzőleg csak szórásjelzést (interferencia jelet) mutatott a vizsgáló berendezés képernyője, ott a hőkezelést követően alsó visszhangok sorozata jelenik meg, és az interferencia jelek szinte teljesen eltűnnek.

A reflektorok orientációja

Amint korábban említettük, a repedések hosszúsággal és szélességgel rendelkező sík anyagfolytonossági hiányok, amiknek gyakorlatilag nincs vastagságuk. Emiatt, ha az ultrahang sugár 0° -os szögben ér egy repedést, akkor ugyanabban a síkban nem jelenik meg visszaverődés; ugyanígy, ha a sugár 90° -os szögben esik a repedésre, akkor maximális amplitúdójú reflexió jelenik meg.

Az anyagban található anyagfolytonossági hiányok az alábbiak szerint csoportosíthatók:

Egydimenziós: csak hosszúsági mérete van. Lánc alakú reflektorként jellemezhető, mint például a lineáris finom salakzárvány.

Kétdimenziós: hosszúsági és szélességi mérete van. Repedésszerű reflektorként jellemezhető, mint a finom keresztirányú repedés varratban vagy összeolvadási hiány az oldalfalon.

Háromdimenziós: hosszúság, szélességi, és magassági mérete van. Térfogatos reflektorként jellemezhető, mint a gáz- vagy a salakzárványok varratban.

Ezen reflexiók kimutathatóságát a következők határozzák meg:

- ◆ A legnagyobb dimenzió iránya az ultrahang sugár beesési szögéhez viszonyítva. A rosszul irányított visszaverődések olyan visszaverődő jelerősséget eredményezhetnek a hagyományos impulzus-visszhang technikával végzett vizsgálat során, amelyek egyéb módszereket, pl. TOFD-t alkalmazását igénylik.
- ◆ A forma és felszín: minél egyenletesebb a visszaverő felület, annál nagyobb a jelerősség és fordítva, vagyis minél durvább a felszín, annál nagyobb annak a hangszórása és a visszaverődő jel vesztesége.

Az anyagban található finom gázzárványok pontos jelcsúcsokat eredményeznek, míg a durva salakzárványok többszörös visszhangot hoznak létre az időalap adott tartománya mentén.

5.7 ULTRAHANGOS INDIKÁCIÓK

A vizsgálati technika, a berendezés, a vizsgálófejek, a referenciareflektorok és a csatolóanyag kiválasztását számos tényező, többek közt a feltárandó és értékelendő anyaghiba típusa határozza meg.

A gyártási anyaghibák, például salakzárványok, kráterrepedések, légpórusok vagy összeolvadási hibák várható helye kijelölhető, tervezhető, és mindegyik típus specifikus tulajdonságokkal rendelkezik. A technikai útmutató ezen tényezők leírására szolgál.



Az üzem közbeni vagy használat során keletkező anyaghibák előfordulási helye az igénybevétel ismeretében szintén világosan kijelölhető a felszínen és a különböző kialakítású területeken. Emiatt a két terület vizsgálatának előkészítéséhez más-más megközelítés szükséges, valamint meg kell fontolni a műszaki mérnökök, karbantartási szakemberek és kohómérnökök vizsgálattervezésben való részvételét.

Ha a várható anyaghiba típusát azonosítottuk, akkor meghatározható az értékelési módszer. Ha például a várható, és lokalizálendő anyaghibák fáradásos repedések egy csőrendszerben, akkor a vizsgálat helyét és az alkalmazandó specifikus vizsgáló berendezést egyrészt a szövetszerkezet határozza meg, másrészt azok a helyek, ahol az igénybevétel koncentrálódik, valamint a cső- és az abból felépített szerkezet geometriája.

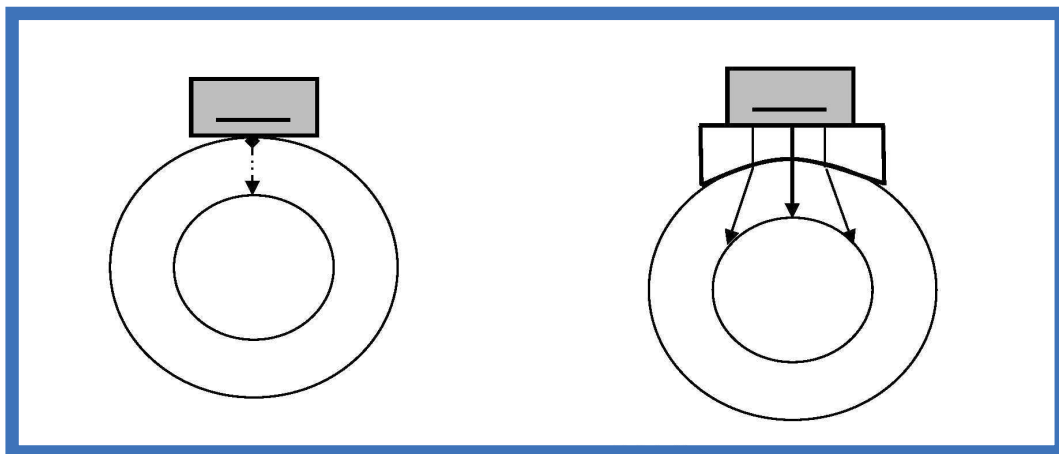
Ha a felszín kellően egyenletes, akkor felszíni hajlékony vizsgálófejek is alkalmazhatók. Ha azonban nem elég sima, akkor a kúszó-hullámú, vagy a TOFD-technika alkalmazható. Amennyiben a hozzáférés korlátozott, fázisvezérelt módszer is használható.

Alak, méret, irány, képtorzulás, ferdülés, stb.

Minden olyan vizsgálati technikában, ahol a vizsgálati felszín sík és sima felületű, a hangnyaláb iránya és anyagon belüli orientációja előre jelezhető. Ha az elérhető felszíningörbe, vagy a bemeneti felszín nem párhuzamos az alsó fallal, akkor a hangnyaláb irányát a geometria ismeretében meg kell határozni. Csövek vizsgálatakor minél kisebb az átmérő, annál nagyobb a sík felszínű vizsgálófej potenciális „kilengése”.

Ezen kockázat csökkentése érdekében használható görbe vagy konkáv felszínű vizsgálófej, ez azonban növelheti a hangnyaláb széttartását a munkadarabban, és csökkentheti a jelerősséget.

5.34. ábra.



Csövek belső vizsgálata végezhető görbe vagy konkáv felszínű vizsgálófejjel, ebben az esetben a hangnyalábot a cső belső felületéről indítják, ami csökkentheti a külső felületi lefedettséget, mivel a sugár kisebb lehet, mint a vizsgálófej átmérője.



Durva felületű munkadarabok kontakt módszerrel történő vizsgálatakor a kopott vizsgálófej-előtét előidézhethet a vizsgálófej eredeti hangnyalábjával nem párhuzamos nyalábot. Ezt nevezik "kancsalságnak" vagy képtorzulásnak/ferdülésnek.

A berendezés tulajdonságai

A megfelelő berendezés kiválasztása érdekében nagyon fontos pontosan ismerni a vizsgálati módszerre vonatkozó követelményeket.

A berendezés tulajdonságainak ismerete lehetővé teszi a vizsgálat helyes módon történő elvégzését a módszer alkalmazására vonatkozó követelményeknek megfelelően:

- ◆ megjelenítési módok (A-, B-, C-kép),
- ◆ érzékenység,
- ◆ vizsgálófejek,
- ◆ beállítási lehetőségek,
- ◆ mérési tartomány,
- ◆ nyilvántartó rendszerek,
- ◆ adattárolás,
- ◆ hordozhatóság,
- ◆ az akkumulátor élettartama.

5.8 AZ INDIKÁCIÓK OSZTÁLYOZÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

Néhány esetben 3-as szintű tanúsítvánnyal rendelkező szakember bevonása szükséges ahhoz, hogy az adott gyártási terület műszaki osztályával együttműködve készítsék elő a vizsgálati technológiát, valamint ahhoz, hogy azok érvényességét értékeljék (validálják). A megfelelő következtetések levonásához nagy mennyiségű adat elemzése szükséges.

A vizsgálat érvényességét az alábbi tényezők határozzák meg:

- ◆ *Megismételhetőség:* A vizsgálat megismétlésekor ugyanazt az eredményt kapjuk-e? Megismételhető-e a vizsgálat más vizsgálokkal vagy berendezésekkel?
- ◆ *Reprodukálhatóság:* Milyen pontossággal reprodukálhatók az eredmények?
- ◆ *Pontosság:* Összevethetők-e az eredmények a referencia adatokkal? Az ultrahangos vizsgálattal meghatározott anyaghibák mérete eléri-e az adott anyaghiba esetén a metallurgiai elvárható pontosságot?
- ◆ *Statisztikai szignifikancia:* Elég nagy volt-e a mintavétel ahhoz, hogy az eredmény statisztikailag meghatározó jelentőségű legyen?

Az eredmények megbízhatóságának garantálása érdekében 3-as szintű vizsgálonak az adott műszaki osztállyal (Tervezés, Üzemeltetés, Minőségellenőrzés) közösen kell összevetni a vizsgálati eredményeket a műszaki irányelvekkel, előírásokkal, szabványokkal.



Kalibrációs eredmények

Minden mérő- és vizsgálóeszközt akkreditált laboratóriumban kell kalibrálni/kalibráltatni a mérési eredmények garantálása érdekében (ultrahangos vizsgálóberendezések és vizsgálófejek esetében ezt a szabvány által előírt időszakonként meg kell ismételni).

A legtöbb esetben a minőségügyi osztály ellenőrzi és tartja nyilván a berendezések kalibrálási bizonyítványát, valamint tájékoztatja a felhasználókat az eredményekről és az esetleges működési korlátokról. Ezen felül folyamatosan ellenőrzi és az érvényes szabványokat követve tervezi a kalibrálásokat. Ehhez szükséges minden berendezés nyilvántartása, és azonosíthatósága.

Bizonyos berendezések esetén a kalibrálási időszak meghosszabbítható a korábbi kielégítő számú kalibrálás és a berendezés használati körülményei alapján, ezt azonban minden esetben igazolni és ellenőrizni szükséges.

A korábbi kalibrálási előzmények elemzése alapján határozható meg, hogy a kalibrálási időszak meghosszabbítása biztosítható-e.

5.9 HEGESZTETT KÖTÉSEK INDIKÁCIÓINAK ÉRTÉKELÉSE

DETEKTÁLÁS, HELYMEGHATÁROZÁS, MÉRETEZÉS

Elfogadási szint és értékelés

Minden gyártott termék (szerkezet, munkadarab) mérnöki munka, és szerkezeti számítások sokaságából álló tervezés, majd a fizikai gyártói tevékenység eredménye. Ezen munkadarabok alapvető minőségi követelményeit a későbbi felhasználásból származó igénybevételek, illetve az azok által támasztott minőségi követelmények határozzák meg.

A „célnak megfelelő” azt jelenti, hogy a termék gyártása során elfogadható néhány kisebb, az elméleti jóságtól való eltérés, folytonossági hiány, amennyiben előreláthatóan ez a későbbi felhasználást, működést nem befolyásolja. Ilyen megfontolások alapján kerülnek meghatározásra a termékekben előforduló eltérésekre, és folytonossági hiányokra vonatkozó elfogadási szintek, amik meghatározzák a termékek vizsgálatainál – így az ultrahangos vizsgálatnál is a alkalmazandó vizsgálati kimutatási határokat.

A folytonossági hiányok precíz hely- és méretmeghatározásának érdekében az ultrahangos vizsgálat érzékenységét úgy kell megválasztani, hogy az adott vizsgálati darabra vonatkozó, előírásokban (szabványokban) meghatározott legkisebb reflektor is észlelhető legyen.

Hegesztett kötések ultrahangos vizsgálatakor a következőkben felsorolt, és a továbbiakban részletezett MSZ EN ISO szabványok az irányadók:

- ◆ MSZ EN ISO 17635
- ◆ MSZ EN ISO 11666
- ◆ MSZ EN ISO 17640
- ◆ MSZ EN ISO 23279



Az MSZ EN ISO 17635 szabvány irányelveket fogalmaz meg, és útmutatót tartalmaz a hegesztési varratok roncsolásmentes vizsgálati eljárásainak kiválasztására, valamint az eredmények minőségbiztosítási szempontú értékelésére vonatkozóan.

Előírja, hogy a vizsgáló szervezet legyen független a gyártó szervezettől, és annak tevékenységeitől, ezzel biztosítva az objektivitást és a megfelelő minőségbiztosítási felügyeletet.

A hegesztési varrat minőségi szintje függ annak típusától, méretétől, valamint a benne található hibák fajtájától, és helyétől.

Az előbbi információk a vizsgálat végrehajtásának szempontjából is fontosak – tekinthetjük a vizsgálat elsődleges bemenő adatának is.

Ezek alapján meghatározhatjuk, hogy a vizsgáló személyzetnek egy hegesztési varrat vizsgálata előtt milyen információkra van szüksége:

- ◆ A vonatkozó szabvány által előírt követelmények (vagy a megrendelő specifikációi)
- ◆ Vizsgálati terv (amennyiben szükséges) és/vagy eljárás-utasítás.
- ◆ A szabványostól eltérő hegesztési varrat esetében a szükséges intézkedések (Megállapodáson, illetve speciális előírásokon alapuló követelményrendszer szerinti eljárás-utasítás.)
- ◆ A vizsgálat helye és ideje.

Elfogadási szintek

Az ISO 5817 vagy ISO 10042 szabványokban szereplő minőségi szintek, valamint a vizsgálati módszerek, és átvételi szintek közötti kapcsolat nehezen definiálható, nem számszerűsíthető. Az MSZ EN ISO 17635 szabvány az ultrahangos vizsgálatok esetében ezt a kapcsolatot az alábbiak szerint határozta meg:

Ultrahangos impulzus-visszhang módszer (UT-PE):

1. táblázat.

Minőségi szint ISO 5817	Módszer és vizsgálati szint ISO 17640	Átvételi szintek ISO 11666
B	B	2
C	A	3

célja A B és C minőségi szinteknek megfelelő 2. és 3. ultrahangos átvételi szintek egyedi követelményeit az MSZ EN ISO 11666 szabvány határozza meg. (Ferromágneses acélok teljesen áthegesztett kötéseinek esetén, ahol a vastagság 8 mm és 100 mm közé esik).



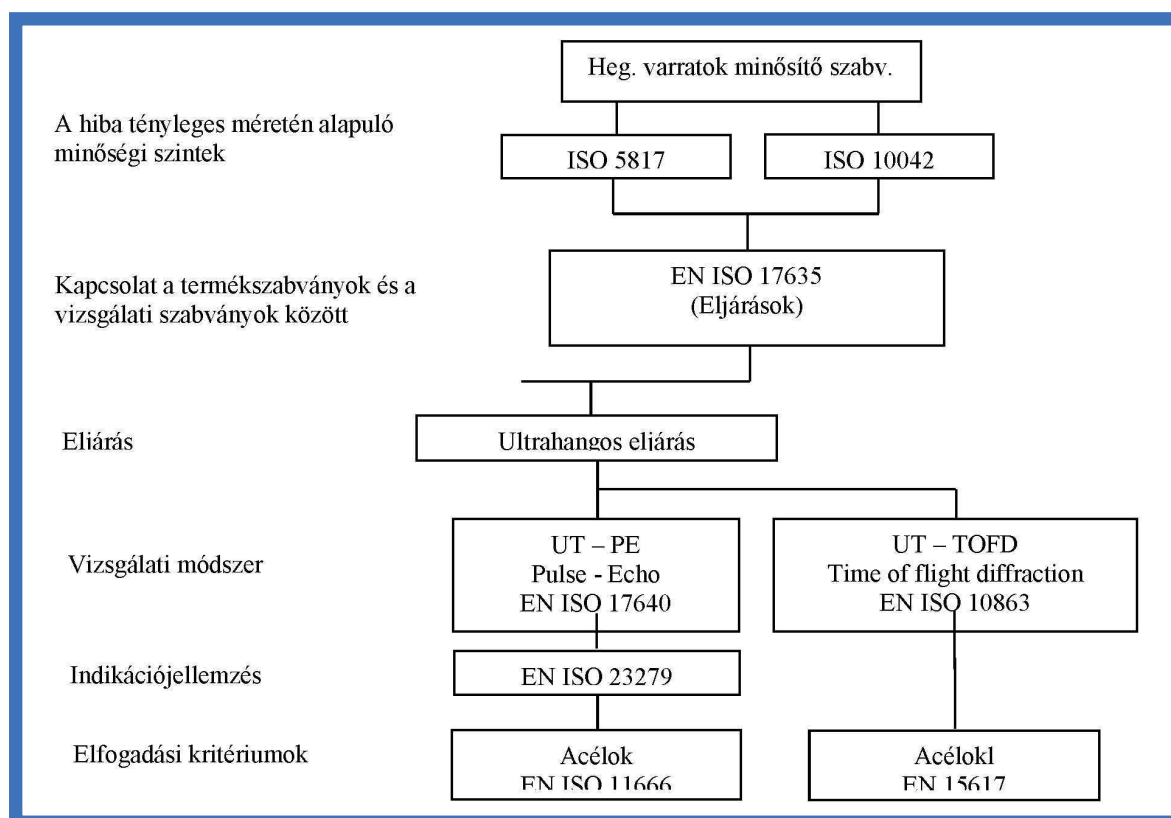
2. táblázat.

Minőségi szint ISO 5817	Módszer és vizsgálati szint ISO 17640	Átvételi szintek ISO 11666
B	C	1
C	B	2
D	A	3

Megjegyzés: Amennyiben az indikációk jellemzését az MSZ EN ISO 23279 szabvány szerint végezzük, a felületi indikációk nem elfogadhatóak.

Az alábbi ábrán a hegesztési varratok ultrahangos vizsgálatára vonatkozó szabványok, és azok kapcsolata látható:

5.35. ábra.

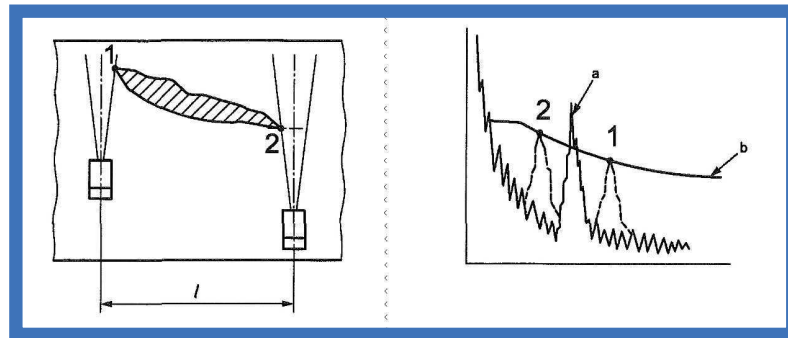


Az indikáció hosszúságának mérése

Hegesztési varratok esetén, az EN ISO 11666 szabvány szerint az elnyúló (vegyesreflektor jellegű) anyagfolytonossági hiányok hosszának meghatározásakor azt a távolságot kell lemérni, ahol a visszhang amplitúdó éppen az értékelési szintre csökken. (Abszolút regisztrálási határ) Lásd: 5.36 ábra.



5.36. ábra.



Egy indikáció oldalirányú dimenzióinak mérése, ahol a visszhang megegyezik, vagy nagyobb, mint az értékelési szint.

Érzékenységi szintek beállítása

Minden letapogatási módszer esetében a vizsgálat előtt meg kell állapodni az érzékenység beállításának módjában, majd az ezt követő vizsgálat és az értékelés során ugyanazt a módot kell alkalmazni: Az MSZ EN ISO 11666 szabvány az érzékenységi szintek beállítására a következő négy módszert írja elő:

- ◆ 1. módszer: hengeres reflektor, 3 mm átmérőjű keresztirányú hengeres furatokról KHF készített összehasonlító reflektor görbével (ÖRG);
- ◆ 2. módszer: a távolság-erősítés-nagyság (TEN) diagramon alapuló módszer, körtárcsa alakú reflektorokkal (KTR):
- ◆ 3. módszer: 1 mm mélységű és 1 mm szélességű merőleges bemetszés (horony) összehasonlító reflektor görbéjével (ÖRG);
- ◆ 4. módszer: tandem-módszer 6 mm átmérőjű körtárcsa alakú reflektor referenciával (KTR).

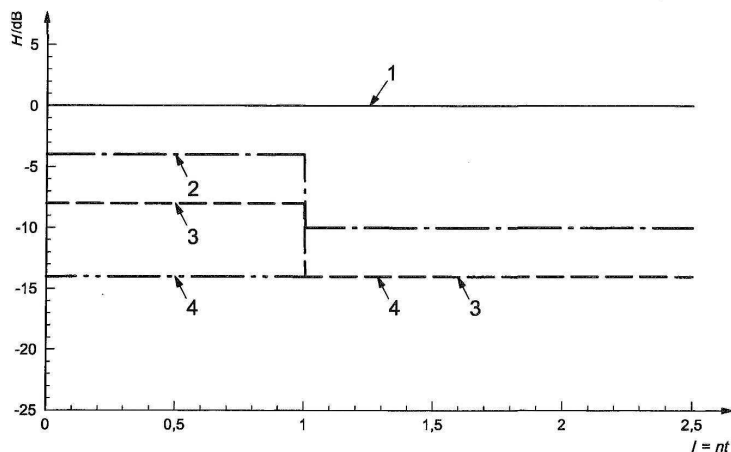
Az MSZ EN ISO 11666 szabvány az MSZ EN ISO 17640 szabvánnyal összhangban az indikációk értékelésére négy lehetséges szintet határoz meg:

- ◆ Vonatkoztatási szint;
- ◆ Értékelési szint;
- ◆ Regisztrálási határ (szint);
- ◆ Átvételi szintek (vizsgálati osztályok szerint 2 szint került meghatározásra).

Minden értékelési szintet a referencia-reflektorokhoz hasonlítunk.

eset:

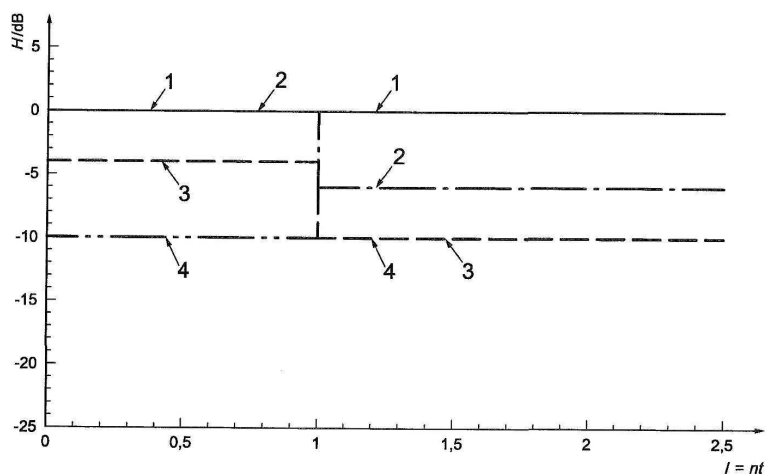
Az 1. és 3. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 8 mm és 15 mm között). 2. átvételi szint.



- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – Vonatkoztatási szint | H – Amplitúdó |
| 2 – 2. Átvételi szint | l – Indikáció hossz |
| 3 – Regisztrálási határ | n – t szorzó |
| 4 – Értékelési szint | t – Vastagság |

eset:

Az 1. és 3. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 8 mm és 15 mm között). 3. átvételi szint

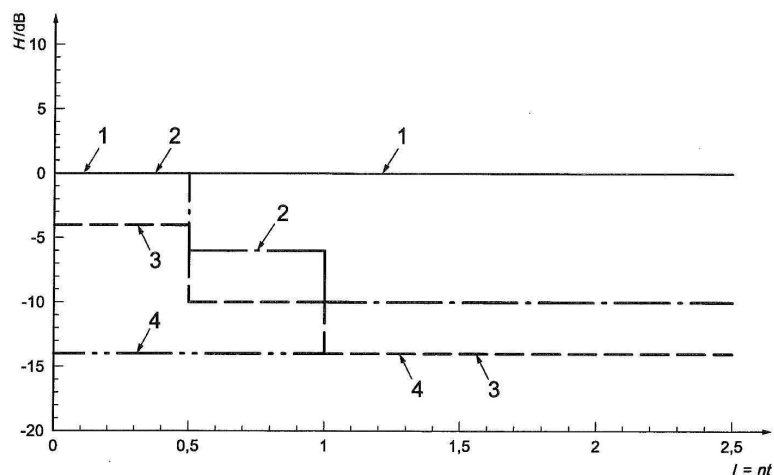


- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – Vonatkoztatási szint | H – Amplitúdó |
| 2 – 3. Átvételi szint | l – Indikáció hossz |
| 3 – Regisztrálási határ | n – t szorzó |
| 4 – Értékelési szint | t – Vastagság |



eset:

Az 1. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 15 mm és 100 mm között). 2. átvételi szint

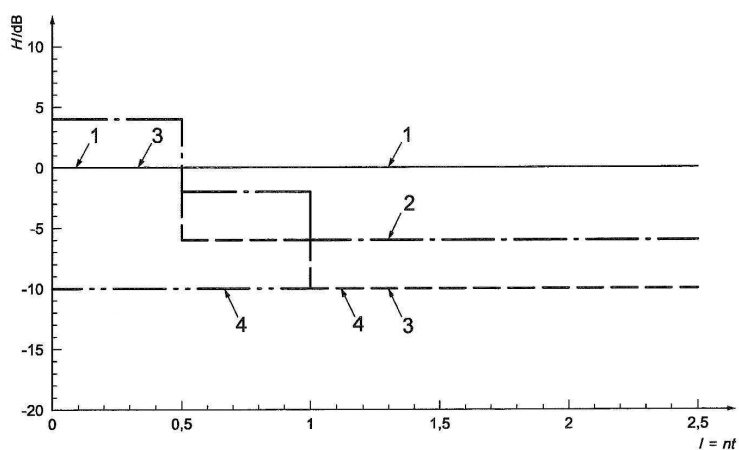


- 1 – Vonatkoztatási szint
- 2 – 2. Átvételi szint
- 3 – Regisztrálási határ
- 4 – Értékelési szint

H – Amplitúdó
l – Indikáció hossz
n – t szorzó
t – Vastagság

eset:

Az 1. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 15 mm és 100 mm között). 3. átvételi szint



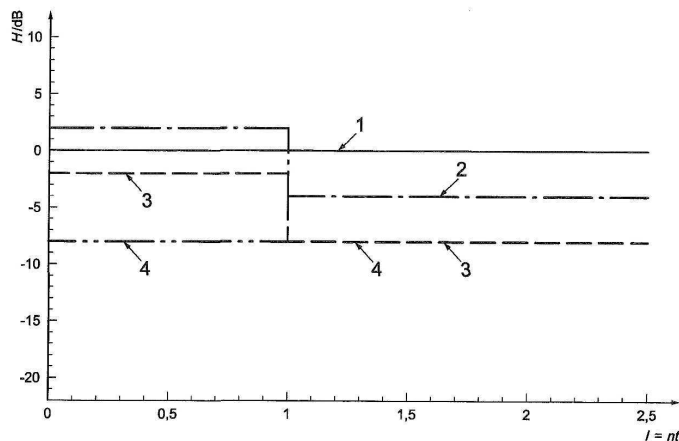
- 1 – Vonatkoztatási szint
- 2 – 3. Átvételi szint
- 3 – Regisztrálási határ
- 4 – Értékelési szint

H – Amplitúdó
l – Indikáció hossz
n – t szorzó
t – Vastagság



eset:

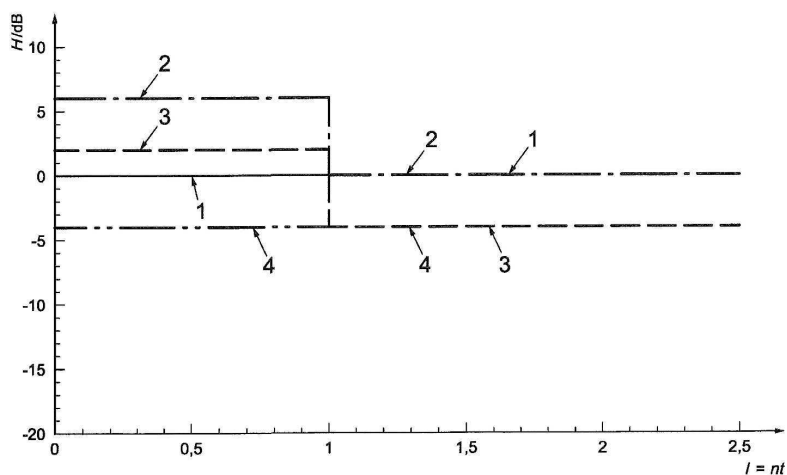
A 2. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 8 mm és 15 mm között) 2. átvételi szint



- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – Vonatkoztatási szint | H – Amplitúdó |
| 2 – 2. Átvételi szint | l – Indikáció hossz |
| 3 – Regisztrálási határ | n – t szorzó |
| 4 – Értékelési szint | t – Vastagság |

eset:

A 2. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 8 mm és 15 mm között) 3. átvételi szint

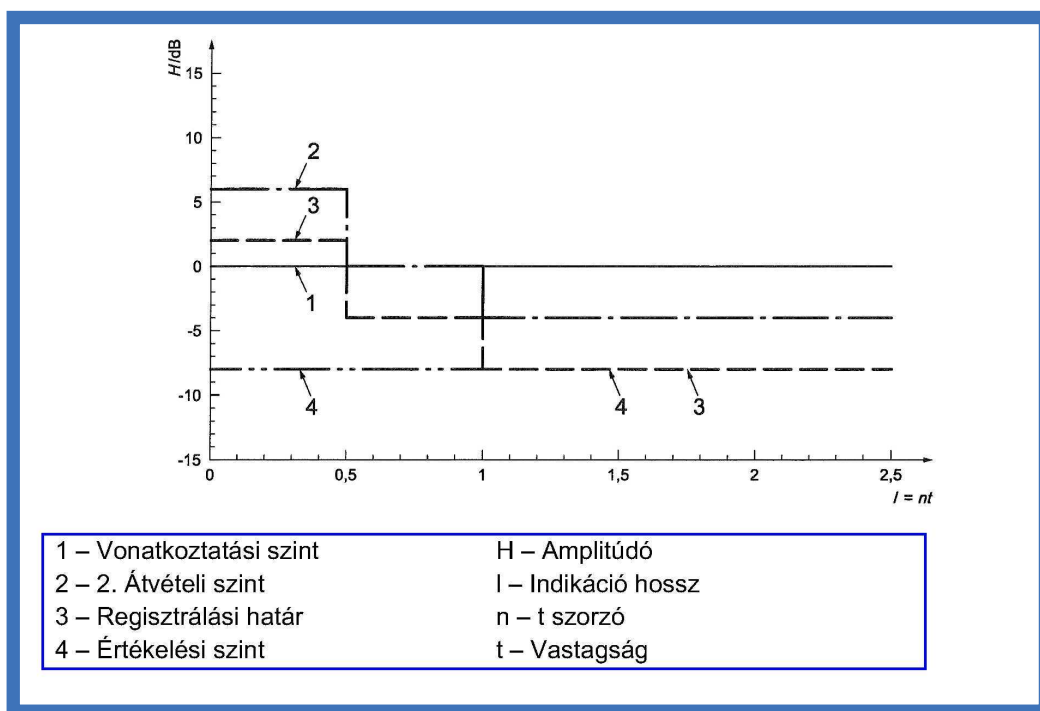


- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – Vonatkoztatási szint | H – Amplitúdó |
| 2 – 3. Átvételi szint | l – Indikáció hossz |
| 3 – Regisztrálási határ | n – t szorzó |
| 4 – Értékelési szint | t – Vastagság |



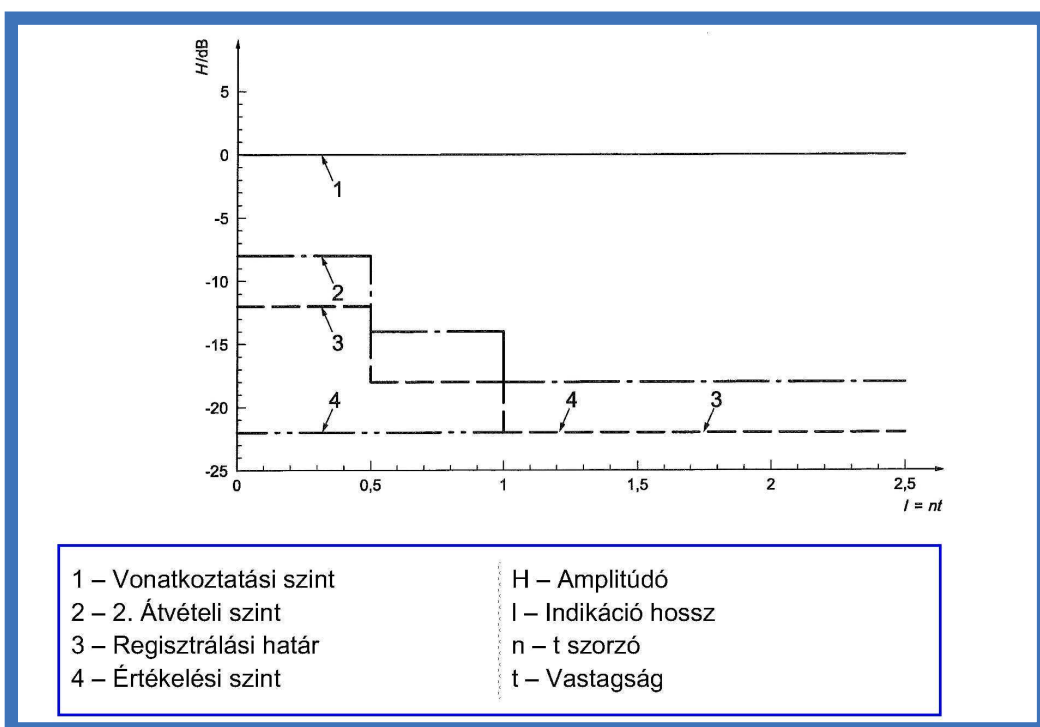
eset:

A 2. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 15 mm és 100 mm között) 2. átvételi szint



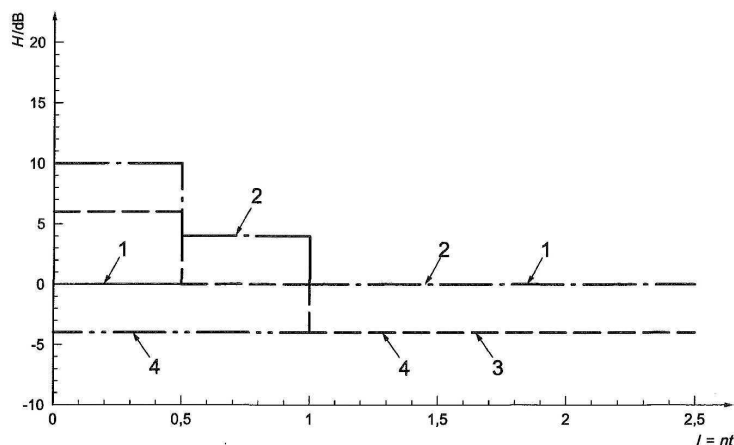
eset:

A 4. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 15 mm és 100 mm között) 2. átvételi szint



eset:

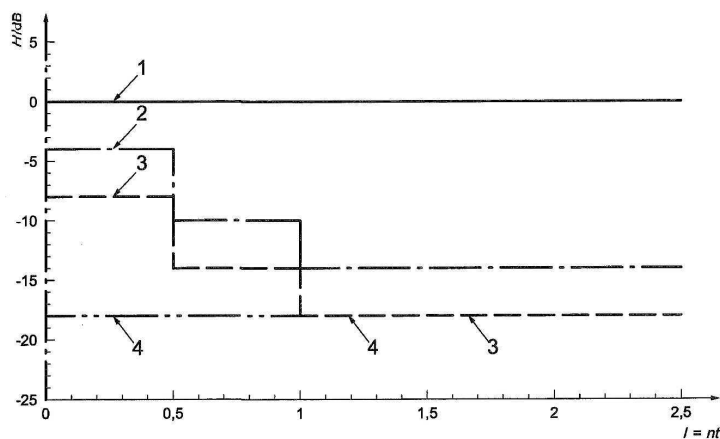
A 2. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 15 mm és 100 mm között). 3. átvételi szint



- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – Vonatkoztatási szint | H – Amplitúdó |
| 2 – 3. Átvételi szint | l – Indikáció hossz |
| 3 – Regisztrálási határ | n – t szorzó |
| 4 – Értékelési szint | t – Vastagság |

eset:

A 4. módszerre vonatkozó szintek (Vastagság 15 mm és 100 mm között). 3. átvételi szint



- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – Vonatkoztatási szint | H – Amplitúdó |
| 2 – 2. Átvételi szint | l – Indikáció hossz |
| 3 – Regisztrálási határ | n – t szorzó |
| 4 – Értékelési szint | t – Vastagság |



Elfogadási szint

Az MSZ EN ISO 11666 szabvány a hegesztési hibákat csoportokba sorolja (hosszirányú, keresztirányú, csoportos, és sorbarendezt), valamint meghatározza azok kimutatási módszereit. Az MSZ EN ISO 17640 szabvány pedig a hegesztési hibák kimutatásának valószínűsége alapján négy vizsgálati osztályt határoz meg (A, B, C, és D), A-tól C-ig egyre növekvő valószínűséggel. A D vizsgálati osztályt olyan különleges alkalmazásokra hozták létre, amihez a megrendelővel egyeztetett írásos vizsgálati eljárásutasítást kell írni. Ennek az utasításnak figyelembe kell vennie a szabvány általános követelményeit is.

Az alábbiakban az MSZ EN ISO 11666 szabvány táblázatai alapján bemutatjuk az egyes értékelési szintek meghatározását:

- ◆ Vonatkoztatási szint (H_0): Az a meghatározott jelszint (érzékenység), melyet egy ismert méretű, és hangvisszaverő képességű reflektor alapján állítunk be. Az észlelt reflektorok nagyságát ehhez a jelszinthez viszonyítjuk. Az összehasonlító reflektor típusa és a vonatkoztatási szint nagysága az alkalmazott érzékenység beállítási módszertől is függ.
- ◆ Átvételi szint (2 – 3): Az a korlát (jelszint), mely fölött az indikáció az adott értékelési módszer szerint az amplitúdó nagysága és az indikáció hossza alapján a nem elfogadható kategóriába sorolandó.

2. és 3. átvételi szintek az 1 – 2 – 3 – 4 módszerhez

Módszer (az ISO 17640 szabvány szerint)	Értékelési szint		8 n
	AL 2	AL 3	
1 (KHF)	$H_0 - 14 \text{ dB}$	$H_0 - 10 \text{ dB}$	
2 (KTR)	$H_0 - 8 \text{ dB}$ Az A.2 vagy A.3 táblázat szerint	$H_0 - 4 \text{ dB}$ Az A.2 vagy A.3 táblázat szerint	
3 (derékszögű horony)	$H_0 - 14 \text{ dB}$	$H_0 - 10 \text{ dB}$	
4 (tandem módszer)	$H_0 - 22 \text{ dB}$	$H_0 - 18 \text{ dB}$	
A regisztrálási határok 4 dB-lel vannak a vonatkozó átvételi szintek alatt. H_0 a vonatkoztatási szint.			



- ◆ Regisztrálási határ: Az a jelszint, ami még az átvételi szint alatt van, de mérete alapján mindenképpen különös figyelmet érdemel a későbbi vizsgálatok során. Nagyságát a szabvány a vizsgálati érzékenységtől függően adja meg.

Karbantartásközi, üzemi vizsgálatok során előfordulhat, hogy bizonyos indikációk a méretük alapján elfogadhatóak az adott időpillanatban. Feljegyezve őket, és további vizsgálatnak alávetve, egyéb körülmények miatt már lehet, hogy ennek ellenére a nem elfogadható kategóriába kerülnek.

- ◆ Értékelési szint: Azt a jelszintet nevezzük értékelési szintnek, amit a vizsgálónak mindenképpen észlelnie kell munkája során. A szabvány a vonatkoztatási szinthez viszonyítva, az átvételi szint függvényében ennek nagyságát is meghatározza.

2. és 3. Átvételi szintek az 1–2–3–4 módszerekhez

3. táblázat.

2. átvételi szint (AL 2)		3. átvételi szint (AL 3)	
(AL 2)		n 3 (AL 3)	
8 mm ≤ t < 15 mm	15 mm ≤ t < 100 mm	8 mm ≤ t < 15 mm	15 mm ≤ t < 100 mm
ha Para l ≤ t: $H_0 - 4$ ha Para l > t: $H_0 - 10$ dB	ha Para l ≤ 0,5 t: H_0 ha Para 0,5 t < l ≤ t: $H_0 - 6$ dB ha Para l > t: $H_0 - 10$ dB	ha Para l ≤ t: H_0 ha Para l > t: $H_0 - 6$ dB	ha Para l ≤ 0,5 t: $H_0 + 4$ dB ha Para 0,5 t < l ≤ t: $H_0 - 2$ dB ha Para l > t: $H_0 - 6$ dB
ha Para l ≤ t: $H_0 + 2$ ha Para l > t: $H_0 - 4$ dB	ha Para l ≤ 0,5 t: $H_0 + 6$ dB ha Para 0,5 t < l ≤ t: H_0 ha Para l > t: $H_0 - 4$ dB	ha Para l ≤ t: $H_0 + t$ ha Para l > t: H_0	ha Para l ≤ 0,5 t: $H_0 + 10$ dB ha Para 0,5 t < l ≤ t: $H_0 + 4$ dB ha Para l > t: H_0
ha Para l ≤ t: $H_0 - 4$ dB ha Para l > t: $H_0 - 10$ dB	—	ha Para l ≤ t: H_0 ha Para l > t: $H_0 - 6$ dB	—
—	ha Para l ≤ 0,5 t: $H_0 - 8$ dB ha Para 0,5 t < l ≤ t: $H_0 - 14$ dB ha Para l > t: $H_0 - 18$ dB	—	ha Para l ≤ 0,5 t: $H_0 - 4$ dB ha Para 0,5 t < l ≤ t: $H_0 - 10$ dB ha Para l > t: $H_0 - 14$ dB



Megjegyzés: A 2. módszer esetében, (a 2, 3 átvételi szinteknél) a vonatkoztatási szintek beállítására a körtárcsa alakú reflektorok (KTR) használandók transzverzális hullámú vizsgálófejekkel az MSZ EN ISO 11666 szabvány útmutatásai alapján.

A végső értékelés alapja az amplitúdómagasság és a visszhang hosszúsága. (maximum értékek).

A hegesztési hibák elfogadhatóságának meghatározását, vagyis a vizsgálat értékelését 2. vagy 3. szintű tanúsítvánnyal rendelkező szakember végezze.

Példa: Elfogadható-e az a következőkben leírt varrathiba, melyet egy 12 mm-es lemez V-alakú tompa-varratának vizsgálatakor észleltünk, és az értékelést a 3-as átvételi szint szerint kell elvégezni?

Az érzékenységi beállítást ÖRG szerint végeztük 13 mm KHF-en, és az észlelt hosszirányú indikáció ÖRG (DAC) – 4 dB erősségű, hosszúsága 13 mm.

Lemezvastagság alapján a varrat a 8 – 15 mm tartományba esik (9.3-as táblázat).

Mivel az indikáció hossza: $l = 13$ mm, és a lemezvastagság: $t = 12$ mm ($l > t$), a 3-as átvételi szint (maximum engedett amplitúdó): H0 (Vonatkoztatási szint) – 6 dB.

Mint láttuk, a visszhangjel magassága csak 4 dB-lel van az ÖRG, vagyis a vonatkoztatási szint alatt, így az **indikáció nem elfogadható**, ugyanis amplitúdómagassága meghaladja a megengedett mértéket.

Vizsgálati jegyzőkönyvek

Minden vizsgálatot jegyzőkönyvezni kell a vizsgálati eljárásra vonatkozó szabvány előírásai szerint. A jegyzőkönyvben minden regisztrálandó, és az átvételi szintet meghaladó indikációt szerepeltetni és jellemezni kell. A vizsgálati jegyzőkönyv tartalmi követelményeit az MSZ EN ISO 17640 szabvány írja le. Megadja az általános adatokra vonatkozó követelményeket; a vizsgálóberendezések minimális követelményeit, a vizsgálati módszerek kiválasztásának szempontjait, és vizsgálati eredmény bemutatásának módját. A jegyzőkönyvben rögzíteni kell az indikációk elhelyezkedését a választott koordináta rendszerben a bázisponthoz viszonyítva, valamint a méreteit.

Egyes összetett szerkezetekről, alkatrészek csoportjáról közös, végső zárójelentést kell készíteni. E zárójelentés tartalmi követelményeiről az MSZ EN ISO 17635 szabvány 8.2.2 pontja rendelkezik.

Zárójelentés

Az egyes alkatrészekről, vagy alkatrészek csoportjáról szóló végső jelentésnek tartalmaznia kell a vizsgálati terv által megkívánt adatokat, de legalább az alábbiakat:

- ◆ Az egyes vizsgálati eljárásra vonatkozó szabványok szerinti jelentéseket.
- ◆ Az alkatrész azonosítását.
- ◆ Hivatkozást az egyes vizsgálati jegyzőkönyvekre, a minősítással együtt. (nem vizsgált, átvett, elutasított)
- ◆ A vizsgált varratok azonosítását, és/vagy hivatkozást az ezeket a varratokat azonosító dokumentumokra.
- ◆ Az egyes varratok jelölési rendszerét, és/vagy a vizsgálat során alkalmazott koordináta-rendszer leírását tartalmazó dokumentumokra való hivatkozást.



- ◆ A vizsgálatokat végrehajtó személyzet és szervezet azonosítását.
- ◆ Az alkalmazott szabványtól, a vizsgálati módszerben és az átvételi szintekben való eltérések feljegyzését.

Ezekon az információkon felül a zárójelentés elkészítéséhez további szabványhivatkozások is felhasználhatók.

Így például az MSZ EN 583-1 szabvány adja meg az eredményeket leíró jegyzőkönyvben szerepeltetendő adatokat:

- ◆ A gyártó és/vagy a megrendelő azonosítása.
- ◆ A vizsgálati tárgy azonosító adatai.
- ◆ A vizsgálat helye/környezeti körülmények.
- ◆ A vizsgált tárgy állapota (vizsgálati felületek/felület előkészítés).
- ◆ Az alkalmazott vizsgálóegység azonosítása (próbatetek/kalibrálás/csatolóanyag).
- ◆ Hivatkozás a szerződéses dokumentumokra (szabványok, egyéb előírások).
- ◆ Hivatkozás a vizsgálati eljárás-utasításra.
- ◆ A vizsgáló/értékelő személy neve, minősítése, valamint aláírása.
- ◆ A vizsgálandó tárgy vázlatrajza (referencia pontok/koordináták).
- ◆ Feljegyzés a vizsgálati eredményekről (térbeli elhelyezkedés és méretek).
- ◆ A vizsgálat eredménye, értékelése (elfogadás/visszautasítás).
- ◆ A vizsgálat dátuma, időpontja.
- ◆ Esetleges észrevételek.

A zárójelentést úgy kell elkészíteni, hogy egy ultrahangos vizsgálatokban képzett személy a vizsgálati módszert, valamint a feljegyzett eredményeket és azok jelentőségét és megbízhatóságát megértse.

Koordináta-rendszer

Az adatokat háromtengelyű koordináta rendszerben kell megadni, ahol az

X tengely = a hegesztés hossztengelyére esik

Y tengely = a hegesztés hossztengelyére merőleges

Z tengely = a felülettől mért vertikális mélységi irány.

Ezeknek a koordinátáknak a használatával nemcsak a hosszúságot, mélységet és szélességet, hanem a indikációk közötti távolságokat (d) is meg lehet adni mindhárom síkban. Például „dz” az indikációk közötti függőleges távolság, a „dx” az indikációk közötti távolság a hegesztési varrat hossztengelyében. A 5.37 ábra mutatja a csoportos indikációkra vonatkozó koordináták megadásának módját.

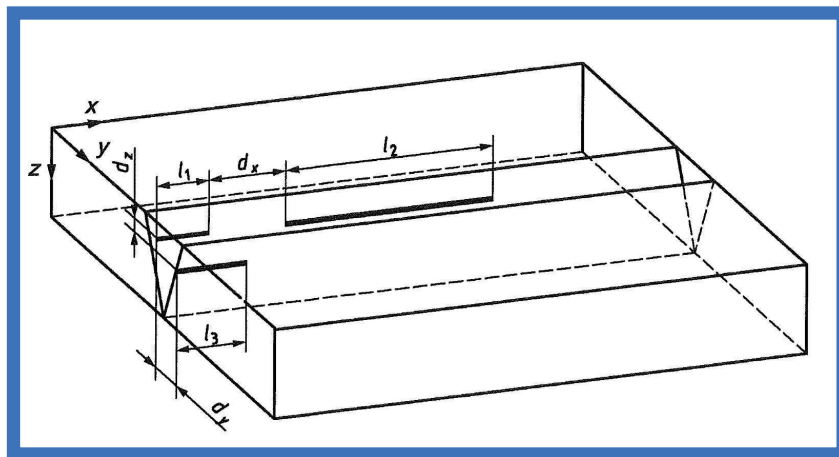
Amint azt már a említettük, alapvető fontosságú, hogy az egységesített formátumú jegyzőkönyvben minden, a varratban előforduló Regisztrálandó, és az Átvételi szintet meghaladó indikációt szerepeltessünk és jellemezzünk.

Nagyobb szerkezetek gyártói vizsgálatát kijelölt, több vizsgálóból álló személyzet végzi. Célszerű ilyen esetben, ha a feljegyzendő indikációk azonosítására egy közös koordinátarendszert is alkalmaznak.



Az egyes varratok, varratszakaszok vizsgálatakor alkalmazott bázispont helyét ebben a koordináta-rendszerben kell a későbbiekben megadni.

5.37. Ábra



Amennyiben egy varrat két felületről vizsgálandó, mindkét felület bázispontját a szerkezet közös koordináta-rendszeréhez képest adjuk meg, de azok egymáshoz képesti elhelyezkedését is rögzíteni kell. Az olyan hegesztett szerkezeteknél, melyeknél az összeszerelés során nem hozzáférhető, zárt helyek is adódnak, a bázispontokat az összeszerelés előtt egyértelműen ki kell jelölni.

Reflektorok értékelése

Az ultrahangos vizsgálatok során három kérdésre keressük a választ:

- ◆ Hol található az anyagfolytonossági hiány?
- ◆ Mekkora az anyagfolytonossági hiány?
- ◆ Hogyan jellemezhető az anyagfolytonossági hiány?

Az első két kérdésre adott válasz a legfontosabb. Ahhoz, hogy ezekre a kérdésekre válaszoljon az anyagvizsgáló, a vizsgálatra való felkészülést, vagyis a vizsgálófej-kiválasztást, és a készülékegység beállítását kell minél pontosabban elvégezni.

Az anyagfolytonossági hiány helyének és méretének meghatározásához ismerni kell a vizsgálófej besugárzási szögét, a sugárkilépési pont helyét, és a hangnyaláb formáját (széttartási szög, köztér hossz).

Az ultrahangos vizsgáló eszközök jellemzésével és azok ellenőrzésével kapcsolatos vizsgálatokkal és teendőkkel az MSZ EN 12668 szabványsorozat foglalkozik. Az ultrahangos vizsgálattal feltárt folytonossági hiányok értékeléséhez az MSZ EN ISO 17640 szabvány a következő teendőket írja elő.

Legnagyobb visszhang-amplitúdó

Az anyagfolytonossági hiányokról érkező visszhangamplitúdó legnagyobb magasságát a vizsgálófej mozgásával kell megkeresni, majd ezt az előírt vonatkoztatási szinthez viszonyítva fel kell jegyezni.

Ennél e módszernél a hangnyaláb nagyobb hangnyomással rendelkező főtengelye lesz a mérőeszközünk. A rezgőtől távolodva egyre kisebb hangnyomást mérhetünk – egyre kisebb lesz a visszhangamplitúdó – de minden távolságban megkereshetjük a maximumot, vagyis a hangnyaláb főtengelyébe eső reflektort. (Természetesen az elmondottak a hangnyaláb főtengelyére merőleges síkú reflektorok esetére igazak.) Abban az esetben tehát, ha a készülék/vizsgálófej egységet jól választottuk meg, a vizsgálófej azon helyzete, ahol a legnagyobb visszhangjelet kapjuk, kijelöli az anyagfolytonossági hiány felületre vetített helyét.

Annak érdekében, hogy az észlelt anyagfolytonossági hiány (reflektor) síkjának orientáltságát minél pontosabban meghatározzuk, a szabvány több, eltérő besugárzási szögű vizsgálófej használatát is javasolja.

Az anyagfolytonossági hiány hossza

A folytonossági hiányok hosszát mind hossz-, mind pedig keresztirányban meg kell határozni az átvételi szinteket tartalmazó szabványok szerinti módon, vagy egyéb megállapodás hiányában a 6 dB-es, félérték-módszerrel.

A 6 dB-es, félérték-módszer szerint a hangnyaláb főtengelye jelöli ki a reflektor határát. Így a vizsgálófej varrat hossz tengelyével párhuzamos irányú mozgásával meghatározható a varrathiba hossz-irányú kiterjedése.

Indikáció magassága

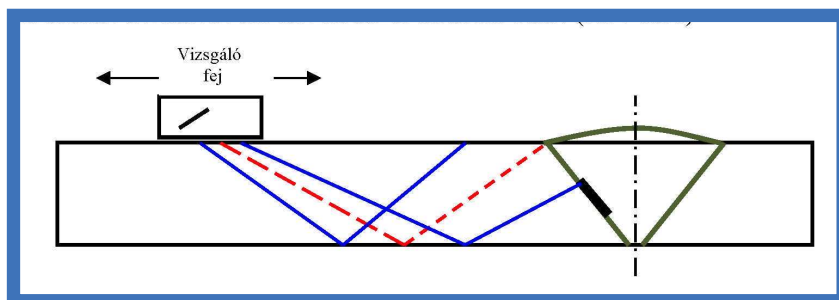
A folytonossági hiányok magasságát akkor kell megmérni, ha a műszaki előírás szerint ez követelmény.

Ahol lehetséges, a vastagságirányú letapogatás során kapott visszhangban az egynél több eltérő csúcsot eredményező folytonossági hiányok esetén a (h) magasságot a vizsgálófej mozgásával kell megmérni. Ha a folytonossági hiány mért magassága 3 mm, vagy annál nagyobb, ajánlott a folytonossági hiány magasságának feljegyzése. Mindamellet a magasság feljegyzésére nagyobb küszöbérték is meghatározható.

A folytonossági hiány magasságának méréséhez tehát a vizsgálófejet a varrat tengelyére merőleges irányban kell mozgatni. (Közelíteni, illetve távolítani.) A folytonossági hiány alsó és felső szélének kijelöléséhez szintén a félérték-módszer alkalmazható. (5.38 ábra)



5.38. ábra



A folytonossági hiányok jellemzése

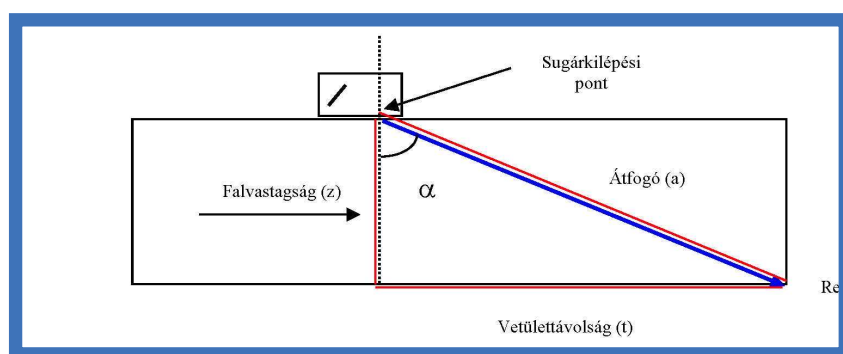
Az eltéréseket akkor kell jellemezni, ha a műszaki előírás szerint az követelmény, vagy amikor az előírt átvételi szintek követelményeinek teljesítéséhez szükséges.

Ebben az esetben a jegyzőkönyvezés módját, formátumát is az említett műszaki előírásban (vizsgálati tervben, és az eljárás-utasításban) kell meghatározni.

Számított értékek

Merőleges besugárzású vizsgálófej esetén a hibahely meghatározása megegyezik a képernyőn leolvasható hangúttávolsággal. Ilyenkor a hiba felülettől mért távolságát tudjuk megadni a rezgő hangnyalábjának fősugarában, vagyis gyakorlatilag a vizsgálófej alatt, annak hossz tengelyében. Szögvizsgálófej alkalmazásakor reflektorok helyének meghatározása ennél bonyolultabb. Mivel a hiba (reflektor) nem közvetlenül a vizsgálófej alatt helyezkedik el, helyét a vizsgálati felületen úgy tudjuk kijelölni, ha megadjuk mélységét, és azt, hogy a vizsgálófejtől milyen távolságban lévő pont alatt van, vagyis a vetületének távolságát. A-képes megjelenítés esetén is a hangúttávolságot olvashatjuk le a vízszintes tengelyen, de ez nem lesz egyenlő a reflektor mélységével. A reflektor mélységének, és vetülettávolságának meghatározásához a derékszögű háromszögre érvényes Pitagorasz-tételt hívjuk segítségül.

5.39. ábra.



$$\sin \alpha = \frac{t}{a}$$

$$\cos \alpha = \frac{z}{a}$$

Amennyiben az α szög és bármely oldal hosszúsága ismert, a maradék két méretet számítani lehet.

A 5.39 ábrán a függőleges vonal felső pontja jelenti a vizsgálófej sugárkilépési pontját, a háromszög átfogója pedig az ultrahang reflektorig megtett útjával, vagyis a hangúttávolsággal (a) egyenlő. A két ismert dimenzió legtöbbször, a hangúttávolság (a) és a besugárzási szög (α).

A háromszög másik két, egymásra merőleges oldala a reflektornak a felülettől mért távolságát (mélységét), valamint a felületen a vizsgálófej sugárkilépési pontjától mért távolságát (vetületét) mutatja. Ezt nevezzük vetülettávolságnak.

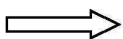
Példa

A 5.39 ábra alapján számoljuk ki a reflektor mélységét (az anyagvastagságot), és vetülettávolságát.

A vizsgálófej besugárzási szöge: $\alpha = 60^\circ$ és a képernyőről leolvasható hangúttávolság: $a = 40$ mm.

Reflektormélység (anyagvastagság) számítása

$$\cos \alpha = \frac{z}{a}$$

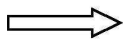


$$z = a * \cos \alpha$$

$$z = 40 * \cos 60^\circ = 0,5 * 40 = 20 \text{ mm.}$$

A vetület távolság

$$\sin \alpha = \frac{t}{a}$$



$$t = a * \sin \alpha$$

$$t = 40 * \sin \alpha = 40 * 0,866 = 34,64 \text{ mm.}$$

A gyakorlatban egy hegesztési varrat vizsgálatakor a talált anyagfolytonossági hiány helymeghatározásakor az alább bemutatott elveket kell követni.

Példa

Acéllemez V-tompavarratának ultrahangos vizsgálata. A vizsgálatot szögvizsgálófejjel hajtjuk végre, melynek frekvenciája: $f = 4$ MHz, transzverzális hullámú hangnyalábjának besugárzási szöge: $\alpha = 60^\circ$.

A detektált folytonossági hiány hangúttávolsága: $S_a = 95$ mm. Az összehegesztett lemezek vastagsága: $e = 40$ mm.

Számítás:

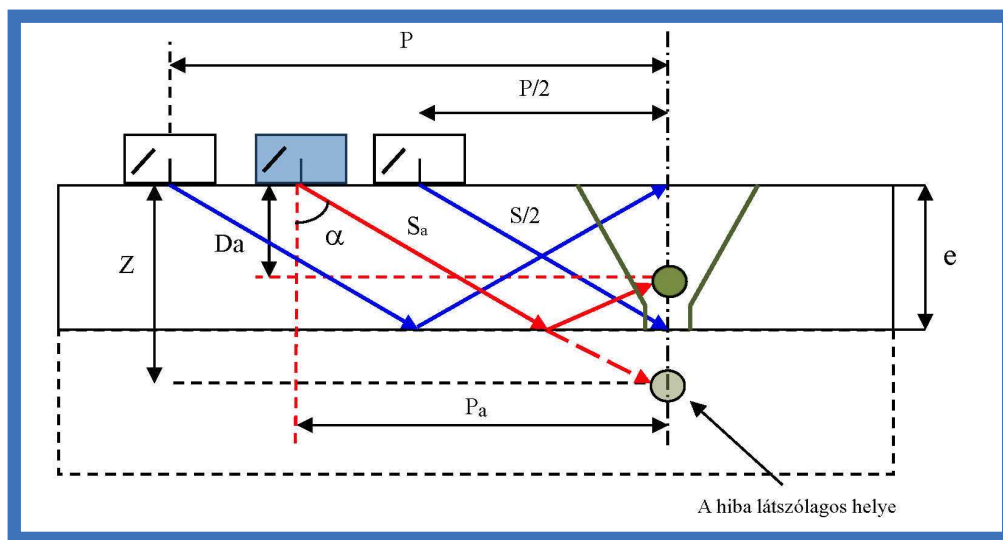
Reflektormélység meghatározása

A reflektor vetülettávolságának meghatározása

Képernyő beállítása (A-kép).



5.40. ábra.



1) Reflektormélység meghatározása (D_a):

$$z = \cos 60^\circ \cdot S_a = 0,5 \cdot 95 = 47,5 \text{ mm}$$



$$D_a = 2e - z = 80 - 47,5 = \underline{\underline{32,5 \text{ mm}}}$$

2) A reflektor vetülettávolságának meghatározása (P_a):

$$P_a = \sin \alpha \cdot S_a = 0,86 \times 95 = 81,7 \text{ mm} \approx \underline{\underline{82 \text{ mm}}}$$

Képernyő beállítása (A-kép).

$$P \text{ (ugrástávolság)} = 2 \cdot e \cdot \tan \alpha = 2 \cdot 40 \cdot 1,73 = \underline{\underline{138,4 \text{ mm}}}$$

$$P/2 \text{ (fél ugrástávolság)} = \underline{\underline{69,2 \text{ mm}}}$$

$$S = P / \sin \alpha = 161 \text{ mm}$$

$$S/2 = 80,5 \text{ mm}$$



Mérési tartomány
 ≈ 200

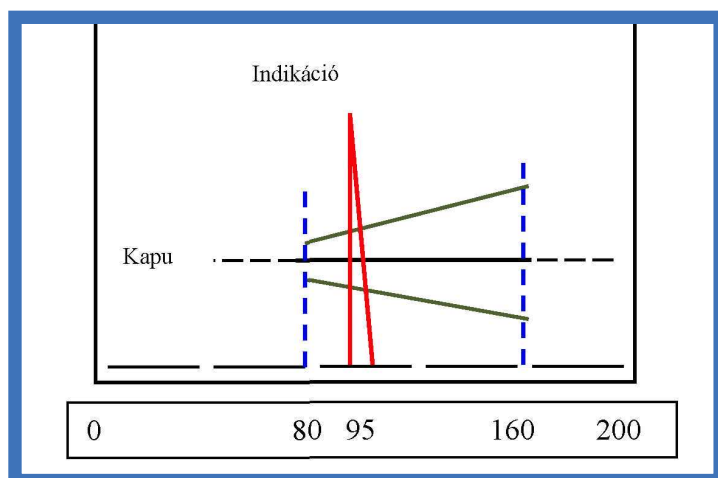


Kapu $\begin{cases} I \approx 80 \\ A \approx 160 \end{cases}$

Ezek alapján a példában szereplő reflektor A-képe a 5.41. ábrának megfelelő lesz.



5.41. ábra.



A 5.41. ábrán látható A-kép, és a kiegészítő információk alapján tehát, a talált anyagfolytonossági hiány (reflektor) helyzete meghatározható, kijelölhető.

$S/2$ Hangúttávolság a lemez tulsó felületéig

S_a Hangúttávolság a folytonossági hiányig

P_a A reflektor vetülettávolsága

R_a A reflektor rövidített vetülettávolsága (a vizsgálófejtől mérve)

D_a Folytonosságihiány-mélység

H_a Folytonossági hiány amplitúdója a képernyőn

Megjegyzés: A készülékek beállítása gyártmányonként eltérő lehet, de a reflektorok helymeghatározásának alapelve minden esetben az előzőekben részletezett elvekre épül.

Az indikációk jellemzése

Az indikációk jellemzéséhez, és csoportosításához az MSZ EN ISO 23279, „Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Ultrahangos vizsgálat. Hegesztett kötésekben lévő folytonossági hiányok jellemzése” szabvány ad útmutatót. Mivel a síkbeli hibák a legkritikusabbak, a szabvány az indikációk alapvető jellemzésére a síkszerű és térfogatos kategóriákat alkalmazza.

A csoportbasorolás a következő jellemzők vizsgálatán alapul:

- ◆ A visszhangamplitúdó.
- ◆ A visszaverődés irányfüggősége.
- ◆ Statikus visszhangforma („A”-képes megjelenítés).
- ◆ Dinamikus visszhangforma.



A visszhangamplitúdók összehasonlításához ez a szabvány ÖRG szerint különböző dB szinteket javasol (S1, S2, S3, S4).

A folytonossági hiányok jellegmeghatározását, a fent említett szempontokat is szem előtt tartva, a szabvány A-mellékletében látható folyamatábra alapján, öt lépésben kell végrehajtani.

1 lépés: nagyon alacsony amplitúdójú indikációk osztályozásának elkerülése.

2 lépés: minden nagy visszhangamplitúdót adó folytonossági hiány síkszerűek osztályozása.

3 lépés: elsősorban az összeolvadási hibák osztályozása.

4 lépés: elsősorban a zárványhibák osztályozása.

5 lépés: elsősorban a repedések osztályozása.

Megjegyzendő, hogy az MSZ EN 583-5 szabvány "Ultraszónus vizsgálatok. A folytonossági hiányok jellemzése és méretének meghatározása" egy általánosabb érvényességű szabvány, mivel egyéb típusú (hegesztett, kovácsolt és öntött) termékekre is vonatkozik. Ezek alapján a folytonossági hiányokat a következők alapján kell csoportosítani:

- ◆ Pontszerű.
- ◆ Vonalszerű.
- ◆ Komplex, kiterjedésük szerint 1) Síkban elhelyezkedő (csak két dimenzió) – 2) Térben elhelyezkedő (három dimenzió).

Indikációk értelmezése és értékelése

A-képes ábrázolás alapján a hegesztési hibákat csak úgy lehet jól értelmezni, ha előzetesen tájékozódunk a hegesztési és gyártási eljárásról, és ismerjük a jellegzetesen előforduló, lehetséges hibákat, és azok kimutatásában is kellő gyakorlattal rendelkezünk.

Ha B- és C-képes ábrázolást is alkalmazunk (akár kézzel megrajzolva), az segítheti az adott hibajelenség azonosítását, és prezentálását, mivel a reflektor elhelyezkedése segíthet típusának megértésében. Napjainkban már kifejlesztésre kerültek a folytonossági hiányok értelmezését segítő, részletesebb megjelenítésre képes különleges eljárások, és módszerek, mint például a fázisvezérelt ultrahangos vizsgálat, vagy a komputer-tomográfia, azonban figyelembe kell venni azt is, hogy alkalmazásuk növelheti a vizsgálatok költségeit.

Az A-képes megjelenítést alkalmazó, hagyományos, kézi ultrahangos vizsgálat hosszú évek óta megbízható eredményt ad, de sikerességéhez elengedhetetlen a vizsgálati tapasztalat.

Az előbbieken felsorolt tényezőket is szem előtt tartva, a visszhangjeleknek az MSZ EN ISO 23279 szabványban leírt dinamikus és statikus értelmezési módja nagy segítséget nyújthat a folytonossági hiányok típusának meghatározásában.



Az alapfém és az ömledék közötti átmenetben az alább megnevezett hibajelenségek fordulhatnak elő:

- ◆ összeolvadási hiány,
- ◆ zárvány,
- ◆ szélkiolvadás,
- ◆ repedés a külső felületen,
- ◆ porozitás.

Amennyiben a vizsgálat tárgya egy védőgázos ívhegesztéssel készült varrat, az indikációt nem okozhatja salakzárvány.

Amennyiben a hibaindikáció amplitúdója a vizsgálófej mozgatasakor nagy mértékben megváltozik, nem valószínű, hogy összeolvadási hiánnyal van dolgunk, mivel az előkészített anyagszéleket általában teljesen simára leköszörülük.

Amennyiben az indikáció nem a felület közeléből érkezik, az anyagfolytonossági hiány nem lehet szélkiolvadás.

Ha a visszhangjel számos csúcsot tartalmaz, előfordulhat, hogy az oka porozitás.

Ezen megfontolások segíthetik a vizsgálat a hiba feltételezhető okának megállapításában, azonban a jelek értékeléséhez nagy gyakorlatra van szükség.

Az segítheti legjobban a természetes anyagfolytonossági hiányok és az indikációk kapcsolatának megismerését, ha a talált indikációt feltárással – a varrat hibakörnyezetben való elvágásával – láthatóvá tehetjük, és például mikroszkópos vizsgálattal tovább elemezhetjük.

A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE ÉS MEGERŐSÍTÉSE

Az észleletek osztályozásának és értékelésének részletes ismerete, az eredmények elemzése és összehasonlítása kódokkal, szabványokkal és tervezési előírásokkal

Bizonyos esetekben 3-as szintű képzettséggel rendelkező szakember szükséges a vizsgálatok eredményeinek igazolására (még akkor is, ha a vizsgálatot más végezte el). Általában nagy mennyiségű információt kell elemezni, hogy a megfelelő következtetések levonhatóak legyenek.

A vizsgálatok igazolása az alábbi tényezőktől függhet:

- ◆ *Megismételhetőség:* ismétlés esetén ugyanazokat az eredményeket kapjuk-e? Megismételhető-e a vizsgálat más személyzettel és eszközökkel?
- ◆ *Precizitás:* milyen pontossággal lehet a megismételt vizsgálatok során ugyanazt az eredményt reprodukálni?
- ◆ *Pontosság:* az eredmények mennyire felelnek meg a referenciaadatok által képviselt valódi adatoknak?
- ◆ *Statisztikai szempontok:* a vizsgálati elemszám (minta) eléggé nagy volt-e ahhoz, hogy az eredmény statisztikailag szignifikáns (meghatározó jelentőségű) legyen (pl. sorozatvizsgálatoknál)?



Amennyiben az eredmények nem megismételhetők, fel kell tárni az okokat. A hibák a következők lehetnek.

- ◆ A vizsgálatok eredményei nem hasonlítanak eléggé ahhoz, hogy megalapozott összehasonlítást lehessen végezni.
- ◆ A vizsgálatok nem a szabvány szerint lettek kidolgozva (az eljárást vagy a vizsgálóeszközt jelentősen megváltoztatták).
- ◆ Nem volt megfelelő a vizsgálóberendezés kalibrálása.
- ◆ Egyszerre több változó módosult, így a kapott adatok bizonytalanok lesznek.

Az összes adat elemzése és a következtetések levonása érdekében számítási táblázatok és ábrák is alkalmazhatók.

A leggyakrabban alkalmazott táblázattípusok:

- ◆ Szektordiagramok, az arányok érzékeltesére.
- ◆ Hisztogramok, az eseményszámok bemutatására.
- ◆ Koordináta-rendszerek, a tendenciák ábrázolására.
- ◆ Eloszlási ábrák, ahol az egyedi adatpontok együttesen adnak ki egy modellt.

A 3-as szintű tanúsítvánnyal rendelkező szakember az észlelt eltérések értékelésekor az azokra vonatkozó előírásokba foglalt követelményeket veszi figyelembe. Különös figyelmet fordít arra, hogy a gyártói vizsgálatok során a tervezői előírások, illetve az új termékre vonatkozó szabványok átvételi feltételei, az üzemközti, illetve a karbantartás alatt végzett vizsgálatok során pedig az adott termék felhasználás közbeni körülményeire előírt elfogadási feltételek annak mérési pontosságát, és ezzel használati megbízhatóságát igazoljuk. Az eszköz kalibrálását használatától függő időközönként meg kell ismételni. Az eszköz bármely legyenek az irányadók. Ugyanis az utóbbi esetben a gyártói szabványok legtöbbször azért nem alkalmazhatók, mert a termék üzemi igénybevételei nagy mértékben eltérhetnek a gyártás közbeniektől.

A vizsgálóeszközök kalibrálása

A kalibrálás az adott mérő- vagy vizsgálóeszközön végzett olyan tevékenység, mely során részének pontatlansága a teljes eszköz kalibrátlanságával egyenértékű, tehát a kalibrálást meg kell ismételni. Ez azt eredményezi, hogy a legutóbbi kalibrálás óta az eszközzel végzett vizsgálatokat is meg kell ismételni, ugyanis a kalibrálatlan készülékkel végzett mérési eredményeket túrésen kívülinek kell tekinteni. Erről az ügyfeleket tájékoztatni kell, illetve a berendezés kalibrálási ciklusidejét le kell csökkenteni. Számos esetben van lehetőség arra is, hogy a kalibrálási ciklusidőt megnöveljük. Ez a döntés elsősorban a korábbi sikeres kalibrálások számán, illetve a kalibrált jellemzők, és adatok elemzésén kell, hogy alapuljon. A kalibrálási ciklusidő csökkentéséről szóló döntést a minőségbiztosítási szervezettel együttműködve kell meghozni.



Egyéb, kiegészítő roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazása

Az ultrahangos vizsgálat a roncsolásmentes vizsgálatok egyik térfogatos hibakereső vizsgáló eljárása, mely a termék belsejében előforduló anyagfolytonossági hiányról ad képet. A legtöbb ultrahangos vizsgálat a felszíni, vagy felületközeli hibákról nem ad információt. Egyéb eljárásokkal, például szemrevételezéssel, folyadékbehatolásos vizsgálatl vagy mágnesezhető poros vizsgálatl kiegészíthető a hibakeresés. Bizonyos termékeknl, meghatározott típusú hegesztések esetén radiográfiai vizsgálat is végezhető.

Azokban az esetekben tehát, ahol az ultrahangos vizsgálat nem ad egyértelmű eredményt egy adott hibajelenségről, más eljárásokkal kell igazolni, vagy megcáfolni az ultrahangos vizsgálat eredményét. A lehetséges kiegészítő eljárások adta lehetőségeket e *Tanfolyami kézikönyv 1. fejezete* vázolja, illetve a szakirodalom részletesen tárgyalja.

Értékelés (közelítés a hagyományos és validált módszerekhez)

Az átvételi kritériumok az alkatrész későbbi igénybevételét figyelembe vevő tervezés, és a metallurgiai adatok alapján kerülnek meghatározásra. A repedés kialakulásának folyamatára vonatkozó információk törésmechanikai tanulmányokból gyűjthetők össze, majd ezeket összevetik a tervezési követelményekkel (pl. terhelések, igénybevételek, és azok ciklikussága). Termékek anyaghibáinak feltárásával, és a valós méretek, valamint az anyaghibák indikációjának összevetésével szerzett tapasztalatokat is igyekeztek felhasználni ezen kritériumrendszerek megalkotásánál. Ezek a tapasztalatok teszik lehetővé, hogy a szabványosan végrehajtott vizsgálatok indikációinak értékelését minél nagyobb biztonsággal végezhessek el a vizsgálók, és azt, hogy az eredményekben megbízhassanak a gyártó és üzemeltető szakemberek.

Fontos, hogy a vizsgálati eljárásutasítások minél pontosabban írják elő az értékelési kritériumokat. Ha az nem összevethető a hivatkozott szabványban előírtakkal, akkor az eljárásutasítás érvénytelenné nyilvánítandó. Például, ha a szabvány a folytonossági hiány méretezésére a 20 dB-es módszert írja elő, de az eljárásutasítás a 6 dB-es módszert kéri, akkor ez a két követelményrendszer ellentmond egymásnak, ráadásul utóbbi esetben ugyanazt a hibát kisebbnek mérnénk. Ilyenkor az eljárásutasítást érvénytelennek kell tekinteni, vagy nem szabad benne meghivatkozni az adott szabványt.

A hibajelek és hamis indikációk közötti különbség

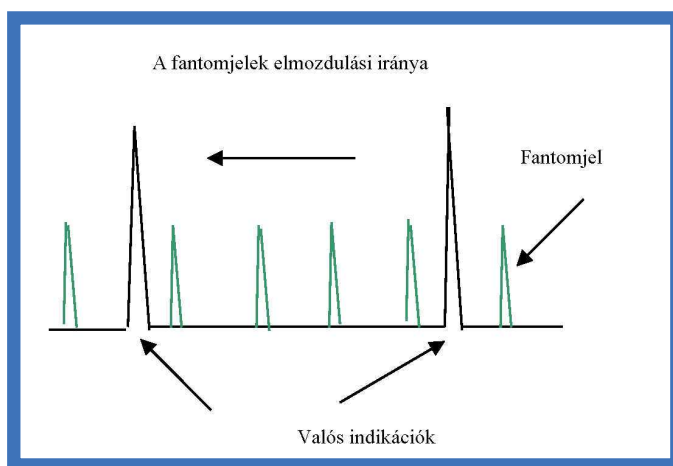
Az A-képes megjelenítés alapján való megbízható értékeléséhez még a tanúsítvánnyal rendelkező anyagvizsgálónak is szüksége van a vizsgálati gyakorlatra. Vizsgálat közben számos olyan indikációval találkozhatunk, melyekről adott esetben nehéz eldönteni, hogy valódi anyaghibáról érkeznek-e, vagy egyéb tényezők hatására képződtek-e. Ha az utóbbi igaz, akkor ezeket hamis indikációként emlegetjük. A hamis indikációk két csoportba sorolhatók. Az első csoportba azok tartoznak, melyek valós indikációnak látszanak ugyan, de nem a vizsgált munkadarabból származnak. Ezeket fantomjeleknek is hívja a szakzsargon.



A másik csoportba azok sorolandók, melyek a vizsgálati darabból származnak ugyan, de valamely oknál fogva nem tekinthetők hibajelzésnek, hanem csak a munkadarab saját geometriájából származónak. A nem a munkadarabból származó hamis indikációk.

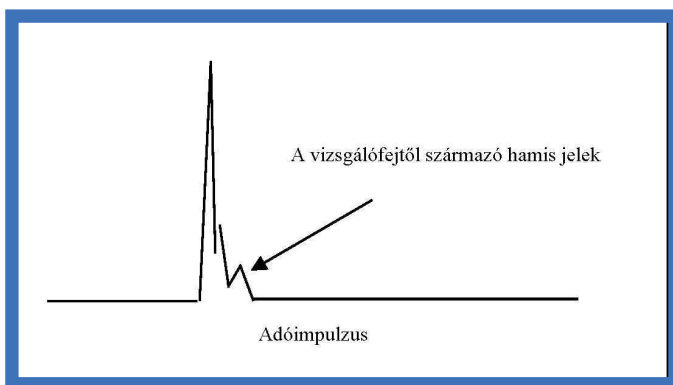
- ◆ Fantomjelek: Akkor jelennek meg, amikor az impulzuskövetési frekvenciát a vizsgált anyagtulajdonságokhoz képest túl magasra állítjuk. Ekkor a korábban elindított impulzusokból valódi jelhez hasonló indikációk alakulhatnak ki. Ezek a jelek hajlamosak a vízszintes tengely mentén való elmozdulásra. A követési frekvencia csökkentésével ezek a jelek eltűnnek.

5.42. ábra.



- ◆ Vizsgálófejekből származó jelek: Gyakran az adóimpulzushoz közel, azt torzítva jelennek meg. A vizsgálófej sérülésére (az előtét illesztésének rendellenességére, vagy a rezgő károsodására) utalhatnak. Összetéveszthetők a vizsgálófejhez (rezgőhöz) közel eső reflektorokkal, de jellemző rájuk, hogy a vizsgálófej mozgatásával, a felülethez való illesztési nyomás változásával változik a nagyságuk, jellegük. Szűrés és erősítés változtatásának hatására is megjelenhetnek.

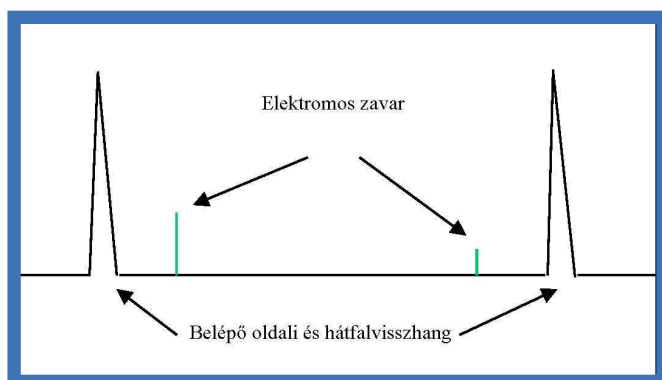
5.43. ábra.



- ◆ Elektromos zajok: Ezeket a zavarokat gyors és ugrásszerű mozgás, valamint rövid időtartam (keskeny forma) jellemzi, bármilyen amplitúdójuk lehetnek. A villamos-interferenciát a vizsgálófej vizsgálati darabon való mozgatása nem befolyásolja, csak akkor, ha azt a vizsgálófej kábelének szakadása, vagy csatlakozási hibája okozza.

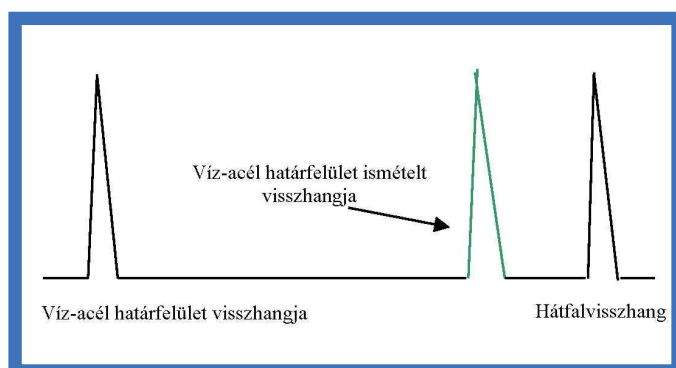
Az elektromos zajokat a vizsgálat környezetében lévő motorok, kábelek, villamos alkatrészek hibái, vagy gépek, pl. ventilátorok, fűrógépek, és egyéb villamos eszközök működése okozhatja.

5.44. ábra.



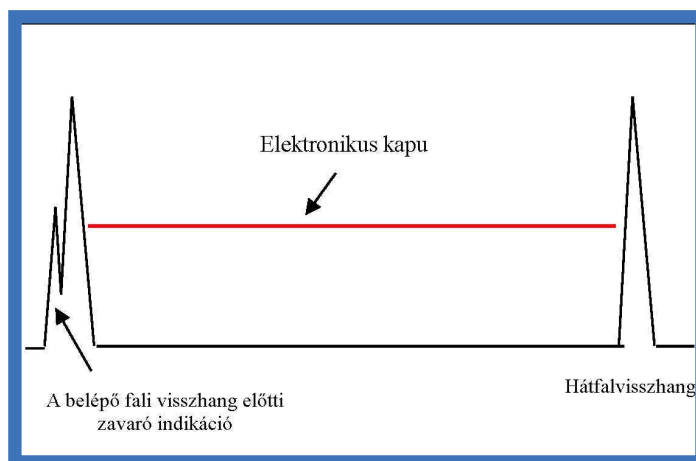
- ◆ „Ismétlődő adóimpulzus”: A merítéses vizsgálatok során az ultrahang vízben elért sebessége általában a vizsgált fémbe (acélban, vagy alumíniumban) elért sebesség $\frac{1}{4}$ -e. Ezért tehát, ha a vízben megtett út kisebb, mint a vizsgált anyag vastagságának $\frac{1}{4}$ -e, akkor a víz–acél-határfelület ismétlődő (második) visszhangja a munkadarab első hátfalvisszhangja előtt érkezik vissza. A vizsgálófejet a vízben a munkadarabtól távolítva ez a visszhangjel a vízszintes tengelyen (idő-alapon) elmozdul, és így a munkadarab hátfalvisszhangja mögé kerülhet. A 5.45. ábrán látható jelamplitúdók nagysága nem minden esetben tükrözi a valóságos arányokat.

5.45. ábra.



- ◆ A munkadarab belépő fal előtti jele: Merítéses vizsgálat esetén előfordulhat, hogy a munkadarab belépő fal visszhangjele előtt is megjelenik egy jel. Ez akkor fordulhat elő, ha az elektronikus kaput úgy állítjuk be, hogy annak kezdőpontja a belépő fal jelhez túl közel van, vagy abba beleér.

5.46. ábra.



A vizsgálati tárgyról érkező, nem anyaghibára utaló jelek:

- ◆ A munkadarab geometriájából származó indikációk: Az ultrahang vizsgálatokat végrehajtó személyzetnek ismernie kell a vizsgált munkadarab összetételét és geometriáját. Hegesztések vizsgálatakor a hangútvolságok kiszámításához, és a besugárzási szögek meghatározásához ismerni kell a varrat típusát, az összehegesztett darabok előkészítésének módját, és a főbb méreteket. Az összehegesztett darabok geometriájának és az ultrahang terjedési tulajdonságainak pontos ismerete szükséges ahhoz, hogy vizsgálat közben nagy biztonsággal tudjuk azonosítani a képernyőn megjelenő indikációk eredetét. Azokat az indikációkat, melyek a szerkezet geometriájából származnak (varratdudor, lemezszél, horony, stb.), meg kell tudni különböztetni a valós, anyagfolytonossági hiány okozta indikációktól.
- ◆ Felületi hullámokból származó indikációk: Nagy besugárzási szögek alkalmazásakor hullámátalakulás hatására olyan felületi hullámok keletkezhetnek, melyeket könnyen valós jelként lehet értékelni. Ezek azonban az alkatrész felületének megfelelő ponton való érintésével csökkenhetnek, eltűnhetnek, illetve mozognak. Az ilyen hullámokat a csatolóanyag csillapíthatja, vagy egyes esetekben felerősíti.
- ◆ Többszörös visszaverődés által létrehozott jelek: Az alkatrész élei által generált ismétlődő, többszörös visszhangjelek.
- ◆ Hullámátalakulásból származó mellékvisszhangok: A vizsgált tárgyban bizonyos körülmények között (pl. keskeny, hosszú munkadarabok vizsgálatakor) transzverzális és longitudinális hullámok is jelen vannak, annak ellenére, hogy a vizsgálati szögeket általában úgy választjuk meg, hogy ennek lehetősége minimális legyen. Ilyen esetekben jellemzően többszörös mellékvisszhangok jelenhetnek meg. Mivel a módosult hullámok energiája, terjedési sebessége, és úthossza eltér

a vizsgálathoz választott alap hullámétől, ezek a hullámok mindig elkülönülten jelennek meg, és csak önmagukban ismétlődnek.

- ◆ **Szemcsejelek:** Az anyag szemcseszerkezete miatt keletkező, jellemzően csökkenő jelmagasságú zavarjelek, melyek eltakarhatják a kis méretű folytonossági hiányok alacsony amplitúdójú indikációit.

Elfogadási kritériumok

A hegesztések vizsgálatának átvételi kritériumait ebben a jegyzetben már tárgyaltuk. A leírtak szerint az indikációkat különböző módon értékelhetjük, illetve különböző referencia reflektorok jeleihez hasonlíthatjuk (pl. ÖRG, Ø3 mm KHF). Annak eldöntése érdekében, hogy az észlelt anyagfolytonossági hiányt elfogadható mértékűnek ítéljük-e meg, vagy sem, annak méreteit össze kell hasonlítani az átvételi (elfogadási) kritériumrendszerben megadott méretekkel.

Az elfogadási kritériumokat a vizsgálati eljárás-utasítás határozhatja meg, vagy hivatkozás útján egy szabvány, vagy szabályzat mutathatja be. Ultrahangos vizsgálat értékelésekor, a vizsgálónak mindig alaposan át kell tanulmányoznia az elfogadási kritériumok megértését segítő dokumentumokat.

Az alábbi paraméterek, egyedileg, vagy kombinációban gyakran az elfogadási kritériumok alapjait képezik:

- ◆ **Az indikáció amplitúdója:** Az elfogadási kritériumok néha azt határozzák meg, hogy a talált folytonossági hiányról kapott indikáció jelmagassága (amplitúdója) egy ismert méretű referenciareflektorról kapott jelmagassághoz képest (ÖRG, vagy TEN) mekkora lehet. Ezt a módszert nevezzük reflexió-képesség mérési módszernek, melyet önmagában a kisreflektorok értékelésénél alkalmazunk. Ha a talált anyagelváltozás okozta jelmagasság meghaladja ezt a meghatározott értéket (átvételi szintet), akkor az indikációt „nem megfelelt”-nek kell minősíteni.
- ◆ **Az indikáció helye:** Az vizsgálati előírások a vizsgált alkatrész egyes területeire (zónáira) külön-külön is meghatározhat egymástól eltérő elfogadási kritériumokat. Például egyes alkatrészeknél a felületi, vagy a felületközelbeli indikációkra szigorúbb feltételeket írhatnak elő, mint a belső hibákéra.
- ◆ **Az indikációk egymáshoz való viszonya:** Az elfogadási kritériumok olyan követelményeket is meghatározhatnak, melyben egyetlen egyedülálló, vagy egy másiktól távol álló kis folytonossági hiány még elfogadható, de egy bizonyos távolságon, területen, vagy térfogaton belüli kettő, vagy több ugyanakkora már nem. Annak is nagy lehet a jelentősége, hogy a talált hibák csoportja mennyire rendezett. Ilyen megfontolásból az egymás melletti, sorba rendezett hibákra általában sokkal szigorúbbak az előírások, mint a véletlenszerű halmazban lévőkre.
- ◆ **Az indikáció hossza:** Az anyagfolytonossági hiányok méretezésére többféle vizsgálati módszert alkalmazhatunk. A reflexió-képesség mérésén alapuló módszer mellett a vegyes-, vagy nagyreflektorok méretezésénél a letapogatásos módszerek alkalmazása is fontos lehet, ahol azt figyeljük, hogy az összefüggő anyagfolytonossági hiányról érkező visszhang amplitúdója a legnagyobbhoz (ARH), vagy egy referencia jelhez (RRH) képest mekkora.



- ◆ Anyag okozta zajok szintje: Néhány vizsgálati előírásban meghatározhatják a vizsgált anyag szerkezetéből származó szemcsejelek maximális nagyságát. Ez azt jelenti, hogy egy adott, beállított, referencijelhez viszonyított erősítés mellett meg van határozva az is, hogy a szemcsejel magassága az értékelési hangúttávolságban nem érhet el egy meghatározott értéket, hogy ne takarja ki az értékelendő, de kis amplitúdójú jeleket.
- ◆ A hátfalvisszhang hiánya: Impulzus-visszhang módszerrel végzett vizsgálatok során a hátfalvisszhang megléte igazolhatja, hogy a vizsgált munkadarabon megfelelő energiájú hang haladt át, és tért vissza a vizsgálófejhez. Ha a hátfalvisszhang hiányzik, vagy amplitúdójának csökkenése eléri egy bizonyos mértéket, akkor az azt jelentheti, hogy a munkadarabban olyan folytonossági hiány van, mely akadályozza a hang továbbhaladását, vagy szétszórja azt, ezért nem érkezik vissza elegendően nagy hangenergia a vizsgálófejbe. Az ilyen elváltozás lehet például a porozitás, vagy a hangnyaláb fősugarára nem merőleges irányú, síkszerű anyaghiba. Ilyenkor megfontolandó a besugárzási irány megváltoztatása.
- ◆ Az indikáció jellege: Ha bizonyos hibatípusok különös fontossággal bírnak, akkor az elfogadási kritériumok ezeket a hibatípusokat részletesen is meghatározhatják (példa: rétegeesség)

A vizsgálatok megbízhatósága

A vizsgálatok megbízhatóságának számszerűsítése érdekében számos tanulmányra készült, melyek közül az első az 1974-ben indított PISC (Programme for the Inspection of Steel Components – Acél komponensek vizsgálati programja). A tanulmányok legtöbbje round robin teszteken (körvizsgálatokon) alapul, melyek során véletlenszerűen bevitt folytonossági hiányokat tartalmazó póbadarabokat, azok folytonossági hiányait nem ismerő különböző csoportok ellenőrizték. A folytonossági hiányok behatárolását és felmérését a körvizsgálatok után más roncsolásmentes módszerekkel, vagy a munkadarabok elvágásával ellenőrizték.

Ezek a tanulmányok különböző vizsgálati körülményt számításba véve kiszámították az „észlelési valószínűségi” (POD – Probability of Detection) görbét. A munka kiterjedt a kézi ultrahang vizsgálatok észlelési valószínűségének (POD), ugyanazon folytonossági hiányokon végzett automatizált vizsgálatok észlelési valószínűségének összehasonlítására is.

A tanulmányok eredménye azt mutatta, hogy a folytonossági hiány nagy megbízhatósággal való észlelésének nagyobb a valószínűsége akkor, ha annak POD értéke, a 65% és 95% közötti tartományban van. Kisebb folytonossági hiányok (a varratgyök közelében 5 mm-nél kisebb jelet adó beolvadási hiba, például) észlelési valószínűsége (POD) kisebb. A tanulmányok szerint a (még azonos oktatási terv szerint oktatott és tanúsított) vizsgálók között is jelentős eltérések vannak.

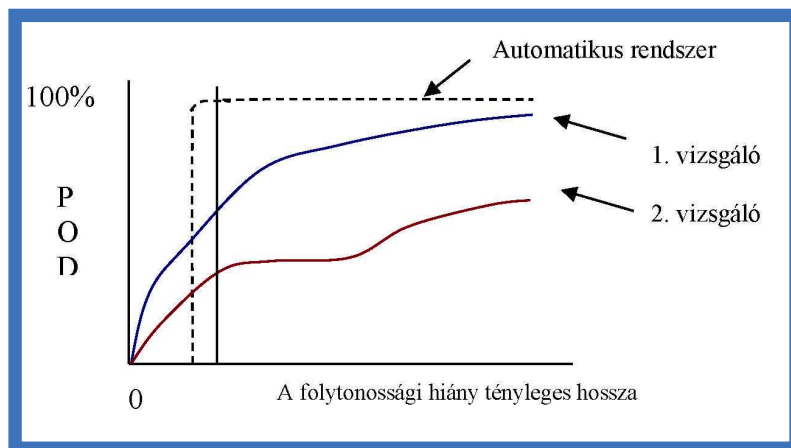
Például, egy tanulmány során a legjobb vizsgáló a 10 mm-es beolvadás-hibákra 100%-os POD-értéket, míg a legrosszabb operátor, ugyanazon a folytonossági hiányokra csak 25%-os produkált.

Az automatikus ultrahangos vizsgáló berendezések észlelési valószínűségéről következetes módon az derült ki, hogy az jobb a kézi vizsgálatot végrehajtó legjobb operátor eredményénél is.



A jól megtervezett automatikus rendszerek a minimális hiba küszöbértéke fölötti észlelési valószínűséggel rendelkeznek, ami 100% is lehet. A 5.47. ábra. a kapott POD-görbe típusokat mutatja be. Az automatikus és a kézi vizsgálatok közötti különbség világosan látható.

5.47. ábra.



Úgy tűnik, hogy az észlelési valószínűséget számos tényező befolyásolhatja:

- ◆ A folytonossági hiány által keltett visszhang helye a képernyőn.

A vizsgáló összetévesztheti egy kis méretű beolvadás-hiány jeleit a varratgyök jelével, mert ezek nagyon közel voltak egymáshoz.

- ◆ A vizsgálók képzési szintje.

Nem mindig a magasabb szinten tanúsított vizsgálók a legjobbak a folytonossági hiányok jeleinek észlelésében.

- ◆ A vizsgálók kezűgyessége, és egyéni hozzáállása.
- ◆ Az eljárásutasítás hiányosságai.

Ezeket felülvizsgálni és frissíteni kell.

- ◆ A vizsgáló koncentráció képessége.

A munkaidő hossza (túlmunka) miatti fáradtság ronthatja az észlelési valószínűséget.

- ◆ A vizsgáló siet a munka végrehajtásával.

Sok esetben ez szubjektív tényező.

- ◆ A vizsgálóberendezés kiválasztása nem volt megfelelő.
- ◆ A környezeti feltételek nem megfelelőek.



A tanulmány azt is kimutatta, hogy a vizsgálók legtöbbje hajlamos az általa észlelt folytonossági hiányok túldimenzionálására. Egy másik tanulmány szerint öt különböző vizsgáló ugyanazt a 10 mm-es folytonossági hiányt 5 és 25 mm közötti hosszúságúnak értékelte.

Természetes tehát, hogy különböző vizsgálók által elvégzett ultrahangos vizsgálatok eredményei között bizonyos eltérések tapasztalhatók. Ha azt a gazdasági megfontolások is lehetővé teszik, érdemesebb ezért automatikus ultrahangos vizsgálati eljárást kidolgozni.

A megbízhatóság javítását és az vizsgálók közötti eltérések csökkentését a következő intézkedésekkel érhetjük el:

- ◆ Az alkalmazandó vizsgálati módszer adott munkadarabra vonatkozó speciális ismeretek és követelményrendszerek időszakos oktatása.
- ◆ Világosan megfogalmazott vizsgálati eljárás-utasítások.
- ◆ Rendszeres ismeretfelújító oktatások, és vizsgák.
- ◆ A vizsgálat végrehajtásához elegendő idő biztosítása.
- ◆ A vizsgálat végrehajtására alkalmas berendezés biztosítása.



6.1 A REFERENCIADOKUMENTUMOK TÍPUSAI

A roncsolásmentes vizsgálati tevékenységekhez kapcsolódó, a vizsgálatok minőségirányítási rendszerének részét képező referenciadokumentumok – hierarchia szerinti sorrendben – a következők: hatósági szabályozások (törvények, rendeletek, EU-s irányelvek), szabályzatok (kódok), szabványok, (műszaki) specifikációk, vizsgálati technológiák és vizsgálati utasítások.

Hatósági szabályozások

Az illetékes hatóságok által előírt követelményeket tartalmazó dokumentumok, amelyek alkalmazása kötelező jellegű. Az előírások vonatkozhatnak az elvégzendő vizsgálatok típusára, terjedelmére, gyakoriságára, stb., valamint a vizsgálandó szerkezetre vagy berendezésre. Ilyen például a nyomástartó berendezésekre vonatkozó 97/23/CE európai irányelv (ismert angol rövidítése: PED).

Szabályzatok

Egy szabályzat (kód) egy bizonyos típusú termék, berendezés, szerkezet vagy rendszer (nyomástartó edény, fémszerkezet, gépkocsi elem, stb.) tervezésére, gyártására és ellenőrzésére kidolgozott, a gyártási folyamat alatt és annak végén alkalmazandó szabályok együttese. Az ellenőrzés tartalmazhat roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatokat is.

A szabályokat megalkotó testület figyelembe veszi az ilyen termékek, berendezések gyártóinak, felhasználóinak, üzemeltetőinek és vizsgálóinak az igényeit is.

A szabályzatok kötelező érvényű előírásokat, specifikus tilalmakat és nem kötelező jellegű tervezési, gyártási és ellenőrzési útmutatásokat foglalnak magukba. Nem foglalkoznak e tevékenységek különböző szempontjainak mindegyikével, de a szabályzatban nem szereplő elemek nem tekinthetők tilosnak sem. Tekintve, hogy a szabályzatok nem útmutatók, ezért ezek használata az oktatást, a tapasztalatot és a jó ipari gyakorlati módszerek alkalmazását nem helyettesítheti. Ugyanakkor a jó gyakorlat alkalmazása nem jelent felhatalmazást a kötelező jellegű előírások vagy tilalmak figyelmen kívül hagyására.

6.2 SZABVÁNYOK

Ezek konszenzus alapján készített és elismert testület által jóváhagyott dokumentumok, melyek szabályokat határoznak meg és útmutatást nyújtanak bizonyos tevékenységekhez és azok eredményéhez annak érdekében, hogy az ismétlődő és közös alkalmazáshoz egy adott környezetben optimális



feltételek álljanak rendelkezésre. A szabványoknak a tudomány és technika, valamint a tapasztalatok alapján igazolt eredményeken kell alapulniuk és a közösség hasznára kell lenniük.

A szabványok kiadásának joga a szabványosító testületeket illeti, melyek – a szabvány hatáskörétől függően – lehetnek országos vagy nemzetközi testületek. Ezekre példák az a következők:

6.1. táblázat. Szabványosító testületek és az általuk kiadott szabványok betűjelei

BETŰJEL	SZABVÁNYOSÍTÓ TESTÜLET
ISO	International Organisation for Standardization – Nemzetközi Szabványügyi Szervezet
EN	Comité Européen de Normalisation (CEN) – Európai Szabványügyi Bizottság
ANSI	American National Standards Institute – Amerikai Nemzeti Szabványosító Intézet
ASTM	American Society for Testing and Materials – Amerikai Anyagvizsgálati és Anyagminőségi Társaság
BS	British Standards Institution (BSI) – Brit Szabványügyi Intézet
DIN	Deutsches Institut für Normung – Német Szabványügyi Intézet
NF	Association Française de Normalisation (AFNOR) – Francia Szabványügyi Szövetség
MSZ	Magyar Szabványügyi Testület (MSZT)

A szabályzat (kód) és a szabvány közötti legfontosabb különbség az, hogy az előbbi tartalmaz tervezési és esetenként üzem közbeni ellenőrzésre vonatkozó előírásokat, míg gyártási és termékellenőrzési előírásokat nem.

Specifikációk

Ezek a termékekkel és szolgáltatásokkal, valamint azok megfelelésének igazolására szolgáló eszközökkel, ellenőrzésekkel, vizsgálatokkal, elemzésekkel, auditokkal, értékelésekkel, stb. kapcsolatos követelményeket leíró dokumentumok.



EURÓPAI ÉS NEMZETKÖZI SZABVÁNYOSÍTÁS

Szabványosítás

E folyamat során, az érintett szereplők önkéntes együttműködésével kidolgozzák és meghatározzák azokat a szabályokat, amelyek rendezett módon és a közjó érdekében végzett, specifikus tevékenységekhez vezetnek. A szabványosítás a különböző tudományos, ipari és gazdasági tevékenységekre alkalmazható, azok rendszerezését és javítását szolgálja. Az MSZ EN 45020 jelű szabvány a szabványosítást úgy határozza meg, hogy „Olyan tevékenység, amely általános és ismételten alkalmazható intézkedéseket tartalmaz fennálló vagy várható problémák megoldására, azzal a céllal, hogy a rendező hatás az adott feltételek között a legkedvezőbb legyen.”. A szabványosítás legfontosabb haszna az, hogy elősegíti a termékek, folyamatok vagy szolgáltatások kereskedelmi korlátjainak áthidalását és javítja a nemzetközi, technológiai együttműködést.

A szabványosításnak alapvetően három célja van:

- ◆ *Egyszerűsítés:* a modellek szükséges mennyiségét a minimumra csökkenti.
- ◆ *Egységesítés:* lehetővé teszi termékek és szolgáltatások nemzetközi szintű cseréjét.
- ◆ *Specifikálás:* tiszta és precíz nyelvezettel igyekszik elkerülni az értelmezési és azonosítási hibákat.

Minden országban van egy nemzeti testület, mely szabványokat ad ki. A CEN, azaz az Európai Szabványügyi Bizottság (a rövidítés a testület francia nevének kezdőbetűiből áll) létrejötte után a tagországok – pontosabban a CEN-tag nemzeti szabványügyi testületek – a megjelent EN szabványokat honosítják, azaz saját nyelvre lefordítják és nemzeti szabványként kiadják. Egyúttal visszavonják az új szabványokkal ellenkező tartalmú régiakat. (Ezek a CEN-tagsággal együttjáró kötelezettségek.)

Európai Szabványügyi Bizottság (CEN)

A roncsolásmentes vizsgálatok területén a TC 138-as Műszaki Bizottság (Technical Committee) irányítja a szabványosítást. Ennek különböző munkacsoportjai (Working Group-jai) vannak megbízva a feladatok, a terminológia, a berendezések és az egyes vizsgálati eljárásoknál alkalmazott, általános elvek szabványainak kidolgozásával (lásd 6.2. táblázat). A munkacsoportokba – ott önkéntesen dolgozó – szakembereket nevezhetnek a tagországok, illetve azok RMV-szervezetei.

E műszaki bizottság hatáskörébe tartozik az RMV-személyzet minősítése és tanúsítása, a minősítés módszertana is.

Más műszaki bizottságok felelősek egyes termékek és ipari szektorok (például acéltermékek, hegesztett kötések, csövek, légi járművek) specifikus vizsgálati szabványainak kidolgozásáért.



6.2. táblázat. Az RMV-szabványokkal foglalkozó CEN munkacsoportok

TC/WG	Műszaki Bizottság/Munkacsoport
CEN/TC 138/WG 1	Radiográfiai vizsgálat
CEN/TC 138/WG 2	Ultrahangos vizsgálat
CEN/TC 138/WG 3	Örvényáramos vizsgálat
CEN/TC 138/WG 4	Folyadékbehatolásos vizsgálat
CEN/TC 138/WG 5	Mágnesezhető poros vizsgálat
CEN/TC 138/WG 6	Tömörségvizsgálat
CEN/TC 138/WG 7	Akusztikus emissziós vizsgálat
CEN/TC 138/WG 8	Vizuális vizsgálat
CEN/TC 138/WG 9	Roncsolásmentes vizsgálatok minősítése
CEN/TC 138/WG 10	Röntgen-diffrakciós vizsgálat
CEN/TC 138/WG 11	Infravörös termográfia
CEN/TC 138/WG 12	Az RMV-személyzet látásélességének értékelé

Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO)

Az ISO és a CEN szervezeti felépítése lényegében azonos. A roncsolásmentes vizsgálatokkal a TC 135-ös Műszaki Bizottság foglalkozik, és ennek albizottságai (SC = SubCommittee) és munkacsoportjai (WG) dolgozzák ki a szabványokat. Az egyes szabványok jól meghatározott menetrend szerint készülnek, mely általában a következő lépésekből áll:

1. fázis: Javaslatétel (dokumentum: NP = New work item Proposal).
2. fázis: Előkészítés, konszenzus kialakítása (bizottsági tervezet, CD = Committee Draft).
3. fázis: Bizottsági/albizottsági konszenzus kialakítása (szabványtervezet, DIS).
4. fázis: Szavazásra bocsátás és módosítás (végső tervezet, FDIS).
5. fázis: Szavazásra bocsátás és jóváhagyás (nemzetközi szabvány).
6. fázis: Publikálás.

Az ISO-nál is különböző műszaki bizottságok felelősek egyes termékek és ipari szektorok specifikus RMV (és minden egyéb) szabványainak kidolgozásáért, például TC 11 – Kazánok és nyomástartó edények, TC 17 – Acélok, TC 22 – Közúti járművek.

A két nagy szabványosító testület a '90-es évek óta együttműködik. Ennek kereteit a Bécsi Megállapodásban fektették le. A műszaki együttműködés legfőbb gyakorlati hozadéka számos szabvány párhuzamos – azaz egyidejű – elfogadása és bevezetése. (A szabványokat hol a CEN, hol az ISO dolgozza ki.) Ezzel a gyakorlattal, melynek köszönhetően egyre több EN ISO jelű szabvánnyal találkozhatunk,



mindkét szervezet a világpiaci igényeknek igyekszik megfelelni – elkerülve egyrészt a bizonytalanságot keltő kettőségeket, másrészt a későbbi harmonizálást (Id. EN 473 és ISO 9712 esete).

6.3 VIZSGÁLATI TECHNOLOGIÁK

A technológiák (eljárásrendek), általánosságban, ismétlődő tevékenységek végrehajtására irányuló lépések sorozatát leíró dokumentumok. Tartalmazzák a kívánt eredmények elérése érdekében, bizonyos körülmények között elvégezendő feladatokat. A különféle – például gyártási, vizsgálati – technológiákat a vállalatok általában a vonatkozó szabványok alapján készítik el és adják ki. Végrehajtásuk a vállalaton belül kötelező, és a vállalat, ha szükséges, bármikor módosíthatja azokat, azzal a feltétellel, hogy a módosítás megfelel a technológia készítéséhez alapul vett szabvány előírásainak.

A technológia (vagy eljárásrend) látszólag számos oldalon leírt formalításokból áll, de ez nem feltétlenül igaz. Előfordulhat, hogy mindössze öt bekezdést tartalmaz, melyek mindegyike egy bizonyos tevékenységsor egy-egy lépését részletezi; bár ez esetben a technológiát gyakran inkább munkautasításnak nevezik.

Technológia dokumentálása esetén az „írott technológia” vagy „dokumentált technológia” kifejezések használhatók. Egy írott vizsgálati technológia rendszerint az alábbi fő pontokat tartalmazza: a tevékenység célja és terjedelme; a feladat; a feladat végrehajtásának helye és módja; a felhasználandó anyagok, berendezések és dokumentumok; a vizsgálati eredmények értékelése és rögzítése.

A VIZSGÁLATI TECHNOLOGIA MEGHATÁROZÁSA

Az első szakaszban leírtak szerint, a technológiákat vállalati szinten dolgozzák ki, hagyják jóvá és adják ki, és vállalaton belüli alkalmazásuk kötelező. Az anyagvizsgálati technológiák roncsolásmentes vizsgálati szabványokra épülnek.

Az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány szerint, a roncsolásmentes vizsgálati technológia termékszabvány, szabályzat vagy műszaki előírás szerinti roncsolásmentes vizsgálati alkalmazandó, összes lényeges paraméter és óvintézkedések írásbeli megadása. Terjedelmétől és tartalmának részletességétől függően két típus létezik:

- ◆ *Általános vizsgálati technológia*, mely lehetővé teszi számos különböző vizsgálati paraméter megválasztását (pl. acélcsövek folyadékbehatolásos vizsgálata).
- ◆ *Specifikus technológia*, mely meghatározza a specifikus ellenőrzés minden egyes vizsgálati paraméterét (pl. 4–20 mm vastag acéllemezek hegesztett kötéseinek folyadék-behatolásos vizsgálata).

A vizsgálati technológiák általában szabályzatokban vagy specifikációkban és egyes, korábbi szabványokban meghatározott követelmények szerint készülnek.



Ezért a kidolgozásuk során figyelembe kell venni bizonyos tényezőket:

- ◆ Az alkalmazandó szabályzatok és specifikációk ismerete.
- ◆ A minimális előírások ismerete és a technológiában való dokumentálása. A technológia minimális szintként tartalmazhatja a legfontosabb kritériumokat.
- ◆ A technológiát a referenciadokumentumok (szabályzatok, specifikációk és szabványok) és az adott vállalat minőségirányítási kézikönyvében meghatározott minőségi irányelvek szerint kell elkészíteni.
- ◆ A technológiát könnyen érthető módon, egyszerű nyelvezettel kell megfogalmazni, tekintettel arra, hogy az azt használó személyek eltérő képzési háttérrel rendelkezhetnek, mint a technológiát írók. A könnyebb értelmezés érdekében rajzok, vázlatok, diagramok, stb. használata ajánlatos.
- ◆ A technológia megírása után és jóváhagyásra történő beadása előtt célszerű ellenőrizni, hogy az abban leírt megoldás a gyakorlatban megvalósítható-e.

A vizsgálati technológiák strukturált formába foglalják az alábbi információkat:

- ◆ alkalmazási terület,
- ◆ a vizsgálandó tárgyak, anyagok leírása és méretei, valamint a vizsgálatok mértéke és a keresett, folytonossági hiányok,
- ◆ az alkalmazandó előírások és dokumentumok, valamint dokumentum-ellenőrzés,
- ◆ a vizsgálatot végrehajtó személyzet,
- ◆ a felhasználható berendezések és anyagok, ezek felhasználás előtti ellenőrzésével, kalibrálásával együtt,
- ◆ kiegészítő eszközök (ellenőrző testek, összehasonlító próbatestek, mérőműszerek, stb.),
- ◆ felület-előkészítés (felületi érdesség, hőmérséklet, tisztítás),
- ◆ a vizsgálószerek felhordásának módjai,
- ◆ a műveletek sorrendje és hivatkozás az írásos vizsgálati utasításokra,
- ◆ a vizsgálati folyamat diagramja,
- ◆ jelentendő indikációk,
- ◆ elfogadási kritériumok,
- ◆ a detektált folytonossági hiányok minősítése,
- ◆ jelentés (jegyzőkönyv) készítése,
- ◆ befejező tisztítás,
- ◆ a nem megfelelő termékek kezelése.

A 6.3. táblázat az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány D.2 táblázata alapján ad támpontot a roncsolásmentes vizsgálati technológiákba befoglalandó elemekről. (A szabványbeli táblázat egyébként a 3-as szintű gyakorlati vizsga értékeléséhez készült útmutató.)



6.3. táblázat. A roncsolásmentes vizsgálati technológiák elemei

AZ RMV-TECHNOLÓGIÁK TARTALMA	
1. rész: Általános információk	m) Tárgy (alkalmazási terület, termék) n) Okmányellenőrzés o) Referencia-szabványok és kiegészítő információk
2. rész: A roncsolásmentes vizsgálatot végző személyzet	
3. rész: A vizsgálat végrehajtásához szükséges anyagok és eszközök	a) A fő roncsolásmentes vizsgáló berendezés (beleértve a kalibrálási állapot meghatározását és a vizsgálat előtt az üzemképesség ellenőrzését) b) Segédeszközök (ellenőrző testek és etalonok), fogyóanyagok, mérőeszközök, eszközök a szemrevételezéshez, stb.)
4. rész: A vizsgálati darab	l) Fizikai állapot és a felület előkészítése (hőmérséklet, hozzáférhetőség, a védőbevonat eltávolítása, érdesség, stb.) m) A vizsgálandó felület vagy térfogat meghatározása, a referenciaponttal együtt n) A keresett folytonossági hiányok
5. rész: A vizsgálat végrehajtása	k) Az alkalmazandó módszerek és technikák l) A készülék beállítása m) A vizsgálat végrehajtása (beleértve az RMV utasításokra való hivatkozást) n) A folytonossági hiányok jellemzése
6. rész: Átvételi feltételek	
7. rész: Vizsgálat után alkalmazandó eljárás	c) A visszautasított termékek eltávolítása (címkézés, válogatás) d) A védőbevonatok helyreállítása (ha szükséges)
8. rész: Jegyzőkönyv készítése	

6.4 VIZSGÁLATI UTASÍTÁS KÉSZÍTÉSE

Bevezetés

Az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány szerint az RMV-utasítás „Elfogadott szabvány, szabályzat, műszaki feltétel vagy RMV-technológia szerinti vizsgálat során követendő lépések pontos, írásbeli megadása”.

Az írott vizsgálati utasítások általánosabb technológián alapulnak és adott munkadarabra vagy hasonló munkadarabokra szabott előírások. Bár a vizsgálati technológiának a vizsgálat végrehajtása előtti elkészítése a vonatkozó szabályzatokban és szabványokban meghatározott követelmény, az írásos utasítások a technológia részletes adaptációjaként is értelmezhetők.



A vizsgálatot végrehajtó, 1-es szintű vizsgálónak szóló útmutatónak tekintett írott utasításokat ajánlatos tömören és világosan megírni. A következőkben egy teljes, magyarázó jellegű ismertető olvasható, mely a vizsgálati utasítást annak mibenlététől kezdve, a fejezeteinek leírásáig részletezi.

Mi a vizsgálati utasítás?

A vizsgálati utasítás egy olyan munkaanyag, amely strukturált módon összefoglalja egy adott munkadarab, vagy azonos ellenőrzési paramétereket igénylő, hasonló munkadarabok roncsolásmentes vizsgálata során végrehajtandó lépéseket és az azzal kapcsolatban figyelembe veendő szempontokat. A vizsgálati utasítás egy adott RMV-eljárásra és egy bizonyos módszerre készül, és úgy kell megfogalmazni, hogy annak alapján az adott eljárásra és szakterületre minősített vizsgáló képes legyen a vizsgálat végrehajtására.

Továbbá, ez egy rugalmas és hivatalos dokumentum, melyet az idő múlásával felmerülő változásokhoz hozzá kell igazítani, ugyanakkor mindenkor egységes formában kell megjelennie és kötelező érvényűnek kell lennie. A vizsgálati utasítás (is) a vállalat minőségirányítási rendszerének része és a Minőségbiztosítási Osztály hatáskörébe tartozik.

A minősítő vizsgák alkalmával a 2-es szintre pályázó vizsgázóknak meg kell fogalmazniuk egy már ellenőrzött munkadarabra vonatkozó vizsgálati utasítást úgy, hogy az ellenőrzést egy 1-es szintű vizsgáló is végre tudja hajtani. Ha a tanúsítás radiográfiai felvételek értékelésére korlátozódik, a 2-es szintű vizsgázóknak a gyakorlat, illetve egy vagy több radiográfiai felvétel figyelembevételével kell vizsgálati utasítást írniuk. Ez az előírás azon az elképzelésen alapul, hogy a 2-es szintű vizsgázóknak olyan vizsgálati utasítást kell készíteniük, mely egy munkadarab ellenőrzése során korábban végrehajtott, minden egyes lépést tükröz. A kész felvételek pedig azt bizonyítják, hogy ezek a lépések hatékonyak a keresett folytonossági hiányok detektálásában.

Mit kell tartalmaznia egy vizsgálati utasításnak?

A vizsgálati utasításnak meg kell adnia az összes vizsgálati változót, például a módszert, az ellenőrzési technikát, a vizsgálat végrehajtásához szükséges berendezést, anyagokat és kiegészítőket, személyzetet és referencia dokumentumokat, stb. Az elképzelés az, hogy a vizsgálónak – ha az adott utasítást lépésről-lépésre követi – képesnek kell lennie a vizsgálat végrehajtására.

Az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány szerint, a következőket kell részletezni (ld. még 8.5. pont):

- ◆ Előszó (alkalmazási terület, referencia dokumentumok).
- ◆ Személyzet.
- ◆ Az alkalmazandó berendezés és annak beállításai.
- ◆ A vizsgálandó darab (leírás vagy rajz a vizsgálati területtel, az ellenőrzés célja).
- ◆ Vizsgálati feltételek és a vizsgálat előkészítése.



- ◆ A vizsgálat végrehajtására vonatkozó részletes utasítások.
- ◆ A vizsgálati eredmények feljegyzése és osztályozása.
- ◆ Az eredmények jegyzőkönyvezése.

Ajánlások vizsgálati utasítások írásához

A vizsgálati utasításnak olyan hasznos dokumentumnak kell lennie, mely nagy segítség a vizsgálók számára a vizsgálat előtt és alatt, továbbá garantálja a teljes folyamat pontos nyomonkövethetőségét.

Az utasításnak világosnak kell lennie, az értelmezéséhez szükséges időt a minimálisra kell csökkenteni. Ezért magyarázó vázlatok, rajzok, táblázatok, stb. használata ajánlatos. Fontos a pontosság: azaz a tartalmat tömören és közvetlen módon kell megfogalmazni. A pontosságot az alábbi tényezők javítják:

- ◆ egyszerű nyelvi felépítés.
- ◆ az eljárásnak megfelelő szakkifejezések használata.
- ◆ a mozaikszavak túlzott használatának kerülése.

A használt nyelvezetnek egyszerűnek és szakszerűnek kell lennie, kerülni kell a bonyolult mondatok és szavak használatát. A műveleteket és a különböző lépéseket logikai sorrendbe kell foglalni. Munkadokumentum lévén, a vizsgálati utasítás hossza szintén figyelembe veendő tényező. A rövid utasítások megkönnyítik azok olvasását és ellenőrzését. A túlzottan hosszúak viszont fárasztják az olvasót.

Mivel meg kell felelnie a helyi a minőségirányítási előírásoknak, a vizsgálati utasításokat – a címsorokkal, revíziószámokkal és aláírásokkal együtt – az azoknak megfelelő formátumban kell elkészíteni.

A vizsgálati utasításokra vonatkozó ajánlások a következőképpen foglalhatók össze:

- ◆ rövid bekezdések,
- ◆ egyszerű kifejezések és mondatok, az általános köznyelvi és szakmai szókincssel,
- ◆ szükségtelen szavak vagy bekezdések elhagyása, az elképzeléseket jobban kifejező szavak választása,
- ◆ könnyen olvasható fogalmazás, a megengedett szakmai zsargonnal,
- ◆ változatos kifejezések, a monoton megfogalmazás kerülése,
- ◆ az új fogalmak magyarázata, visszavezetése az általánosan ismertekre.

Azért írj, hogy közölj valamit, ne azért, hogy jó benyomást kelts az olvasóban!

Részletesség

Mivel a vizsgálati utasítást, az eredeti elképzelésnek megfelelően legalább egy 1-es szintű anyagvizsgálónak kell végrehajtania, az egyes bekezdéseket a vizsgálatot végrehajtó személy elméleti és



gyakorlati ismereteinek, valamint az MSZ EN ISO 9712 jelű szabvány által meghatározott funkcióknak megfelelő részletességgel kell kidolgozni.

Azt is figyelembe kell venni, hogy a vizsgálati utasítást általános belső technológiák és eljárásrendek is támogatják, melyek a gyártási folyamattal és a megrendelői igényekkel kapcsolatos követelményeket is tartalmazzák. Tekintettel erre, a partnervállalat belső dokumentumait is, melyeket a vizsgálónak ismernie kell, szerepeltetni kell a referencia dokumentumok között.

A VIZSGÁLATI UTASÍTÁS FEJEZETEI

Ez az alfejezet részletesen ismerteti az MSZ EN ISO 9712, D melléklet, „Az 1-es és 2-es szintű gyakorlati vizsgák osztályozása – Útmutató a százalékos súlyozásra” c. D.1 táblázat 4. része alapján a vizsgálati utasítások fejezeteibe befoglalandó tartalmakat és leírásokat.

Előszó

Ebben a fejezetben le kell írni a dokumentum alkalmazási területét, továbbá meg kell határozni, kiket (vizsgáló személyzet) érint és milyen munkadarabokra (megnevezés, vizsgálati terület vagy térfogat) vonatkozik az utasítás. Ugyancsak meg kell határozni a vizsgálat célját (folytonossági hiányok kimutatása vagy bizonyos paraméter ellenőrzése, stb.) és a gyártási folyamat vagy üzemelés azon pontját, amikor a vizsgálatot végre kell hajtani.

Illusztratív példa:

„Ez a vizsgálati utasítás meghatározza az eljárással, a munkadarab területén végrehajtandó roncsolásmentes vizsgálatokat végző személyzet által az esetleges (az eljárástól függően térfogati vagy felületi) folytonossági hiányok kimutatása érdekében követendő lépéseket, valamint az elfogadási és elutasítási szinteket.”

E fejezetnek fel kell sorolnia az összes – a végrehajtásra, az eszközökre, az értékelésre és a személyzetre – alkalmazandó szabványt. Legfeljebb az eszközökre vonatkozó szabványoktól lehet eltekinteni. Meg kell adni a referencia dokumentumok (szabványok, stb.) jelét és címét, és világosan le kell írni, hogy a hivatkozott dokumentumok adott dátum szerinti vagy az utolsó érvényes kiadását kell-e figyelembe venni.

Az előszónak fontos kiegészítő információkat, szabályokat, például a munkavédelemmel kapcsolatosakat is tartalmaznia kell.



Személyzet

Ebben a fejezetben a vizsgálatot végrehajtó és az eredményeket értékelő személyzet képzettségét, jártasságát, minősítésének érvényességi körét (szint, RMV-eljárás és szakterület) kell megadni.

A személyzettel kapcsolatos munkabiztonsági feltételeket vagy előírásokat – ha vannak ilyenek – szintén meg kell határozni. Erre jellemző példa a radiográfiai anyagvizsgáló, akinek legalább radioaktív berendezés kezelőként tanúsítottnak kell lennie.

A személyzet minősítésére vonatkozóan figyelembe vett szabványt vagy dokumentumot és az egyéb előírásokat meg kell hivatkozni.

A VIZSGÁLANDÓ MUNKADARAB

Ennek a fejezetnek az alábbi adatokat kell tartalmaznia – ha azok alkalmazhatók:

- ◆ A munkadarab megnevezése és azonosítója. (A vizsgálandó darabot egyedi azonosítóval kell ellátni.)
- ◆ A munkadarab méretei.
- ◆ Anyagminőség – ez egy rövid leírástól a vegyi összetételig terjedhet. (Az anyagfajta vagy a gyártási folyamat ismerete segítséget jelenthet a vizsgálat végrehajtásában.)
- ◆ A vizsgálati felület (vagy térfogat) helyzete és méretei.
- ◆ A vizsgálandó felület állapota. (Meg kell határozni, hogy a felületnek milyennek kell lennie.)
- ◆ Tervrajz vagy vázlatrajz a munkadarabról és vizsgálati felületről (vagy térfogatról). (Ez sokat segíthet mind a feladat megértésében, mind a végrehajtás megtervezésében.)
- ◆ A munkadarab vagy a felület hőmérséklete. (Ha az adott eljárásnál ez fontos, meg kell adni szükséges vagy megengedett hőmérsékletek tartományát is.)
- ◆ Referencia pontok, koordináták és jelölések – az indikációk helyének és méreteinek azonosítására használt koordinátarendszert, illetve méretjelöléseket meg kell adni. Ha a munkadarab szükségessé teszi, akkor a vizsgálati felület (vagy térfogat) azonosításának módját is meg kell határozni.

Vizsgálati eszközök

A használandó berendezéseket, segédeszközöket (ellenőrző testek, stb.) és anyagokat (csatolóanyagokat) névvel és azonosítóval fel kell sorolni. Röviden le kell írni azok állapotára (kalibrált, hitelesített, stb.) vonatkozó követelményeket. Ebben a fejezetben az is előírható, hogy a vizsgálati eszközök adatait a jegyzőkönyvbe bele kell foglalni.

Az alkalmazott eljárástól és módszertől, valamint vizsgálati eszközöktől függően, röviden és tömören jelezni kell a beállítások módját, az érintett paramétereket és azok értékeit.

E helyütt meg kell határozni a beállítások és a kalibrációk, hitelesítések ellenőrzésének időpontjait, az elvégzett ellenőrzések eredményeinek elfogadási kritériumait és a teendőket, ha az eredmények nem megfelelőek.



Vizsgálati feltételek és előkészületek

Ebben a fejezetben meg kell határozni a vizsgálat végrehajtásához szükséges feltételeket (munkadarab állapota, környezet, egyéb körülmények). A feltételekhez hozzá kell rendelni azt is, hogy azok megléte miként ellenőrizendő (például hőmérséklet, nyomás, megvilágítás, érdesség mérése).

Ehhez kapcsolódva, meg kell adni azt is, hogyan kell vagy lehet biztosítani az előírt feltételeket, például szennyezett vizsgálati felület tisztításának módját.

A vizsgálat végrehajtása

Ez a fejezet a vizsgálat végrehajtásához szükséges műveletek részletes és időrendbe szedett leírását adja meg. Célszerű a vizsgálat lépéseiről egy olyan folyamatábrát készíteni, mely tartalmaz minden egyes végrehajtandó műveletet és a végrehajtás idejét.

Az alkalmazott eljárástól és módszertől függő, különböző vizsgálati paramétereket (például az átfedések mértéke, a szondamozgatás sebessége, mágneses térerő, erősítés, behatolási idő, a folytonossági hiányok kimutatását korlátozó tényezők, stb.) a vizsgálat minden fázisához meg kell határozni.

Ajánlatos a vizsgálati folyamat műveletsorát a következőképpen leírni:

- ◆ előzetes szemrevételezéses ellenőrzés (ld. Vizsgálati feltételek c. pont),
- ◆ a munkadarab tisztítása (ld. Vizsgálati feltételek c. pont),
- ◆ a beállítások időszakos ellenőrzése és módosítása (ld. Vizsgáló eszközök c. pont),
- ◆ letapogatás, adatgyűjtés,
- ◆ az indikációk megfigyelése, jellemzése és méreteinek megállapítása (ld. 8.6. alfejezet),
- ◆ az indikációk rögzítése és osztályozása, (ld. Az eredmények rögzítése és értékelése c. pont és 8.6. alfejezet),
- ◆ jegyzőkönyv készítése (ld. Jegyzőkönyvezés c. pont és 8.6. alfejezet),
- ◆ végső tisztítás (esetleg külön fejezetben).

6.5 AZ EREDMÉNYEK RÖGZÍTÉSE, ÉRTÉKELÉSE ÉS JEGYZŐKÖNYVEZÉS

Az eredmények rögzítése, értékelése

A vizsgálati utasítás ezen fejezetében meg kell határozni, hogy milyen indikációkat és azok mely paramétereit és jellemzőit, valamint milyen, az eredményeket alátámasztó információkat kell dokumentálni. Továbbá elő kell írni a dokumentálás módját is (méretezett vázlatrajzok, paramétereket tartalmazó táblázatok, stb.).



Az indikációk értékeléséhez alkalmazott szabályzatot, szabványt vagy specifikációt szintén meg kell adni, a konkrét értékelési kritériumokkal együtt. A cél az, hogy az elfogadható, illetve visszautasítandó munkadarabok egyértelműen azonosíthatók legyenek. (Persze az értékelés nem az 1-es szintű vizsgálók feladata.)

Jegyzőkönyvezés

A jegyzőkönyvek (vagy vizsgálati jelentések) általában tartalmazzák a vizsgálati paramétereket és a regisztrált releváns indikációkat, tehát a vizsgálati utasításoknak tartalmazniuk kell a dokumentálandó vizsgálati adatok listáját és az információk dokumentálásának módját.

A vizsgálati utasítás ezen fejezetébe, többek között, bele kell foglalni a jegyzőkönyv következő, lényeges elemeit is:

- ◆ a jegyzőkönyv száma,
- ◆ a figyelembe vett referenciadokumentumok (pl. szabványok),
- ◆ a megrendelő adatai,
- ◆ a vizsgálandó munkadarab (termék vagy szerkezeti elem) és a vonatkozó adatok,
- ◆ a felület-előkészítés módja (pl. előzetes tisztítás és az ehhez használt szerek),
- ◆ az alkalmazott vizsgáló eszközök és az ezekre vonatkozó információk,
- ◆ a beállítások adatai, ha szükségesek,
- ◆ vizsgálati módszerek és adatok,
- ◆ a rögzített indikációk (pl. vázlatrajzon),
- ◆ az eredmények értékelése (bizonyos esetekben),
- ◆ a vizsgálat és értékelés helyszíne és dátuma,
- ◆ a vizsgáló adatai (név, tanúsítvány száma, aláírás),
- ◆ a felügyelő adatai (név, tanúsítvány száma, aláírás).

Meglehetősen elterjedten használnak rögzített formátumú (űrlapszerű) jegyzőkönyveket, ezért ajánlatos a dokumentálandó adatokat azokhoz illeszkedő formátumba rendezni.

AZ INDIKÁCIÓK RÖGZÍTÉSE ÉS OSZTÁLYOZÁSA, JEGYZŐKÖNYVEZÉS

Az indikációk osztályozása

Egy termék vagy szerkezeti elem megfelelő vizsgálati technológia és utasítás szerinti ellenőrzésének befejező műveletei: az indikációk rögzítése (feljegyzése) és osztályozása (minősítése), valamint a vizsgálati jegyzőkönyv (jelentés) elkészítése.



A folytonossági hiányok által generált indikációk értékeléséhez és értelmezéséhez ismerni kell a munkadarab gyártásának módját, folyamatát és a gyártás különböző fázisaiban esetleg keletkező folytonossági hiányok típusait és várható pozícióit. A folytonossági hiányok jellemzői attól a gyártási fázistól függenek, amelyben megjelennek.

Az indikációkat legelőbb keletkezésük oka szerint kell osztályozni, azaz hamisként, nem relevánsként vagy relevánsként kell értelmezni. A releváns indikációkat alakjuk és eloszlásuk szerint – lineárisként vagy nem lineárisként, illetve egyediként vagy csoportosként, stb. – jellemezni kell. Végül, a releváns indikációkat értékelni kell: a vonatkozó referencia dokumentumok alapján elfogadhatónak vagy nem elfogadhatónak kell minősíteni őket. A munkadarab fajtájától (hegesztett vagy kovácsolt termék, öntvény, stb.) vagy az iparágtól (légiközlekedés, nukleáris ipar, stb.) függően léteznek olyan szabványok, melyek megadják az indikációk osztályozásának szabályait, továbbá regisztrálási és elfogadási szinteket is meghatároznak.

Az indikációk helyének és méreteinek meghatározása

Vagy azért, mert a vonatkozó technológia így írja elő, vagy a vizsgálati jelentés jobb megértése érdekében, olykor folyamatosan rögzítik az indikációkat. Ez ultrahangos vizsgálatnál úgy oldható meg, hogy vázlatrajzot készítenek, amelyen bemutatják az indikációk pozícióit és méreteit. Ha B-, C- és D-képes megjelenítés is rendelkezésre áll, akkor segítséget jelenthet az ilyen képernyőképeknek a kinyomtatása is, természetesen a munkadarabhoz illeszkedő hosszskálák feltüntetése mellett.

Az indikáció elhelyezkedésének korrekt meghatározása érdekében mindig ki kell jelölni (fel kell venni) egy alkalmas koordináta-rendszert. Alapvetően fontos annak eldöntése, hogy a munkadarabon melyik pont, és mely vonalak, síkok (pl. élék, felületek) vehetők figyelembe origóként, illetve koordinátatengelyként a mérés céljára. Minden folytonossági hiány elhelyezkedését ebben a kijelölt koordináta-rendszerben, annak tengelyeihez (pl. X, Y, Z) viszonyítva kell megállapítani. Megjegyzés: Nem feltétlenül kell derékszögű rendszerhez ragaszkodni, hengerszimmetrikus munkadarabnál, például, érdemes hengerkoordinátákat használni.

A 6.1. ábra. egy térbeli, síkszerű folytonossági hiányt mutat, melynek pozícióját az ábra. bal alsó sarkában jelzett koordináta-rendszerben az (X, Y, Z) értékhármassal adjuk meg. A (nem pontszerű) folytonossági hiány pozíciója alatt egy megadott pontjának – jelen esetben a felénk eső, bal alsó sarokpontjának – a helyzetét értjük. Ez a pont egyben viszonyítási pont az anyagihiány méreteinek megadásánál is. Az ábrán használt jelölésekkel:

l = hosszúság,

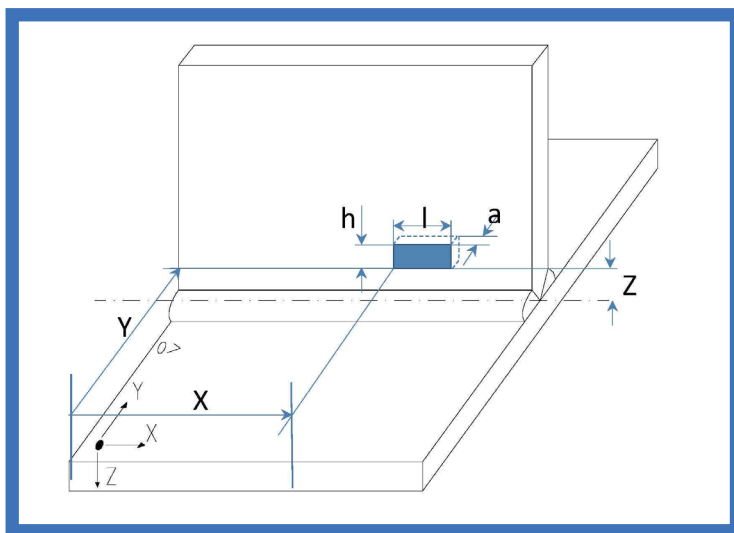
a = szélesség,

h = magasság.

A hosszúság nyilvánvalóan a nagyobb, a szélesség pedig a kisebb méretet jelenti valamilyen felület – például a vizsgálati felület – mentén, a magasság (más esetben mélység) pedig az erre a felületre merőleges irányú méretet.



6.1. ábra. Az indikáció pozíciójának és méreteinek meghatározása



Az összes észlelt és relevánsnak minősített indikációt jegyzőkönyvezni kell, figyelembe véve természetesen a vonatkozó szabványban vagy egyéb előírásban megadott regisztrálási (feljegyzési) határt.

Vizsgálati jegyzőkönyv

A vizsgálati jegyzőkönyvhöz (jelentéshez) ajánlatos kidolgozni egy olyan űrlapot, melybe az alábbi három fő adatcsoportba tartozó, összes szükséges adatot be lehet vezetni:

- ◆ a vizsgált tárgyra és annak állapotára vonatkozó információk,
- ◆ a vizsgálati körülményekre és a használt eszközökre vonatkozó adatok,
- ◆ az indikációk jellemzői és paraméterei.

A jegyzőkönyvet a vizsgálati technológiában és vizsgálati utasításban leírt útmutató alapján kell elkészíteni és abba általában a következőket kell bele foglalni:

- ◆ a vizsgálatot végrehajtó szervezet neve,
- ◆ a megrendelő neve,
- ◆ a munkadarab gyártójának vagy a hegesztett kötés készítőjének neve,
- ◆ a vizsgálandó munkadarab, hegesztett kötés azonosítója és adatai,
(Termékek esetében olyan azonosító, mely egyértelművé teszi, hogy a gyártás melyik fázisában végezték el a vizsgálatot. Hegesztett kötés esetén a kötés típusa, a hegesztési eljárás, az alap és a hozaganyagra vonatkozó információk, valamint a hőkezelések.),
- ◆ a vizsgálati technológia és/vagy vizsgálati utasítás azonosítója,
- ◆ a tekintetbe vett referencia dokumentumok,
- ◆ a vizsgált felület minősége.

- ◆ a munkadarab hőmérséklete vagy a hegesztési hőmérséklet,
- ◆ az alkalmazott vizsgálószerek, felhordásuk módja és a további vizsgálati paraméterek (időtartamok, hőmérsékletek, nyomásértékek, stb.),
- ◆ a kapott indikációk leírása (jellemzésük, helyük és méretük megadása vázlatrajzon),
- ◆ az indikációk értékelése és a vonatkozó elfogadási kritériumok,
- ◆ a vizsgálat helye és dátuma,
- ◆ a vizsgálatot végrehajtó személyzet tagjainak neve, minősítési szintje, tanúsítványának azonosítója és aláírása.

E fejezet 2. mellékletében ultrahangos vizsgálatoknál használható jegyzőkönyv (jelentés) űrlapja látható.

1. MELLÉKLET

AZ ULTRAHANGOS ELJÁRÁSRA ALKALMAZHATÓ SZABVÁNYOK

Azonosítószám	CÍM	DÁTUM (Utolsó felülvizsgálat)
MSZ-EN 1330-4	Roncsolásmentes vizsgálat. Fogalom-meghatározások. 4. Rész: Az ultrahangos vizsgálat fogalmai.	2000. július
MSZ-EN 583-1	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. 1. Rész: Általános alapelvek	1999/2004. április
MSZ-EN 583-2	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. 2. Rész: Érzékenység és geometriai beállítás.	2001. szeptember
MSZ-EN 583-3	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. 3. Rész: Átsugárzásos vizsgálat.	1997. november
MSZ-EN 583-4	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. 4. Rész: A felületre merőleges folytonossági hiányok vizsgálata.	2003/2004. március
MSZ-EN 583-5	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. 5. Rész: A folytonossági hiányok jellemzése és méretének meghatározása.	2003/2004. szeptember
MSZEN 583-6	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. 6. Rész: Futásidő-szóródásos eljárás a folytonossági hiányok kimutatására és méretezésére.	2010. február
MSZ-EN	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. Előírások az 1. sz. ellenőrző testre.	2000. május
MSZ-EN ISO 7963	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. Előírások a 2.. sz. ellenőrző testre.	2011. április
MSZ-EN 10228-3	Kovácsolt termékek roncsolásmentes vizsgálata. 3. Rész: Ferrites vagy martenzites kovácsolt acéltermékek ultrahangos vizsgálata.	1999. március



MSZ-EN 10228-4	Kovácsolt termékek roncsolásmentes vizsgálata. 4. Rész: Ausztenites és ausztenites-ferrites kovácsolt acéltermékek ultrahangos vizsgálata.	2000. március
MSZ-EN ISO 17640	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Ultrahangos vizsgálat. Eljárások, vizsgálati szintek és értékelések	2011. július
MSZ-EN ISO 23279	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Ultrahangos vizsgálat. Hegesztett kötésekben lévő folytonossági hiányok jellemzése.	2010. december
MSZ-EN ISO 11666	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Ultrahangos vizsgálat. Átvételi szintek	2011. július
MSZ-EN ISO 17635	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Fémekre vonatkozó általános szabályok	2010. december
MSZ-EN10160	A 6 mm és annál nagyobb falvastagságú lapos acéltermékek ultrahangos vizsgálata (impulzus-visszhang eljárás)	2000. március
MSZ-EN 12680-1	Öntészet. Ultrahangos vizsgálat. 1. Rész: Általános rendeltetésű acélöntvények.	2003. július
MSZEN 16018	Roncsolásmentes vizsgálat. Fogalom-meghatározások. A fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatok szakkifejezései.	2012. május
MSZ-EN 15617	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Futásidő-szóródásos eljárás (TOFD). Átvételi szintek	2010. május
MSZ-EN ISO 10863	Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Ultrahangos vizsgálat. A futásidő-szóródásos (TOFD) eljárás alkalmazása (ISO 10863:2011).	2012. május
MSZ-EN 14127	Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vastagságmérés.	2011. november
MSZ-EN 12668-1	Roncsolásmentes vizsgálat. Az ultrahangos vizsgálólóberendezés ellenőrzése és jellemzése. 1. Rész: Eszközök.	2010. szeptember
MSZ-EN 12668-2	Roncsolásmentes vizsgálat. Az ultrahangos vizsgálólóberendezés ellenőrzése és jellemzése. 2. Rész: Vizsgálófejek.	2010. október
MSZ-EN 12668-3	Roncsolásmentes vizsgálat. Az ultrahangos vizsgálólóberendezés ellenőrzése és jellemzése. 3. Rész: Vizsgálólóberendezés.	2001/2005. május
CEN /TR 15134	Roncsolásmentes vizsgálat. Automatizált ultrahangos vizsgálat. A rendszerek kiválasztása és alkalmazása.	2011. február

2. MELLÉKLET

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV (ÜRLAPMINTA)

[illegible]

7

AUSZTENITES KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK TULAJDONSÁGAI, HEGESZTÉSÜK ÉS VIZSGÁLATUK

Ebben a részben erőművi alkalmazásokat láthatunk. A korrózióálló acélokat a huszadik század elején fejlesztették ki és tették iparilag alkalmazhatóvá. Napjainkban széles körben használják ezeket az acélokat, felhasználásuk folyamatosan növekszik

7.1 KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK JELLEMZŐI, HEGESZTÉSÜK SZABÁLYAI:

A korróziót általában úgy definiálják, hogy kémiai vagy elektrokémiai folyamat játszódik le adott anyag és a környezet között, amelynek következtében az anyag változása (leromlása), vagy tulajdonságainak változása játszódik le.

Napjainkban a korrózióvédelem alapelvei lényegében tisztázottak az alapanyag oldaláról. Az anyag oldaláról egy igen fontosnak tartott hatás a korrózióvédelem szempontjából, a passziválás. Passziválás alatt azt értjük, hogy a fém nemesebben viselkedik, mint ahogyan azt a standard potenciálja indokolja. A passziválás alatt egy stabil, jól tapadó réteg kialakulását értjük a felületen. A passzivitást, tehát egy stabil komplex, $(\text{Fe,Cr})_2\text{O}_3$ réteg hozza létre. Ez a passzív réteg ha megsérül, igyekszik minél gyorsabban „begyógyulni” azaz repassziválódni. A molibdénnel való ötvözés ezt elősegíti és gyorsítja. A helyi korrózió tipikusan akkor jön létre, ha az oxidréteg megsérül a Mo-ötvözés ilyen esetben előnyös, hiszen „begyógyítja” a réteget. A szövetszerkezet oldaláról a hagyományos értelmezés szerint azok az anyagok jó korrózióállóak, amelyek homogén szerkezetűek. Ebben az értelmezésben az acéloknál homogén szövetszerkezetek korrózióállóak. Ilyen szövetszerkezet a ferrit, a martenzit és az ausztenit. A tisztán ilyen szövetszerkezetű acélok jó korrózióállóak. Nem igaz a homogenitás a duplex és szuperduplex acélokra, hiszen ezek heterogén szerkezetűek. A homogén szerkezet követelményét, talán a jó korrózióállóságú szövetszerkezetek keverékével kell kiegészíteni, hiszen ezek is jó korrózióállóak.

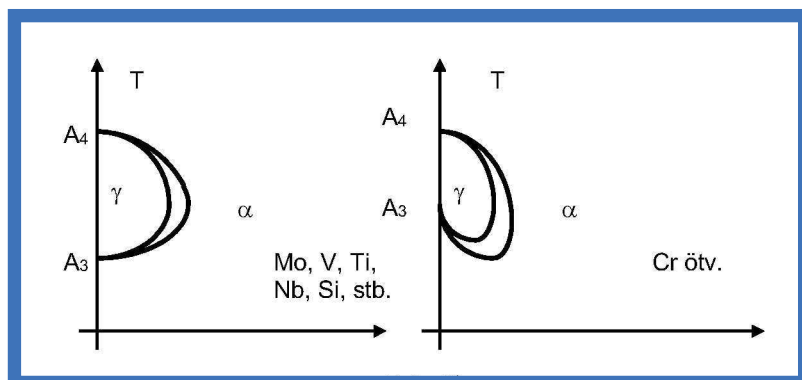
A korrózióállóságban fontos szerepet játszó rezisztencia szinteket is figyelembe kell venni. Ez azt jelenti, hogy 1/8-ad, 2/8-ad mólnyi mennyiségnél a korrózióállóság ugrásszerűen megváltozik.

Acéloknál a Cr hoz létre rezisztenciát, az I. rezisztenciaszint: 11,7%, a II. rezisztenciaszint pedig: 23,4%. Minden korrózióálló acélban legalább az első rezisztenciaszintnél magasabb Cr-mennyiséget ötvöznek.

A homogén szövetszerkezetet ötvözéssel is el tudjuk érni. Az ötvöző anyagok többsége a ferritben oldódik, azt is mondják, hogy ferritképzők, illetve ferrit stabilizátorok (7.1. ábra).



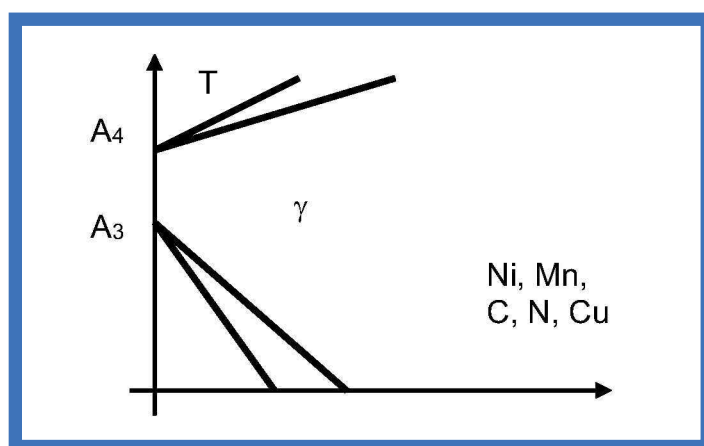
7.1. ábra. A ferritképző ötvözők hatása



A ferritképzők bezárják az ausztenitmezőt, azaz az A_4 hőmérsékletet csökkentik, az A_3 hőmérsékletet pedig növelik. A króm is bezárja az ausztenitmezőt, de egy darabig az A_3 -at is csökkenti.

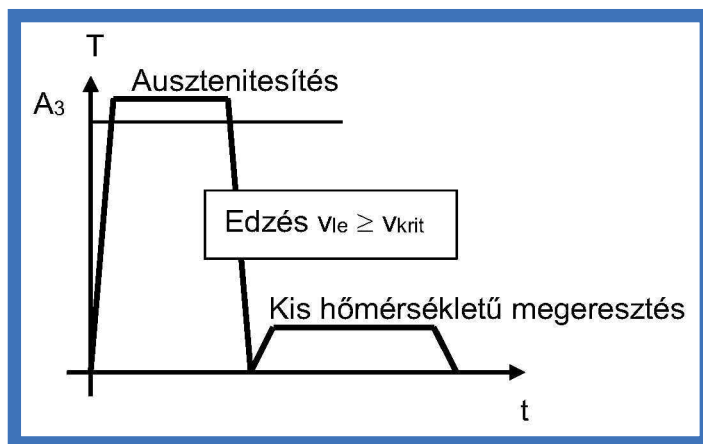
Az ötvözők másik csoportja ausztenitképző, más néven ausztenit-stabilizátorok és az ausztenitben oldódnak. Ilyen ötvöző öt van mindössze, a nikkel, a mangán, a nitrogén, a réz, és a karbon is ausztenitképző ötvöző. Ezek az ötvözők az A_4 hőmérsékletet növelik, az A_3 hőmérsékletet pedig csökkentik. Az ausztenitképzők hatása a 7.2. ábrán látható. Adott összetétel felett, például 30% nikkel ötvözés felett az acél szobahőmérsékleten is ausztenites szövetszerkezetű.

7.2. ábra. Az ausztenitképzők hatása



A martenzites szövetszerkezet edzéssel érhető el, ennek feltétele az edzhetőség határáként megadott karbontartalom elérése ($C \geq 0,22\%$), de meg kell jegyezni, hogy több acélban a C-tartalom ennél kisebb. A klasszikus martenzites korrózióálló acélokat edzéssel és kishőmérsékletű megeresztéssel hozzák létre. Ilyen hőkezelési ciklust az 7.3. ábrán mutatunk be. A kishőmérsékletű megeresztés 160–250°C hőmérsékletű hőkezelést jelent.

7.3 ábra. A martenzites szövetszerkezet létrehozása



A hagyományos korrózióálló acélok, a

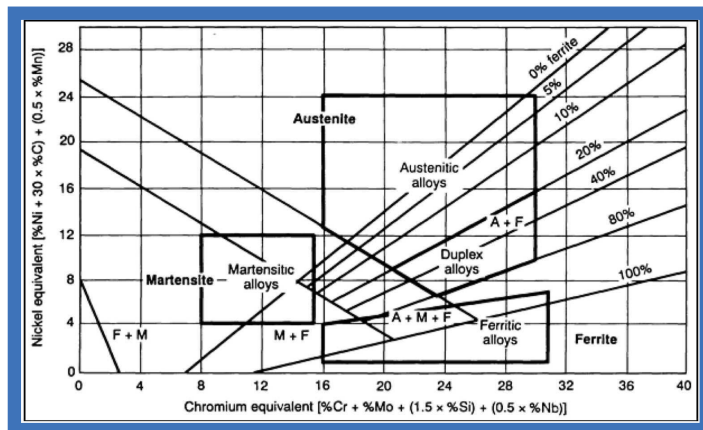
- ◆ ferrites korrózióálló acélok,
- ◆ martenzites korrózióálló acélok,
- ◆ és az ausztenites korrózióálló acélok.

Napjainkban ezeket az acélokat kiegészítik a duplex és szuperduplex acélokkal és az újonnan kifejlesztett,

- ◆ szuperferrites acélokkal,
- ◆ szuperausztenites acélokkal,
- ◆ kiválásosan keményíthető acélokkal.

A hagyományos korrózióálló acélok összetételei a 7.4. ábrán láthatók. Az ábra. az ún. Schaeffler-diagram, amely lényegében a Fe–Cr–Ni szövetelemábra, figyelembe véve a legfontosabb ferrit- és ausztenitképző ötvözőket.

7.4. ábra. A hagyományos korrózióálló és duplex acélok helye a Schaeffler-diagramon



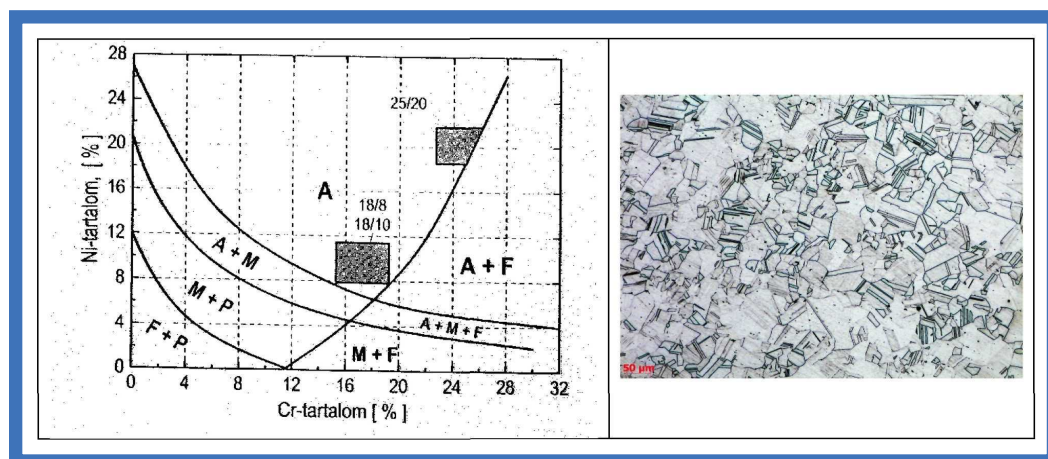
A továbbiakban röviden összefoglaljuk a ferrites, a martenzites korrózióálló acélok – ezeket nevezik rozsdáálló acéloknak is – tulajdonságait, hegesztésük szabályait. A rozsdáálló acélokat nehéz hegeszteni és ezért is alkalmaznak annyi ausztenites korrózióálló acélt a gyakorlatban, mert ezeket az acélokat könnyű hegeszteni.

Az ausztenites korrózióálló acélokat részletesen bemutatjuk.

7.2 AUSZTENITES KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK ÉS HEGESZTÉSÜK

Az ausztenites korrózióálló acélok széles köre áll rendelkezésre a műszaki gyakorlatban. A korrózióállóságot a Cr-ötvözés biztosítja – passzíváló és rezisztenciát létrehozó hatásával –, a nikkel mint másik fő ötvöző hozza létre az ausztenites szövetszerkezetet és a korrózióállóságot tovább javítja. A legegyszerűbben létrehozható alapötvözet a 18/8 (18/9, 18/10) -es acél.

7.5. ábra. Strauss–Mauer–diagram és a jellegzetes szövetszerkezet



Az, hogy 18/8 – 18/9 – 18/10 az alaptípus, a C %- tartalomtól függ, a csökkenő C ausztenitképző hatását, nikkellel pótolják:

- ◆ Ha a C = 0,1–0,12% akkor 18/8-as,
- ◆ Ha a C = 0,06–0,08% akkor 18/9-es,
- ◆ Ha a C = 0,04–0,06%, akkor 18/10-es acél az alaptípus.

Az 1050–1150°C-on végzett ausztenitesítésnél az esetleges kiválások oldatba vihetők, vízhűtés után a szövetszerkezet ausztenites marad, ez a túlhűtött állapot a leglágyabb állapot, mert az Ms hőmérséklet messze a szobahőmérséklet alatt van. Tehát a leglágyabb állapot edzéssel érhető el (az ausztenites lágyítás kifejezést is használják). Meg kell jegyezzük, hogy az ausztenites szerkezet túlhűtött állapot, az anyag igyekszik energetikailag stabilabb állapotot elérni. Ez a magyarázata annak, hogy képlékeny hidegalakítás hatására martenzit képződik. Ez az átalakulás a mágneses fázistartalom meny-

nyiségének növekedésével követhető. A martenzitképződés inhomogenitást okoz, ami a korrózióállóság romlásával jár.

Az ausztenites korrózióálló acélok jellemző mechanikai tulajdonságai a következők:

$$R_{p0,2} \geq 205\text{--}310 \text{ MPa}, \quad R_m \geq 450\text{--}700 \text{ MPa}, \quad A \geq 35\text{--}50\%.$$

A fő ötvözők hatását összefoglalva:

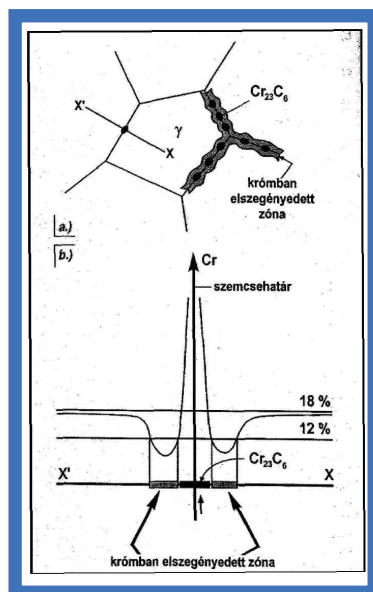
- ◆ Cr a korrózióállóság szempontjából fontos, a rezisztencia szint biztosítása, a passzíválás a feladatok, (ferritképző, így az ausztenitképződés szempontjából kedvezőtlen),
- ◆ Ni a fő ausztenitképző, javítja a korrózióállóságot,
- ◆ Mn 1–2% a szokásos, ausztenitképző, alkalmas a Ni pótlására,
- ◆ 14–16% Mn-ötvözés tisztán ausztenites szövetszerkezetet eredményez (HADFIELD-acél dinamikus igénybevétel hatására növeli a keménységet),
- ◆ Si-ferritképző, a reveállóságot javítja, növeli a hőállóságot, de a melegrepedés okozója, így max. 1% szokásos,
- ◆ Mo-karbidképző, növeli a melegszilárdságot és a helyi korrózióval szembeni ellenállást,
- ◆ Cu javítja a korrózióállóságot kénsavban és sósavban, továbbá feszültségi korrózióval szemben,
- ◆ N erős ausztenitképző, a szilárdságot jelentősen növeli,
- ◆ C mennyisége az ausztenites acélokban döntő jelentőségű, max. 0,12% lehet, de napjainkban 0,08% a maximum, egyre inkább terjed a kis C tartalom ($\leq 0,02 \dots 0,03\%$). További probléma a különböző kiválások kialakulása, amelyek a hegesztési hő hatására is létrejöhetnek.

7.2.1 A karbon mennyiségének jelentősége

A hő hatására krómkarbid illetve Cr–Fe–Mo komplex karbidkiválások jöhetnek létre a szemcsehatárokon, $(\text{Cr}_{23}\text{C}_6)$, $(\text{Cr}_{16}\text{Fe}_5\text{Mo}_2)\text{C}_6$ válhatnak ki. Ez a króm elszegényedését jelenti a szemcsehatár közelében. A krómtartalom az első rezisztenciaszint alá kerülhet, így a korrózióállóság megszűnik (7.6. ábra).

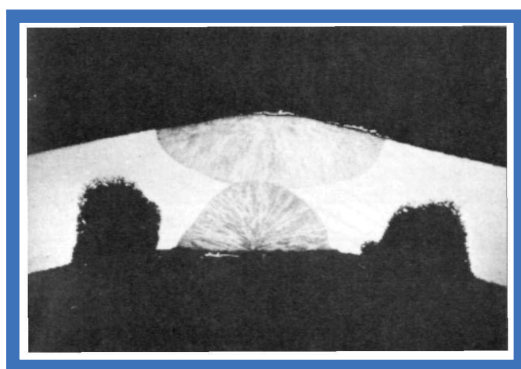


7.6. ábra. A szemcsehatár menti króm-kiválások



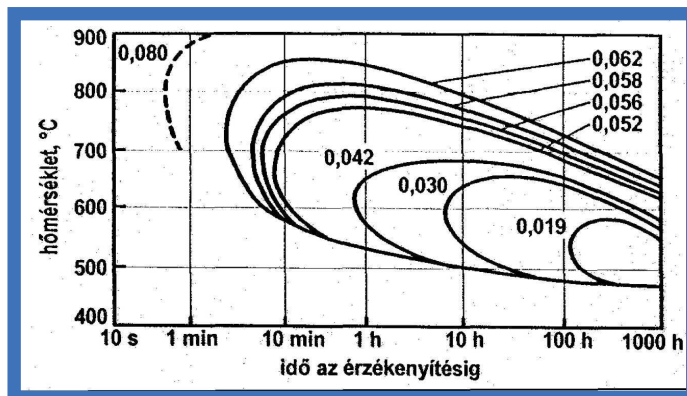
A krómkarbid-kiválás eredménye az interkristallin (szemcsehatár menti) korrózió lehet. Ilyen jelenség látható a 7.7. ábrán.

7.7. ábra. Interkristallin korróziós károsodás csőhegesztett kötése környezetében



A krómkarbid kiválásának időszükséglete a karbontartalomtól függ, ahogyan az a 7.8. ábrán látható. Az ábra. szerint, 0,08% C-tartalom esetén a kiválás a hegesztési hő hatására, hegesztés közben is létrejöhet.

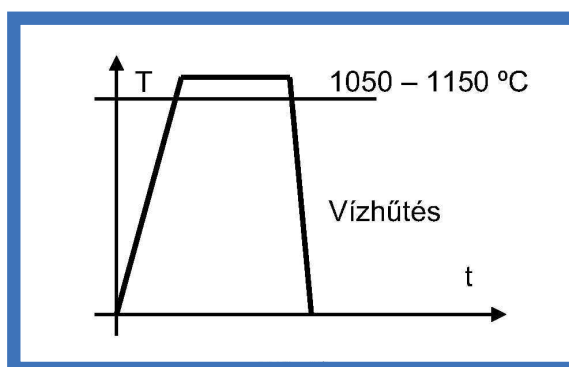
7.8. ábra. Krómkarbid-kiválás időszükséglete



A szemcsehatár menti krómkarbid-kiválás három módon kerülhető el:

- ◆ C-tartalom korlátozásával, $C \leq 0,02-0,03\%$, a karbon nem elegendő a krómkarbid kiválásához, újabban ez a legtöbbször alkalmazott módszer.
- ◆ Stabilizálás, ez a C lekötése a Cr-nál erősebb karbidképzőkkel, amely titánnal és nióbbiummal (néha Tantállal) lehetséges, az összes C-t meg kell kötni:
 - ◇ $Ti = (4 \dots 6) \times C\%$,
 - ◇ $Nb = (8 \dots 10) \times C\%$.
- ◆ Hőkezeléssel is lehetséges a kiválások megszüntetése, ausztenites edzéssel (lágyítással). A hőkezelés ciklusdiagramja a 7.9. ábrán látható.

7.9. ábra. Ausztenites edzés/lágyítás



7.2.2 A kristályosodási repedés keletkezése

Az ausztenites korrózióálló acélok hegesztésénél probléma lehet a kristályosodási repedések keletkezése. Ilyen repedéseket mutatunk be a 7.10. ábrán. Az ábra. egy lézerhegesztéssel készített varratot mutat, amelyben repedések láthatók.

7.10. ábra. Kristályosodási repedés lézerhegesztéssel készített varratban

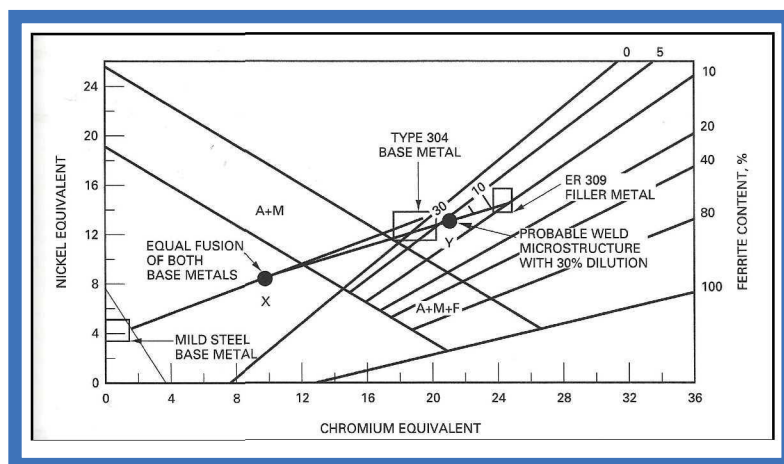


A kristályosodási repedések okának a szemcsehatár mentén elhelyezkedő szilíciumhártyát tartják, amely csökkenti a szemcsehatár kohézióját és a feszültségek repedéseket hozhatnak létre. A szennyezők, mint a kén és a foszfor elősegítik a kristályosodási repedések keletkezését.

A szilícium nem oldódik az ausztenitben, hiszen ferritképző ötvöző. A repedés elkerülhető, ha megakadályozzuk az összefüggő szilíciumhártya kialakulását, az hegesztés után képlékeny alakítással lehetséges, de sokkal jobb megoldás, ha a szilíciumot oldjuk. Ez akkor lehetséges, ha a varratban néhány százalék ferritet biztosítunk. A lágyferrittől megkülönböztetve ezt az erősen ötvözött ferritet, delta ferritnek nevezzük (δ -ferrit).

Az általában elfogadott mennyiség 4–8% δ -ferrit a varratban, de egyes irodalmak 5–10%-ot adnak meg. A szilíciumot akkor tudjuk oldatba vinni, ha a varratban az eredő kémiai összetétel a Schaeffler-diagramon az 5–10% δ -ferrit sávba esik (7.11. ábra)

7.11. ábra. A kristályosodási repedés elkerülésére a varrat eredő kémiai összetételének az 5–10% ferrit tartalmú sávba kell esnie



(Mild Steel Base Metal: ötvözetlen acél alapanyag, Type 304 Base Metal: 304 típusú acél alapanyag, Equal Fusion of Both Base Metals: Mindkét alapanyag azonos mértékben olvadt meg, ER 309

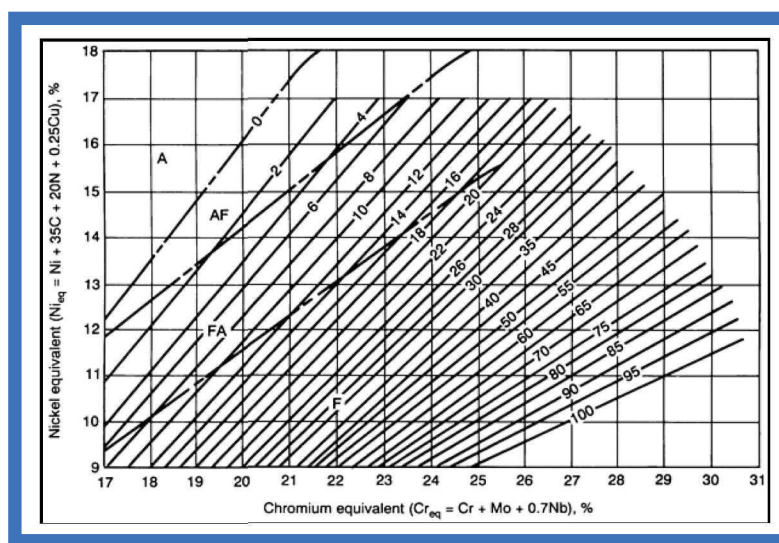


Filler Metal: ER 309 típusú hegesztőanyag, Probable Weld Microstructure with 30% Dilution: A varrat összetétele 30%-os hígulást tételezve fel)

Az ábra. jól mutatja azt a gondolatmenetet is, amelyet egy ötvöztelen acél és egy ausztenites korrózióálló acél vegyes kötésének készítésekor, az eredő varratfém összetételének meghatározásához követni kell. Ha feltételezzük, hogy a varratban mindkét alapanyag ugyanolyan mértékben vesz részt, akkor a két anyagot összekötő egyenes felezési pontja mutatja az eredő összetételt. A hegesztőanyagot úgy kell kiválasztani, hogy a varrat várható összetétele az 5–10% δ -ferrit sávba essen. Ha az ER 309 típusú hegesztőanyagot választjuk és az alapanyagok részaránya a varratban 30%, akkor az összetételeket jelző pontokat egyenessel összekötve és a fordított karok szabályát alkalmazva, a varrat várható összetétele ebbe a sávba esik. Így a kristályosodási repedés nagy valószínűséggel elkerülhető.

Újabban a legpontosabbnak a WRC-diagramot tartják, amelyen a varrat kémiai összetételének az FA – val jelölt sávba kell esnie (7.12. ábra). A diagramon mind az ausztenitképzők, mind a ferritképzők mennyiségét kicsit másképp számolják, mint ahogyan azt a Schaeffler-diagramnál láttuk.

7.12. ábra. A WRC-diagram (WRC = WELDING RESEARCH COUNCIL az Amerikai Egyesült Államokban)



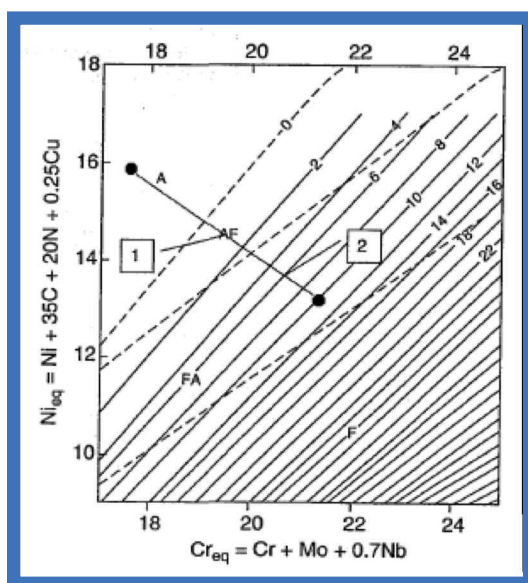
A hegesztőanyag választásra példát a 7.13. ábrán láthatunk alapján. Az ábrán látható pontok jelzik az alapanyag és a hegesztőanyag összetételét. Ha a varratban 50–50%-ban vesz részt az alapanyag is és a hegesztőanyag is, akkor az 1-es pont jelzi az eredő kémiai összetételt, ez az AF jelű sávba esik és a varrat δ -ferrit tartalma 1%. Ebben az esetben a kristályosodási repedést nem lehet kizárni. Itt kell megjegyezni, hogy a WRC-diagramon látható számok az ún. ferrit számok (FN), amelyek kis ferrit mennyiségnél a δ -ferrit mennyiségével egyeznek meg.

Abban az esetben, ha az alapanyag részaránya a varratban csak 20%, akkor a kémiai összetétel a 2-vel jelölt pontba esik és a varrat várható δ -ferrit tartalma 6%. A varratban nagy valószínűséggel nem várható kristályosodási repedés, hiszen az összetétel az FA-val jelölt sávba esik.

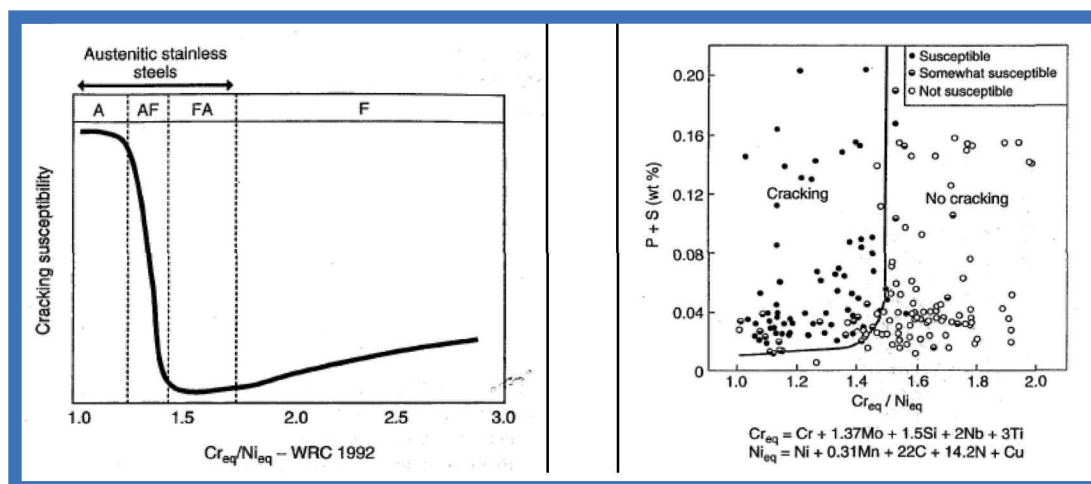
Az előzőekhez hasonló követelmények láthatók a 7.14. ábrán, amely azt jelzi, hogy a repedés érzékenység akkor kicsiny, ha a kémiai összetétel az FA-val jelölt sávba esik és a Cr_{eq}/Ni_{eq} aránya eléri az 1,5-t.

A gyakorlatban a hegesztőanyagok és az alapanyagok közel vannak a Schaeffler-diagramon és a keveredéstől függetlenül a szükséges δ -ferrit biztosított a varratban (7.15. ábra).

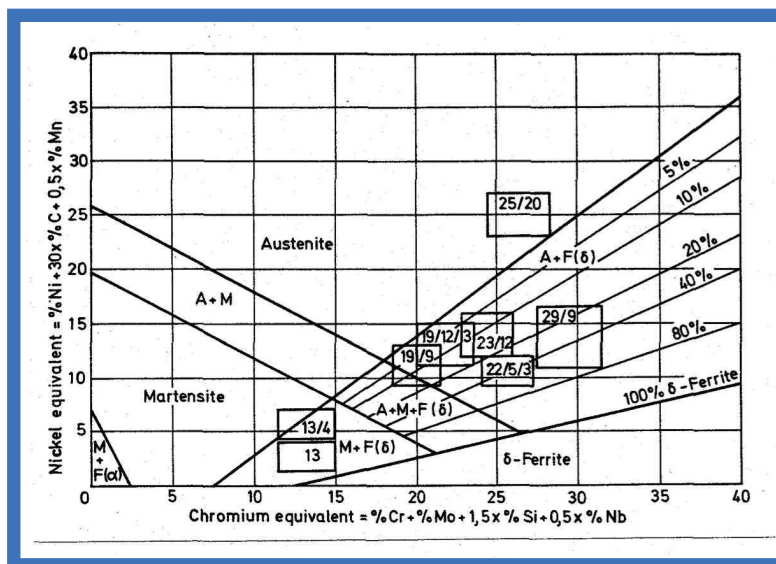
7.13. ábra. A kristályosodási repedés elkerülése szempontjából a varratnak az FA jelű sávba kell esnie, a 2 jelű összetétel a helyes



7.14. ábra. A repedés-érzékenység és a Cr_{eq}/Ni_{eq} összefüggése



7.15. ábra. A különböző összetételű hegesztőanyagok elhelyezkedése a Schaeffler diagramon
A kristályosodási repedés elkerülése szempontjából is helyes hegesztőanyag-választást a különböző korrózióálló acélokra az 7.1. táblázat tartalmazza [7] alapján.



1. táblázat.

Base Material			Welding Consumables		
EN 10088		AISI ⁽¹⁾	EN 1600	EN 12072	EN 12073
Name	Number		Covered Electrodes ⁽²⁾	Wires and Rods ⁽³⁾	Flux Cored Electrodes ⁽⁴⁾
X ₅ CrNi18-10	1.4301	304	E 19 9	G 19 9 L	T 19 9 L
X ₂ CrNi18-9	1.4307	304 L	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
X ₂ CrNi19-11	1.4306				
X ₅ CrNiTi18-10	1.4541	321	E 19 9 Nb	G 19 9 Nb	T 19 9 Nb
X ₅ CrNiMo17-12-2	1.4401	316	E 19 12 2	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
X ₂ CrNiMo17-12-2	1.4404	316 L	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
X ₆ CrNiMoTi17-12-2	1.4571	316 Ti	E 19 12 3 Nb	G 19 12 3 Nb	T 19 12 3 Nb
X ₂ CrNiMo18-15-4	1.4438	317 L	E 19 13 4 N L	G 19 13 4 L	T 13 13 4 N L
X ₁₀ CrNi18-8	1.4310	301	E 19 9	G 19 9 L	T 19 9 L
X ₂ CrNi18-7	1.4318	301 L	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
X ₁₂ CrNi23-13	1.4833	309 S	E 22 12	G 22 12 H	T 22 12 H
X ₈ CrNi25-21	1.4845	310 S	E 25 20	G 25 20	T 25 20
X ₂₅ CrNiMo18-15-4	1.4438	317 L	E 19 13 4 N L	G 19 13 4 L	T 13 13 4 N L
X ₂ CrTi12	1.4512	409	E 19 9 L	G 19 9 L	T 13 Ti
X ₆ Cr17	1.4016	430	E 17 or 19 9 L	G 17 or 19 9 L	T 17 or 19 9 L
X ₃ CrTi17	1.4510	430 Ti / 439	E 23 12 L	G 23 12 L	T23 12 L
X ₂ CrMoTi18-2	1.4521	444	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L



Base Material			Welding Consumables		
EN 10088		AISI ^(a)	EN 1600	EN 12072	EN 12073
Name	Number		Covered Electrodes ^(a)	Wires and Rods ^(b)	Flux Cored Electrodes ^(a)
X2CrTiNb18	1.4509	441	E 23 12 L	G 23 12 L	T 23 12 L
X6CrMo17-1	1.4113	434	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 Nb
X2CrNiN23-4	1.4362	–	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	–	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L
X12Cr13	1.4006	410	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L
X20Cr13	1.4021	–	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L
X30Cr13	1.4028	420	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L

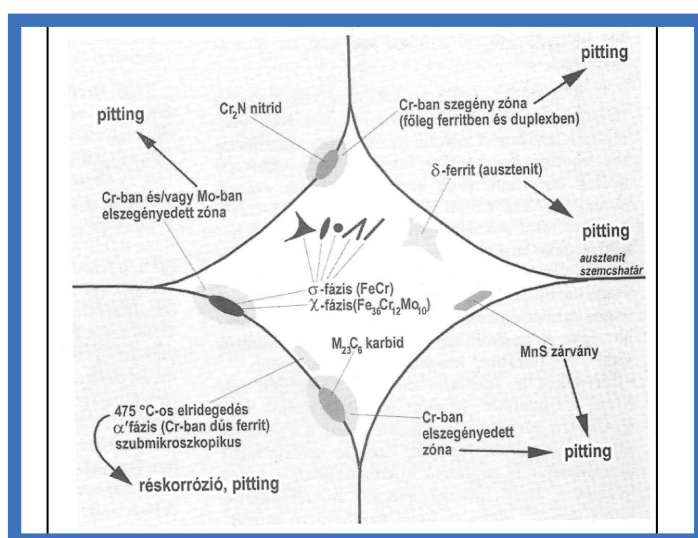
Base material: alapanyag, Welding Consumables: hegesztő anyagok, Name: név, Number: anyagszám, Covered Electrodes: bevonatos elektródák, Wires and Rods: huzalok és pálcák, Flux Cored Electrodes: portöltetű elektródák.

7.2.3 Kiválások keletkezése

Mint az az előzőekben láttuk, a króm-karbidok szemcsehatár menti kiválása szenzibilizációt okoz, ami azt jelenti, hogy az acél érzékeny lesz a szemcsehatár menti korrózióra. Láttuk, hogy ezt akár a hegesztési hő is létrehozhatja.

Hasonló mechanizmussal – tehát a hő hatására, diffúzióval további fázisok is kiválhatnak (7.16. ábra).

7.16. ábra. Kiválások ausztenites korrózióálló acélokban



(„pitting” azt jelzi, hogy lyukkorrózióval (helyi korrózióval) szembeni ellenállása romlik az anyagnak)

A korrózió és hőálló acélokban igen erős a kiválási hajlam, mivel ezek kvázi-stabil szerkezetek és az ötvözők nagy mennyisége is ezt a hajlamot erősíti (erős ausztenit-, ferritképzők, karbid- és nitridképzők), ennek köszönhetően a legkülönbözőbb kiválások jöhetnek létre ezekben az acélokban. Ezek a kiválási (szegregációs, precipitációs) folyamatok a zárványképződés kivételével diffúziós folyamatok, ennek köszönhetően hőmérséklet és időfüggők. Ezekben az acélokban esetlegesen létrejövő kiválások közül hatásukat tekintve a következők a legfontosabbak:

- ◆ a nagy krómtartalmú komplex karbidok kiválása az ausztenit szemcsehatárai mentén, illetve a ferritzemcsék határain (ezt már bemutattuk),
- ◆ a szigma- (σ) fázis kiválása a ferritben illetve az ausztenitben,
- ◆ a khi- (χ) fázis kiválása az ausztenitben illetve a ferritben,
- ◆ Laves- (η) fázis kiválása a ferritben illetve az ausztenitben,
- ◆ az ún. „475 °C-os elridegés”-hez vezető kiválási folyamat a ferrites és az ausztenites acélokban,
- ◆ nitridek, illetve karbonitridek kiválása a korrózióálló acélokban,
- ◆ delta- (δ)-ferrit kiválása az ausztenitben,
- ◆ szulfid és egyéb zárványok képződése.

A szigma- (σ) fázis kiválhat meghatározott körülmények között a ferrites és az ausztenites acélokban is. Ez lejátszódhat nem teljesen homogén szöveteknél is, pl. δ -ferrittartalmú ausztenites acélban is. Mindenekelőtt hangsúlyozni kell, hogy a σ -fázis rendezett rácsú intermetallikus fázis, tetragonális rács-szerkezete van és rendszerint 650 és 900°C hőmérséklet tartományban válik ki. A keménysége általában HV = 700–1000 körüli, nem csak nagyon kemény, de rideg is.

A σ -fázis Fe–Cr, Fe–Cr–Ni és Fe–Mn ötvözetekben egyaránt megjelenhet. Sztöchiometriás képletét leggyakrabban FeCr-ként írják le. Főleg a Mo-nel ötvözött acéloknál ez nem pontos, mert a Mo rendszerint beépül a σ -fázisba.

A σ -fázis keletkezésének (kiválásának) a sebessége 700°C körüli hőmérsékleten, illetve 600–800 °C tartományban a legnagyobb. Ennek főleg a hőálló acéloknál van jelentősége.

A σ -fázis kiválásának (keletkezésének) ideje erősen függ az anyag összetételétől és a lehűlési sebességtől.

A fémek feldolgozásakor (képlékeny alakítás, hegesztés stb.) alkalmazott hőciklusok az egyensúlytól eltérő változásokat hoznak létre, ezek ugyan se nem túl gyors és se nem végtelen lassú lehűlések, tény, hogy viszonylag rövid idő alatt (néhány perc alatt is) bekövetkezhet a σ -fázis kiválása annak minden következményével együtt.

A σ -fázis kiválása nemcsak a ridegítő hatása miatt káros, hanem a korrózióállóságot is rontja. Főleg a σ -fázis és az ausztenit határfelületén gyakori a pitting korrózió megjelenése a nagy potenciálkülönbség miatt. A σ -fázist ausztenites acélban 900°C feletti oldó izzítással tudjuk megszüntetni, ahonnan gyors lehűtéssel a kiválás elkerülhető.

Az allotróp átalakulással nem rendelkező ferrites acéloknál a σ -fázis hőkezeléssel nem szüntethető meg.



A Khi-fázis (χ -fázis) szintén intermetallikus fázis, rácsa térben középpontos köbös. Úgy a ferrites, mint az ausztenites korrózióálló acélokban kiválik 730–1000°C hőmérsékleten, ha az acél Mo-nel van ötvözve. A króm elősegíti a χ -fázis kiválását, sőt ha kisebb mértékben is, de ez a hatása a legtöbb karbid illetve ferritképzőnek is.

A χ -fázist legtöbbször $\text{Fe}_{36}\text{C}_{12}\text{Mo}_{10}$ sztöchiometriai képlettel írják le, de esetenként a $(\text{F,Ni})_{36}\text{Cr}_{18}\text{Mo}_4$ összefüggéssel adják meg. A χ -fázis mintegy 15–25% Mo-t tartalmaz. Az ausztenitképzők, ezek közül is a N különösen gátolja a χ -fázis kiválását. A χ -fázis ridegít és a σ -fázishoz hasonlóan a korrózióállóságot is rontja, főleg pitting korróziót okoz. Megszüntetni 1000°C feletti oldó izzítással lehet. σ -fázist a 24. ábra. bal oldali felső ábráján a nyíllal jelölve láthatunk.

A Laves- (η) fázis sok tekintetben hasonlít a χ -fázisra. Szintén akkor válik ki, ha a korrózióálló acél Mo- nel ötvözött. Főleg az ausztenitben válik ki 600–1100°C hőközben, általában lassú kiválási folyamat eredményeként. Rácsszerkezete hexagonális, általában Fe_2Mo képlettel írható le. Ti vagy Nb jelenlétében is gyakran megfigyelhető, pl. a Ti a Fe kiváltására alkalmas, ilyenkor pl. $\text{Ti}_{21}\text{Mo}_9$ képlettel írható le a Laves-fázis. Az előző kiválásokhoz hasonlóan a ridegítő és a korrózióállóságot csökkentő hatása miatt érdemel figyelmet.

Az ún. „**475°C-os elridegedés**” úgy a ferrites, mint az ausztenites korrózióálló acélokban felléphet. Elnevezését arról a hőköznek az átlagáról kapta, amelyben bekövetkezhethet 400–550°C tartományban. Újabban megfigyelték, hogy néha kevéssel 400°C alatt is jelentkezik hosszabb hőntartást követően. Az elridegedés mértéke annál nagyobb, minél több ferrit van a szövetszerkezetben. Az elridegedést az okozza, hogy Cr-ban dús ferrit zónák alakulnak ki, amelyekhez bizonyos szegregációs folyamatok (oxid, nitrid stb.) is társulnak. A szakirodalomban α' -fázisnak is szokták nevezni a 475°C-os elridegedést okozó kiválások együttesét, ami nem tévesztendő össze az ún. alakítási martenzittel, ami a 18/8-as ausztenites acélok hidegalakításakor keletkezik, és amelyet ugyancsak α' -vel jelölnek. A 475°C-os elridegedés megszüntetése 560°C-nál magasabb hőmérsékletű hőkezeléssel (oldás) lehetséges. Az elridegedés mellett pittingkorrózióra is érzékenyít a „475°C-os elridegedés”.

Miután a korrózióálló acélok a Cr-on kívül összetételük alapján számos más nitridképzőt is tartalmaznak, mégpedig többek között Mo-t, Ti-t, Nb-ot stb., nyilvánvaló, hogy ezen acélokban a **nitridek képződésével** is számolni kell. Sőt a nitrogénnel való ötvözés rohamos fejlődésének köszönhetően a korszerű korrózióálló acélok gyártása során, ez a kérdés jobban előtérbe kerül.

Korróziós szempontból a hexagonális Cr_2N nitrid keletkezése érdemel különös figyelmet, miután ez a szemcsehatáron helyezkedik el, mégpedig főleg a ferritben illetve a duplex-, szuperduplex acélokban és Cr-ban elszegényedett zónát hoz létre. Mivel a Cr_2N krómtartalma igen magas (kb. 90%), a környezet Cr-tartalma az első rezisztencia szint alá csökkenhet, ezért korrózió, ezen belül is pitting kiindulópontja lehet. Természetesen az ilyen kiválások a kristályközi korrózióval szembeni érzékenységet is kiválthatják, ahogyan a Cr_{23}C_6 fázis kiválások okozták ezt.



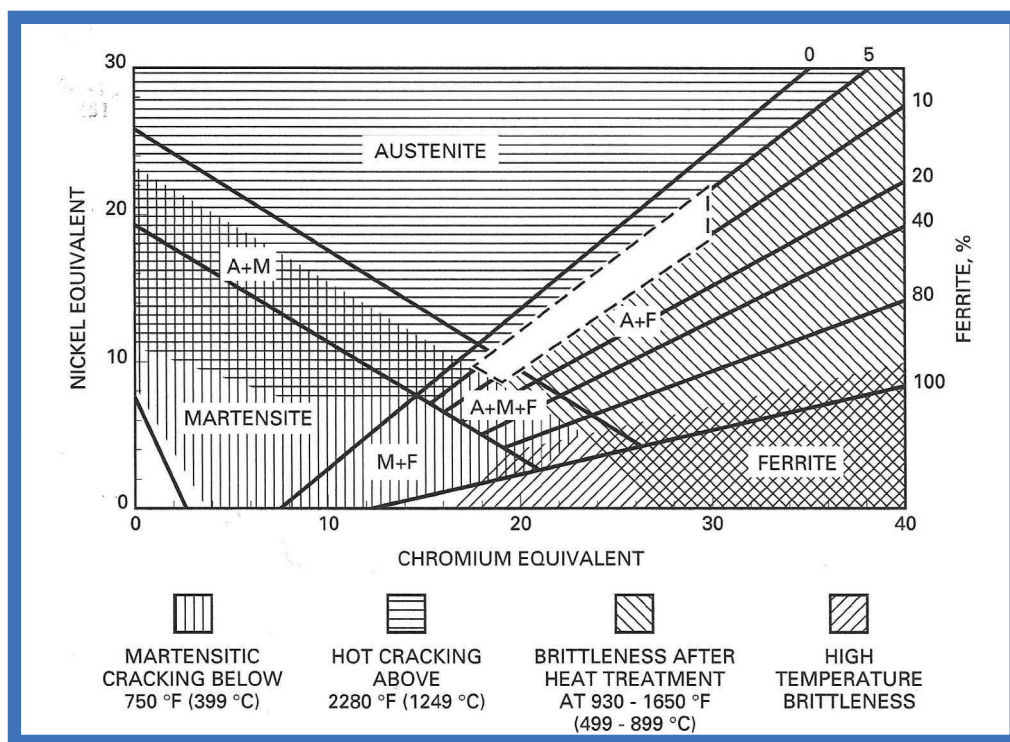
A δ -ferrit az ausztenites korrózióálló acélokban a kristályosodási repedés megelőzése szempontjából néhány % mindig jelen van. Hangsúlyoznunk kell, hogy a korrózióállóság feltétele a homogén szövet-szerkezet, legalább is a klasszikus felfogás szerint, a δ -ferrit mennyiségének korlátozására kell törekedni. Gyakorlati tapasztalat az, hogy 4–8% δ -ferrit még nem okoz korróziós problémát, ugyanakkor a kristályosodási repedés elkerülhető.

7.2.4 Az ausztenites korrózióálló acélok hegesztése

Az ausztenites korrózióálló acélok hegesztésénél a már bemutatott problémákat összesítve a következő nehézségeket kell figyelembe venni:

- ◆ krómkarbid kiválása,
- ◆ kristályosodási repedésképződés,
- ◆ σ -fázis kiválása,
- ◆ további fázisok kiválása.

7.17. ábra. A korrózióálló acélok hegesztési problémái [5]



(Martensitic Cracking below 399°C: martenzites repedés 399°C alatt; Hot Cracking above 1249°C: Kristályosodási repedés 1249°C felett; Brittleness after Heat Treatment at 499–899°C: elridegedés 499–899°C-nál; High Temperature Brittleness: Elridegedés magas hőmérsékleten.)

A 7.17. ábrán a fehér sáv az, amelyben található ausztenites és részben ausztenites acélok hegesztése nem okoz problémát.

Az ausztenites acélok hegesztésének szabályai

Ezeknél az acéloknál figyelembe kell venni a nagy hőtágulást, a rossz hővezető képességet, a rossz villamos vezetőképességet. A hegesztésnél nagy deformációk várhatók.

- ◆ Előmelegítés nem szükséges, sőt az előmelegítés krómkarbid kiválást is okozhat.
- ◆ A hegesztőanyagot úgy kell kiválasztani, hogy a keveredés figyelembevételével is a varrat eredő δ -ferrit tartalma 4–8% (5–10%) legyen a kristályosodási repedés elkerülése érdekében.
- ◆ Kis hőbevitellel kell hegesztetni, mert csökken a deformáció, illetve a szenzibilizáció és egyéb fázisok kiválásának veszélye is csökken. Bevonatos elektródát szokás átmérőben „aláválasztani”. A tisztaságra ügyelni kell. Csöveknél a gyökvédelemre is gondolni kell védőgázos hegesztéseknél.
- ◆ Ívelés nélkül kell hegesztetni, a végkrátert vissza kell tölteni.
- ◆ Utólagos hőkezelés nem szükséges. Természetesen az utólagos hőkezelés is kiválásokhoz vezethet, így csak nagyon ritkán, 25 mm falvastagság felett írják elő a feszültségcsökkentő hőkezelést.

Az ausztenites korrózióálló acélok hegesztése nem nehéz, ezért is alkalmazzák legtöbbször ezeket az acélokat a gyakorlatban.

A továbbiakban röviden bemutatjuk az új fejlesztési korrózióálló acélokat.

7.3 ÚJ FEJLESZTÉSŰ KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK

A korrózióállóság növelésére új korrózióálló acélokat dolgoztak ki. Ilyen acélok:

- ◆ Duplex acélok.
- ◆ Szuper duplex acélok.
- ◆ Szuper ferrites acélok.
- ◆ Szuper ausztenites acélok.
- ◆ Kiválasosan keményíthető korrózióálló acélok.

Az újonnan kifejlesztett acélokra jellemzésére bevezették a „Pitting Resistance Equivalent Number” (PREN) számot, amely a következő összefüggéssel számítható ki:

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3,3\text{Mo} + 16\text{N} \quad (1)$$



Néhány irodalom a nitrogén hatását erősebbnek értékeli:

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3,3\text{Mo} + 30\text{N} \quad (2)$$

Abban az esetben, ha volfrámmal is ötvözték az acélt, annak mennyiségét is figyelembe veszik:

$$\text{PREW} = \text{Cr} + 3,3(\text{Mo} + 0,5\text{W}) + 16\text{N} \quad (3)$$

A duplex és szuperduplex acélokat a helyi korrózióval szemben dolgozták ki, és ha a $\text{PREN} \geq 25$ az acél ellenálló a helyi korrózióval szemben.

7.3.1 Duplex és szuper duplex acélok

A duplex acélokból az 50–50% ferrit + ausztenit mennyiségre törekednek, a 60–40%-ot még elfogadhatónak tartják [9]. Az acélok a helye a Schaeffler-diagramon a 6. ábrán látható. A jellemző kémiai összetétel-tartományok a 7.2. táblázatban láthatók.

7.2. táblázat.

C _{max} , %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	W, %	Cu, %	N, %
0,03	22–25	4–7	0–4	0–2	0–1,5	0,1–0,35

Duplex acélokra jellemző $\text{PREN} = 25–39$, míg szuper duplex acélokról akkor beszélnek, ha a $\text{PREN} \geq 40$.

Néhány jellegzetes duplex és szuperduplex acélt a 7.3. táblázatban gyűjtöttünk össze.

A duplex és szuper duplex acélokat nem nehéz hegeszteni:

- ◆ Előmelegítés nem szükséges.
- ◆ Utólagos hőkezelés nem szükséges.
- ◆ Hőbevitel: $q/v = 1,5–2 \text{ KJ/mm}$.
- ◆ Sorközi hőmérséklet: 150°C .

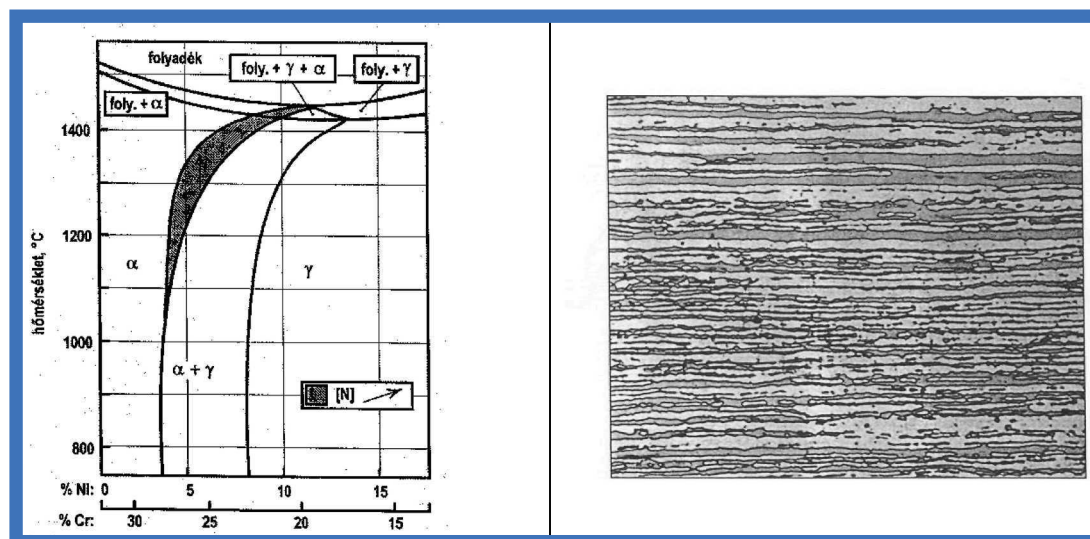


7.3. táblázat.

Típusjel	Csoport jellemzők	N, %	C, %	Ni, %	PREN	Jellegzetes típusok
1.	23% Cr, Mo mentes	0,10	0,02 – 0,03	~ 4	~ 25	X2CrNiN 23-4 1.4362
2.	22% Cr, 2–3% Mo	0,15		nő	30–37	X2CrNiMoN 22-5-3 1.4462
3.	25% Cr, 2,5–3% Mo (esetleg Cu)	0,15–0,35			38–39	X2CrNiMoN 25-5-3 1.4501
4.	25% Cr, 3–4% Mo (esetleg W és/vagy Cu)	0,20–0,30		~ 7	40–43	X2CrNiMoN 25-7-4 1.4410

A duplex acélokra jellemző állapotábra. rész és a jellegzetes szövetszerkezet a 7.18. ábrán látható.

7.18. ábra. A duplex acélokra vonatkozó állapotábra. részlet és jellegzetes szövetszerkezet



A duplex és szuper duplex acélok jól alkalmazhatók az alábbi területeken:

- ◆ Építőmérnöki alkalmazások:
Hidak, ütközés gátlók, tartók, lámpaoszlopok, függő árbocok, árvízi-kapuk, rudak.
- ◆ Nyomástartó edények gyártása:
Nyomástartó edények, hőcserélők, háztartási bojlerok.
- ◆ Nehézipar alkalmazások:
Csőrendszerek, kénsavgyártás, kilúgozó berendezések, gáztisztítás, petrokémia.
- ◆ Közlekedés:
Autóbusz-váz, autókarosszéria, mobil edények,
- ◆ Teherszállító hajótestek.
- ◆ Tároló edények:
Maró folyadékok, kőolaj származékok, bor, víz stb.

A duplex acélok teherbírása nagyobb, mint a ferrites vagy ausztenites acéloké így gazdaságosabban alkalmazhatók. Alkalmazásuk folyamatosan nő a gyakorlatban.

7.3.2 Szuper ausztenites acélok

A szuper ausztenites acélok akár 40% nikkelt is tartalmaznak, ezek az acélok igen stabil ausztenites acélok. Ezeket az acélokat nevezik „6MOLY” („sixmolly”) acéloknak. A szuper ausztenites acélokra: PREN = 30–36. Összetételükre a következő ötvöző tartományok jellemzőek:

C = 0,02–0,035%	Cr = 20–26%	Ni = 18–40%	Mo = 4–7%
Cu = 0,5–0,6%	N = 0,1–0,3%		

INCONEL 625-el hegesztik (ENiCrMo-3).

7.3.3 Szuper ferrites acélok

A szuper ferrites acélokra akár 29% Cr ötvözés is jellemző. Összetételükre a következő tartományok a jellemzők:

C = 0,005–0,025%	Cr = 18–29%	Ni = 1–4%	Mo = 1–4%
------------------	-------------	-----------	-----------

Ti és Nb stabilizálást alkalmaznak.

INCONEL 625-el hegesztik (ENiCrMo-3).



7.3.4 Kiválósan keményíthető korrózióálló acélok

Ezek az acélokra a martenzites, fél - ausztenites és ausztenites szövetszerkezet jellemző, a nagy szilárdságot a kiválásoknak köszönhetik (nitrid- és karbid vegyület fázisok válnak ki), ($R_m = 1200-1700$ MPa).

- ◆ 15-5PH, 17-4PH martenzites; 17-7PH félausztenites
- ◆ Cr-Ni ausztenites: 15-25-1 (Cr-Ni-Mo)

Hegesztésük: Előmelegítés nélkül, illeszkedő hegesztőanyaggal, utólagos hőkezelés szükséges az alapanyag szerint.

7.4 ÁTMENETI (TRANZIENS) ÉS AUSZTENITES VARRATOK VIZSGÁLATA.

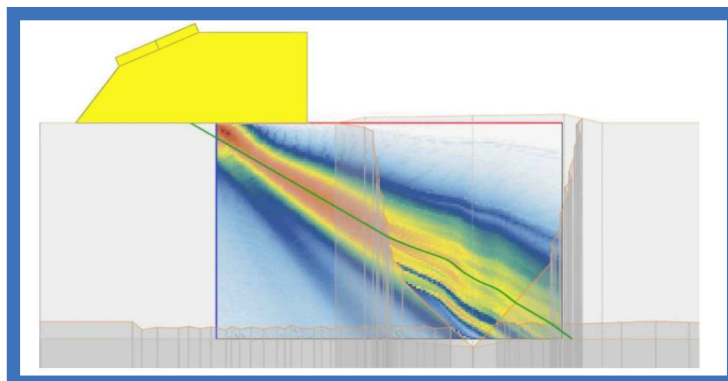
Néhány ausztenites anyagot nagyon nehéz transzverzális impulzus-echo-technikával (P-E) vizsgálni, mert ezek erősen csillapító hatásúak. Nagyobb feszültséget, valamint nagyobb erősítést kell alkalmazni a jó behatolás eléréséhez az anyagban. Ennek következtében a határfelületi és előtérnél visszhangok megnövekednek, ami veszélyezteti a jel-zaj arányt (SNR).

7.19. ábra. Átmeneti varratok

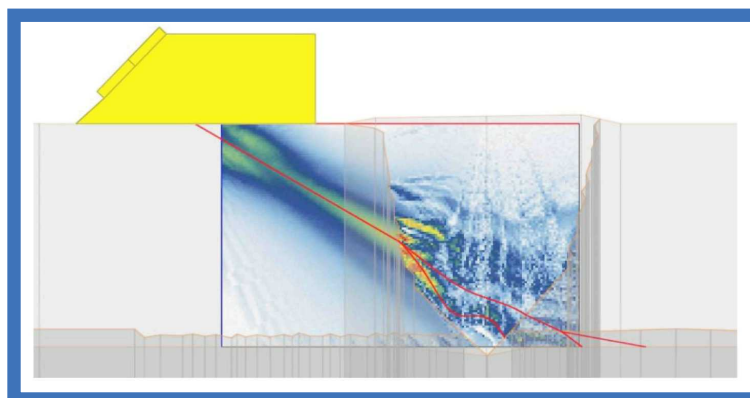


Az ausztenites, ausztено-ferrites, homogén vagy inhomogén hegesztési varratok ultrahangos vizsgálata mindig is nagy kihívást jelentett az ultrahangsugár szóródása és csillapódása miatt ezekben az anyagokban, valamint bizonyos esetekben az összetett geometria miatt az alkatrészekből adódóan.

7.20. ábra. Longitudinális hullám terjedése (P/E mód)

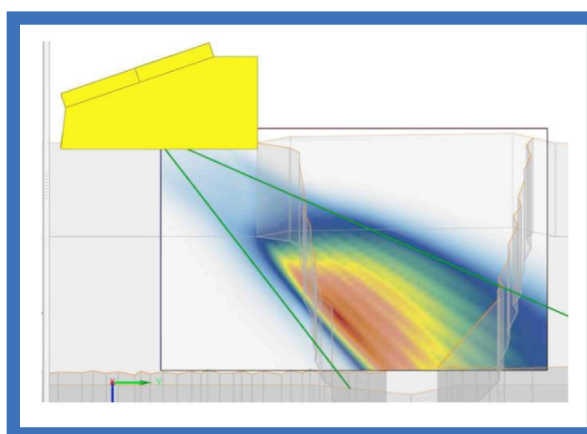


7.21. ábra. Transzverzális hullám terjedése (P/E mód)

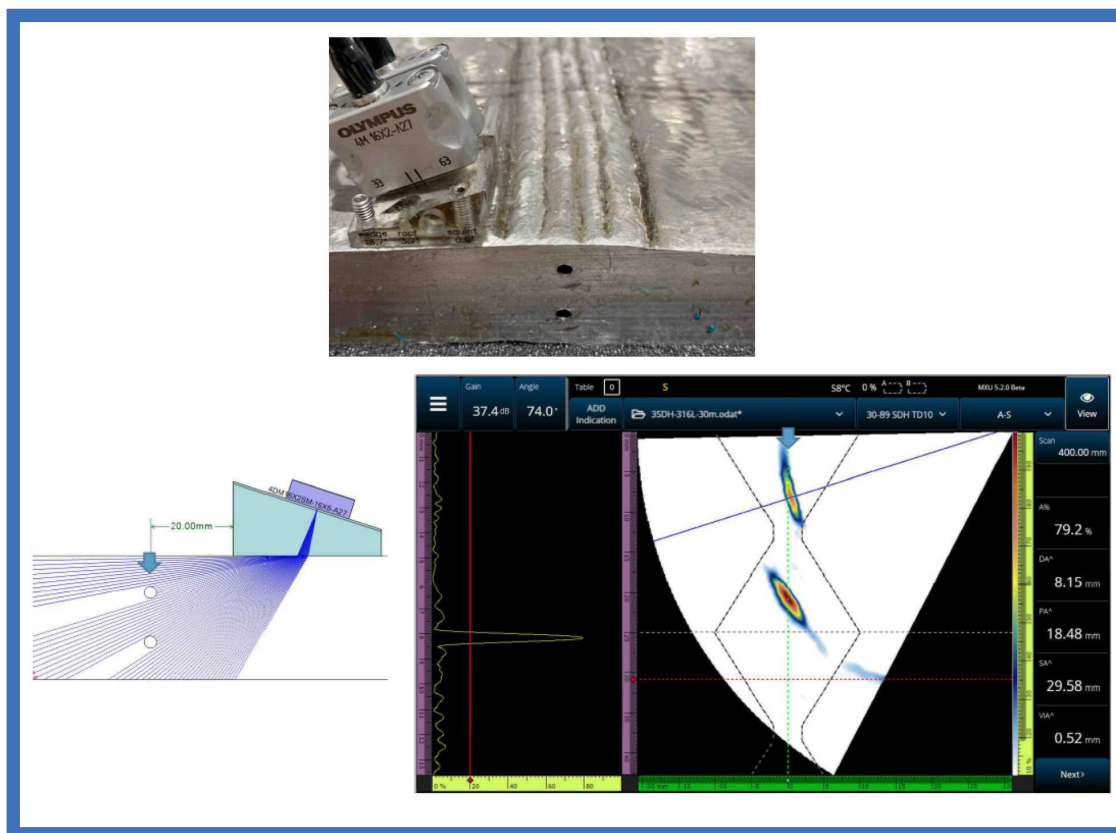


Ezeknél az anyagoknál a TRL-technológia (adó-vevő vizsgálófejek diffrakciós-jel detektáló) alkalmazása a megoldás.

7.22. ábra. Longitudinális hullám terjedése TRL-vizsgálófej alkalmazásával

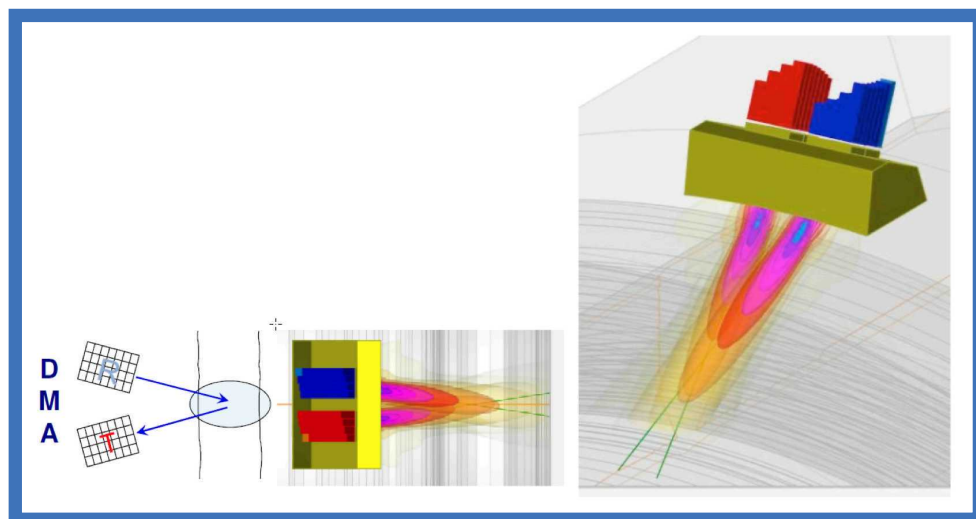


7.23. ábra. 2D mátrix (TRL-technológia) alkalmazása 316L anyagon (30mm, V-varrat)



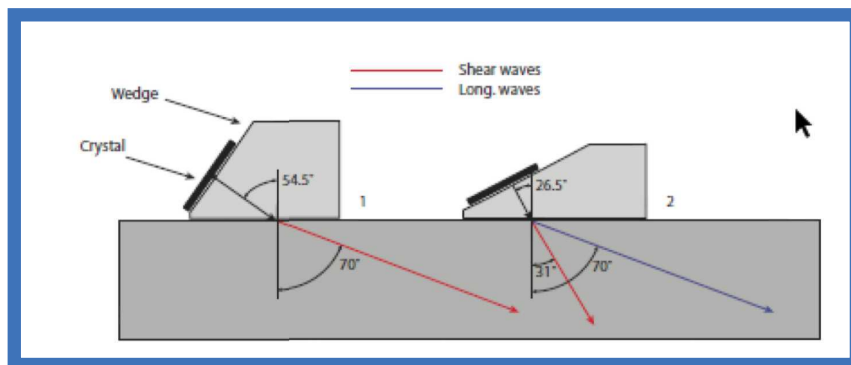
TRL-szondák az ultrahangos vizsgálat standard technikája a nukleáris erőművek ellenőrzésénél. 1973-ban a KWU-Siemens szerződést kötött az RTD-vel a németországi Biblisben található 1200 MW-os PWR atomerőmű üzem előtti és üzem közbeni ellenőrzésére (PSI) szolgáló ultrahangos koncepció kidolgozására. Ez magában foglalta a technikák fejlesztését, a szondák, a KWU-Siemens manipulátorokkal összekapcsolható szondatartók, a többcsatornás ultrahangos berendezések tervezését és gyártását, valamint mind az üzembe helyezés előtti, mind az azt követő üzem közbeni ellenőrzések elvégzését. A szerződés keretén belül az RTD kifejlesztette a TRL ultrahangos vizsgálófejeket és az egyik legmegbízhatóbb vizsgálati technológia lett napjainkban ezen a területen. A vizsgálatokhoz használnak hagyományos és fázisvezérelt TRL-vizsgálófejeket is.

7.24. ábra. 2D mátrix PA-vizsgálófej TRL szimulációs képe CIVA szoftverrel



Bár nincs nyilvánvaló tudományos ok arra, hogy ne használjunk egyetlen szondát (hagyományos vagy fázisvezérelt változatot), a TRL (kettős) szondáknak a külön adóval és vevővel legalább egy fontos előnyük van: ha megfelelően tervezik őket, általában jobb jel-zaj arányt biztosítanak, mint az egyetlen szonda, különösen rövid távolságokon. Ez részben az ékből származó „zaj” (akusztikus csengés, visszhang) hiányának köszönhető. Mivel a megtörtött longitudinális hullámok szondáinak előtét ékszögei lényegesen kisebbek, mint a transzverzális-szondáké a kristály sokkal „párhuzamosabban” van tájolva a pásztázó felülettel, lásd az alábbi 7.24. ábrán, az előtétékből származó zajokat nehéz elnyomni, legalábbis nehezebb, mint a transzverzális-szondák esetében. A kezdeti időkben, az előtétből eredő zaj elnyomását különböző előtét alkalmazásával próbálták elérni. Formákkal, sőt, labirintusszerkezetekkel is próbálkoztak a belső zajok megszüntetésére. Ez néha bizonyos mértékig segített, de a legjobb eredményeket azáltal érték el, hogy TRL szondákat használták. Ez még ma is így van.

7.25. ábra. Transzverzális és longitudinális előtét ékszögei



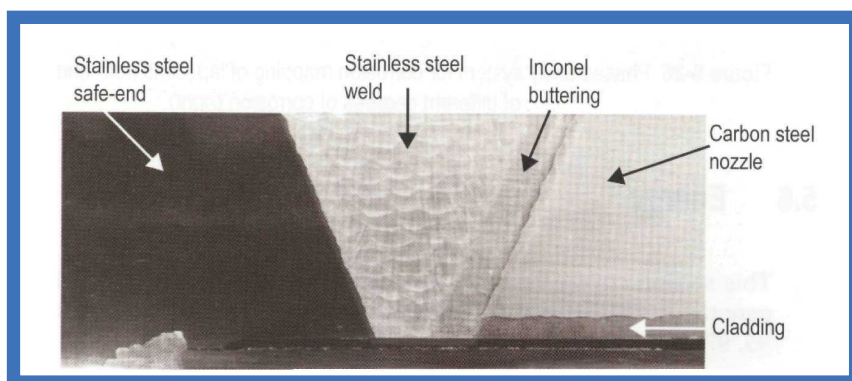
a) Problémák roncsolásmentes vizsgálati szempontból

- ◆ A különböző hőtágulású anyagok összehegesztése során repedés keletkezhet;
- ◆ Nagy ultrahangos csillapodás és változó hangsebesség;
- ◆ Hangnyaláb-elhajlás;
- ◆ Zajos kristályszerkezet;
- ◆ Korlátozott hozzáférési lehetőség a geometriából és elrendezésből adódóan;
- ◆ Minősített és a felügyeleti szervek által elfogadott eljárás;

b) Ultrahangos vizsgálati megoldás:

- ◆ 2MHz TRL (adó-vevő, L-hullámú) vizsgálófej;
- ◆ Optimális plexi döntési szög;
- ◆ Oldalirányú döntési szög alkalmazása a jel/zaj viszony csökkentése érdekében;
- ◆ UH sávzélesség növelése (>100%);
- ◆ Alacsony frekvencia használata (0.8 MHz és 2 MHz között);
- ◆ vizsgálófej minősítése a megfelelő próbatesten (5.27.–5.31. ábrák);

7.26. ábra. Tranziens varrat makrostruktúrája.



7.27. ábra. Szikraforgácsolt bemetszések a próbatestben (fent) és szkennelési módok (lent)

