

Hegeszthetőség és hegesztett kötések vizsgálata

Gépalkatrészek vagy szerkezetek összekötése:

- oldható kötéssel (külső erő: huzal, ék, csavar vagy szegecs közvetítésével),
- oldhatatlan kötéssel.

A hegesztés

- oldhatatlan kötés,
- több száz éve ismeretes,
- igazi fejlődése azonban csak a múlt század végén kezdődött.
- a fémes alkatrészek összekötésére **belső erőket**, a fémek atomjait és molekuláit összetartó erőket használnak fel. Ezt a kötésmódot *kohéziós kötésnek* is nevezik.

A hegesztés helyén

- az alkatrészek anyagát vékony rétegen megolvasztják és így kötik össze őket, vagy pedig
- az alapanyaghoz hasonló kémiai összetételű töltőanyag megolvasztásával kapcsolják össze az alapanyagokat.

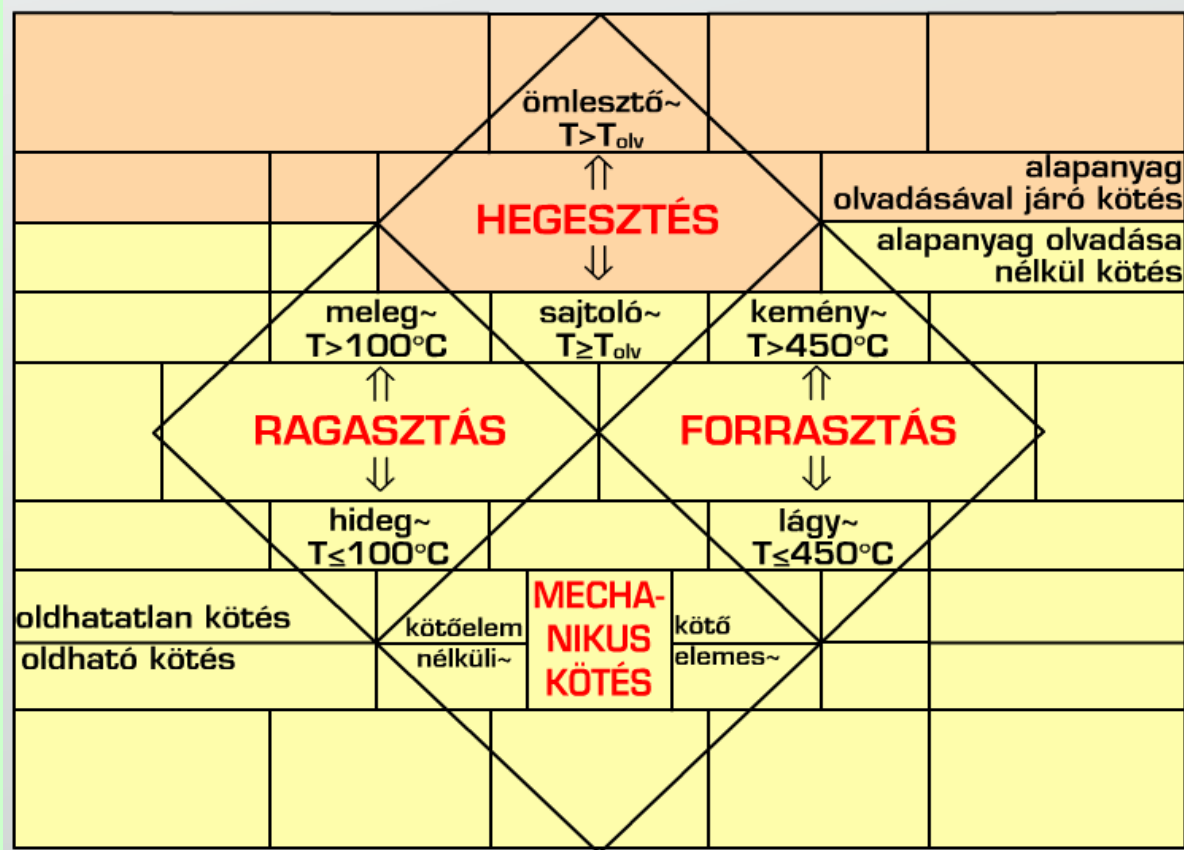
Forrasztás:

az összekötésre kerülő felületek közötti hézagot az alapanyaggal közel sem egyező, **lényegesen kisebb olvadáspontú** fémmel töltjük ki.

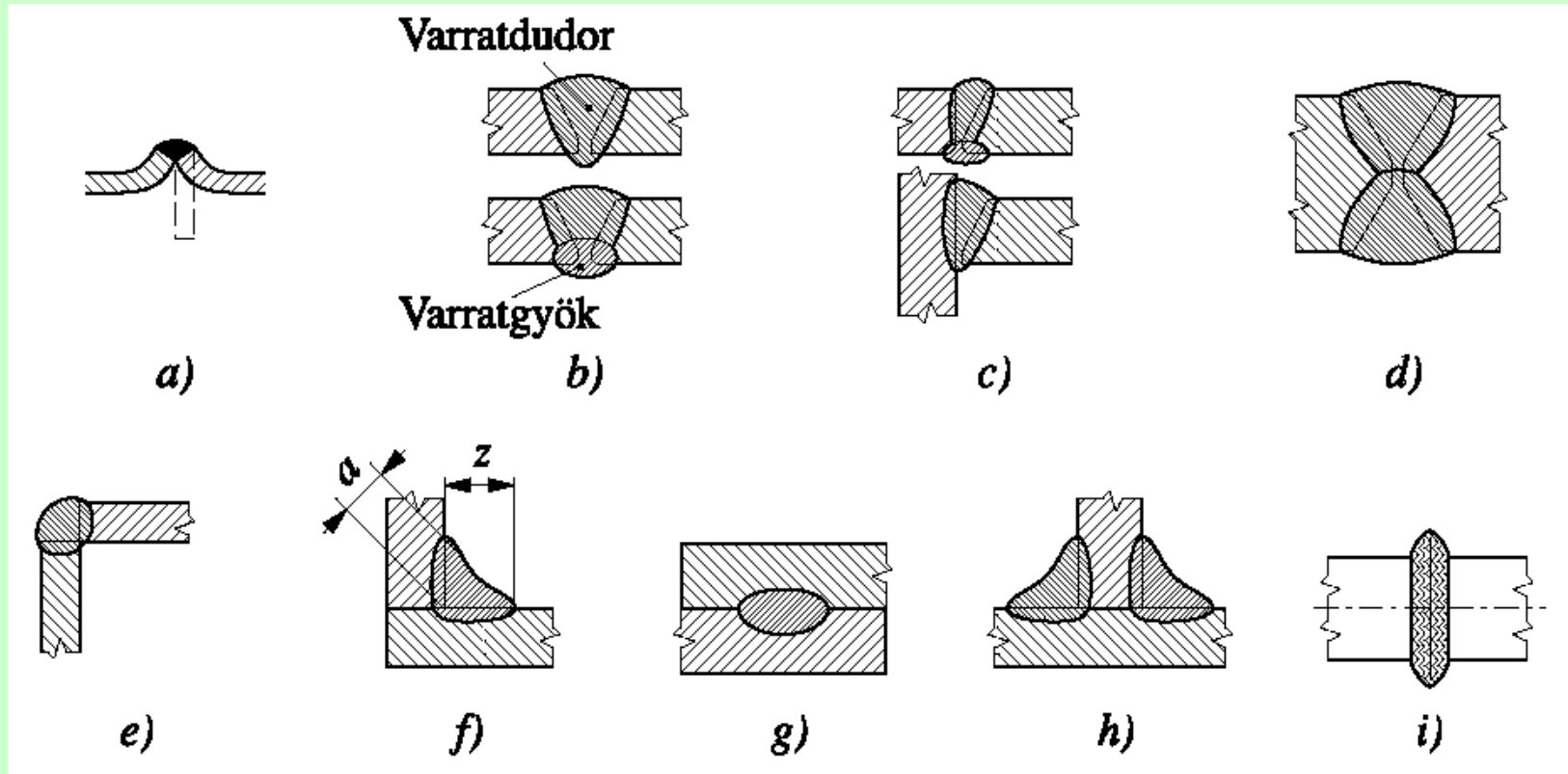
Kötési módok áttekintése (1)

KÖTÉS- TECHNIKA	külső erővel megvalósuló kötés	belső erővel megvalósuló kötés
szereelő kötés	MECHANIKUS KÖTÉS (vagy deformációs kötés)	FORRASZTÁS (vagy diffúziós révén)
egyesítő kötés	RAGASZTÁS (vagy adhéziós kötés)	HEGESZTÉS (vagy kohéziós kötés)

Kötési módok áttekintése (2)



Hegesztett kötések

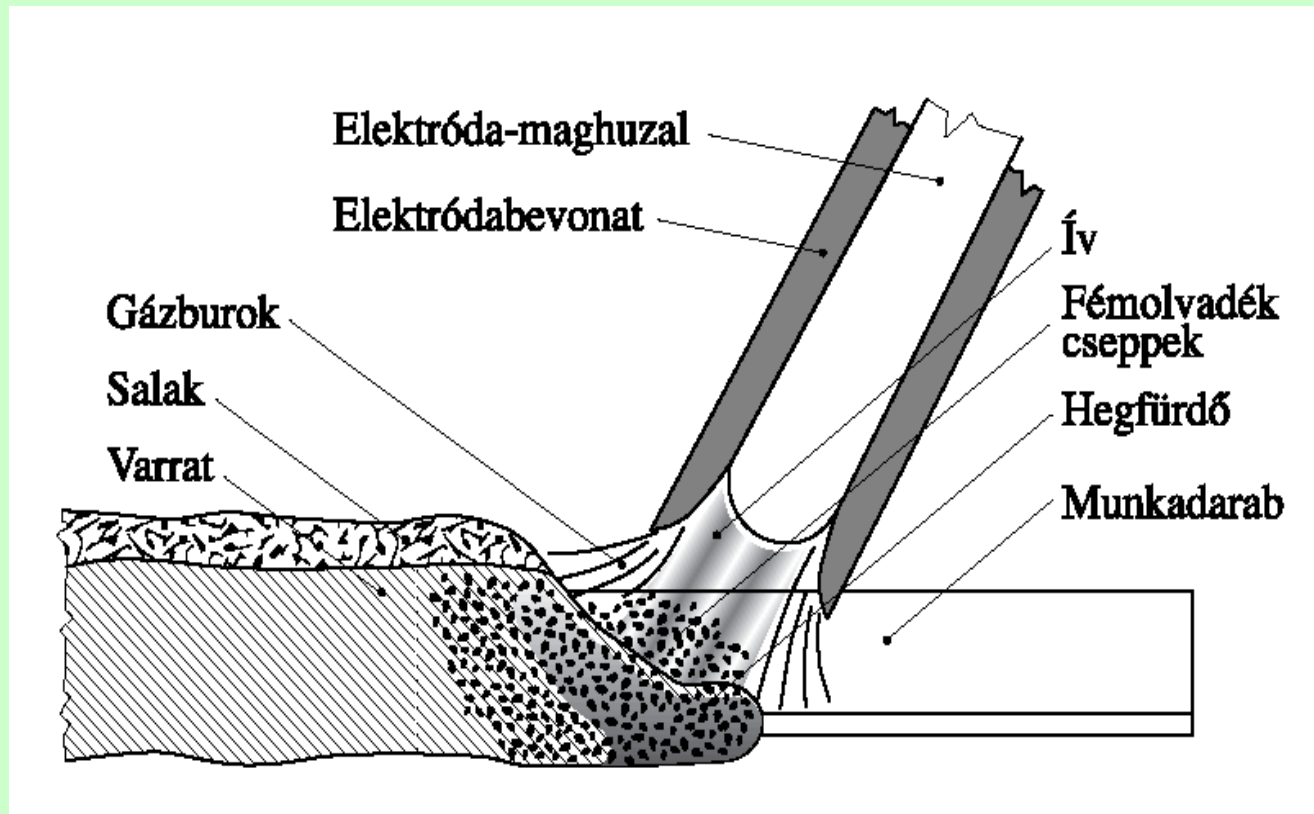


A hegesztett kötés leggyakrabban hozaganyag adagolásával jön létre a két fém alkatrész között

Tehát: Mi a hegesztés?

- Két fém között hő hatással vagy erőhatással vagy mindkettővel létrehozott **kohéziós kapcsolattal** megvalósuló kötéstechológiai eljárás
- Rokon kötési műveletek:
 - Forrasztás
 - Ragasztás
 - Mechanikai kötések
- Alkalmazás:
 - Nagy méretű, több részből álló ipari szerkezetek gyártása
 - Egyéb berendezések, eszközök kiegészítő kötése



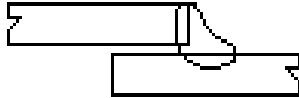
Példa: bevont elektródás ívhegesztés



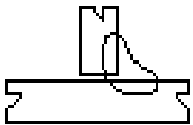
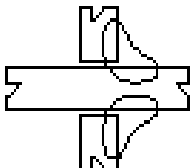
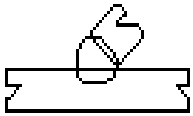
Alapfogalmak:

munkadarab, hozaganyag, hegfürdő, varrat védelem





Hegesztett kötések fajtái (1)

Kötéstípus	Az elemek egymáshoz viszonyított helyzete	
Tompakötés	Az elemek ugyanabban a síkban helyezkednek el és tompán kapcsolódnak egymáshoz.	
Párhuzamos kötés	Az elemek egymással párhuzamos síkban fekszenek, egymást teljes felületen átlapolják (pl. robbantásos borítás).	
Átlapolt kötés	Az elemek egymással párhuzamos síkban fekszenek, egymást részlegesen átlapolják.	

Hegesztett kötések fajtái (2)

T kötés	Az elemek egymással merőlegesen kapcsolódnak.	
Kettős T kötés	Az azonos síkban fekvő két elem merőlegesen csatlakozik egy közöttük lévő harmadik elemhez.	
Hegyeszögű kötés	A két elem egymással ferde szögben kapcsolódik.	

Hegesztett kötések fajtái (3)

Sarokkötés	A két elem élfelületeinél kapcsolódik egymáshoz $>30^\circ$ -os szögben.	
Peremkötés	A két elem élfelületeinél kapcsolódik egymáshoz $0...30^\circ$ közötti szögben.	
Többelemes kötés	Három vagy több elem tetszőleges szög alatt kapcsolódik egymáshoz.	
Keresztkötés	A két elem keresztalakban kapcsolódik egymáshoz.	

A hegeszthetőség fogalma

- **A fémek hegeszthetősége a hegesztési technológiától függő alkalmasság megfelelő hegesztett kötés létrehozására**
- **A hegeszthetőség komplex tulajdonság, amely függ:**
 - **A hegesztendő anyagtól**
 - **A hegesztendő szerkezettől**
 - **Az alkalmazott hegesztési technológiától**
 - **A várható igénybevételtől**

Szerkezeti acélok hegesztése

Ötvözetlen acélok (1)

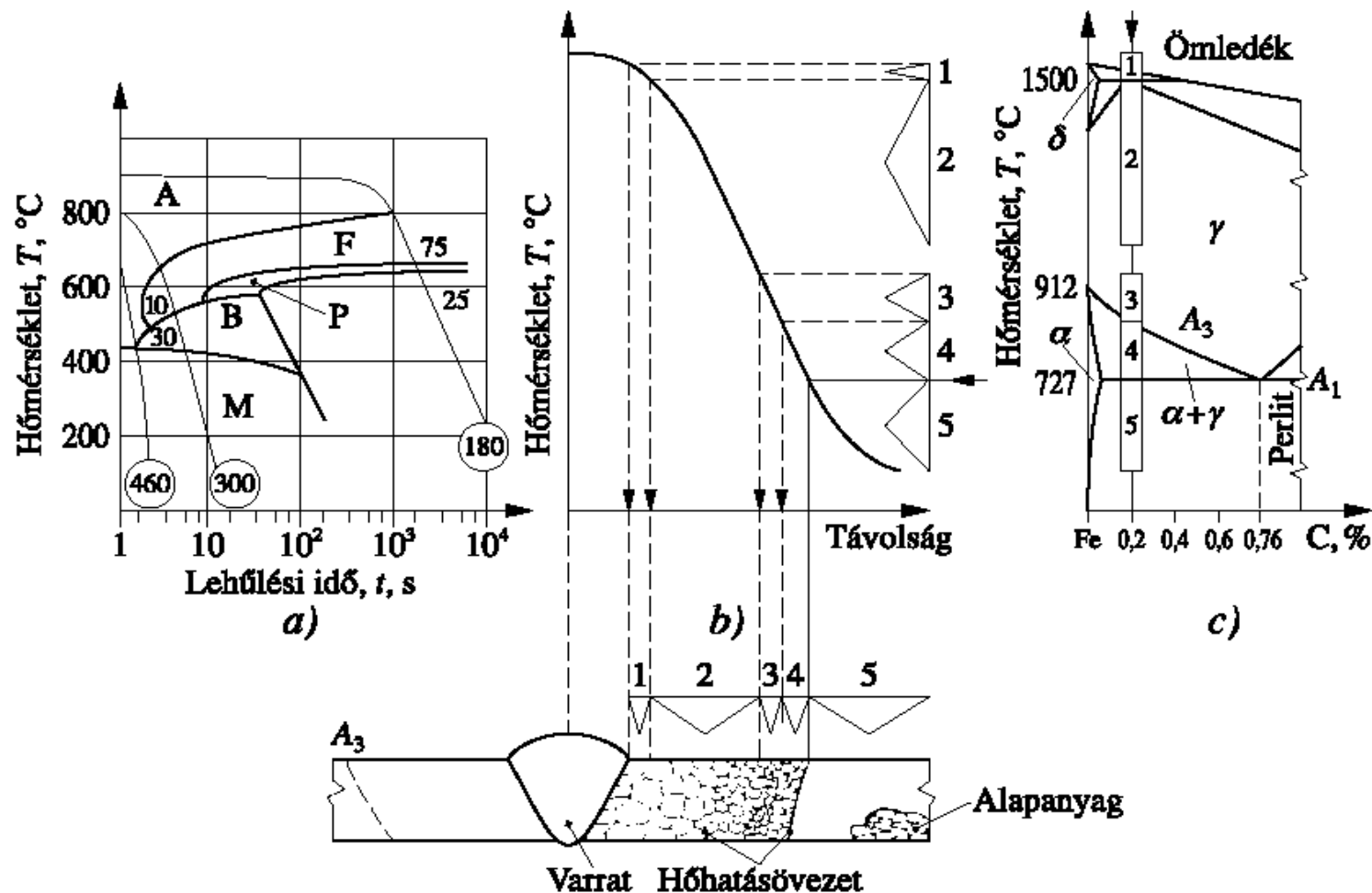
A hegeszthetőség megítéléséhez bevezethető a „karbon egyenérték” fogalma:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \%$$

Kis karbontartalmú ($CE\% < 0,2\%$), minimális ötvöző tartalmú ferrit-perlites szerkezetű acélok általában **feltétel nélkül hegeszthetők.**

Szerkezeti acélok hegesztése

Átalakulási folyamatok



Szerkezeti acélok hegesztése

Finomszemcsés acélok

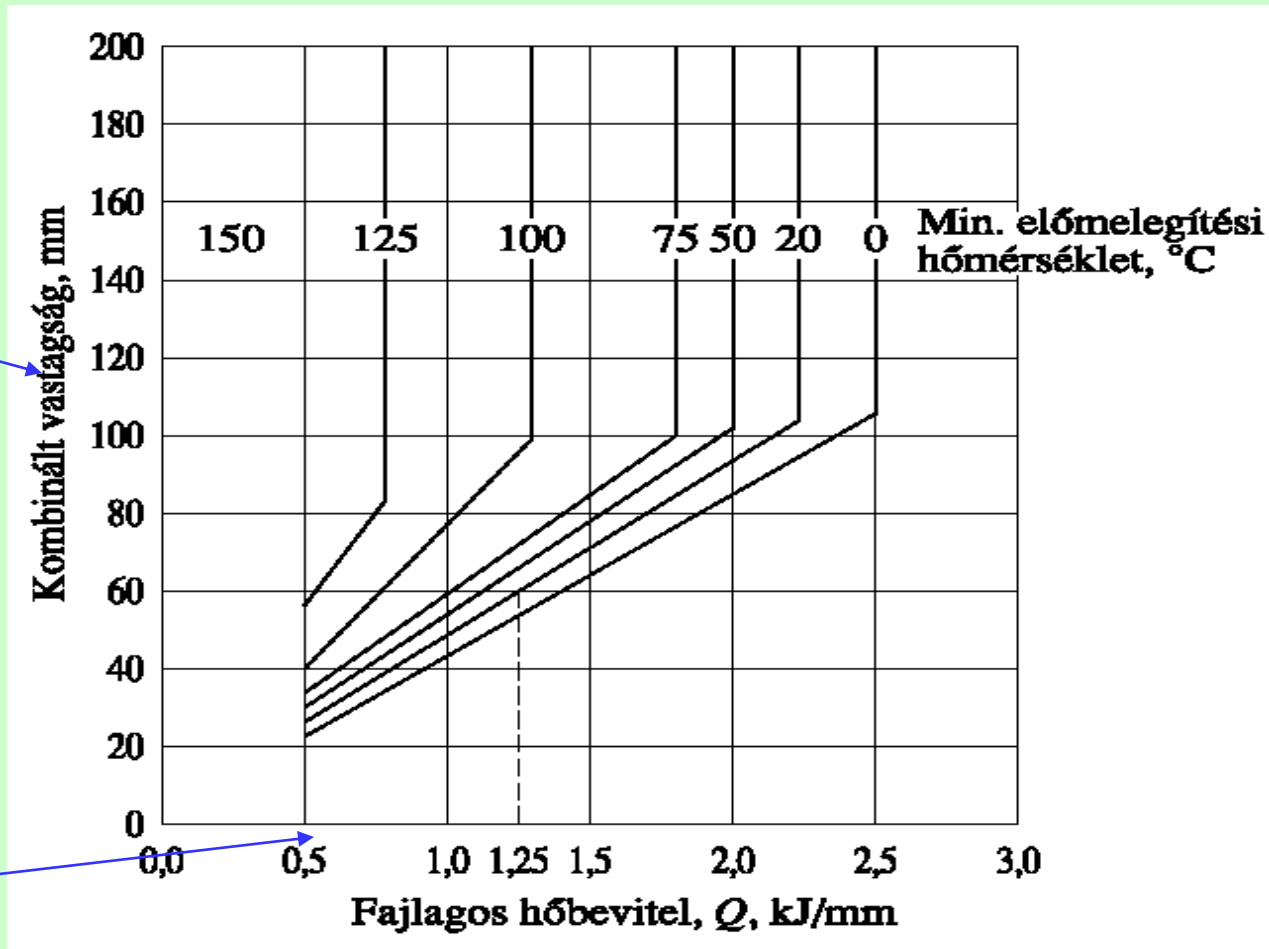
- A hegeszthetőség érdekében **az acél karbon-tartalma $C\% < 0,2\%$ és az ötvöző tartalom minimális**
- A nagy szilárdságot finomszemcsés szerkezettel érik el: **mikroötvözés** (Al, V, Nb, Ti, Zr, B) + speciális hengerlési technológia
- A CE-hez rendelt **előmelegítési hőmérséklet:**
 - $C\% < 0,45\%$ $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $C\% < 0,6\%$ $100 \dots 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

Szerkezeti acélok hegesztése

Egyéb befolyásoló tényezők

Az előmelegítési
hőmérséklet
meghatározása:

- Falvastagság
- Hegesztési technológia
- Egyenértékű karbontartalom
pl: $CE=0,5\%$



Hegesztett szerkezetek gyártási folyamata

- **Tervezés, méretezés**
- **Lemezek darabolása**
- **Leélezés (a hegesztendő felületek megmunkálása)**
- **Hegesztés**
- **Utókezelések**
- **Vizsgálat, minőségellenőrzés**

Hegeszthetőségi vizsgálatok

Technológiai vizsgálatok

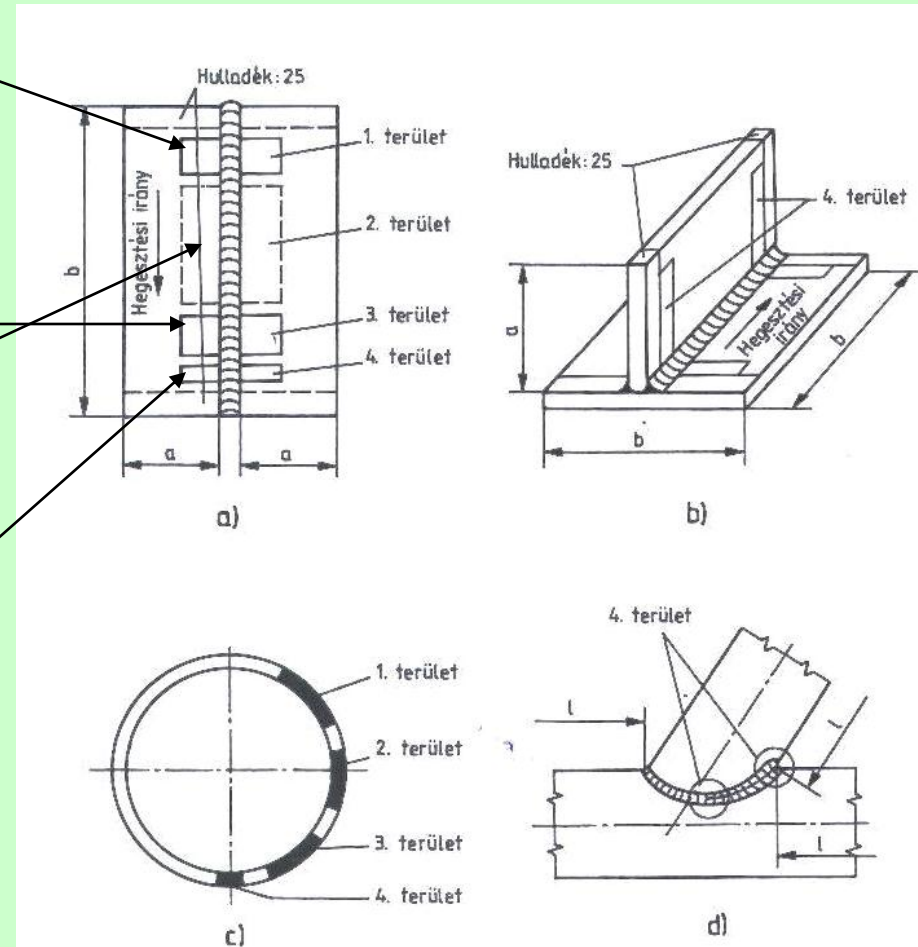
- Célja annak eldöntése, hogy az adott anyagok, technológia és a szerkezet esetén lehetséges-e megfelelő szilárdságú kötés létesítése
- A hegesztéssel készített termék gyártásához előírt hegesztéstechnológiát az MSZ EN 288-3 szerint kell jóváhagyni
- A technológiai vizsgálathoz előzetes hegesztési utasítást (pWPS) kell adni MSZ EN 288-2 szerint
- általános üzemszerű hegesztési feltételek mellett próbadarabot kell gyártani

Hegeszthetőségi vizsgálatok

Technológiai vizsgálatok

Próbahegesztés

- 1 db szakítópróbatest
- 1 db gyök- és 1 db koronaoldali vagy 2 db oldalhajlító
- Ütő és kiegészítő próbatestek
- 1 db marko és 1 db mikrovizsgálati próbatest



Hegeszthetőségi vizsgálat

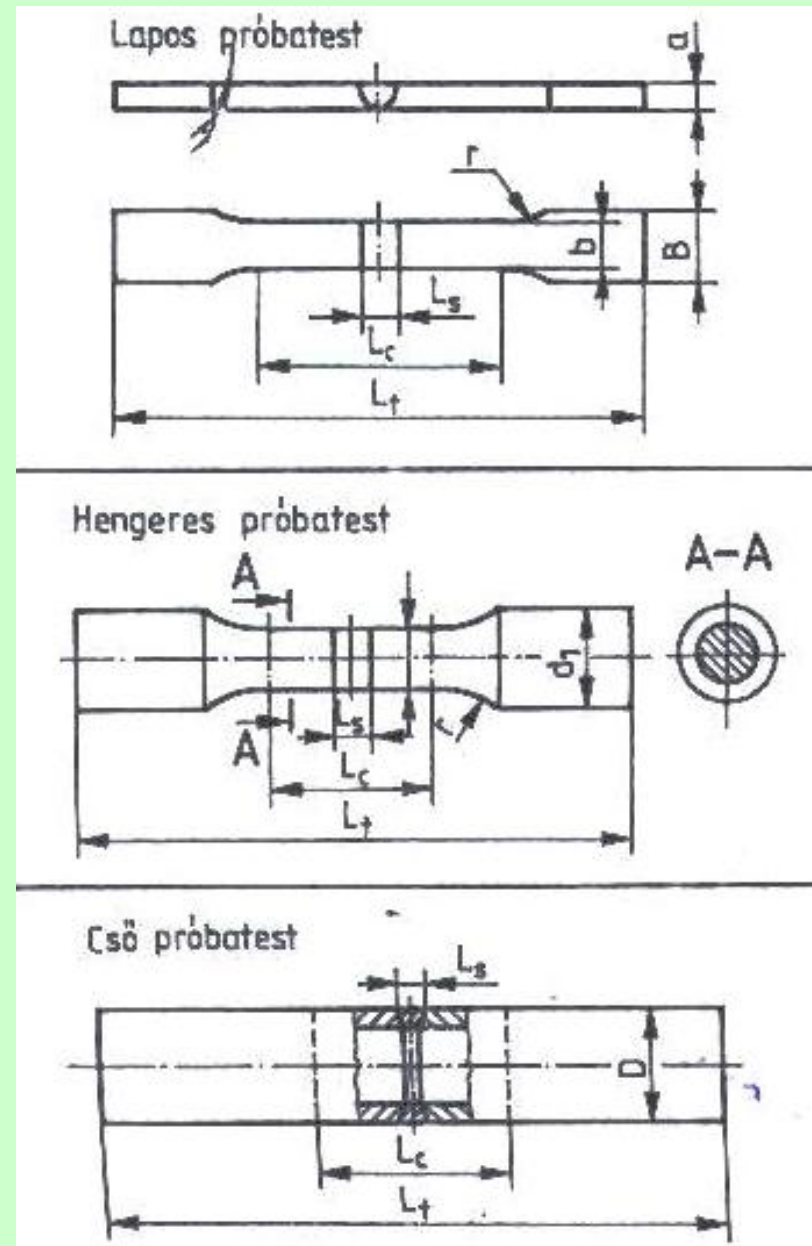


Próbahegesztés



A próbahegesztésen elvégezhető vizsgálatok

- Szakítóvizsgálat -
a
szakítószilárdság
ne legyen kisebb
az alapanyagra
előírtnál



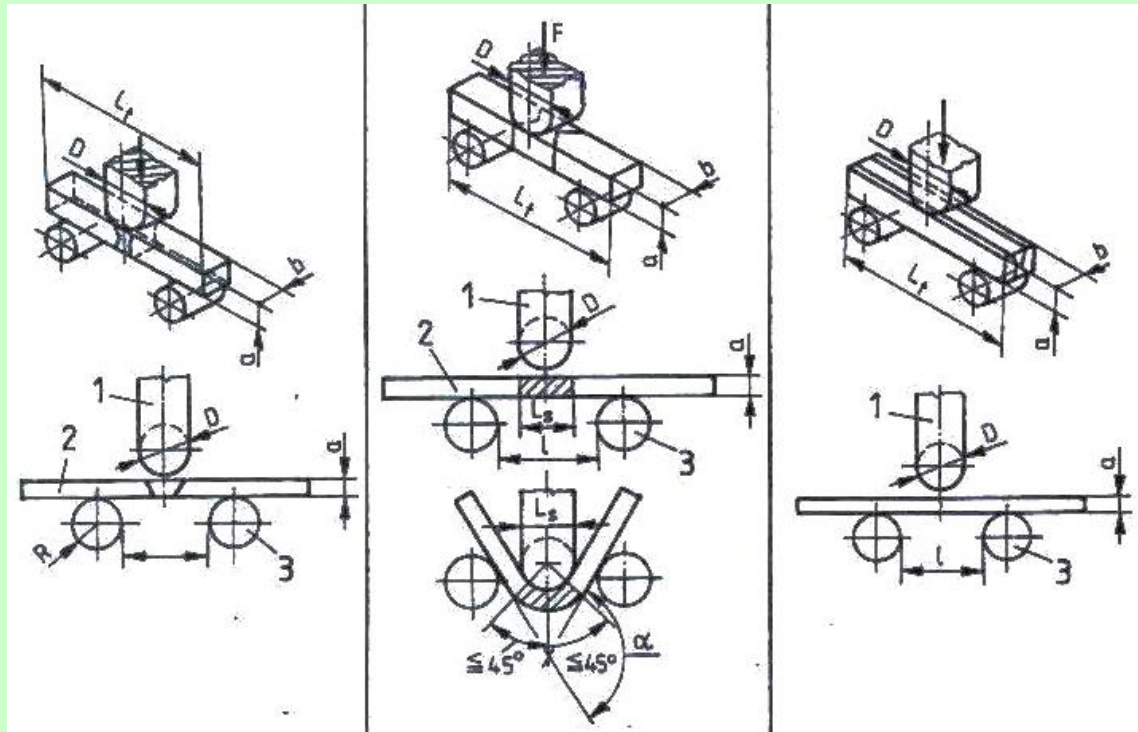
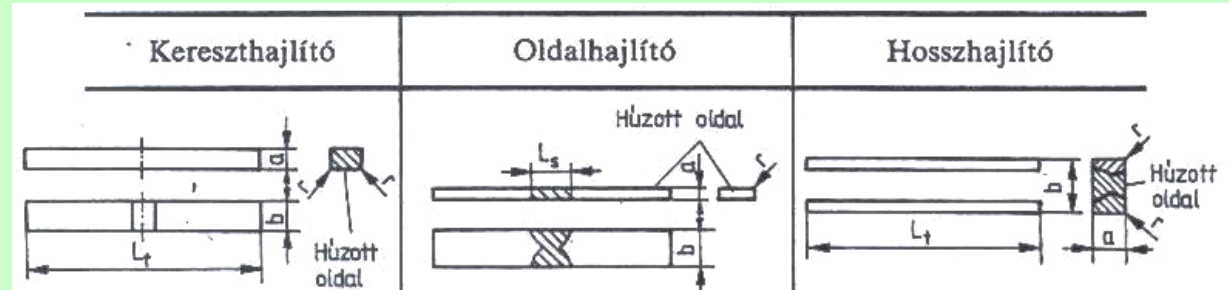
A próbahegesztésen elvégezhető vizsgálatok

- Szakítóvizsgálat -
a
szakítószilárdság
ne legyen kisebb
az alapanyagra
előírtnál



Hajlítóvizsgálat

- Célja a kötés szívósságának ellenőrzése
- A hajlító tüske vagy henger átmérője $4s$, a hajlítási szög 120°
- Tompakötések esetében
 - kereszt
 - oldal
 - hosszirányban

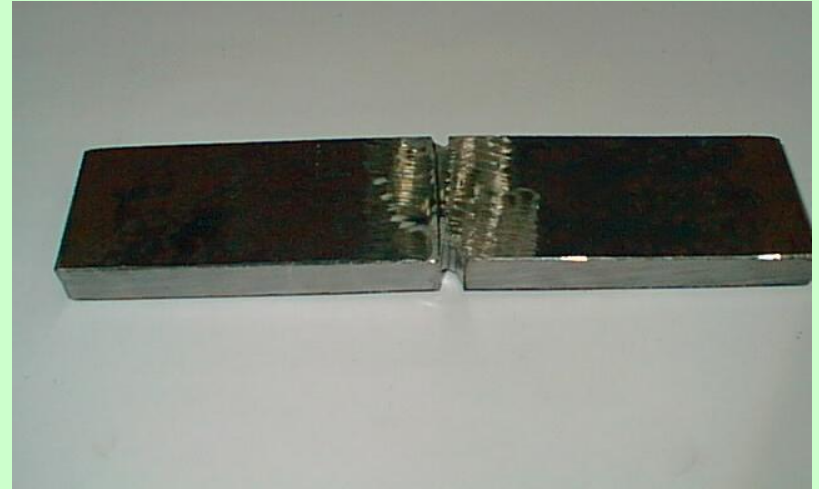


Hajlítóvizsgálat



Törésvizsgálat

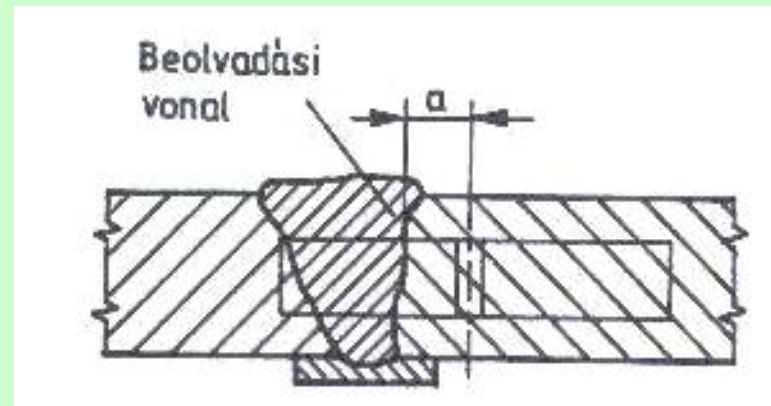
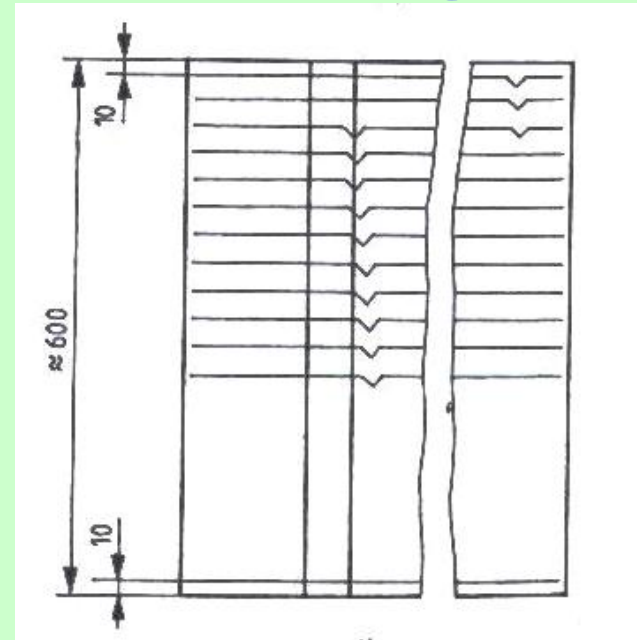
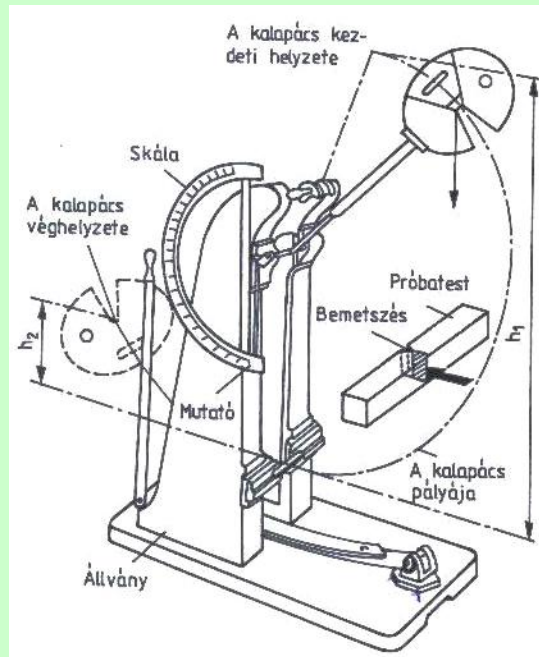
**MSZ EN 1320 szerint,
a kiértékelés MSZ
EN 25 817 szerint**



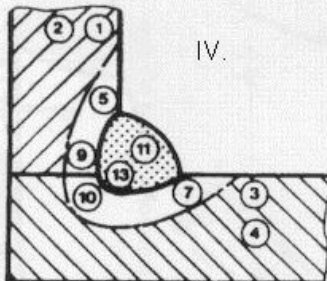
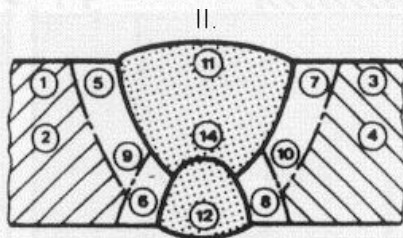
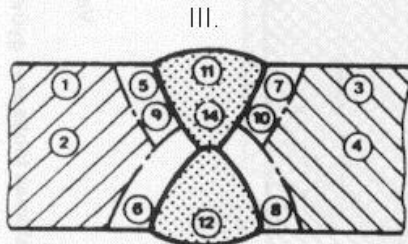
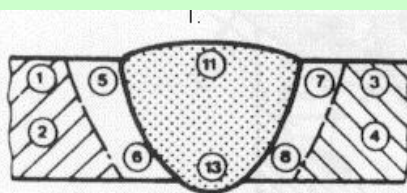
Elridegedési hajlam vizsgálata

Charpy vizsgálata

KV >27 J



Keménységmérés



A megengedhető legnagyobb HV 10 keménységi értékek és érvényességi tartományuk

Acélcsoportok	Egyrétegű tompa- és sarokvarrat		Többrétegű tompa- és sarokvarrat	
	hőkezelés nélkül	hőkezeléssel	hőkezelés nélkül	hőkezeléssel
1, 2	380	320	350	320
3**	450	*	420	*
4, 5	*	320	*	320
6	*	350	*	350
Ni ≤ 4%	*	300	320	300
Ni > 4%	*	*	400	*

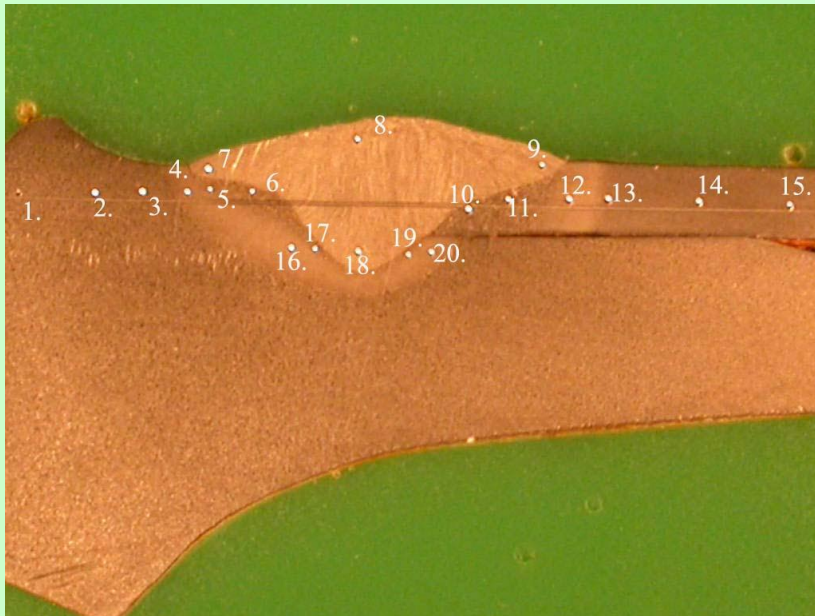
* Külön megegyezés szerint.

** $R_{em} > 885$ MPa folyáshatárú acélok esetén külön megegyezés szükséges.

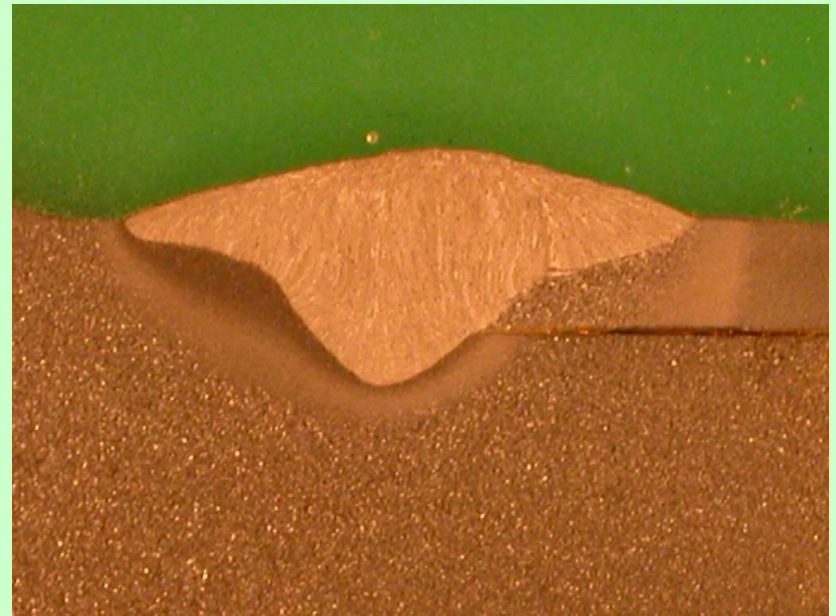
Keménységmérés, varratalak



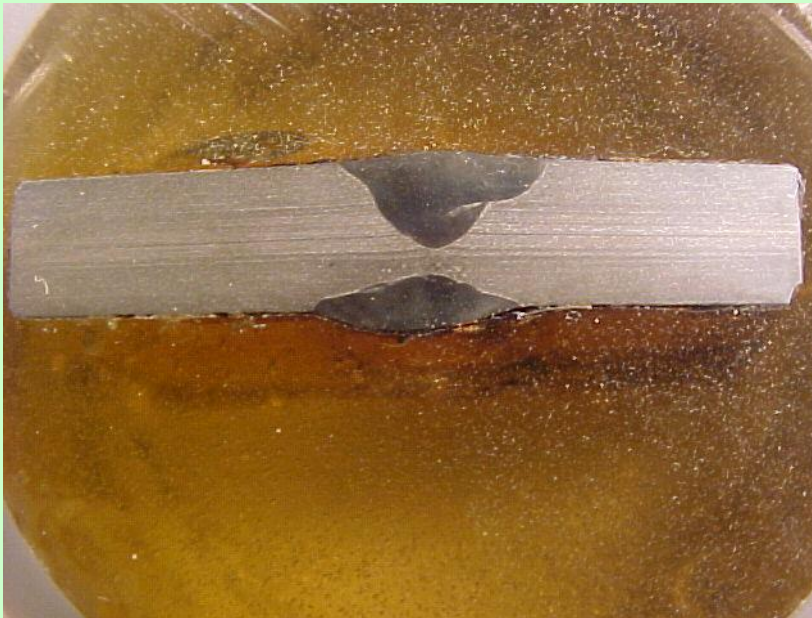
Keménységmérés



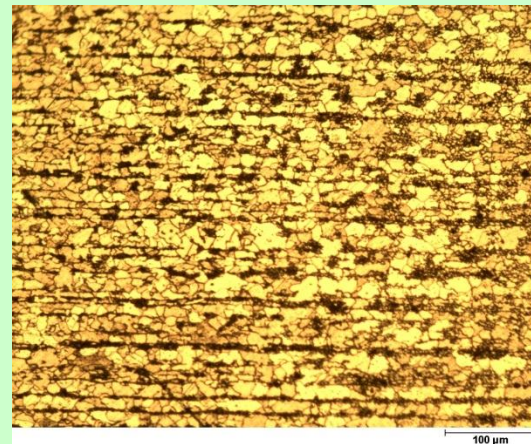
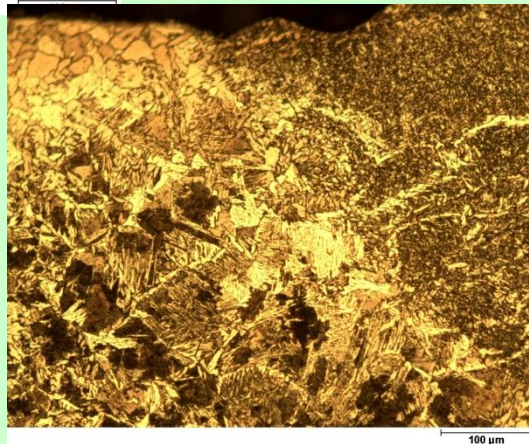
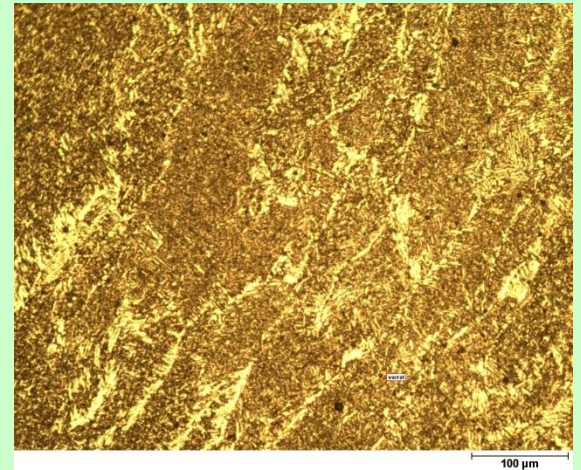
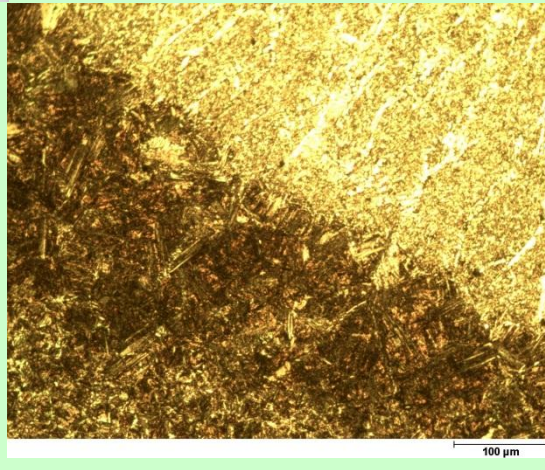
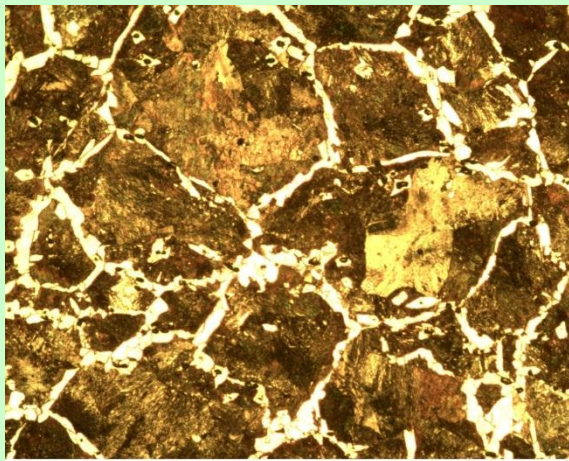
Makroszkópos vizsgálat



Makroszkópos vizsgálat



Mikroszkópos vizsgálat



A hegesztett kötések vizsgálata és minősítése

- **Hegesztési hibák**
 - Repedések, üregek, zárványok, összeolvadási hibák
 - Alak- és méreteltérések
 - Egyéb hibák
- **Vizsgálatok**
 - Roncsolásos
 - Roncsolásmentes

Hegesztett kötések minősítése

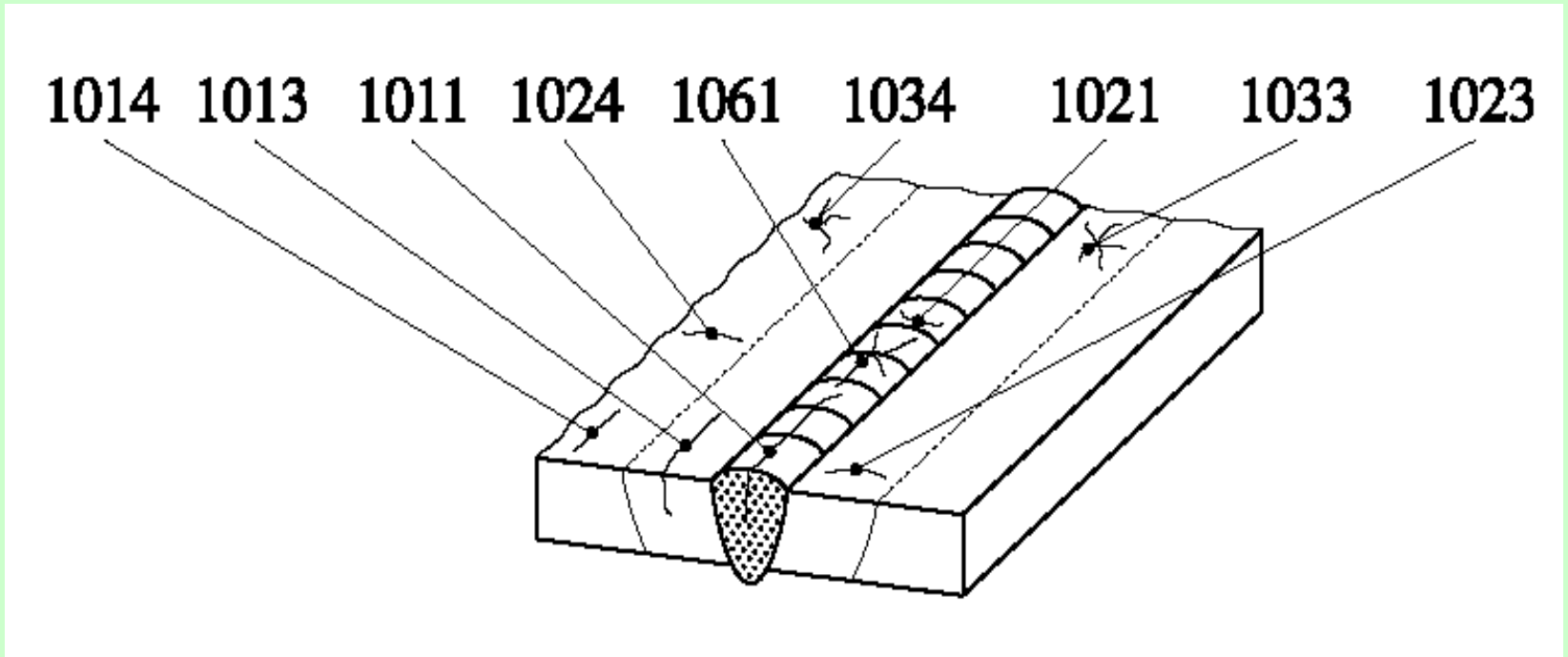
A hegesztett kötések megengedhető hibáit
az

MSZ EN 25 817

MSZ EN 6442 alapján a **tervező határozza meg!**

Hegesztési hibák

Repedések



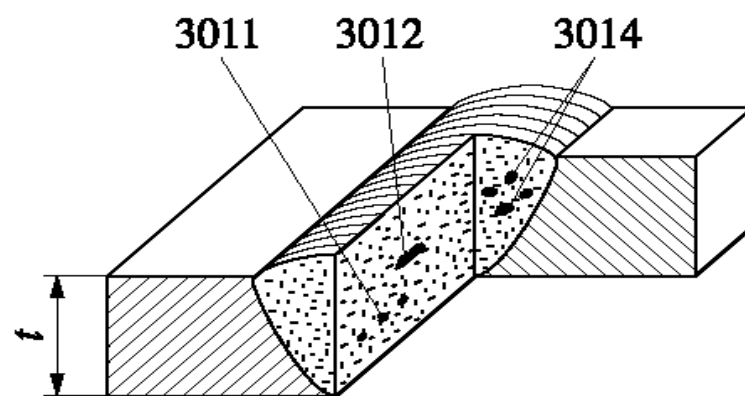
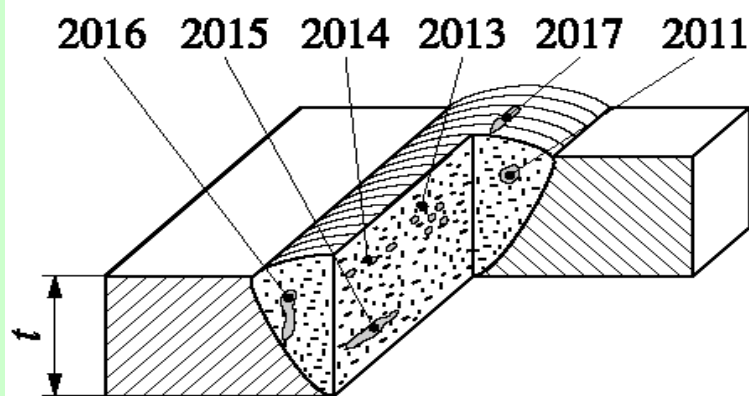
Hosszirányú repedések: 1011, 1013, 1014

Keresztirányú repedések: 1021, 1023, 1024

Csillag alakú repedések: 1033, 1034, 1061

Hegesztési hibák

Üregek és zárványok



Üregek:

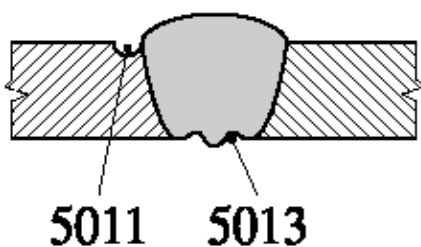
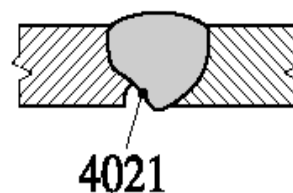
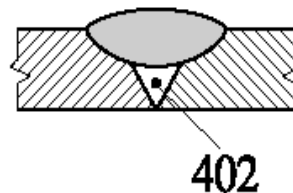
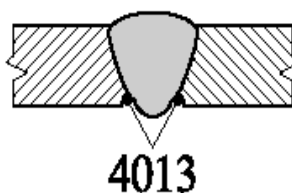
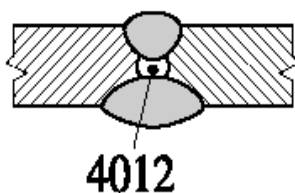
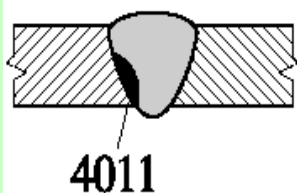
gázpórus (2011),
helyi porozitás (2013),
soros gázporozitás (2014)
megnyúlt gázzárványok
(2015, 2016, 2017)

Salakzárványok:

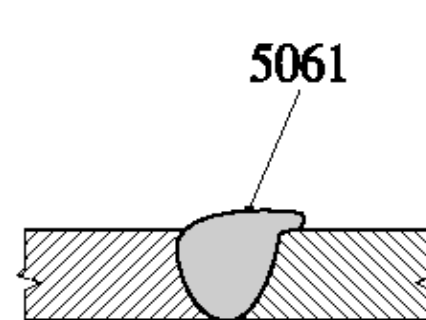
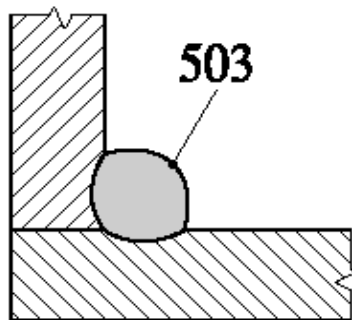
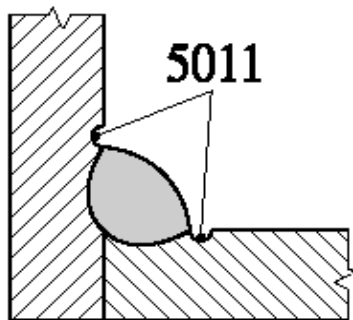
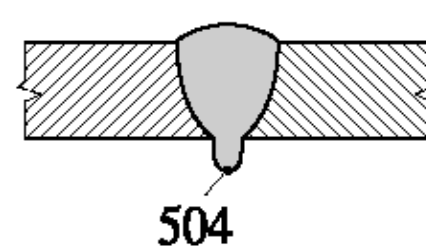
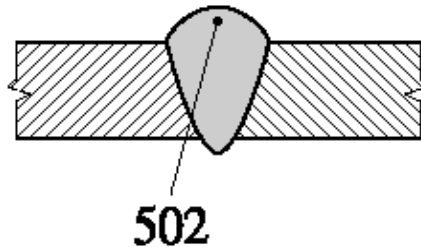
soros (3011),
különálló (3012),
halmazt alkotó (3014)

Hegesztési hibák

Összeolvadási- és méret hibák



5013



A hegesztett kötések minősítése

Roncsolásos vizsgálatok

- **A vizsgálatok célja:**
 - A kötés mechanikai tulajdonságainak,
 - Keménységeloszlásának,
 - Mikroszerkezetének meghatározása
 - Alkalmasság vizsgálat (technológia, hegesztő)
- **Vizsgálati módok:**
 - Szakító, hajlító, ütő-hajlító vizsgálat
 - Keménységmérés, mikroszkópi vizsgálat

Hegesztett kötések vizsgálata

Szakítóvizsgálat

**MSZ EN ISO 10002-1 alapanyagra előírt
módszerrel**

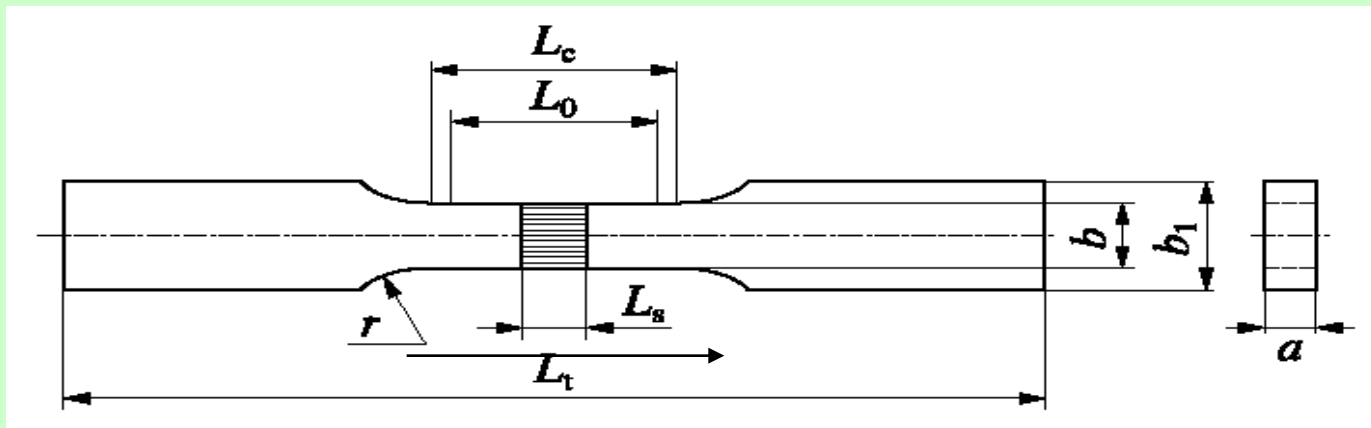
Meg kell határozni:

- **a kötés szakítószilárdságát**
- **a szakadás helyét**
 - **varrat**
 - **beolvadási vonal**
 - **hőhatásövezet**
 - **alapanyag**

A hegesztett kötések minősítése

Roncsolásos vizsgálat - példák

Szakító vizsgálat



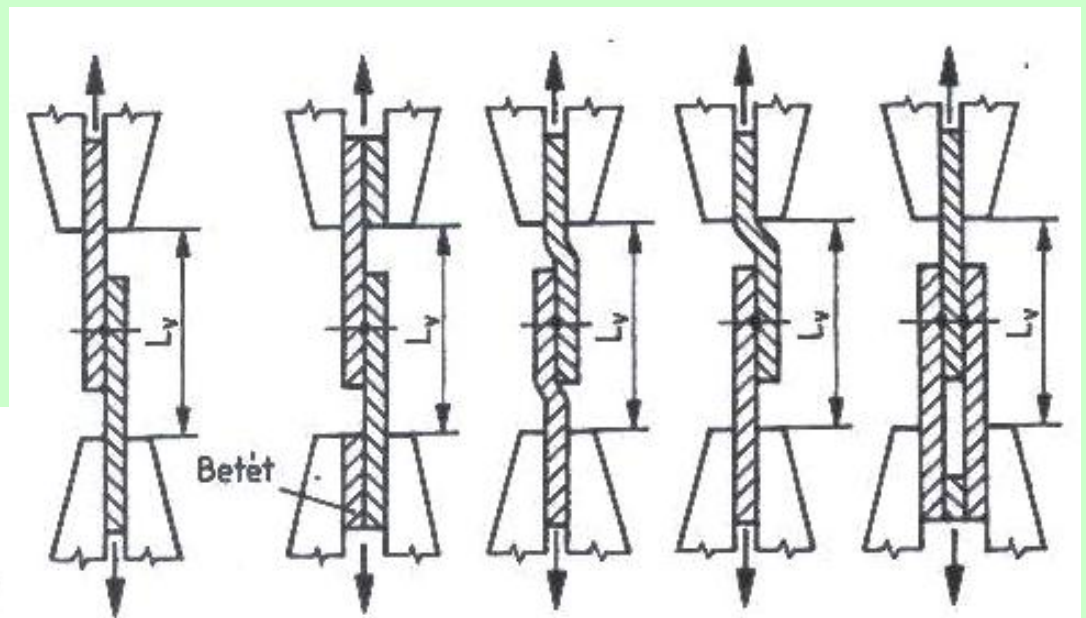
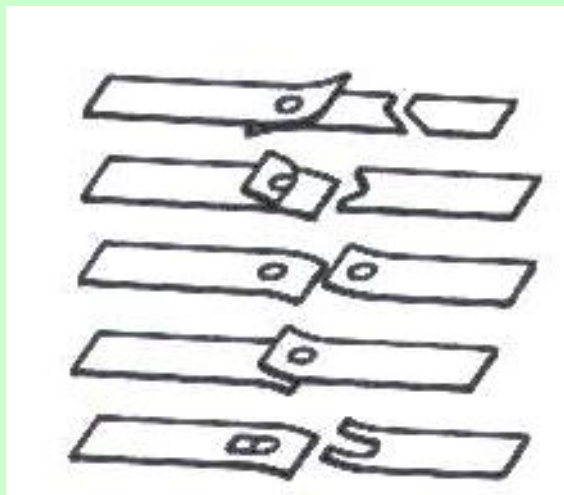
A hegesztett kötések minősítése

Roncsolásos vizsgálat - példák

Ponthegeesztések nyíró-szakító vizsgálata

Meghatározzuk:

- a nyíró-szakító erőt
- a szakadás helyét
- a szakadás jellegét



Hegesztett kötések vizsgálata

Roncsolás mentes vizsgálatok

A hegesztett kötések minősítése

Roncsolásmentes vizsgálatok

- **Felületi hibák detektálása**
 - Szemrevételezés
 - Folyadékbehatolós vizsgálat
 - Mágnesezhető poros vizsgálat
- **Belső hibák feltárása**
 - Ultrahangos vizsgálat
 - Röntgen vizsgálat

Roncsolásmentes vizsgálatok

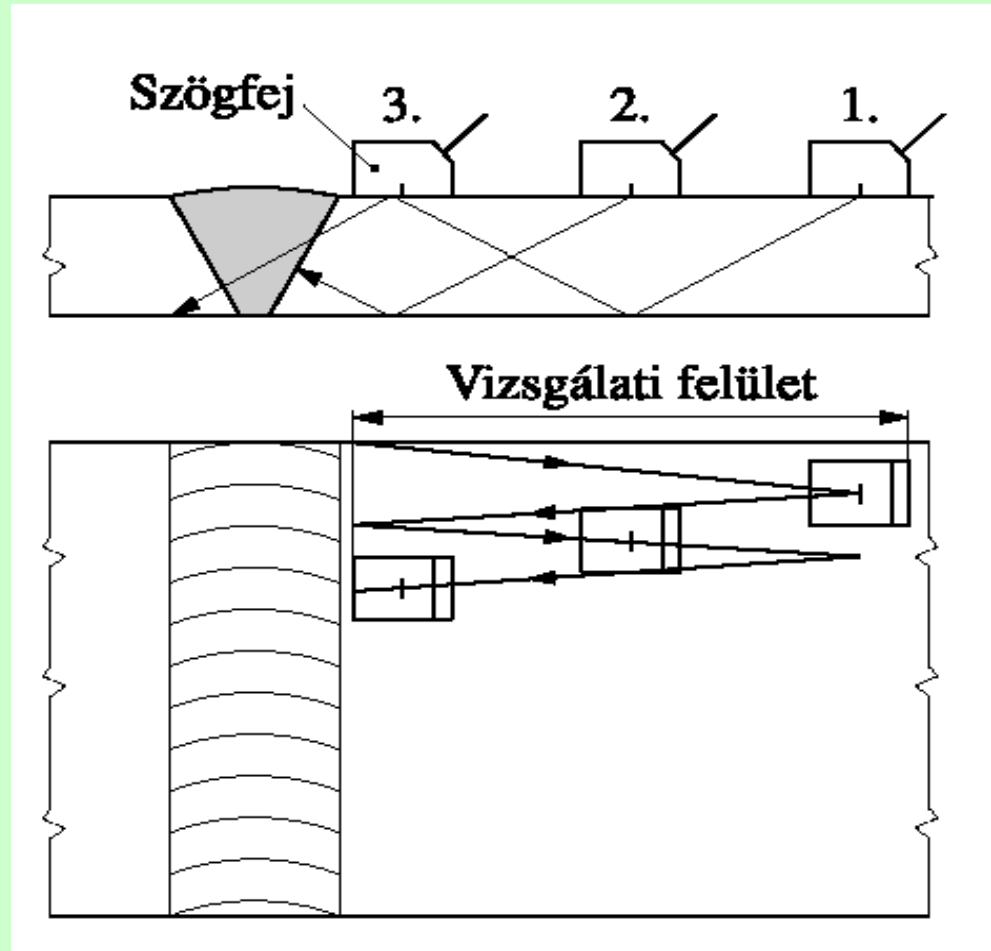
- Szemrevételezés-hegesztés közben is elvégezhető
- folyadékbehatolások (festékdifúziós) vizsgálat
- mágnesporos vizsgálat
- örvényáramos vizsgálat

Roncsolásmentes vizsgálatok

Ultrahangos vizsgálat

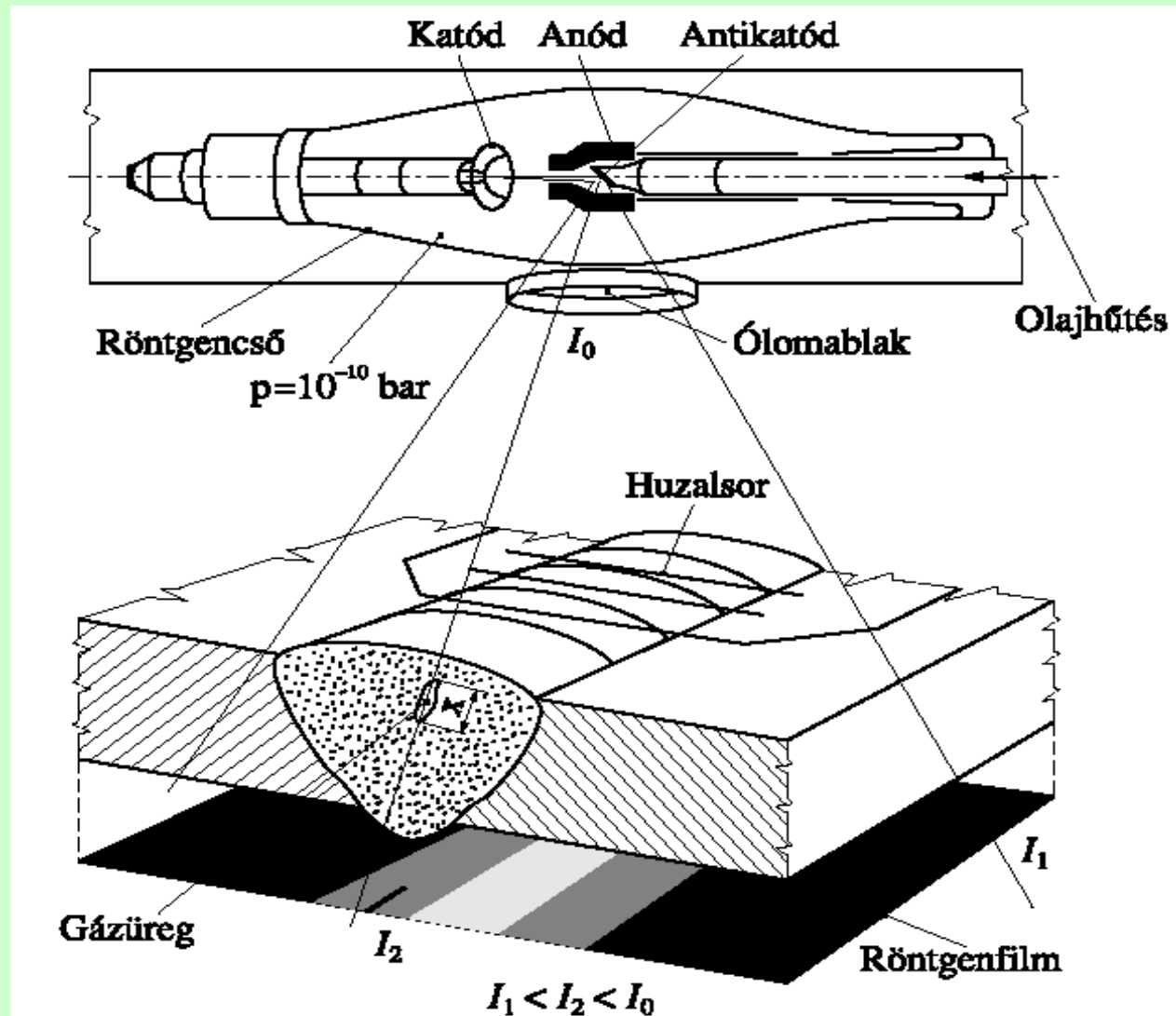
**Tompavarrat
vizsgálata
szögfejekkel:**

**Repedések,
összeolvadási
hibák,
folytonossági
hiányok
kimutatására
alkalmas**



Roncsolásmentes vizsgálatok

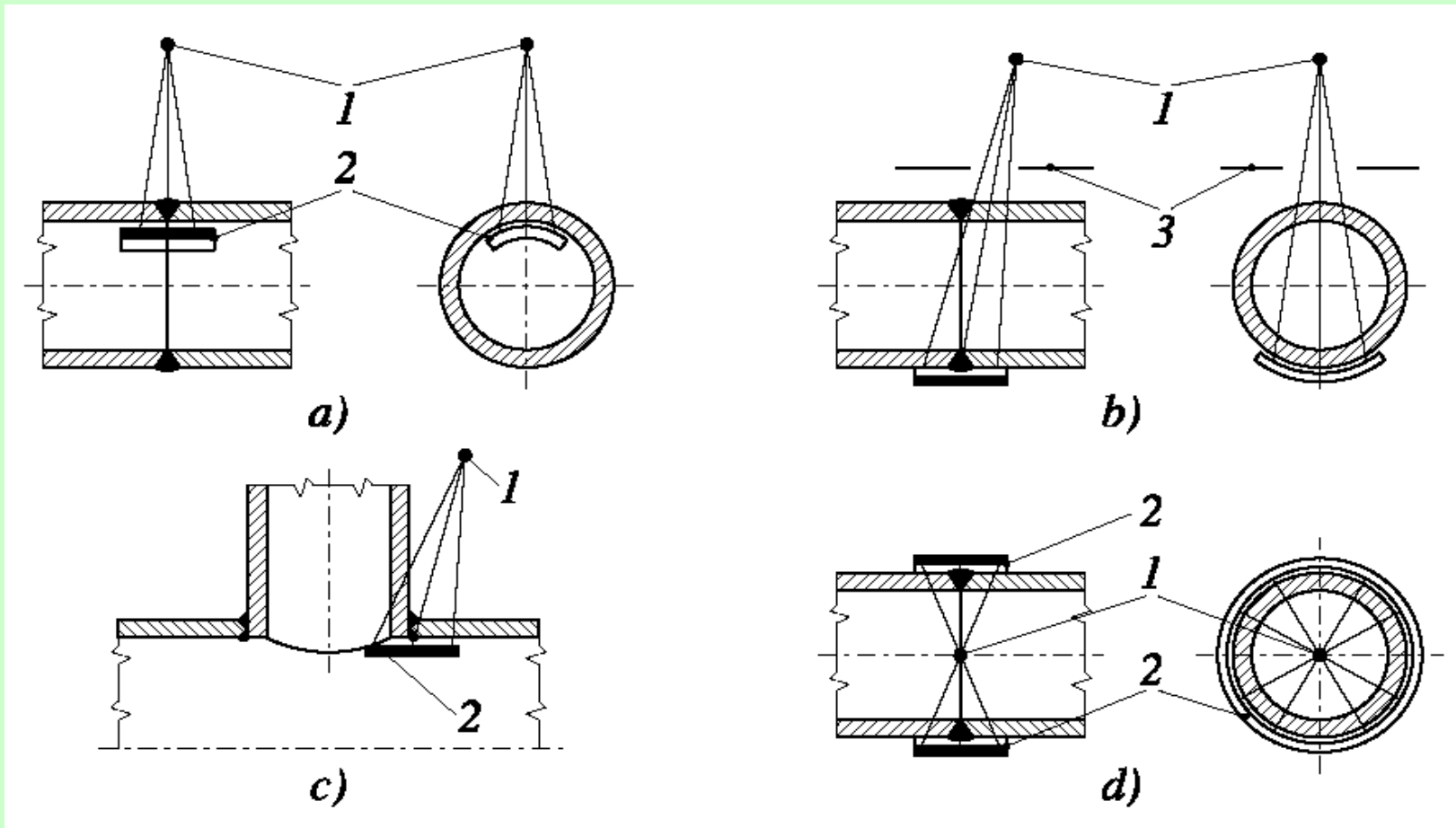
Röntgenvizsgálat elve



Roncsolásmentes vizsgálatok

Röntgenvizsgálat

(film és sugárforrás elrendezése)



A hegesztés munka- és környezetvédelmi előírásai

- A hegesztés veszélyes művelet
- A hegesztő védelme füst, sugárzás, hő, zaj ellen
- A hegesztés környezetének védelme tűz és robbanás, valamint környezet szennyezés ellen
- Védőeszközök:
 - Személyi (ruha, pajzs, sisak, ...stb.)
 - Munkahelyi (éghető anyagok takarása)

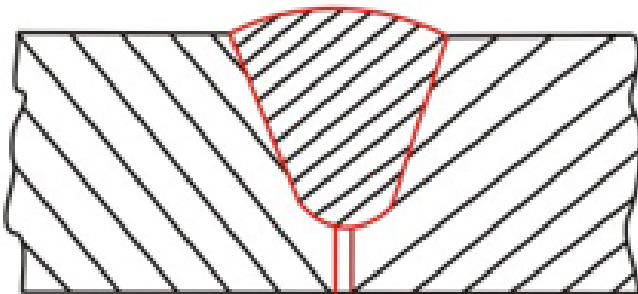
1) Az előkészítés és a munkadarabok összeillesztésének hibái

Az előkészítés fázisában ki kell alakítani a munkadarabok egyenes illeszkedő felületeit, megfelelő leélezéssel el kell készíteni a gyökölést. Biztosítani kell a fémtiszta, szennyeződés mentes felületeket.

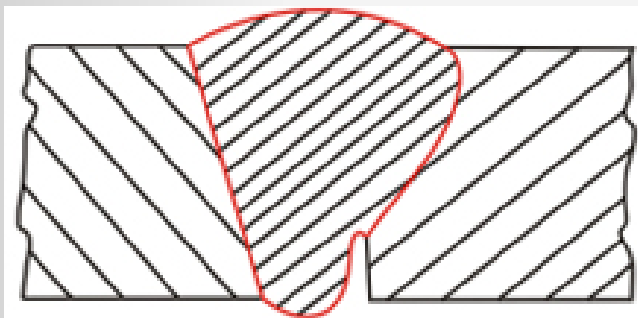
Megfelelő méretű és a varrat mentén egyenletes illesztési hézagot kell beállítani.

2) Gyökhiba

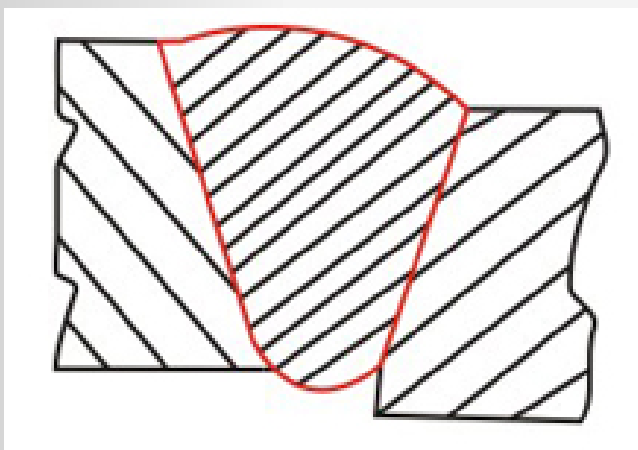
Az egyik legveszélyesebb hiba, mivel a hegesztési gyök hibája esetén nincs teljes keresztmetszetű varrat. Jellemző megjelenési formái az alábbiak:



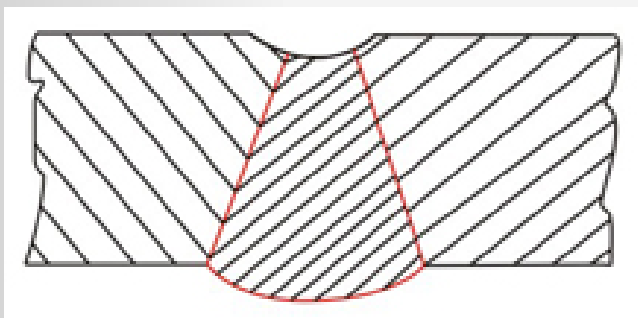
Elégtelen átolvadás: kiküszöbölhető az illesztési hézag növelésével, vagy az áramerősség növelésével.



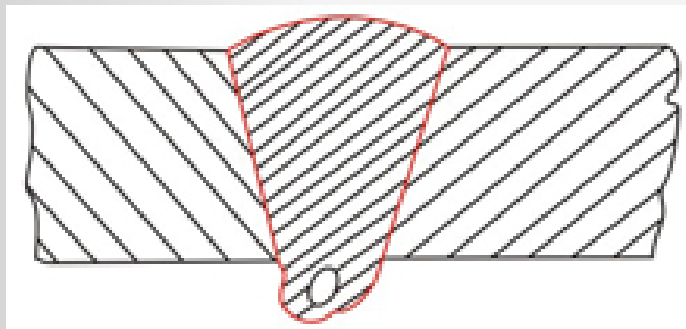
Összeolvadási hiba: akkor keletkezik, ha az egyik munkadarabra több hő jut, mint a másikra. Ennek oka lehet a nem megfelelő elektróda tartás, valamint rossz elektróda ívelés.



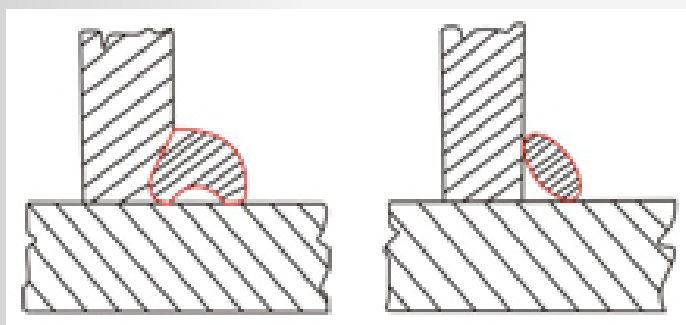
A lemezélek nem megfelelő illesztése: A mélyebben fekvő részekre kevesebb hő jutott. Ennek elkerülésére a **lemezélek szintkülönbsége** nem haladhatja meg az **1 mm-t**.



A homorú gyök: a fej feletti hegesztés tipikus hibája. Oka általában a munkadarabok közötti túl nagy résméret, vagy az túl nagy áramerősség.

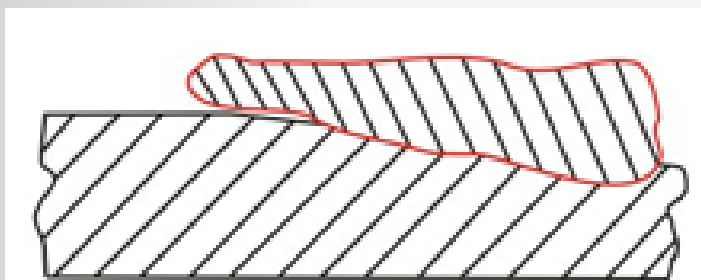


Gyökátróskadás: oka elsősorban a túl nagy illesztési hézag, valamint a túl nagy áramerősség. Ez utóbbi esetben legtöbbször még gázzárvány is található a varrat gyökrészében. Az esztétikai szempontokon túl technikai hibát is okozhat (pl. csővezetékben, ahol az áramlást gátolja).

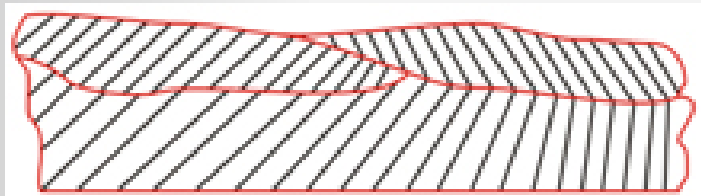


A sarokvarratok gyökhibáit a helytelen élezés, a rossz elektródatartás (a hegesztési hő csak az egyik lemezre irányul), vagy a nem megfelelően megválasztott áramerősség okozza.

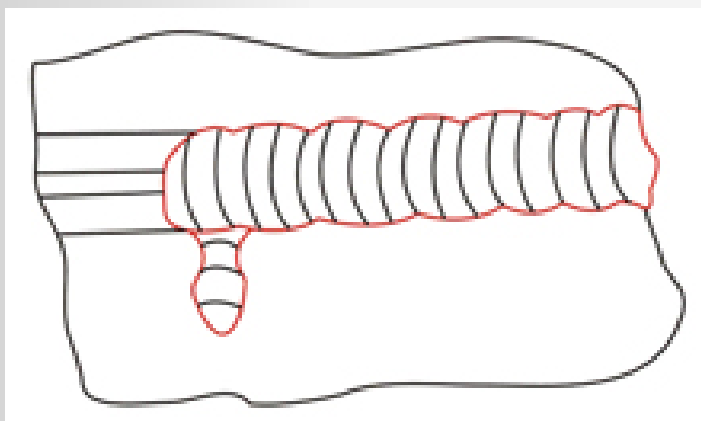
3) A varratkezdés és befejezés hibái



Az alapanyag és a varrat összeolvadásának hibája, amely abból adódik, hogy a varratkezdés pillanatában a munkadarab még nem melegedett át, ezért a meleg elektróda és a hideg alapanyag nem olvad össze. Hideg kötés keletkezik.



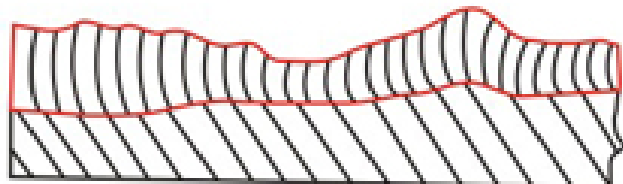
Varratcsatlakozási hiba: gyakran előfordul, hogy a varratot meg kell szakítani (pl. elektródacsere miatt). Jellemző hiba ilyen esetben, hogy a végkrátert a csatlakozó varrat nem hegeszti át.



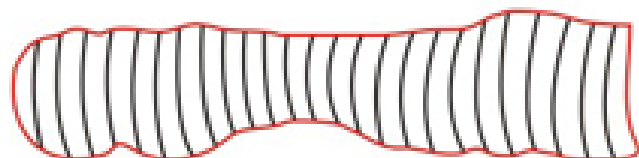
Kezdőkráter: Amennyiben az ív begyújtása a varrat mellett történik, a kezdőkrátert nagyobb igénybevételű szerkezetek esetében a munkadarabból ki kell köszörülni. E hiba egyszerűen elkerülhető kezdőlemez alkalmazásával.

A varrat külalakjával szembeni követelmény az **egyenletes szélesség és magasság**, az **egyenes vonalvezetés** és az **egyenletes felszíni varratmintázat**.

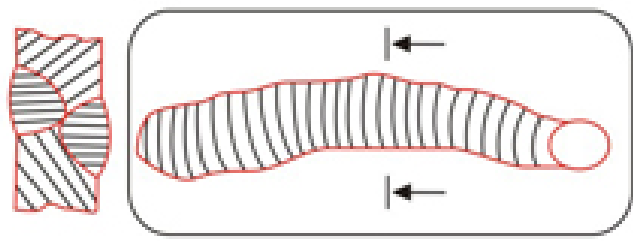
A külalaki hibák gyakran nem csak **esztétikai hiányosságot** jelentenek, kedvezőtlen **kötésminőségi, varratszilárdsági** vonzatuk is van.



A varrat egyenetlen magassága, illetve keresztmetszeti mérete. Oka az elektróda szabálytalan, egyenetlen (nem egyenletes sebességű) vezetése.



Változó szélességű varrat. Oka az elektróda egyenetlen vezetése. Ahol a varrat széles, ott a hegesztőpálca haladási sebessége kisebb volt a többi szakaszra jellemző sebességnél, illetve a hegesztő az elektródát megállította.



Görbe varrat. Amennyiben a munkadarabok illesztési éle egyenes, akkor a hiba oka az elektróda figyelmetlen vezetése. Abban az esetben, ha mindkét oldalról kell hegeszteni, akkor a varratok már az egyik oldali görbe vezetésnél sem kerülnek egymás fölé. Ez tehát belső varrathibát is eredményez. Gyakori hiba I varrat készítésénél.

jó

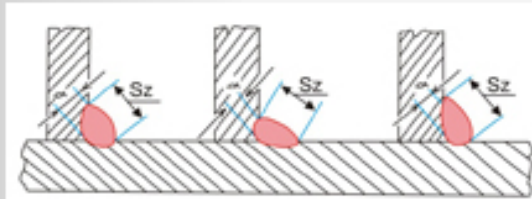
ROSSZ



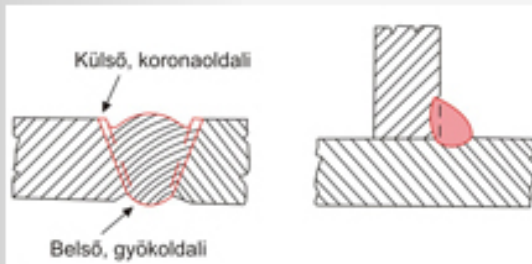
Az elektróda oldalirányú ívelésének hibája.



Varrat megfolyás. Függőleges irányú, illetve függőleges falon vízszintes hegesztés jellegzetes hibája. Függőleges irányú, illetve függőleges falon vízszintes hegesztés jellegzetes hibája.



Sarokvarrat elhelyezésének hibája. A varrat eltolódik. Ez szintén nem csak esztétikai hiba, hanem kötőszilárdsági káros következményei is vannak. Oka az elektróda helytelen vezetése.



Szegélybeégési hiba. A varrat szélein éles bemetszésű árkok keletkeznek, amelyet az áram túlzott fűvóhatása okoz azzal, hogy a széleken kifújja az ömledéket. Nemcsak tompavarratoknál (h) figyelhető meg, sarokvarratnál (i) is előfordul. A varratot felülről nézve a varrat mentén kétoldalt futó árokként jelentkezik (j). Elkerülhető, ha a varrat szélein az elektródát kissé „ott tartjuk”.

A fűvóhatáson túl az elektródamozgatás ívelési hibája is okozhatja, akkor, ha a pálcát lengetve, és nem önmagával párhuzamosan íveljük.



Az j) ábrán **fröcskölési hiba** is megfigyelhető, amelyet a nagy erővel a felületbe ütköző olvadt fémcseppek okoznak. A túlzottan fröccsenő ömledék oka a túláram, a magas ívtartás, a helytelen polaritás és az ív mágneses fűvóhatása.

Radiográfiai (röntgen) vizsgálat

Fizikai elv:

A különböző γ sugárforrások jó áthatoló képességgel rendelkeznek. A sugárzás intenzitása az anyagon áthaladva gyengül.

Egy adott kezdő intenzitású sugárzás gyengülésének a mértékét a sugárzás energia spektruma, az átsugárzott vastagság, az anyag és a távolság befolyásolják.

Radiográfiai (röntgen) vizsgálat

Jól kimutatható vele:

A vizsgálat különösen érzékeny a térfogatos jellegű hibák (pl.: gázzárvány, salakzárvány, stb.) kimutatására. Sík jellegű hibák (pl.: repedés, hegesztési varrat kötéshibája) akkor mutathatók ki jól, ha a sugárzás iránya és a síkjellegű hiba síkja közel párhuzamos.

Rosszul detektálható:

A vizsgálat kevésbé érzékeny az olyan síkjellegű hibákra, ahol a sugárzás iránya és a hiba síkja 5° -nál nagyobb mértékben tér el egymástól.

A vizsgálattal nem mutathatók ki az olyan síkjellegű hibák, amelyeknek a síkja sugárzás irányára közel merőleges.

Szükséges vizsgálati felület:

A vizsgálat előtt el kell távolítani azokat a felületi egyenetlenségeket, amik a radiográfiai filmen fizikai sérülést okozhatnak.

A vizsgálati felület lehetőleg legyen száraz és zsírmentes.

Környezeti feltételek:

A vizsgálathoz megfelelően megvilágított vizsgálati helyszín szükséges. Mivel a radioaktív sugárzás káros az egészségre, ezért a vizsgálat elvégzéséhez kellő nagyságú területet le kell zárni. Ezen a területen belül csak a vizsgálók tartózkodhatnak. A lezárandó terület nagysága függ a helyszín kialakításától, a sugárzás fajtájától és erősségétől.

Nagyon fontos, hogy a vizsgálati darab kellő módon megközelíthető és hozzáférhető legyen.

