



Felületi technológiák

Anyagfelvitellel járó felületi technológiák

3. rész

Termokémiai kezelések

Cementálás, Nitridálás, Nitrocementálás és karbonitridálás,
Acélok boridálása és szilikálása, Termokémiai kezelés fémes elemekkel

Felületi ráolvasztás

Felület ötvözés

Felrakó hegesztés



Termokémiai kezelések

- A termokémiai eljárások célja a kezelendő tárgy **felületének feldúsítása** a tárgy anyagában oldódó **fémes vagy nemfémes elemmel** (vagy elemekkel), növelt hőmérsékleten, **diffúzió révén**, megfelelő koncentrációra törekedve.
- **Ötvöződúsítás** vagy termokémiai kezelés történhet aktív szabad ötvözőatomokat leadó **porközegben, sóolvadékban** vagy **gázközegben**.
- Szükség szerint - **eljárástól függően** - **további hőkezelésekkel** együtt érhetők el a kívánt tulajdonságok. Egyes bediffundáló elemfajták esetében szilárd oldat létrejötte mellett vegyületfázisok is képződhetnek.
- A **termokémiai kezelések fő paraméterei**: a **felületi ötvözőpotenciál**, a **hőmérséklet** és a **diffúziós időtartam**, melyek elsődleges meghatározói a kialakuló réteg-vastagságnak, ill. a koncentráció-eloszlásnak



Termokémiai kezelések felosztása

- Termokémiai úton fémes és nemfémes elemekkel dúsítható a kéreg
- **Fémes elemekkel** megvalósuló eljárások: kromálás, alitálás, titánozás, vanádiumozás, volframoszás, ...
- **Nemfémes elemekkel** megvalósuló eljárások: cementálás, nitridálás, boridálás, szulfidálás, szilikálás, ...
- **Több elemmel** megvalósuló eljárások: nitrocementálás, karbonitridálás, titánnitridálás, oxinitridálás, szulfonitridálás, oxikarbonitridálás, krómalitálás, krómboridálás,
- Egyes bediffundáló elemfajták esetében szilárd oldat létrejötte mellett vegyületfázisok is képződhetnek
- Ezek közül széleskörű ipari alkalmazást mutat az acélok felületkezelésére alkalmazott cementálás és nitridálás.



Acélok cementálása

- A cementálási folyamatban a kis karbontartalmú ($C\% < 0,2$) munkadarab felületi rétegében a karbontartalmat 0,6...1,2 %-ra dúsítják fel diffúzió útján. A szokásos kéregvastagság 0,1...3,0 mm
- **A cementálás** ausztenites állapotban (A_3 hőmérséklet felett) történik, majd ezt különböző hőkezelések követik
- A cementálást követő un. kettős edzés során először a magot edzik, ezáltal a kis karbontartalmú magot finomszemcséssé teszik, majd a "kéregedzéssel" nagy kopásállóságú kemény felületet állítanak elő.
- A létrejött kemény, kopásálló felületi zóna és a szívós, nagyszilárdságú mag klasszikus példája az anyagtulajdonságok célirányos egyesítésének.



Cementálási technológiák

- Hagyományos eljárások
 - szilárdközegű szemcsés, pasztás (cementálás szénporban)
 - folyékonyközegű sófürdős, csepegtető (eleinte ciános sófürdős kezelés, majd azok betiltása után ciánmentes sófürdőben)
 - gázközegű eljárások (szabályzott gázatmoszférában, C-leadó közegben)
- Újabb technológiák
 - ionos, fluidizált közegű, vákuumos cementálás

- Sófürdők:

- Ciános:
50% NaCN,
10% KCl,
40% BaCl₂
- Ciánmentes (aktív sók):
50% BaCl₂,
30% KCl,
20% NaCl

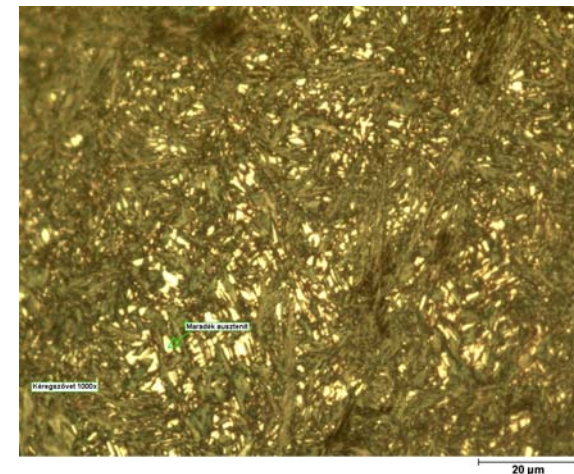
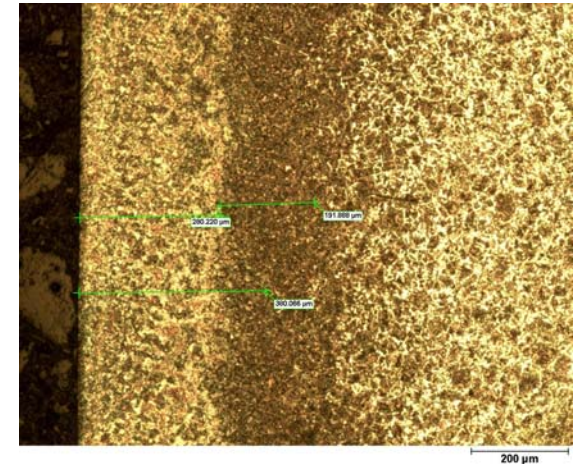
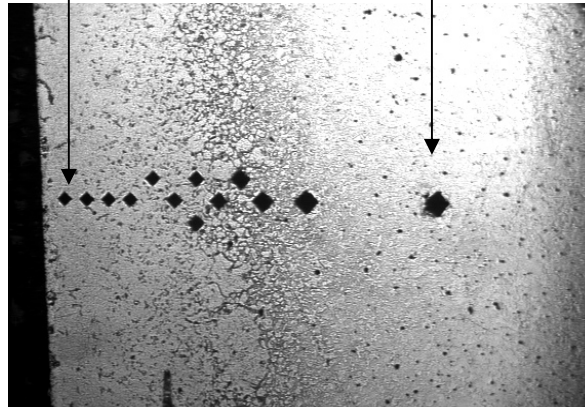
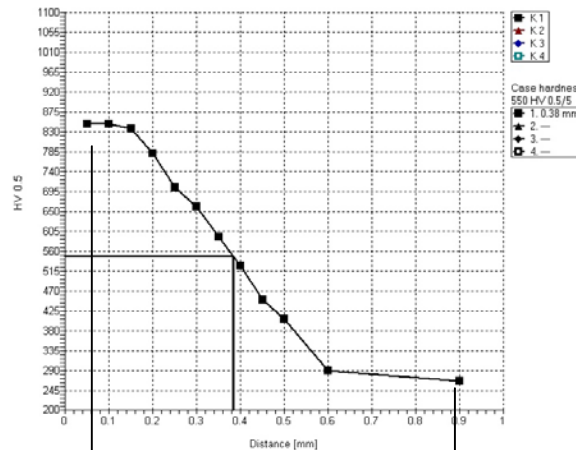
Atmoszféra	Dúsított endogáz		Dúsított nitrogénrendszer	
	propán	földgáz	propán	földgáz
CO %	23...25	20...22	4...6	2...4
H ₂ %	30...32	40...42	8...10	10...12
CH ₄ %	0,4...0,8	0,5...1,5	0,5...1,5	3...5
CO ₂ %	0,12...0,35	0,1...0,3	1,3...0,1	0,02...0,08
Hatmatpont, °C	+5...-10	0...-15	-20...-40	-20...-40
Oxigén potenciál, kJ/mol	-445...-462	-449...-446	-470...-504	-483...-525

- Gázközegek



Esettanulmány: cementált kéreg vizsgálata

- C15 anyag cementált kérege
- Képek:
 - Keménység lefutás: kéreg mélység 550 HV_{0,5}-nél 0,38 mm
 - Keménység mérési nyomok
 - A teljes kéreg szövetszerkezete
 - A mag szövetszerkezete
- Következtetés: a cementálási hőmérséklet túl magas, a kéregben kb. 20% maradék auszénit van, a mag szövete durva



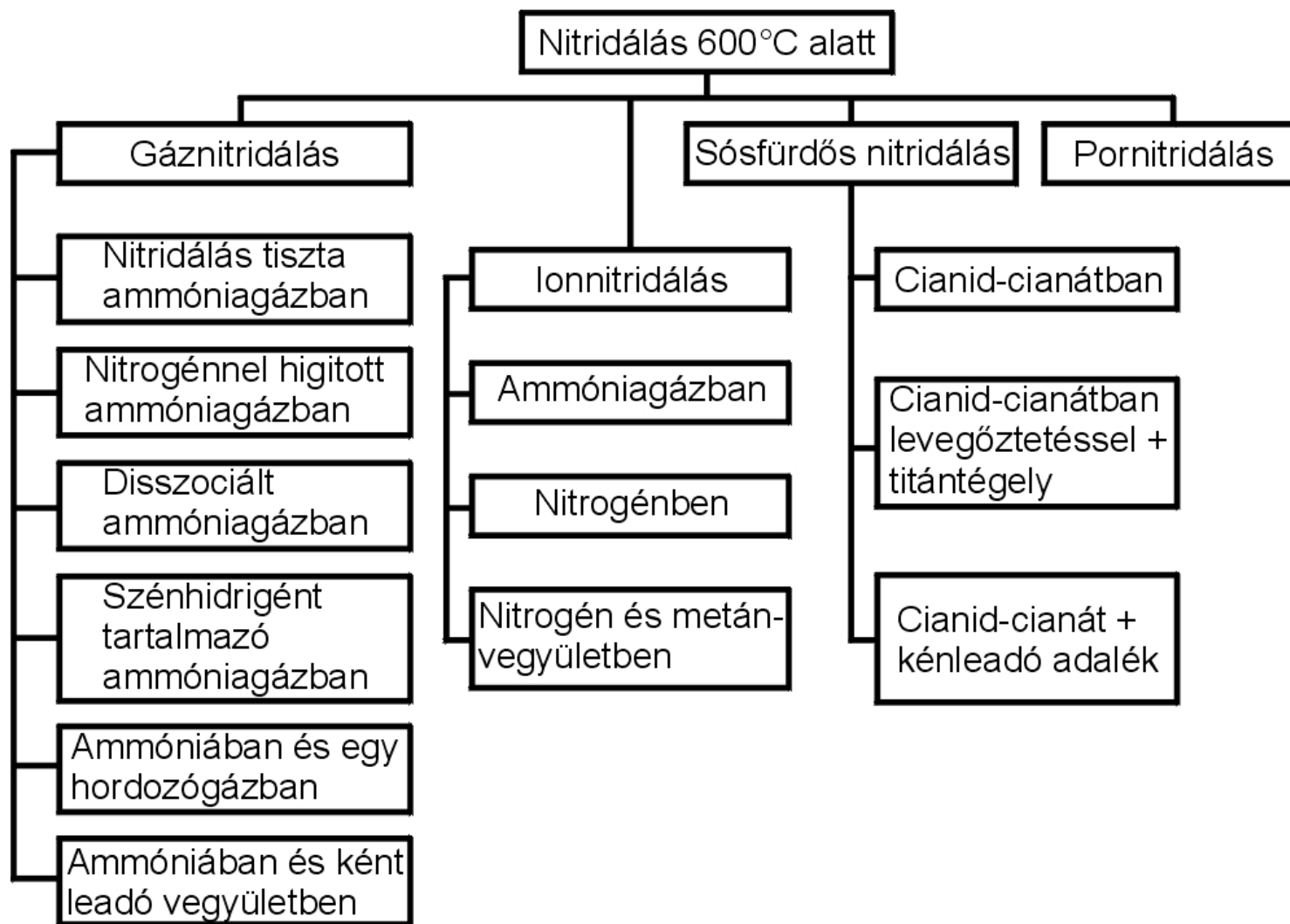


Acélok nitridálása

- A ferrit-perlites ill. nemesített állapotban (A_1 alatt) végzett **nitridáláskor** a felületbe jutó atomos (naszccenz) nitrogén az alapanyaggal (Fe) és az ott lévő nitridképző ötvözőkkel (Cr, Al, Mo) nagykeménységű nitridvegyületeket hoz létre, ezáltal biztosít jó felületi kopásállóságot.
- A vas- acél alapanyagú munkadarabok felületén nitridáláskor létrejövő rétegek:
 - **vékony, tömör nitrid réteg** (Fe_2N , Fe_4N , ...), 5...10 μm vastagságban, keménysége elérheti az 1100 HV értéket
 - nitridekben szegényebb **diffúziós zóna**, ennek vastagsága 0,1÷1,0 mm, keménysége 5...600 HV-ről csökken az alapanyag keménységéig
 - A diffúziós zóna vastagságát az alapanyag + 50 HV keménységgel jellemzett kéregvastagsággal definiálják



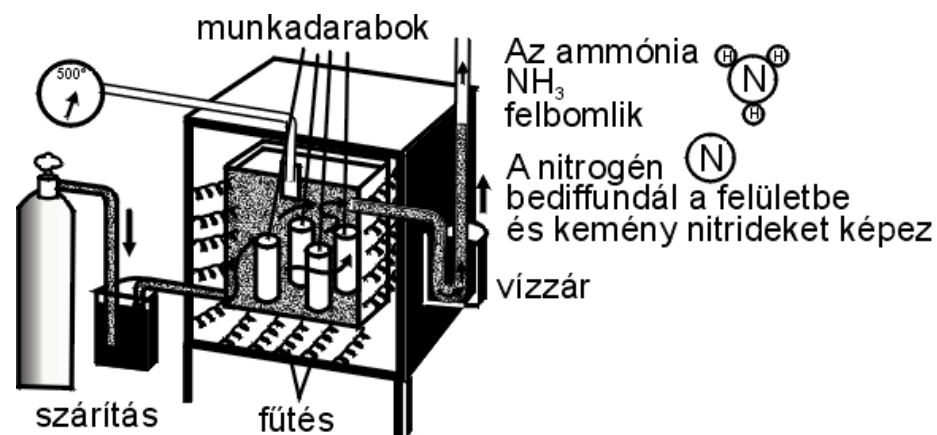
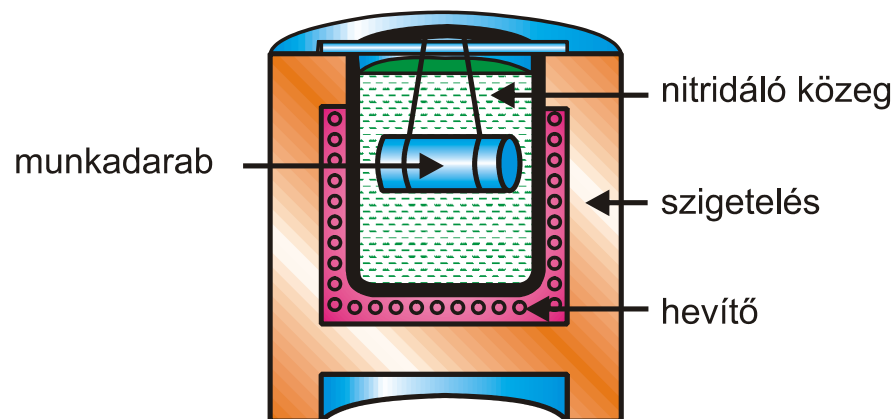
A nitridálási eljárások áttekintése





Gáznitridálás

- A gáznitridáláshoz szükséges nitrogént rendszerint ammóniából nyerik, amely $500 \div 550$ °C-on disszociál, és a keletkező naszcensz nitrogén a felületbe diffundál
- A szükséges kezelési idő $12 \div 96$ óra, a diffúziós rétegmélység $0,15 \div 0,70$ mm.
- A modern kemencék folyamatosan tudják változtatni a nitridáló gáz összetételét és a hőmérsékletet





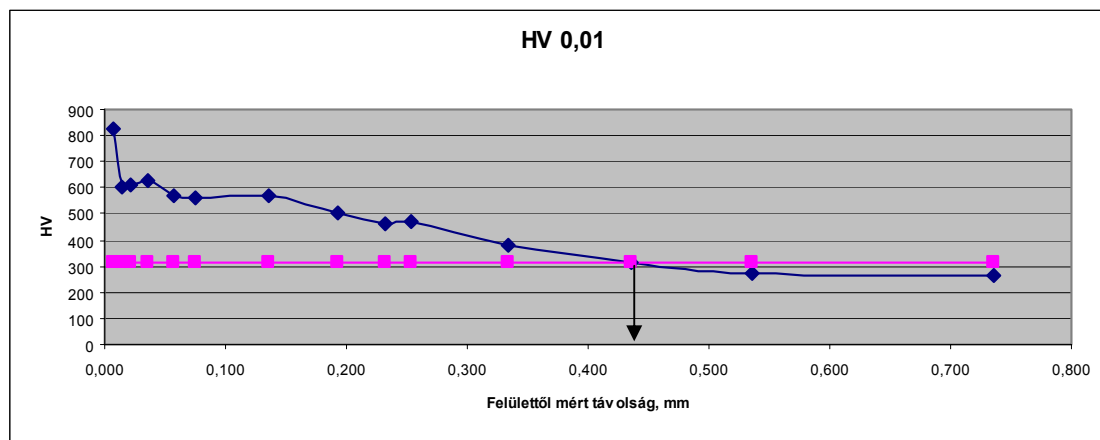
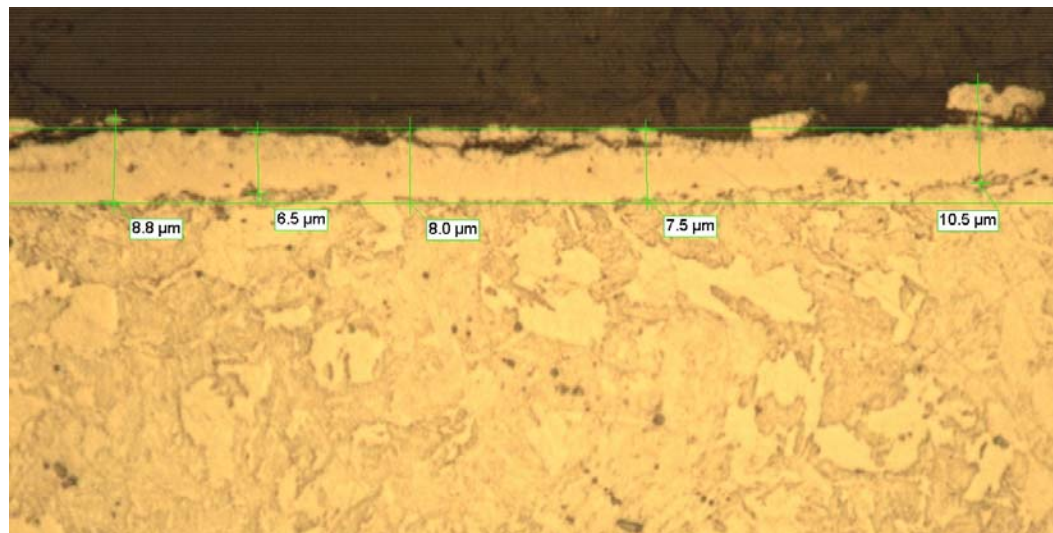
Nitridálás sófürdőben

- Régebben a sófürdő kénvegyületek és cianidsók megolvasztott keverékéből állt.
 - A szokásos kezelés hőmérséklete $540\div 600$ °C,
 - Időtartama $2\div 3$ óra.
 - A kéregben nitridek mellett karbidok és szulfidok is létrejönnek.
 - A Tenifer-eljárás kénmentes módszert alkalmaz, de a fürdő cianid tartalma 3% körüli
- Cianidsó-mentes technológiák:
 - "Sursulf" eljárás, ahol alkálicianátból naszcensz nitrogén szabadul fel, miközben a cianátok karbonátokká oxidálódnak.
 - A jelenlévő lítiumsók az oxidáció sebességét mintegy a felére csökkentik.
 - Ha a fürdő ként tartalmaz, a kezelt darabok kérgében kénvegyületek is keletkeznek.
 - Megfelelő folyamatvezetés esetén a Sursulf-fürdők cianid-tartalma kisebb, mint 0,2 %.



Esettanulmány: nitridált kéreg vizsgálata

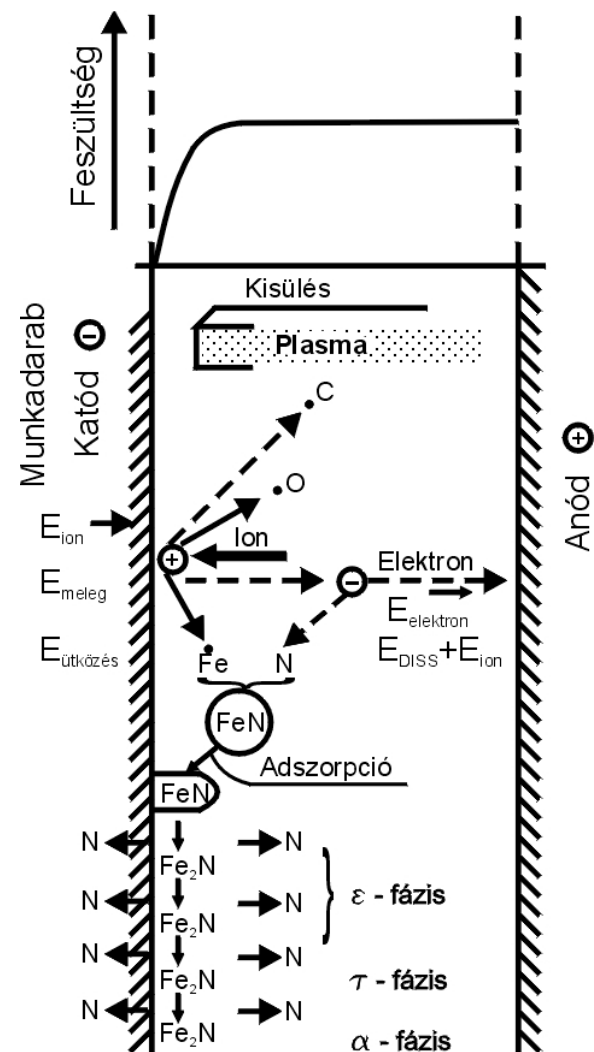
- Szövetszerkezet
 - Nitridekben dús réteg
 - Diffúziós zóna
- Keménység lefutás
 - HV0,01 méréssel a nitridekben dús réteg keménysége is mérhető (822 HV0,01)
 - Definíció szerint a kéregvastagság az alapanyag keménység + 50 HV-nél mért távolság ($266 + 50 = 316$ HV, $t = 0,44$ mm)





Ion- (plazma-) nitridálás

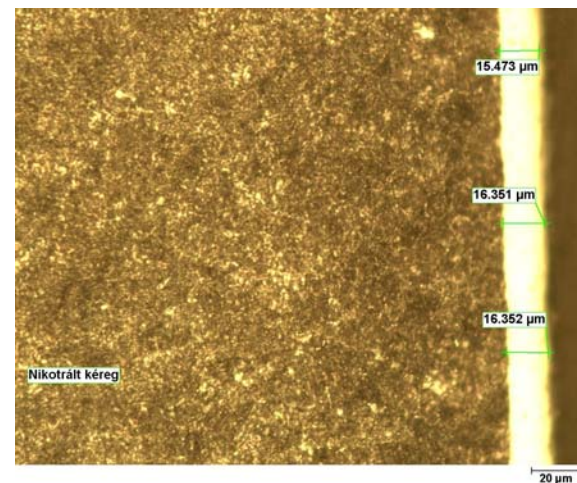
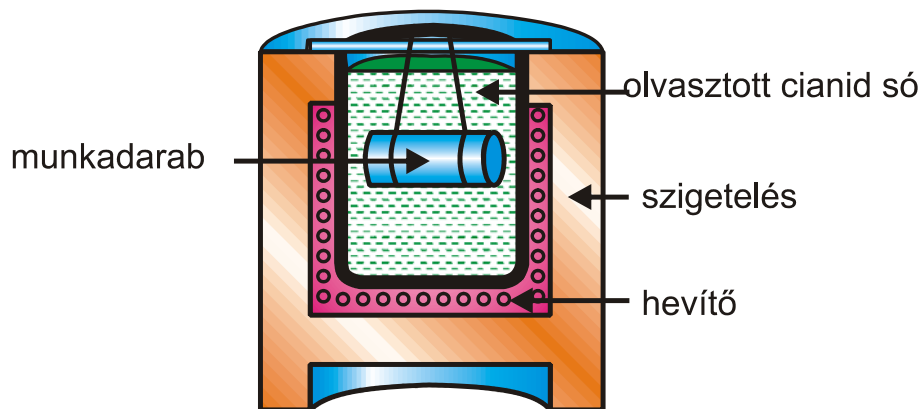
- A nitrogént alacsony nyomású munkatérben, áramerős glimmkisülés plazmájaként juttatják a munkadarab felületére
- A munkadarab felmelegedését a diffúzióhoz szükséges $350\div 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra az ionok ütközési energiája biztosítja.
- A kezelési idő a kívánt kéregmélységtől és a munkadarab anyagától függően 10 perc és 36 óra között változik.
- Ez az egyetlen olyan nitridálási eljárás, ahol lehetőség van monofázisú vegyületi zóna és nitridháló-mentes diffúziós zóna kialakítására.





Acélok nitrocementálása és karbonitridálása

- A munkadarab felületi rétegében a karbon és a nitrogén egyidejű dúsításával egyesítik a két különálló eljárás előnyeit
- Magas hőmérsékletű folyamatoknál (nitrocementálás) a karbon diffúziója a döntő és szén-nitrogén tartalmú, martenzit jellegű fázis alakul ki.
- Alacsony hőmérsékletű technológiáknál (karbonitridálás, nikotálás) karbonitrideket tartalmazó vegyületi zóna és alatta növelt nitrogén- és karbon-tartalmú diffúziós zóna képződik.
- A karbonitridálás só- és gázközegből egyaránt elvégezhető





A nitrocementálás és karbonitridálás paramétere

Karbon-, nitrogén- leadó közeg %	Kezelés			Megjegyzés
	Hőmérsék- lete °C	Időtár- tama óra	Kéreg- mély- sége mm	
Endogáz / 80-90/ +NH ₃ / 2,5-5/ Földgáz / 5°-8°/ +NH ₃ / 2,5-5/ Na ₂ CO ₃ / 25-30/ +NaCl/ 25-50/ +NaCN/ 20-25/ BaCl ₂ /50/ +NaCl/40/ +NaCN/ 10	840 860 820÷870 840÷900	5÷9 5÷9 <1 <4	0,5÷1,0 0,5÷1,0 <0,35 <1,0	Nitrocementálás
Endogáz /50 / + NH ₃ / 50/ EXO gáz /50 / + NH ₃ / 50/ NaCN /25-30/ KCNO /25-40/	570 570 560 580	3 2 <3 <3	0,5 ~0,5 <0,4 <0,4	Karbonitridálás



Acélok boridálása és szilikálása

- Boridálás

- A bór rendkívül kis mértékben oldódik vasban. Ezért bórleadó közegben a termikus kezelés során FeB és Fe_2B -ből álló vegyületi zóna képződik a munkadarabok felületén.
- A réteg vastagsága $\sim 0,15$ (max. $0,3$) mm, mikrokeménysége eléri a 2000 HV-t . A kéregnek az alapszövethez kapcsolódására az igen kedvező "fokozatos" kötődés a jellemző.
- A boridált felületek jó siklási tulajdonságokkal rendelkeznek, alacsony a hideghegedési hajlamuk, kiváló a korróziós, eróziós és kavitációs ellenállásuk.

- Szilikálás

- A kezelendő munkadarabokat szilícium-karbiddal együtt, klórgázzal átáramoltatott, fűtött forgócsöves kemencébe helyezik.
- A kezelési hőmérséklet $950 \dots 1000 \text{ }^\circ\text{C}$, kezelési idő ~ 2 óra.
- A legfeljebb 1 mm vastagságú réteg 15% -ig terjedő Si-tartalmú α -keverék-kristályból áll, de kisebb mennyiségben Fe_3Si fázis is előfordul.
- A szilicid bevonatok korrózióállósága kiváló, elsősorban savakkal szemben.



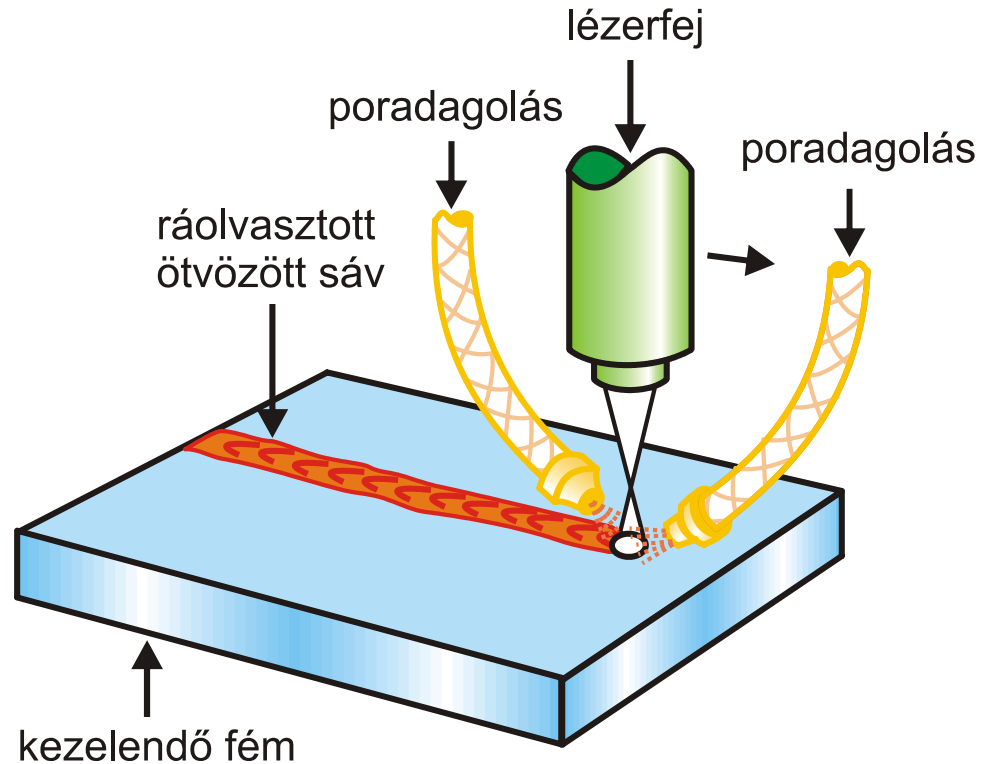
Termokémiai kezelés fémes elemekkel

- Fémtárgyak felületvédelme fémes anyagok (Al, Zn, Sn, Cu, Cr) termikus diffúziójával is kialakítható.
- Kromálás
 - Krómot diffundáltatnak magas karbontartalmú acélok felületi rétegébe és a keletkező krómkarbidok keménységnövelő hatását használják fel.
 - A kialakuló réteg legfeljebb 0,1 mm vastag, keménysége függ az alapacél karbontartalmától: 250÷1350 HV értékű.
 - Kedvező tribológiai tulajdonságokat eredményez
- Kombinált eljárások (a kezelendő fémtárgyra galvanikus úton viszik fel a kiválasztott fémet és azt utána aktív gázban bediffundáltatják)
 - acél anyagra ón leválasztása és nitrogén atmoszférában történő diffundáltatása ("Stanal");
 - acél anyagra bronzötvözet leválasztása és nitrogénben történő diffundáltatása ("Forez");
 - sárgaréz és bronz anyagokra ón + kadmium leválasztása, és levegőben történő diffundáltatása ("Delsun");
 - alumínium ötvözetekre indium-alapú komplex ötvözet leválasztása és levegőn történő diffundáltatása ("Zinal")



Felületi ráolvasztás

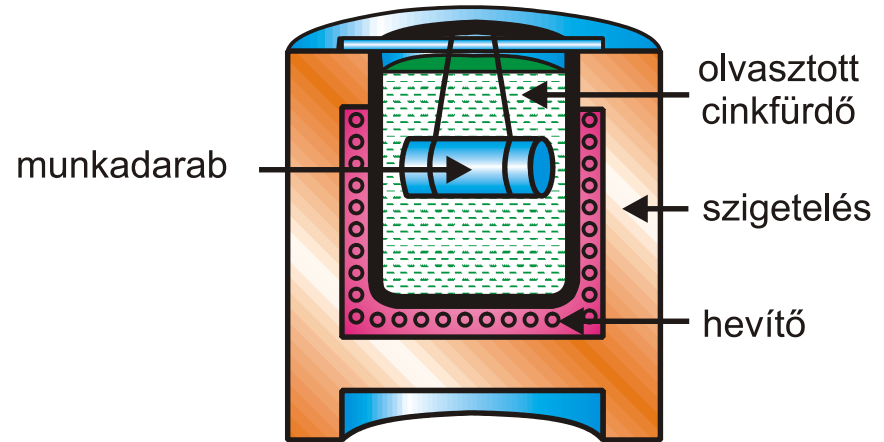
- A **felületi ráolvasztás**ra jellemző, hogy a felületre előzetesen vagy kezelés közben felvitt bevonatréteg részlegesen vagy teljesen megolvad, de a kezelendő tárgy felülete nem
- Felületi ráolvasztások:
 - Tűzi mártó fémbefonás
 - Termikusan szórt rétegek utókezelése
 - Vastag fémbefonatok ráolvasztása





Tűzi mártó fémbevonás

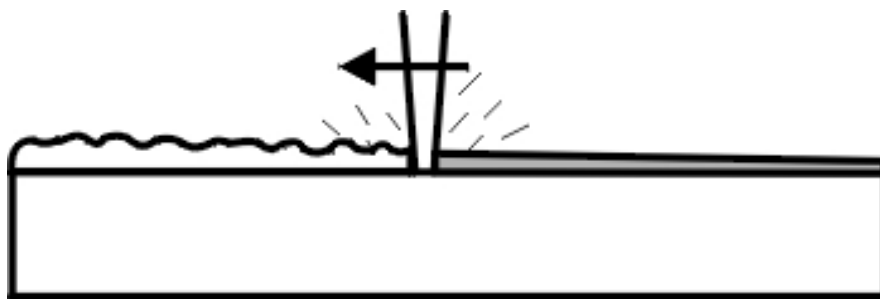
- A **fémolvadékba mártással** végzendő **tűzi mártó fémbevonás** (cinkezés, ónozás, ólmozás, alumíniumozás, ...) után a legkülső, tisztán bevonófémek tartalmazó réteg többszörös átmeneti diffúziós réteggel kötődik a kezelt tárgy felületéhez.
- Csak olyan bevonó fémek jöhetnek szóba, amelyek a munkadarab anyagának olvadáspontjánál lényegesen kisebb hőmérsékleten olvadnak meg
- Példa: autó karosszéria lemezek tűzi horganyozása korrózió elleni védelem céljából
 - Réteg vastagság $\sim 7 \mu\text{m}$
 - A bevonat mélyhúzás közben is megmarad





Termikusan szórt rétegek utókezelése

- A **hőkezeléssel, lánggal, plazmával, elektronsugárral vagy lézerrel** végezhető kezelés egyik fő alkalmazási területe a **termikus szórással felvitt** adhéziósan tapadó, porózus, inhomogén **rétegek utókezelése**.
- Hatására a felszórt réteg tömörödik, homogenizálódik, simább felületűvé válik illetve a nagy hőmérsékletű diffúziós folyamatok révén növekszik az alapanyaghoz való kötődésének (tapadásának) szilárdsága
- Példa: felületi ráolvasztás lézerrel





Vastag fémbevonatok ráolvasztása

- Fontos alkalmazást jelent a tűzi mártó fémbevonással nem létrehozható vastagságú, agresszív korróziós közegek hatásának ellenálló fémrétegek kialakítása a védendő tárgy felületén.
- Ilyenkor a bevonó fémet nem olvadékfürdő alakjában használják, hanem a munkadarab megfelelően előkészített felületén hozzák olvadék állapotba.
- Jellemző példa az acéltartályok belső felületének savállóvá tétele ún. **homogén ólmozással**. A csíkokra vágott ólomlemezeket az előőnozott vasötvözet felületére felhelyezve, nagyhőmérsékletű lánggal végzik a ráolvasztást. Az ón párnarétegre azért van szükség, mert a vas és az ólom kölcsönösen oldhatatlan, így direkt kötés nem jönne létre.
- A hőkezeléskor, azaz kemencében történő ráolvasztáskor semleges, vagy redukáló atmoszférában végzik a hevítést, a hőntartást és a lehűtést is, lehetőséget adva a diffúziós folyamatok megfelelő lejátszódásának, illetve a belső sajátfeszültségek elkerülésének.



Felületötvözés

- A **felületötvözés**, nagy energiasűrűségű hőforrásokkal (lézer, elektronsugár) végzett **felületi átolvasztás**, **amelynek során** az előzetesen vagy a folyamat közben felvitt **ötvöző anyag** belekeveredik, beleolvad, **beleötvöződik** az alapanyag megolvasztott, majd gyorsan megdermedő felületi rétegébe.
- A rendszerint por alakú ötvöző anyag felvihető kötőanyaggal vagy anélkül.
 - Kötőanyagként pl. acetonban oldott cellulózt alkalmaznak
 - Kötőanyag nélküli felvitelhez a termikus szórás vagy a közvetlen ráfúvás (rászórás) jöhet szóba.
 - Némely ötvöző anyag felületre juttatható vékony fóliaként vagy galvanikus úton is.
- A **lézer-, elektron-** vagy **plazmasugárral** végezhető felületötvözés célja elsősorban sav-, hő- vagy kopásálló réteg kialakítása.



Felrakó hegesztés

- A felületötvöztetéshez hasonló elvet, de kisebb teljesítménysűrűséget és dermedési sebességet megvalósító **felrakó hegesztési** eljárások a vastagabb rétegek létrehozásának módszerei.
- A kötőhegesztésnél használt ömlesztő eljárások közül elsősorban **ívhegesztéssel** lehet felrakó hegesztést végezni.
- Réteg kialakítása:
 - A bevonatos elektróda, pálcá, huzal, (tömör, porbeles), szalag (tömör, porbeles) hozaganyagból,
 - **hegeszthető vagy előmelegítéssel** (esetleg közbenső réteg felrakásával) **hegeszthetővé tett alapanyagokon** (gyakran acélokon)
 - akár 15 mm vastag rétegek is kialakíthatók.
- A **hozaganyagok** összetételüket tekintve **vasalapúak** vagy **vasban szegények** lehetnek.
 - Vasalapú:
 - alacsony- és közepes ötvöztartalmú (túlnyomórészt martenzites szövetszerkezetű réteget eredményezők),
 - magas ötvöztartalmúak (kopásálló vagy korrózióálló ausztenites szövetszerkezetű réteget eredményezők),
 - szívós anyagrétegbe beágyazódó nagykeménységű fázisokat tartalmazók
 - Vasban szegény
 - Co- vagy Ni-bázisú keményötvözetek,
 - fémkarbidok, vagy a nemvas fémek, illetve ötvözeik közül kerülnek ki



Szerszámok felrakó hegesztése

- A felrakó hegesztés célja
 - Kemény, kopásálló dolgozó felület vagy él kialakítása a szerszámon
 - Elhasználódott szerszám felületek javító hegesztése (kopott, kitöredezett részek pótlása)
- Folyamat:
 1. Hevítés az előmelegítési hőmérsékletre.
 2. Hegesztés gyám mellett.
 3. Hőkiegyenlítő hőntartás egy órán át.
 4. Hűtés álló levegőn vagy homokban.
 5. Keményítő megeresztés egy órán át.
 6. Megmunkálás köszörüléssel.
- Kisebb felületek javító hegesztése esetén a hegesztési sorrend helyes megválasztásával lehet a repedéseket elkerülni



Esettanulmányok

- **Közepesen ötvözött és ötvözetlen szerszámacélok**
 - Az előmelegítés hőmérsékletét a kisebb karbontartalmúak esetében 200...300 ° C-ra, a többihez 300...400 ° C-ra választják, ha az alapanyaggal közel azonos összetételű hozaganyaggal javítanak.
 - Célszerűbb erősen ötvözött hozaganyagot használni olyan módon, hogy hegesztés előtt a teljes dolgozó felületet eltávolítják.
- **Süllyesztékek és melegmunkáló szerszámok**
 - Nikkel- vagy kobaltalapú
 - 50÷60% Ni + 15÷17% Mo + 15÷17% Cr + 0,03÷0,05% C összetételű, vagy
 - 50÷60% Co + 15÷25% Cr + 0÷10% Ni + 0,3÷0,4% C összetételű,
 - ún. *lágýötvözetű hozaganyagot* használnak.
 - Ezek még 600÷700 ° C-ra hevülve is jól viselik az igénybevételeket, és hőingadozásra (hősökkrá) viszonylag érzéketlenek.
- **A nikkel- és a kobaltalapú lágýötvözetű hozaganyagok** használata esetén
 - A szerszámtest anyagminőségének megfelelő előmelegítés elegendő.
 - A varratok jól megmunkálhatók, de az első ütések hatására némi méretváltozás mellett 500÷550 HV-re keményednek.
 - A nikkelalapú varratok ezen kívül 760÷800 ° C hőmérsékleten 3÷4 órás hőntartás után levegőn hűtve 300÷350 HB keménységet érnek el, és ezt kb. 800° C üzemi hőmérsékletig megtartják.



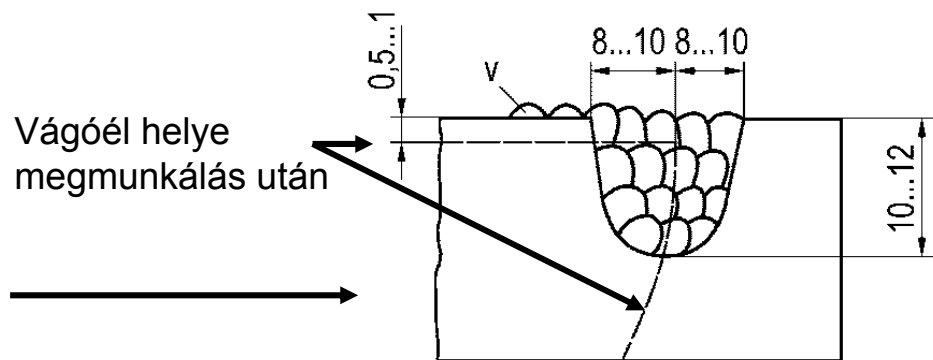
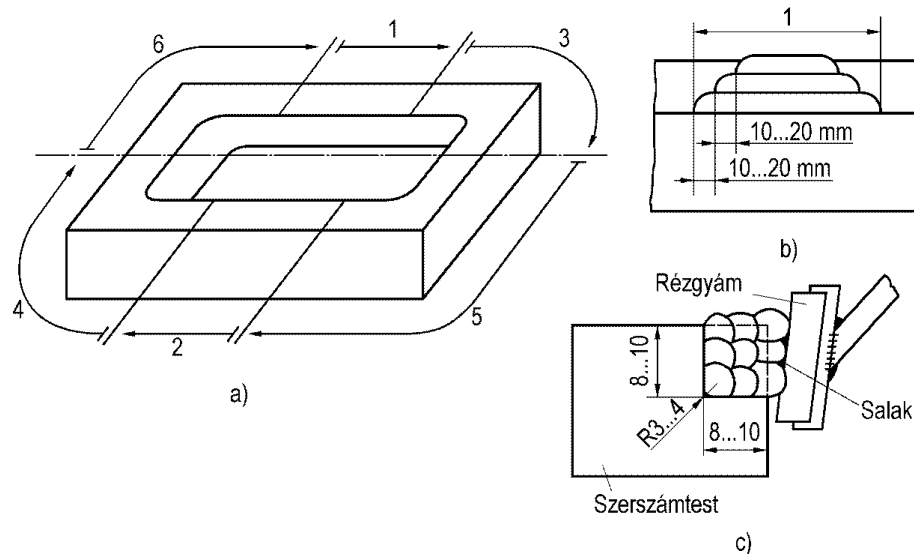
Takarékszerszámok készítése

- A közepesen ötvözött vagy ötvözetlen acélból készült szerszámok élettartama erősen ötvözött acélelektrodákkal, illetve az említett helyeken nikkel- és kobaltalapú hozaganyagokkal javítva hosszabb, mint új állapotukban volt.
- Ennek az a magyarázata, hogy javításkor a különböző felületrészeket az igénybevétellel szemben legmegfelelőbb összetételű hozaganyaggal lehet elkészíteni.
- Ezeket a varratokat azonban a szerszámacéloknál olcsóbb nemesíthető acélokra is fel lehet rakni; így készülnek az ún. *takarékszerszámok*.
- Technológiai megfontolások:
 - A varratok erősen ötvözött acélok, illetve az előbb említett helyeken nikkel- vagy kobaltalapú lágyötvözetek.
 - Az alapanyag összetétele ettől lényegesen eltér, ezért a tapasztalat szerint csak a harmadik varratsor vehető a hozaganyaghoz már közel azonos összetételűnek.
 - Hegesztéskor az áramerősség csökkentésével és az elektróda döntésével érhető el az, hogy a beolvadás mértéke (azaz az alapanyag részaránya a varratban) minél kisebb legyen



Esettanulmány: kivágólap készítése takarékszerszámhoz

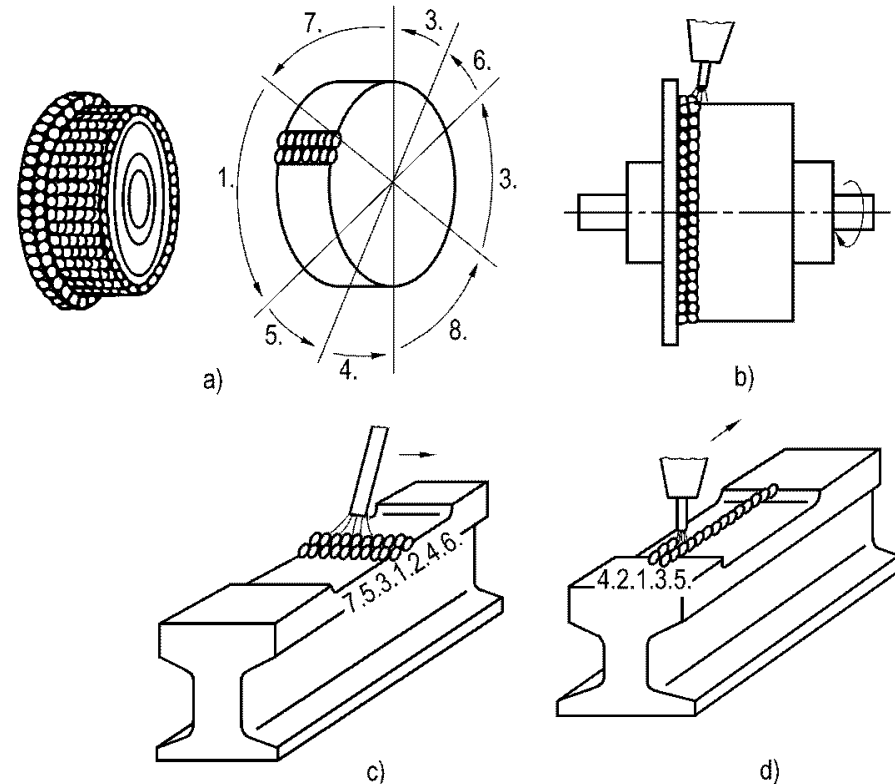
- **Nagyméretű kivágólap** készítéséhez gyámot használnak.
- Az előmunkált padka mérete kb. 10x10 mm azért, hogy mind függőlegesen, mint vízszintesen legalább a harmadik varratból lehessen a vágóélt kimunkálni.
- Egy-egy varrat szakaszt célszerű teljes keresztmetszetében feltölteni, ilyen módon ugyanis kisebb a valószínűsége, hogy közben a szakasz hőmérséklete a táblázatban előírt előmelegítési hőmérséklet-tartomány alsó határértéke alá süllyed.
- **Kisebb szerszámok** esetén un. horonyba rakás módszerével lehet a vágóélet kialakítani





Kopásálló rétegek felrakása

- Kopásnak kitett alkatrészek ellenálló képességét felrakó hegesztéssel lehet javítani
- Ezek alapanyaga viszonylag lágy és így gyorsan kopnak, ezért az alkatrészeket az alapanyagnál erősebben ötvözött varratösszetételű eredményező hozaganyaggal célszerű felrakni
- A hozaganyagok kiválasztását táblázatok könnyítik meg
 - Közepesen ötvözött acélok kisebb igénybevételre
 - *Ausztenites acél hozaganyagokat pl. fogaskerekek hiányzó fogainak pótlására,*
 - Erősen ötvözött acélokat markolók, talajművelő gépek, bányagépek kopó alkatrészeihez használnak



Darukerék és daru sín felrakó hegesztése