



Felületi technológiák

Anyagfelvitel nélküli felületkezelések

1. Felületszilárdítás
 2. Felületedzés
 3. Felületi átolvasztás
 4. Felolvasztó hegesztés
-



1. Felületszilárdító eljárások csoportosítása

- A felületszilárdítási eljárásokat olyan képlékeny hidegalakításnak tekinthetjük, amely a felületi réteget érinti
- Az eljárásokat a hidegalakítási keményedés és maradó nyomófeszültség bevitele jellemzi, amelyek a kifáradási határt, a kopásállóságot növelik, az érdességet csökkentik.
- Fajtái:
 - Szemcsezórásos felületszilárdítás
 - Ütőtestes felületszilárdítás
 - Ütőfejes felületszilárdítás
 - Felületvasalás
 - Hengerléses felületszilárdítás
 - Robbantásos felületszilárdítás
 - Lézerimpulzusos felületszilárdítás



Szemcsezórásos felületszilárdítás

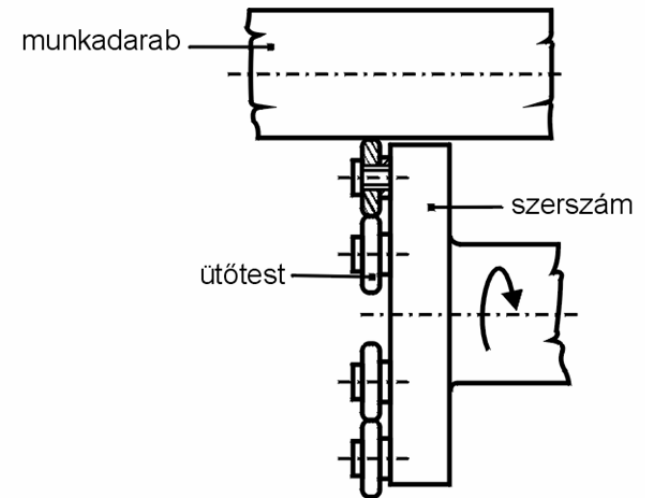
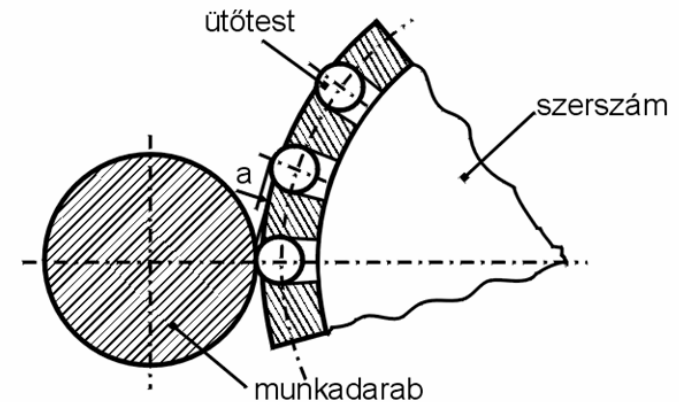
- A **felületszórás** nagy sebességgel becsapódó sörétszemcsék kinetikai energiájával végzett felületszilárdítása.
- A $0,5 \div 3,0$ mm befoglaló méretű részecskék kb. 0,9 % C-tartalmú acélhuzal-vagdalékok vagy kb. 2,5 % Si-tartalmú öntöttvas-gömböcskék lehetnek.
- A szemcsék gravitációs (szabadeséssel), pneumatikus (levegősugárral) vagy mechanikus (forgó lapátokkal) úton juttathatók a kezelendő felületre, a felsorolás szerint növekvő becsapódási sebesség ($9 \div 14$, $30 \div 50$ illetve $70 \div 150$ m/s) mellett.
- Az elérhető kezelési mélység (keményedő rétegvastagság) $0,2 \div 0,5$ mm, a várható felületi érdesség $25 \div 50$ μm , a létrejövő nyomófeszültség (előfeszítettség) kb. $100 \div 200$ MPa.





Ütőtestes felületszilárdítás

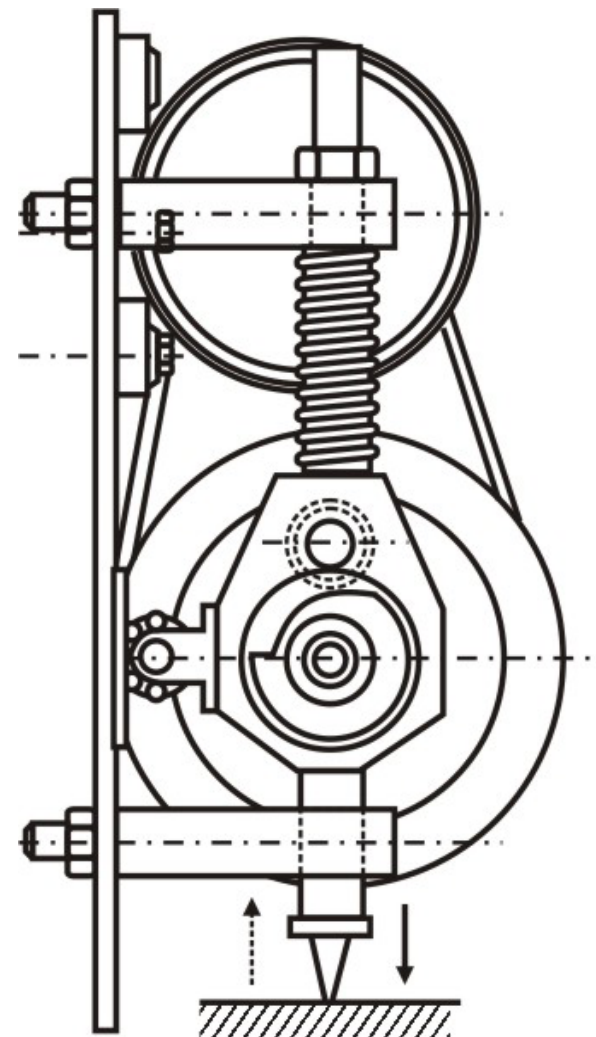
- A **felületgörgőzés** vagy ütőtestes felületszilárdítás gyorsan forgó szerszám kerülete mentén radiálisan elmozduló - de kirepülésükben megakadályozott - ütőtestek centrifugális ereje által valósul meg.
- A 7÷10 mm átmérőjű, kb. 1 mm-es játékkal szerszámba foglalt golyók vagy görgők kenés mellett végzik a felületkezelést.
- A gyorsan forgó szerszám esztergagépre, marógépre, köszörűgépre vagy egyéb célgépre szerelhető fel.
- A kezelés fontosabb paraméterei a következők:
 - a szerszám kerületi sebessége 15÷40 m/s,
 - a munkadarab kerületi sebessége 30÷90 m/min,
 - az előtolás 0,04÷0,16 mm/fordulat,
 - fogásszám 1,2 vagy 3,
 - ütésnagyság 0,1÷0,25 mm,
 - kezelhető rétegvastagság 0,6÷0,8 mm.





Ütőfejes felületszilárdítás

- A **felületkalapálás** mechanikusan, pneumatikusan vagy elektromechanikusan rezgetett, gömbvégződésű ütőfejjel (ütőszeggel) történő felületszilárdítás
- A felületi rétegben néhány száz MPa-ig terjedhető **maradó nyomófeszültség** keletkezik és a keménység 30÷50 %-kal nagyobb a kiindulási állapothoz képest.
- Alkalmazási területek:
 - nagymodulú fogaskerek fogárai,
 - hegesztési varratok,
 - lépcsős tengelyek keresztmetszet-változásai,
 - öntöttvas gépelemek lekerekítései,
 - forgattyústengelyek egyenszilárdságúvá tétele, ...
- Fogárkok kezelésénél 30÷35 %-os kifáradási határ és keménység-növekmény érhető el 3 mm átmérőjű gömbfej, 1200/min ütésszám, 30 mm/min előtolás mellett.



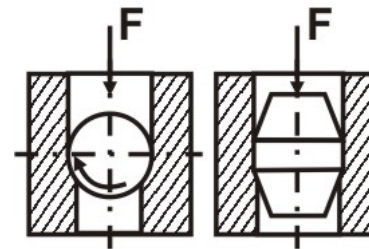


Felületvasalás

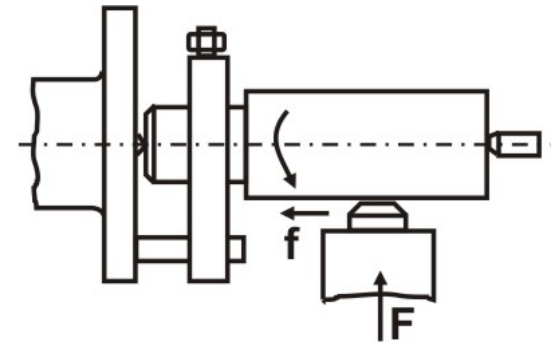
- A **felületvasalás** nagy keménységű, szabadon csúszó szerszám megfelelő átfedés (δ) beállítása és kenőanyag (ásványi olaj + petróleum) melletti csúsztatásával, nagy nyomóerő alkalmazása alatt végzett felületszilárdítás
- Külső felületen esztergába befogott gyémánt vagy más superkemény anyagú szerszámmal, 25÷200 mm/min sebességgel történhet a kezelés. Belső felületen sajtoló- vagy üregelőgéppel mozgatott keménymű- vagy golyóscsapágyacél anyagú, golyó vagy kettőskúpos alakú szerszámmal, 2÷7 m/min sebességgel végezhető a művelet.

A δ átfedés a következőképpen értelmezhető:

$$\begin{aligned}\delta &= \delta_{\text{szerszám}} - \delta_{\text{mdb előtte}} \\ &= \delta_{\text{maradó}} + \delta_{\text{rugalmas}} = \\ &= (\delta_{\text{mdb utána}} - \delta_{\text{mdb előtte}}) \\ &+ (\delta_{\text{szerszám}} - \delta_{\text{mdb utána}}).\end{aligned}$$



belső felületen

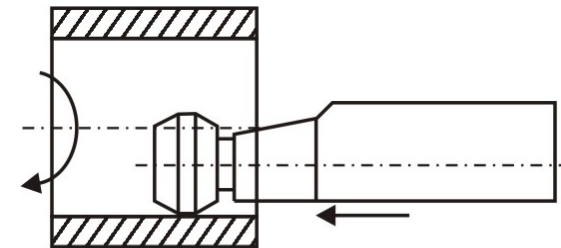
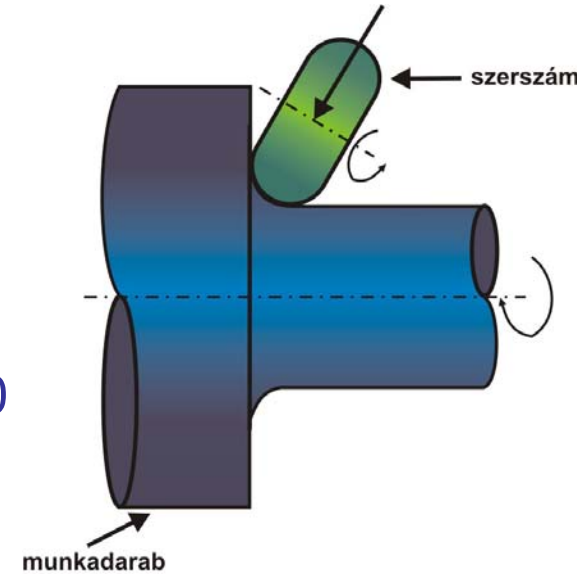


külső felületen



Hengerléses felületszilárdítás

- A **felülehengerlés** nagykeménységű, szabadon forgó szerszám nagy nyomóerő és kenőanyag alkalmazása mellett gördítésével, belső vagy külső felületen megvalósuló felületszilárdítás.
- A szerszámacélból vagy golyóscsapágyacélból készített szerszám 20÷200 mm átmérőjű, 0,5÷200 mm lekerekítési sugarú.
- A hengerlőerő 200÷200.000 N, az előtolás 0,2÷2 mm/fordulat, a görgözési sebesség kisebb mint 200 m/s, az elérhető felületi érdesség 0,01÷1 μm .
- Fő alkalmazási területe éles sarkokban nyomófeszültség létrehozása, ezáltal a kifáradási tulajdonságok javítása (pl. forgattyús tengely).





Robbantásos és lézerimpulzusos felületszilárdítás

- **A robbantásos felületszilárdítás jellemzői:**
 - az elmozdulásban megakadályozott munkadarab felületi rétegének hidegalakítása detonáció lökéshullámai nem visszaverődő részének energiájával.
 - A kezelendő felületre terített robbanóanyag-réteg detonációja révén a nyomáshullám végighalad a fémfelületen, minek következtében a felületi réteg alakváltozik, tömörödik, keményedik.
- **Lézerimpulzusos felületszilárdítás jellemzői:**
 - Szintén lökéshullámokkal történik, amelyeket nagy energiájú lézerimpulzusok anyagra hatásakor képződő gőzök plazmaállapotba kerülése vált ki a fókuszált lézersugár hatáskeresztmetszetében.
 - A maradó nyomófeszültséget is eredményező kezelés a lézersugár lengetésével terjeszthető ki a teljes kezelendő felületre. Kezeléskor a fókuszolt lézersugár teljesítménysűrűsége $100 \div 1000 \text{ W/cm}^2$, impulzusainak időtartama $10^{-8} \div 10^{-6} \text{ s}$.



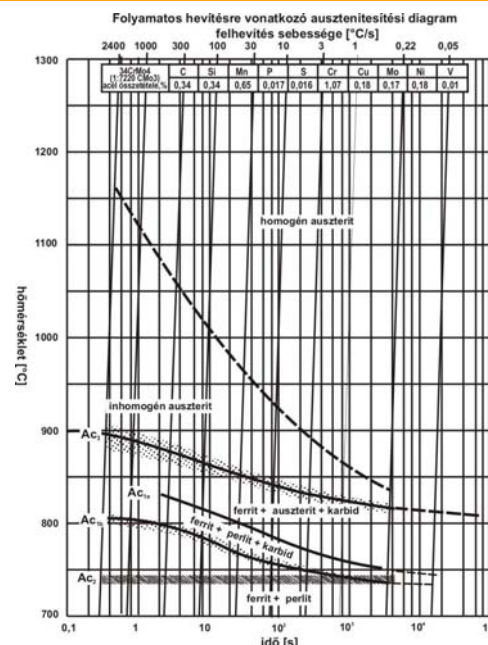
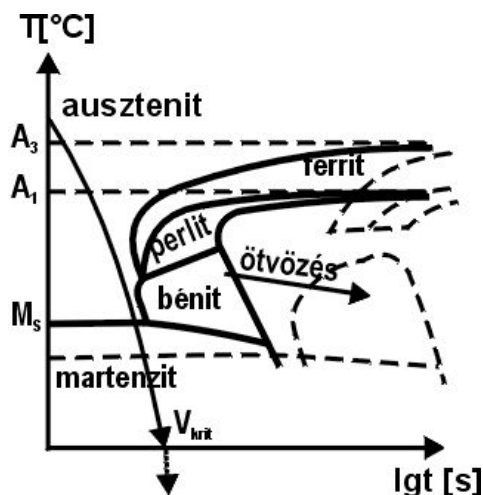
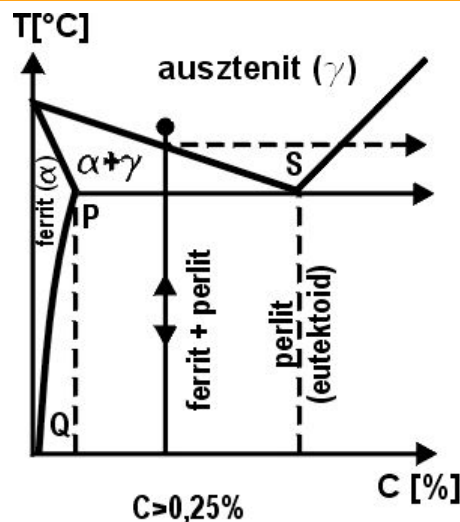
2. Felületi edzések

- A **nemegyensúlyi (martenzites) szövetszerkezetet létrehozó felületedzés** akkor valósul meg, ha az edzhetőség három kritériuma
 - az anyag megfelelő karbontartalma,
 - a munkadarab átalakulási hőmérséklet feletti izzítása,
 - a kritikusnál nagyobb hűlési sebesség közül a második csak bizonyos felületi kéregvastagságban teljesül.
- A teljes térfogatukban nemesített acél munkadarabok **felületének gyors felhevítése**
 - só- vagy fémolvadékba mártással,
 - éghető gáz lángjával ill. reakcióhőjével,
 - nagyfrekvenciás induktorral gerjesztett örvényáram- és mágneses hiszterézis-veszteséggel,
 - nagyhőmérsékletű technikai plazmával,
 - elektronsugár kinetikai energiájának átalakulásával,
 - vagy lézersugárzás abszorbeálódó fotonáramával történhet.
- A gyors lehűtést a nagyobb tömegében hidegen maradó munkadarab intenzív hőelvonása és/vagy a ráfújt vízpermet biztosítja.

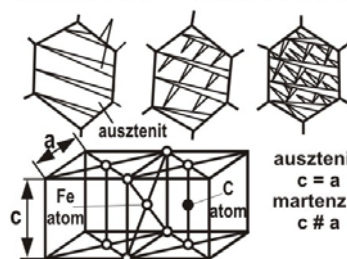


A felületi edzés elméleti alapjai

- Az acélok edzésekor végbemenő folyamatok:
 - Hevítés az ausztenit mezőbe
 - Gyors hűtés martenzites szerkezet eléréséhez
 - Megeresztés
- Mindezek a folyamatok csak a kéregre terjedjenek ki!!!**
- A folyamatot magyarázó ábrák:
 - Vas-szén állapotábra egyensúlyi hűtésre
 - Ausztenitációs diagram
 - Folyamatos hűtésre vonatkozó átalakulási diagram
 - Ausztenit → martenzit átalakulás



Martenzit tűk, első hullám Martenzit tűk, későbbi hullámok

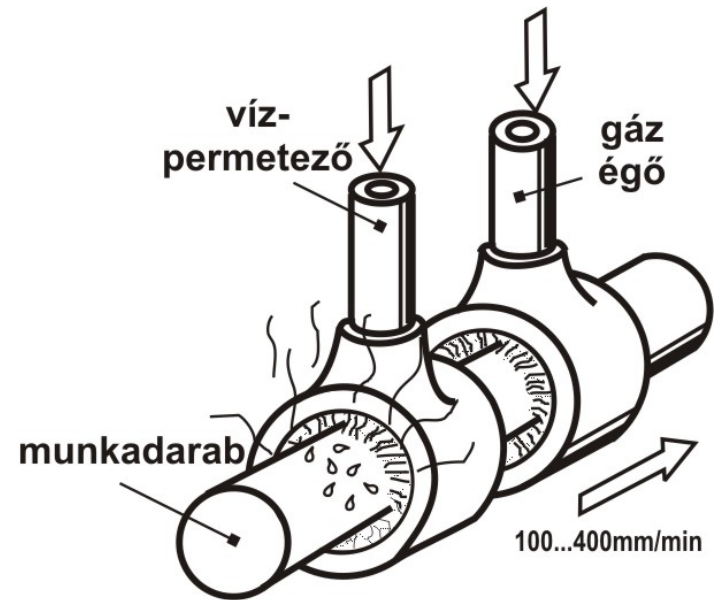
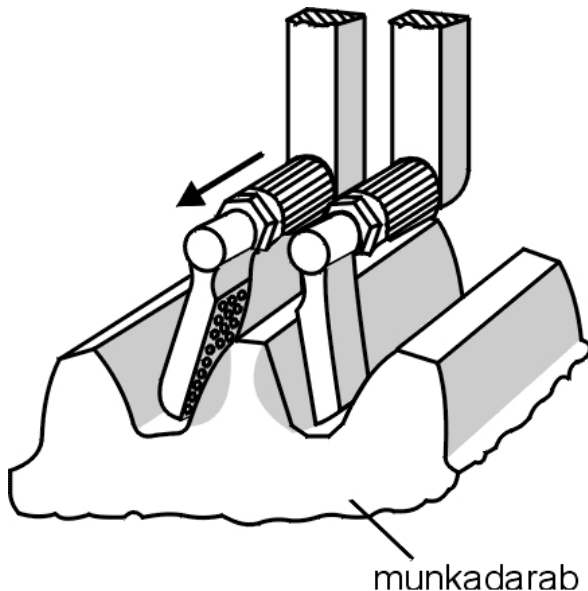


tűs martenzit kialakulása gyorsan lehűlő ausztenitből



Lángedzés

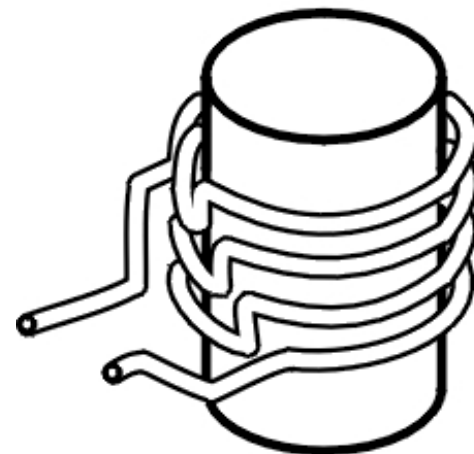
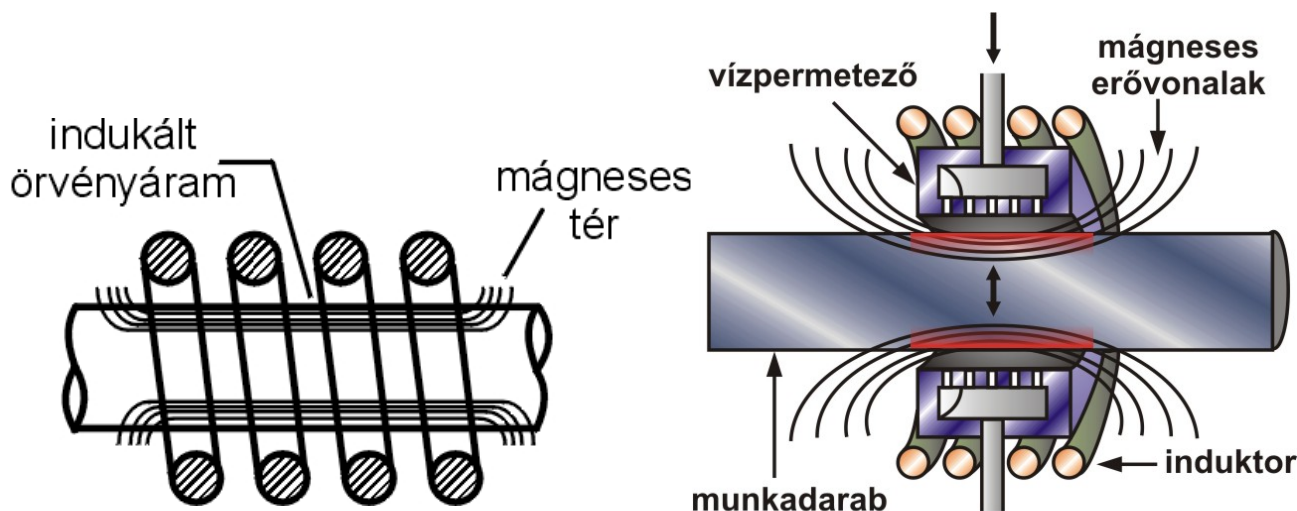
- A kéreg felhevítését nagy hőmérsékletű láng végzi (rendszerint oxigén-acetilén gázkeverék)
- A felhevített kérget vízzel hűtik, ezáltal 1...2 mm mélységben beedződik a felület
- Példák: fogaskerék és tengely lángedzése





Indukciós edzés

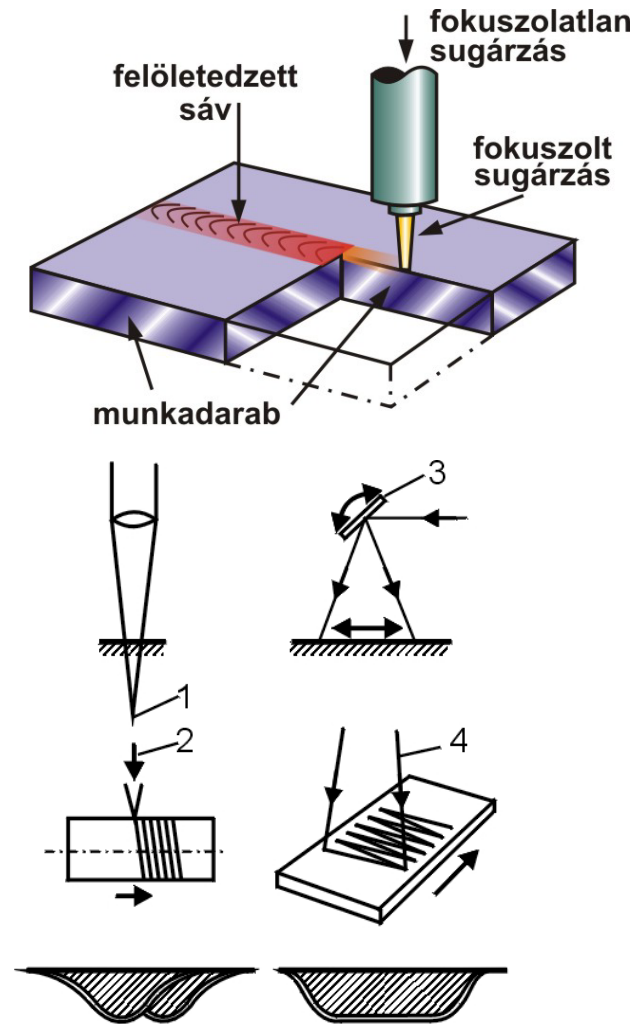
- Indukciós edzéskor a felületi réteget induktorral hevítik fel (primer tekercs az induktor, a szekunder tekercs a munkadarab, amelyet az örvényáramok melegítenek fel)
- Hengeres, sík és alakos felületek edzhetők, az eljárás jól szabályozható, termelékeny





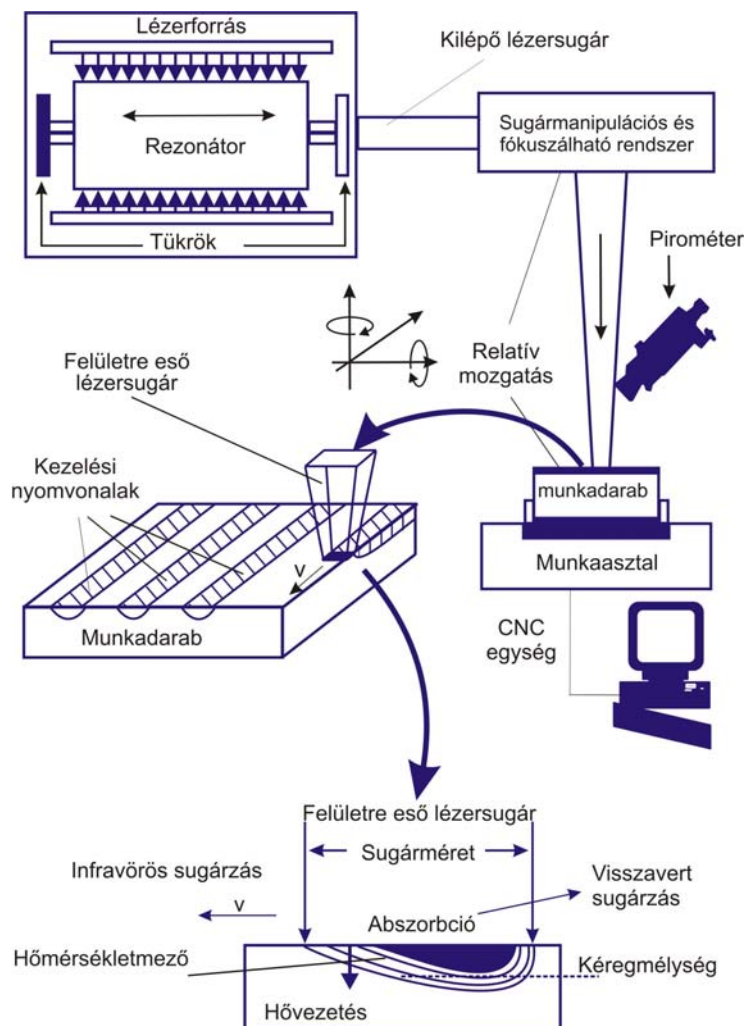
Lézeres edzés

- A **lézeres edzés** lézersugárral végzett hevítésből és azt követő hűtésből áll.
- Célszerű alkalmazásai a következők:
 - nagyméretű alkatrészek, amelyeknek csak néhány kritikus pontjában szükséges a keményítés;
 - nagy kiterjedésű felületek rasztermintás kezelése;
 - kisméretű alkatrészek, melyek lokálisan és torzulásmentesen más módszerrel nem kezelhetők.
- A felületi edzés csak akkor lehet gazdaságos lézerrel, ha azt más, hagyományos módszerekkel nem, vagy csak káros kompromisszumok árán lehet megvalósítani.
- A lézersugár foltja vándorol a kezelendő felszínen, tehát összefüggő homogén hőkezelt réteg többnyire nem érhető el. Az egymás mellett futó, lézerrel edzett sávok között mindig van valamilyen mértékben megeresztődött rész.



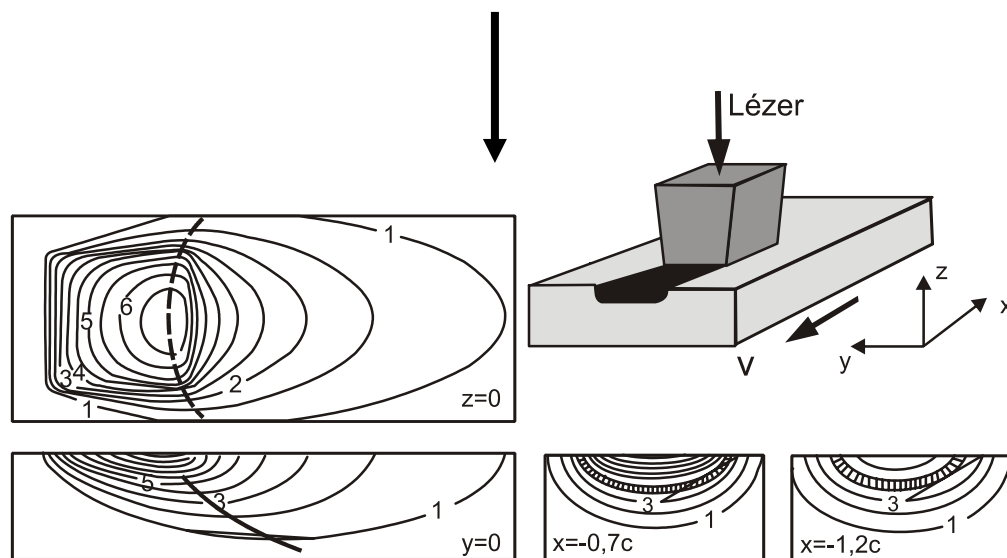


A lézeres edzés megvalósítása



Lézeres hőkezelő berendezés

Hőhatás övezet





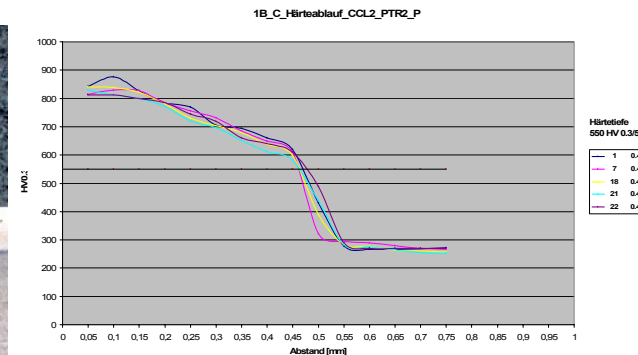
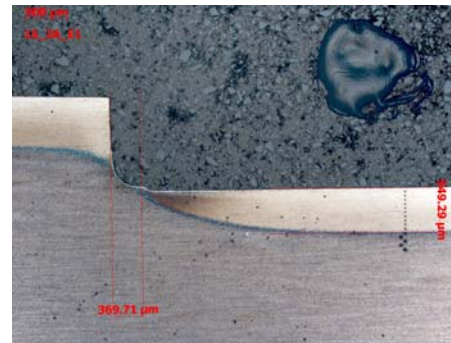
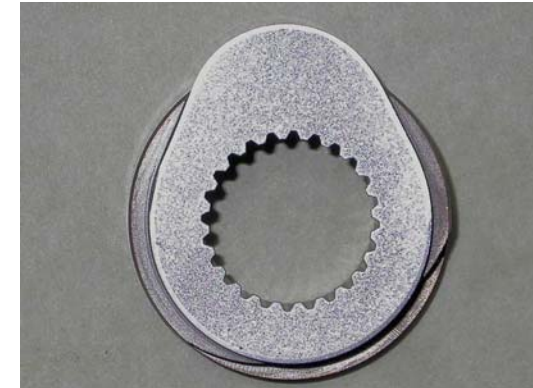
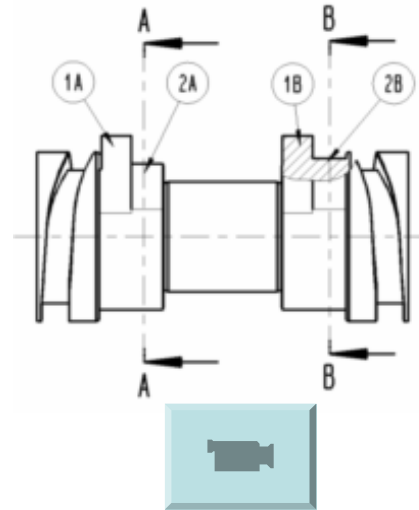
A lézeres edzés technológiai paraméterei

- A lézeres edzés három szakaszra bontható:
 - Az első szakasz a **hevítés** Ac_1 illetve Ac_3 hőmérséklet fölé,
 - A második egy **hőntartási** szakasz, amelynek során az alapszövet lehető legnagyobb részének ausztenitté kell alakulnia.
 - A befejező **hűtési** szakaszban – megfelelően nagy hűtési sebesség esetén – martenzites szövetszerkezet alakul ki.
- A lézeres edzéskor a **hevítés sebessége** $10^3 \div 10^7$ K/s között változik.
 - Ez jelentősen meghaladja a hagyományos hőkezelő eljárásoknál szokásos értékeket, ezért itt az ausztenitesítési hőmérséklet is feljebb tolódik.
 - A magasabb hőmérséklet kedvező az ausztenit kialakulása szempontjából, mivel az diffúziós folyamat eredménye és a diffúziós folyamatok sebessége exponenciális összefüggésben van a hőmérséklettel.
 - Ezért lézeres edzéskor az ausztenites átalakulás időszükséglete jelentősen lecsökken, kicsi lehet a hőntartási idő.
- A külön **hűtőközeg nélküli önedződésre** jellemző **hűlési sebesség** 10^3 - 10^5 K/s között változhat.
- Lézeres hőkezeléssel $0,05 \div 1$ mm mélységű edzett kéreg állítható elő, melynek keménysége meghalad(hat)ja a hagyományos eljárásokkal előállítható értéket. Ez megfelel annak a fejlődési iránynak, mely szerint az **edzett rétegek vékonyak**, de a **lehető legnagyobb keménységűek** legyenek.



Elektronsugaras edzés

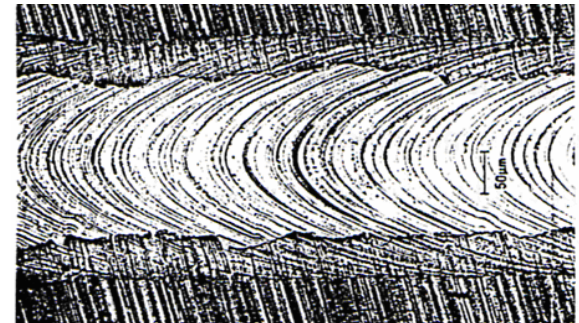
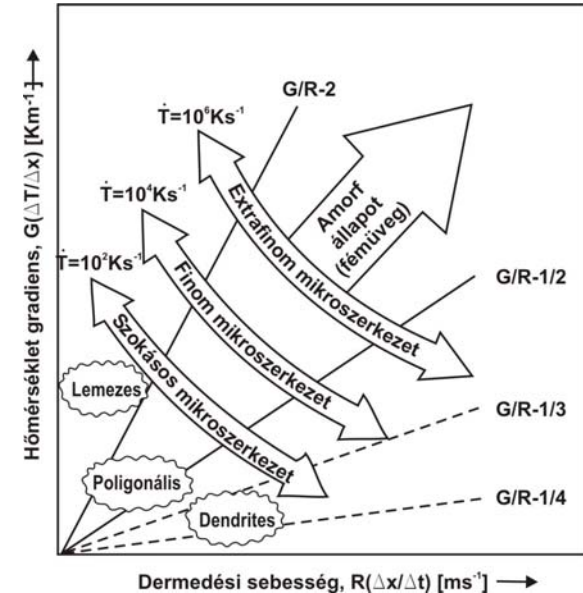
- A lézersugárhoz hasonlóan az elektronsugár is alkalmas felületi edzésre
- Sajátosságok:
 - A munkadarabot vákuum kamrába kell helyezni
 - A sugárnyaláb intenzitása jól szabályozható, a felület pásztázható
 - Tiszta, egzakt technológiai körülmények hozhatók létre
- A két eljárás részben konkurens egymásnak
- Példa: vezérmű tengely elektronsugaras edzése (edzés előtt a kéreg nitridálva)





3. Felületi átolvasztás

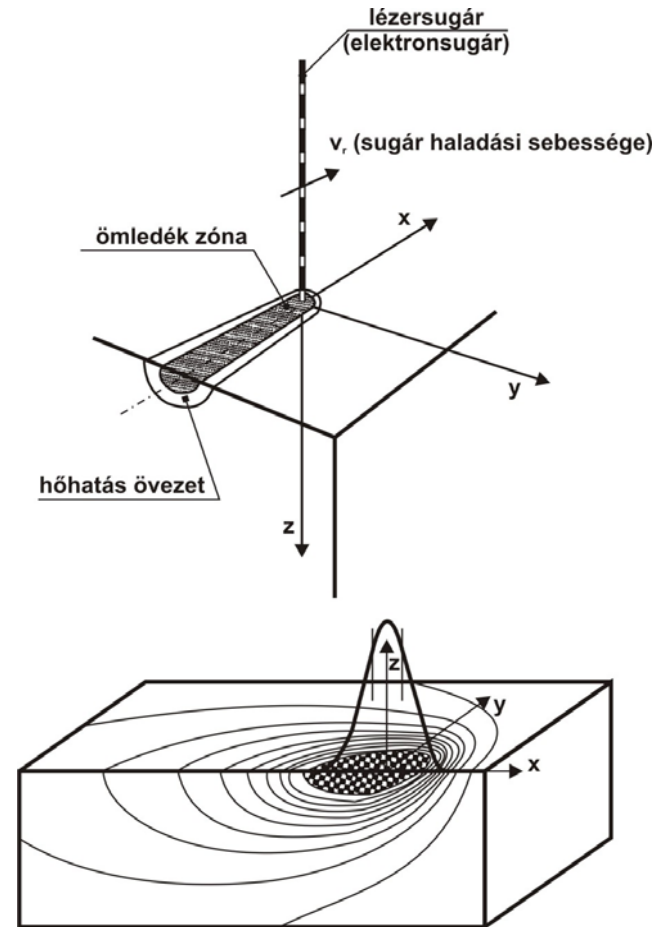
- A **lézer-**, az **elektron-** és a **plazmasugár** kellően nagy teljesítményének igen kicsi felületre (fókuszfoltra) koncentrálásával a munkadarab vékony **felületi rétege megolvasztható**, sőt elgőzölögtethető.
- Mivel a munkadarab térfogata túlnyomórészt hideg állapotban marad, így annak hőelvonó (hűtő) hatása **igen nagy dermedési sebességet** idéz elő a megolvadt rétegben.
- Az átolvasztási folyamat után az anyag megdermed és újrakristályosodik, eközben rendkívül finom szerkezet alakulhat ki
- Az olvadék megszilárdulása 10^5 K/s vagy még ennél is nagyobb sebességgel következik be. A gyors megszilárdulás miatt metastabil állapotú anyag jön létre, melyet
 - finom szemcseszerkezet,
 - metastabilis fázisok kialakulása,
 - egyes ötvözőelemek oldékonyságának növekedése,
 - a diszperz fázisok (kiválások) kis mérete és homogén eloszlása,
 - esetleg **amorf, üvegszerű atomi szerkezet megjelenése** jellemez.





Felületi átolvasztó berendezések

- Az amorf és mikrokristályos felületi rétegek olvasztással történő létrehozására a **lézeres ill. elektronsugaras berendezéseket** használják.
- Mindkét esetben vagy a sugárnyalábot vagy a munkadarabot mozgatják. Eredményül "csíkozott" felületet kapnak.
- A lézeres felületi olvasztásnál a fény jelentős része (80...90 %-a) visszaverődik a felületről, ezt különféle bevonatokkal csökkenteni lehet. Leginkább folyamatos üzemű CO_2 teljesítménylézereket (500 W felett), vagy impulzusüzemű szilárdtest- ill. excimer lézereket használnak. Utóbbiakkal sikerült az eddigi legnagyobb megszilárdulási sebességeket ($>10^{12}$ K/s) elérni.
- Elektronsugaras felületi olvasztásokat általában kissé módosított elektronsugaras hegesztő-berendezésekkel végeznek, a foltátmérő általában néhány mm, a teljesítmény néhány száz W.





Az amorf rétegek tulajdonságai

- Az amorf anyagok olyan szilárd testek, melyekben **nincs hosszú távú kristálytani rendezettség**. A legújabb vizsgálatok ugyanakkor kimutatták rövid távú, ún. kémiai rend létezését. Az amorf fémek gyakorlatilag fontos tulajdonságai ill. a tulajdonságok sajátos kombinációja ezen két tényezőre vezethetők vissza.
- A rövid távú rendtől függ a mágnesezhetőség, a Curie-pont, a magnetostrikciós állandó, a szakítószilárdság, a keménység, az elektromos ellenállás hőfoktényezője stb.
- A hosszú távú rendezetlenségnek megfelelő homogenitás és izotrópia magyarázza meg a nagy permeabilitást, a kis koercitív erőt, az akusztikus rezgések csillapítását, a nagy elektromos és korróziós ellenállást, az alakítási keménység hiányát és a szakítószilárdság iránytól való függetlenségét.
- Az **amorf fémek** egyedi módon társítanak olyan **tulajdonságokat**, melyek a hagyományos (kristályos szerkezetű) fémeknél összeférhetetlennek tűntek, pl.
 - a mechanikai keménységet és kopásállóságot a kedvező lágymágneses tulajdonságokkal;
 - a nagy magnetostrikciós állandót és ΔE effektust nagy rugalmassági modulussal;
 - a kis mágnesezési veszteséget nagy mágnesezhetőséggel;
 - a nagy keménységet és szakítószilárdságot nagy mechanikai szívóssággal.



A felületi átolvasztás főbb alkalmazásai

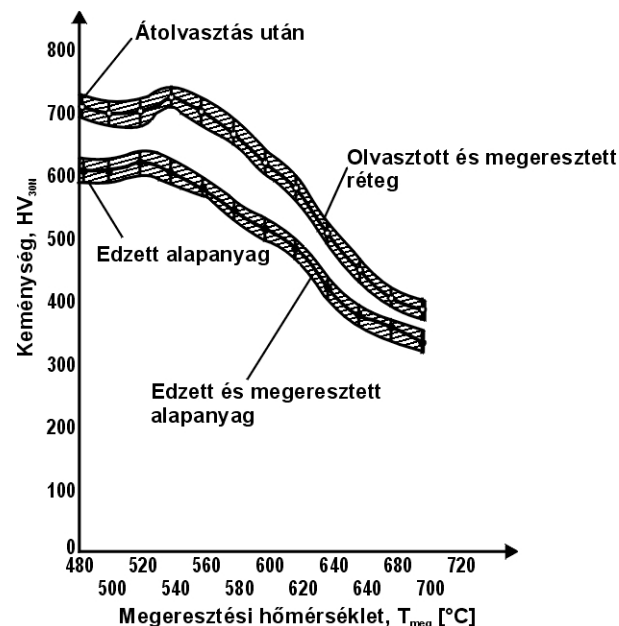
- A felületi átolvasztásnak főképp a **forgácsmentes alakítás szerszámainak gyártásában** van nagy perspektívája.
- A **melegalakító szerszámoknál** fő kritériumok
 - a keménység (kopásállóság)
 - és a megeresztés állóság, a felületi rétegek termikus stabilitása is.
 - A megeresztésállóság lényegesen nagyobb mérvű javítása felületötvöztéstől, azaz átolvasztás és ötvözőbevitel együttes alkalmazásától remélhető.
- **Hidegalakító szerszámok** esetében a kopásállóság, azaz a felületi keménység növelésével élettartam javulást lehet remélni.
- A felületi átolvasztás során – a szerszámok működő felületein – az acélátolvasztás (finomítás) és a porkohászati porgyártás **gyorsdermesztési folyamatához** hasonlóan szándékoznak finomítani az eutektikus karbideloszlást, amely szintén élettartam növelő hatású



Felületi átolvasztás hatása: esettanulmány

Jelenségek vasötvözetekben

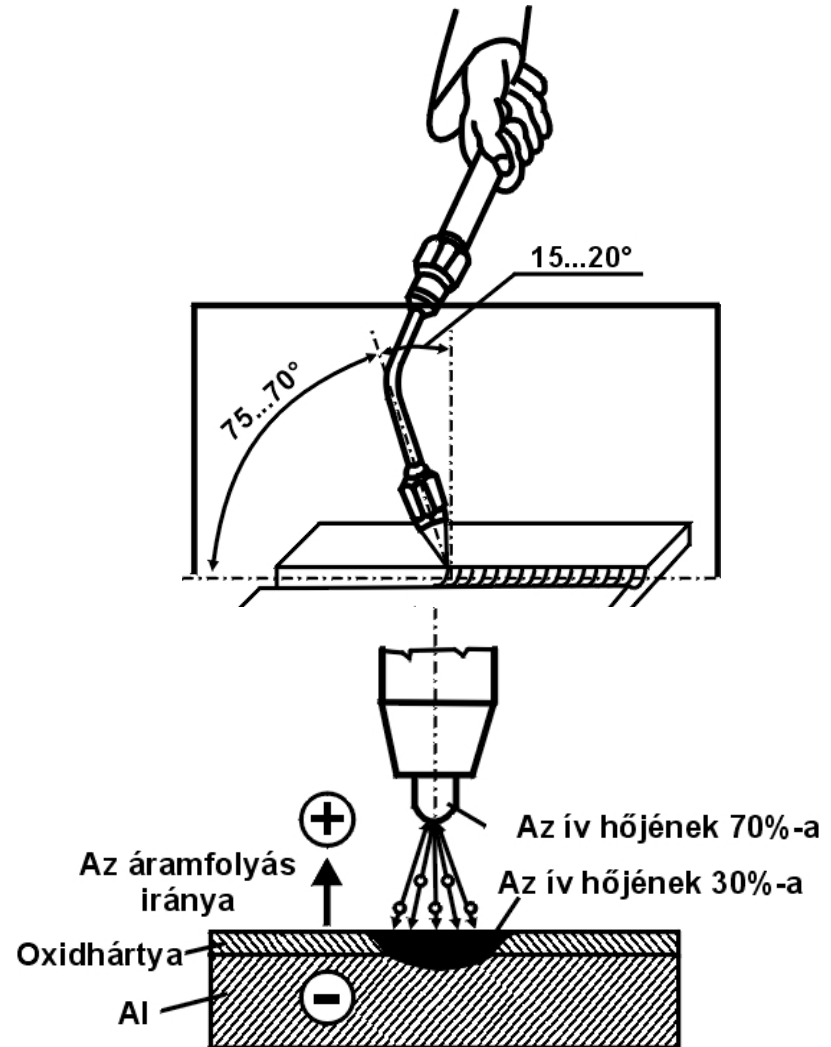
- a **karbidok oldódása** az erősen túlhevített olvadékban az ömledék rövid létezési idejének ellenére végbemegy;
- a **nagyobb oldott ötvözőtartalom** miatt csökken az M_s hőmérséklet;
- a finom szemcseméret, a kis szemcsékben létrejövő igen **finom tűs martenzit** és kialakuló **diszperz mikrokiválások** a szilárdság illetve a keménység jelentős növekedését idézik elő
- a **finom szemcseméret** a **szívósság növekedését** eredményezheti;
- erőteljesebb **kiválásokos keményedés**, ezáltal **nagyobb melegszilárdság** illetve melegkeménység érhető el megeresztéskor
- **öntöttvas** termékek felületi rétegében stabilis **grafit helyett metastabilis vaskarbid precipitátumok** hozhatók létre kopásállóbb ledeburitba foglalva.





4. Felolvasztó hegesztés

- A **felolvasztó hegesztés** is tulajdonképpen felületi átolvasztás, de az elérhető energiasűrűség, dermedési sebesség, ill. szerkezetmódosulás "szerényebb".
- Olyan ömlesztő hegesztési eljárások jöhetnek itt szóba, amelyek hozaganyagadagolás nélkül is "működnek". Ezért **lánghegesztéssel és volfrámelektrodás semleges védőgázos ívhegesztéssel** lehet felolvasztó kezeléseket végezni,
- Alkalmazás: pl. öntöttvas termékek felületi rétegében grafit helyett metastabil, kopásállóbb vaskarbid (ledeburit) létrehozása (kéregöntvényhez hasonló szerkezet).





Esettanulmányok

Széndioxid lézer

- **5 kW-os CO₂ gázlézer**
(BAYATI)
(hullámhosszúsága 10 600 nm)
5 tengelyes CNC sugárvezetéssel, ami térbeli megmunkálást is lehetővé tesz.

Lézer:

- teljesítmény: 50 W-5000 W 1%-onként változtatható
- üzemállapota lehet folyamatos vagy impulzus
- impulzusüzemben 100 Hz-100 kHz frekvenciatartományban

Megmunkáló fejek:

- vágófej
- hegesztőfej
- poradagoló fej (felületötvözéshez)
- tükörreztető fej (sávos felületkezelés)

Tengelyek:

- X = 0-1250 (850,1550)* mm
- Y = 0-1000 (600,1300)* mm
- Z = 0-500 mm
- B = Y tengely körül -120°...+120°
- C = teljes körforgás a Z tengely körül
- A repülő optika alá betehető legmagasabb megmunkálandó darab 1200 mm





Nd:YAG szilárdtest lézer

- **2,7 kW Nd:YAG szilárdtest lézer (BAYATI)**

(hullámhosszúsága 1064 nm)
Üvegszálás, robotos (7 tengelyes)
sugárvezetéssel +1 külső forgótengely
munkadarabok mozgására

Lézer:

- teljesítmény: 200 W-2700 W
- üzemállapota lehet folyamatos vagy impulzus
- impulzusüzemben 0 Hz-250 Hz frekvenciatartományban

Megmunkáló fejek:

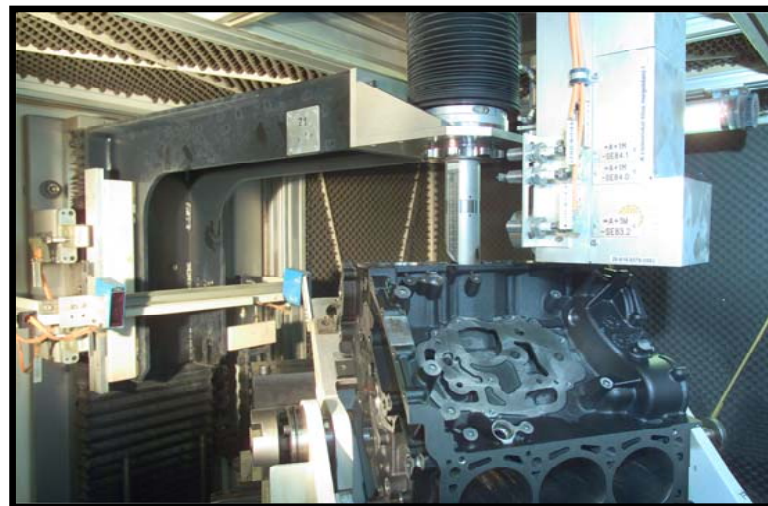
- vágófej (Precitec) $f = 70$ mm
- hegesztőfej (Rofin Sinar) $f = 200$ mm
- scanner-fej 110x110 mm
- huzaladagoló (hozaganyagos hegesztéshez)





Excimer lézer (ismétlés)

- Futófelület megvilágítás
EXCIMER-Lézerrel (AUDI)
 - Hullámhossz 308 nm (UV)
 - Frekvencia 300 Hz
 - Impulzus idő 25 ns
- Lézer tulajdonságai
 - Szélesség 3,4 mm
 - Magasság 6,5 mm
 - Intenzitás 25 mJ/mm²
 - 4-szeres megvilágítás
- A hengerfelület kezelése
 - Motorblokk forgatás
 - Lézer ágyú tengelyirányú mozgatása





Lézeres megmunkálások

- Vágás
- Hegesztés
- Fogaskerék edzése

