



Felületi technológiák

Duplex felületkezelések

Duplex anyagszerkezet-módosulatok

Duplex termokémiai kezelések

Duplex felületkezelések



A duplex kezelések általános jellemzése

- Az acélok anyagszerkezet-módosulásai ill. az azokat kiváltó technológiai hatások kapcsán a "**duplex**" jelző többféle értelemben fordul elő
 - Általánosságban két vagy több felületi kezelés alkalmazása a felületi tulajdonságok javítása érdekében
 - Speciálisabb esetekre korlátozva valamilyen **hőkezelés, termokémiai kezelés, felületkezelés alkalmazása és/vagy a nitrogén mint ötvöző jelenléte, bevitele.**
- A duplex kezelések tervezésekor az egymást követő eljárásoknál a kezelési hőmérsékleteket kell elsősorban figyelembe venni (milyen hatással van a második kezelés az első kezelés által létrehozott szerkezetre)
- Több eljárás kombináció esetében igazolt, hogy a hatások egymást erősítik, a két kezelés együttesen jobb tulajdonságokat eredményez, mint egy-egy önálló kezelés



Duplex anyagszerkezet-módosulatok

- Duplex szerkezetűnek tekintjük azokat a módosulatokat, ahol finom/durva szemcsék vagy erősen eltérő tulajdonságú fázisok alkotják a szövetszerkezetet, és ezáltal kedvezőbb tulajdonság kombinációk jönnek létre
- Duplex szövet finom és durva szemcsék kombinációjával
 - Ausztenitesítő izzításkor alumínium és/vagy vanádium mellett nitrogént is tartalmazó ún. finomszemcsés acélok szövetében kb. 950 °C-on, a többi nitridképzővel (Ti, Zr, Nb) ötvözött acélokban pedig kb. 1050 °C-on a finom ausztenit szemcsék környezetében igen nagy szemcsék is megjelennek, s egy kb. 50 °C-os hőmérséklet-tartományban egymás mellett találjuk azokat
- Duálfázisú (DP) acélok
 - Nagy szilárdság (600 MPa) és jó alakíthatóság ($A \sim 15\%$) párosul ezeknél az acéloknál
 - Mikroszerkezetük két fázisból, ferritből és martenzitből áll. A kedvezőbb képlékenység a ferrites, a növelt szilárdság a martenzites fázisnak köszönhető, így ezek megfelelő részarányával az eredő tulajdonságok célszerűen befolyásolhatók,
 - A duálfázisú szövet előállítása pl. interkritikus (A_1 és A_3 átalakulási hőmérsékletek közötti) hevítést, majd azt követő gyors hűtést magába foglaló hőkezeléssel történhet.
- A kétfázisú vagy **duplex korrózióálló acélok** jellemzői:
 - A ferrit és az ausztenit kb. egyenlő részaránya a szövetszerkezetben,
 - Viszonylag nagy szilárdság (az ausztenites acélok folyáshatárának kétszerese)
 - Kiváló feszültségkorrózió-állóság elsősorban kloridos közegben.



A duplex eljárások lehetséges változatai

- A kombinálható eljárásokat rendszerező ábra tartalmazza a duplex termokémiai és felületkezelési eljárásokat.
- Az "X"-szel jelölt változatok előnytelenek ill. nem értelmezhetők, a "?"-lel jelöltek elvileg elképzelhetők, míg az "0"-val jelöltek a gyakorlatban (kísérletileg, iparilag) már kipróbált ill. publikált lehetőségeket takarnak.
- Ez utóbbiak közül kiemelhetők azok, amelyek valamilyen termokémiai elő- vagy utókezelést foglalnak magukba.

1. kezelés		2. kezelés													összetétel-változtató	
		összetétel-hagyó		felületkezelés											felületkezelés nélküli	
		fel.olv. nélküli	fel.olv. vasztó	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	felületkezelés	fel.olv. vasztó	
összetétel-változtató	felület-olvasztó	felületkezelés (ütőtestekkel, szerszámmal, lökéshullámokkal)	X	X	X	X	?	X	X	?	X	0	X	X	X	
		felületkezelés (indukciósan, elektronsugárral, lézerrel)	X	X	X	X	?	X	X	X	0	X	0	X	X	
		felületi átolvasztás (elektronsugárral, lézerrel)	X	?	X	X	?	?	X	?	?	?	?	0	X	
		átolvasztó hegesztés (gáz-, AWI-, vagy plazmahegesztéssel)	X	?	X	X	?	?	X	?	?	?	?	?	X	
	felületkezelés nélküli	fémleválasztás (külső áramforrás nélkül, galvanizálással)	X	X	?	X	0	X	X	X	0	?	X	X	X	
		termikus szórás (lánggal, ívvel, plazmával, lézerrel, robbantással)	X	X	0	?	X	0	X	X	X	X	X	0	0	
		plattírozás (alakítószerszámmal, dörzshatással, robbantással)	?	?	X	X	?	X	?	X	?	?	X	?	0	
		PVD (hagyományosan, plazma- vagy lézerezéssel)	X	X	X	X	X	X	?	?	?	X	X	X	X	
		CVD (hagyományosan, plazma- vagy lézerezéssel)	X	X	X	X	X	0	?	?	?	X	X	X	X	
		ionimplantáció (fémes és nemfémes ionokkal)	?	?	X	X	?	X	X	X	?	?	?	?	X	
		passzíválás (kémiai vagy anódos oxidálás, vegyületreteg-képzés)	X	X	X	0	?	X	0	0	?	?	X	X	X	
		termokémiai kezelés: cementálás	X	0	X	?	X	X	0	0	?	?	X	0	X	
		termokémiai kezelés: nitrocementálás	X	0	X	?	X	X	0	0	0	?	X	X	X	
termokémiai kezelés: nitridálás		X	0	X	?	?	X	0	0	0	?	X	X	X		
felületi ráolvasztás (lánggal, plazmával, lézerrel)		X	X	?	X	X	X	X	X	?	X	X	?	X		
felülettötvőzés (elektronsugárral, lézerrel)		0	0	X	?	X	X	0	X	?	?	?	0	X		
felrakó hegesztés (gáz- vagy ívhegesztéssel)	0	0	X	?	X	X	X	X	?	?	?	?	X			



Duplex termokémiai kezelések

- A **duplex termokémiai kezelés** a **cementálást és a nitridálást** kombináló eljárás, ami a cementált (majd edzett ill. megeresztett) felület nitridálását jelenti. Ehhez az acélnek $500\div 550$ °C-on stabil cementites-karbidos szerkezettel - azaz kellő megeresztésállósággal - és megfelelő mennyiségű nitridképző-tartalommal kell rendelkeznie.
- A technológia kivitelezése:
 - „**Előoxidáció**” ($950^{\circ}\text{C}/30\text{perc}/\text{levegő}$), melynek eredményeként az oxid-fém határfelületen oxidpenetráció megy végbe és az így képződő határfelületi háló elősegíti a karbon diffúzióját.
 - **Gázcementálás** kb. 925°C -on, $10\div 12$ óra
 - **Edzés** és kb. $540\div 550^{\circ}\text{C}$ -os megeresztés
 - **Gáz- vagy a plazmanitridálás** $500\div 520^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten.
- Változat: a cementálást **alacsony hőmérsékletű nitridálással** kombinálják.
 - Edzés utáni megeresztés 425°C -on
 - Plazmanitridálás 400°C -on (pl. 25 % N_2 + 75 % H_2 atmoszférában, 60 órán át)



Duplex felületkezelések

- A **duplex felületkezelések két egymást követően végrehajtott felületkezelést kombináló**, anyagok ill. belőlük készülő termékek károsodásállóságának (pl. kopásállóság, megeresztésállóság, korrózióállóság, ...) javítása érdekében alkalmazható **technológiák**.
- Az eljárások **alkalmazhatósági kérdései**
 - Milyen **előnyökkel** jár egy kétlépcsős, többletköltséggel járó kezelés, mint külön-külön egy kezelés alkalmazása?
 - Ha duplex felületkezelést alkalmazunk, akkor melyik **sorrendet** válasszunk: pl. nitridálás majd lézeres edzés vagy lézeres edzés és azt követő nitridálás?
 - Egy újabb kérdésként vetődhet fel: milyen az így kapott felületi réteg **termikus stabilitása** (megeresztésállósága)?
- Tapasztalatok szerint a duplex felületkezelések alkalmazása sok esetben az eredő tulajdonságok javulását okozza



Duplex felületkezelések (eljárás változatok)

- **Termokémiai kezelés** (pl. plazmanitridálás vagy gázcementálás) + igen kemény, de rideg, keramikus jellegű (pl. TiN, TiCN, TiAlN, CrN, ...) tribológiai réteget képező **PVD** vagy **CVD** alkalmazása
- Elektronsugaras ill. lézeres **felületi átolvasztás vagy felületötvözés + nitridálás.**
- **Termikus (láng-, plazma-) szórás + (plazma-, gáz-, gázoxi-) nitridálás** kombinációja lehetővé teszi olyan bevonatok készítését, amelyek nagyobb ellenállást tanúsítanak komplex terhelési viszonyok esetén.
- A **nitridálás** (vagy nitrocementálás) + **ionimplantáció** hatása elsősorban a felületi feszültségállapot még kedvezőbb megváltoztatását célozza.
- Normalizált vagy nemesített alapanyagon 570 °C-os, 4÷8 órás, gázközegű **nitrocementálás + CO₂-lézeres felületedzés** (kopásállóság fokozása)
- **Lézeres felületedzés + nitridálás** (a tribológiai igénybevételekkel szembeni ellenállás növekedése ill. a Herz-feszültség okozta fáradásos kopás csökkentése)
- Stb...



Lézeres felületedzés és nitridálás kombinálása (1. esettanulmány - 1)

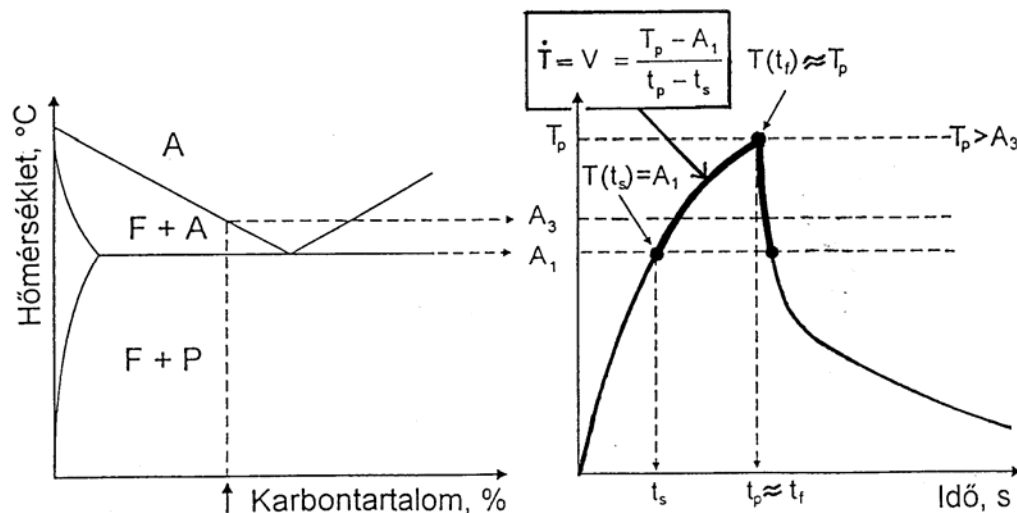
- Alapanyag: 40 CrMnMo7 jelű, nitridálható "műanyag-megmunkáló **szerszámacél**"
- Kémiai összetétele: 0,37 % C, 0,29 % Si, 1,50 Mn, 1,88 % Cr, 0,17 % Mo, 0,39 % Mo, a többi Fe.
- Edzése 840÷860 °C-ról olajban, 860÷880 °C-ról levegőn történhet, amely utáni megeresztés hatására kb. 300 °C-ig kevésbé, felette intenzívebben csökken az acél (meleg)kopásállósággal illetve megeresztésállósággal összefüggő keménysége. Szilárdsága nemesített szállítási állapotban kb. 1000 MPa, keménysége kb. 300 HB.
- Javasolt felhasználási területe: közepes és nagyméretű műanyag-fröccsöntő szerszámok, műanyag- és fém-fröccsöntő szerszámok, általános gépépítés különböző szerkezeti elemei
- A felületkezelés nélkül elérhető tulajdonságok további kezeléssel javíthatók (lézeres felületedzés + nitridálás)



Lézeres felületedzés és nitridálás kombinálása (1. esettanulmány - 2)

Lézeres felületedzés:

- "Graphite 33" abszorpciónövelő bevonattal való kezelés
- Lézertechnológiai paraméterek:
 - a felületi fókuszfolt méret $d_f = 7,2 \text{ mm}$;
 - a sugárrezgetés frekvenciája $f_s = 100 \text{ Hz}$ ill. amplitúdója $A_s = 10,5 \text{ mm}$,
 - jelalakja Δ ; a P lézerteljesítmény 1250, 1850, 2500 és 3150 W;
 - a munkadarabok v_r relatív (lézersugárhoz viszonyított) sebessége 400, 600, 800 mm/min
 - e két utóbbi paraméterből származtatható $q = P/v_r$ fajlagos hőbevitel (vonalenergia) 126 és 187,5 J/mm



Felületedzéskor a kéreg igen gyorsan hevül fel az ausztenitesítési hőmérsékletre ill. nagyon gyorsan hűl le arról, gyakorlatilag nincs hagyományos értelemben vett hőntartás.

A karbidok mind teljesebb oldódása érdekében akár 200÷300 C°-kal az A₃ fölé kell hevíteni a kérget, hogy a **gyors hőciklus** A₁ illetve A₃ hőmérsékletek feletti szakaszának időintervalluma hosszabb legyen



Lézeres felületedzés és nitridálás kombinálása (1. esettanulmány - 3)

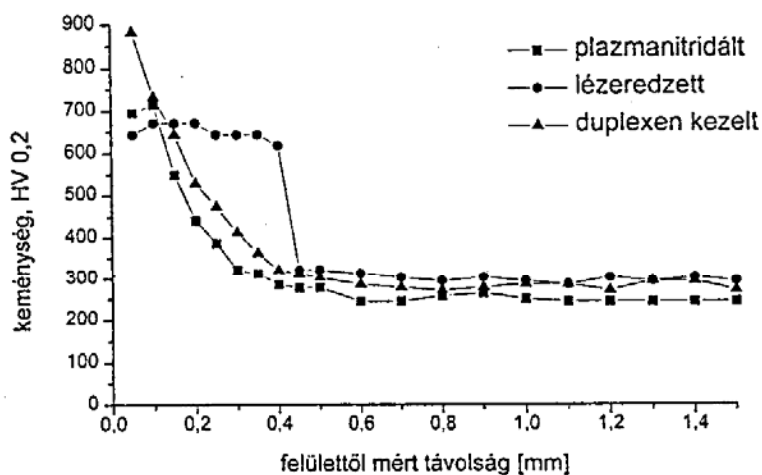
Második kezelés:

- **Plazmanitridáló** berendezésben végzett termokémiai **kezelés**
 - vákuumtér nyomása: 0,62 mbar = 62 Pa;
 - maximális feszültség: 900 V; maximális áramerősség: 40 A;
 - gázösszetétel (plazmaalkotók): 25 % N₂ + 75 % H₂ + 0 % Ar + 0 % CH₄;
gáznyomás (plazmaalkotók): 5 mbar = 500 Pa;
 - felhevítés sebessége 500 °C/óra; felhevítés időtartama 1,15 óra; hőntartás hőmérséklete: 520 °C; hőntartás időtartama: 20 óra
- A nitridálás megfelelő (kb. 0,3÷0,4 % C-tartalmú, nitridképzőkkel ötvözött, 600÷650 °C-os megeresztéssel nemesített) acélon **keményebb kérget hoz létre, mint a betétedzés** (cementálás + edzés). A nitridált kéreg legkeményebb része nem közvetlenül a felületen van, hanem a beljebb lévő γ' -fázisú vagy a martenzitessé alakuló nitro-ausztenites rétegbe esik.

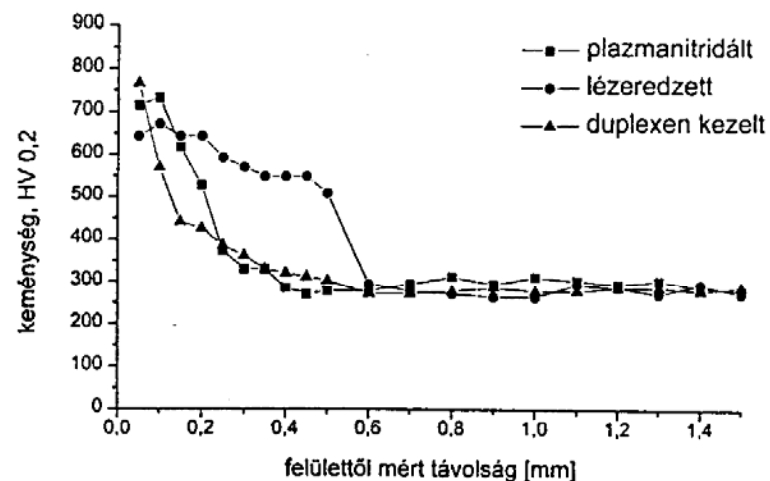


Lézeres felületedzés és nitridálás kombinálása (1. esettanulmány - 4)

- A diagramokon szerepelnek külön a felületedzés illetve külön a nitridálás utáni keménységeloszlási görbék is.
- A megnövelt keménységű kéreg vastagsága az azonos hőbevitelű ($q \approx 187$ J/mm) lézeredzéseket követő plazmanitridálás hatására ugyan csökkent, de a keménységmaximum mindkét "szimplex" eljáráséhoz képest növekedett.
- A duplexen kezelt növelt keménységű kéreg vastagsága egy keskeny "támasztó" zónával nagyobb, mint a plazmanitridálté.



lézeredzés: 1250W / 400 mm/min → 187,5 J/mm

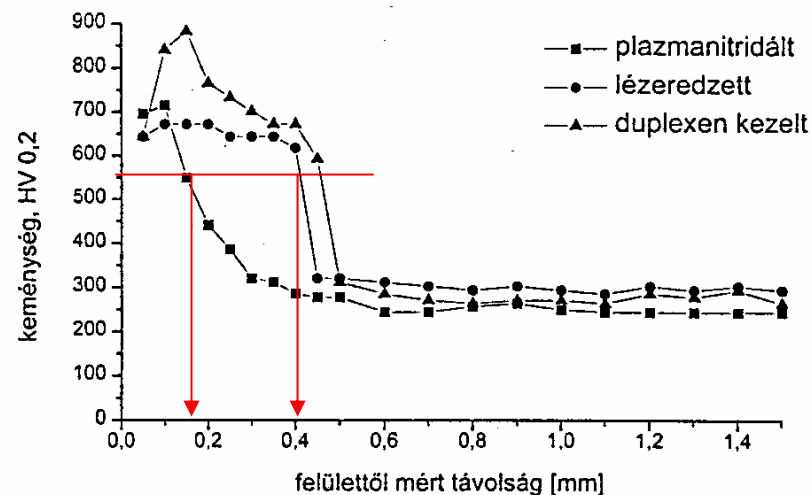


lézeredzés: 3150W / 1000 mm/min → 189,0 J/mm



Nitridálás és lézeres felületedzés kombinálása (2. esettanulmány)

- Ennél a kezelésnél a **nitridálást** nem megelőzi, hanem **követi a lézeres felületedzés**.
- A duplex kezelés szembetűnő eredménye a magas keménységű zóna megnövekedett mélysége, ami meghaladja mind a lézeredzés, mind a plazmanitridálás utánit.
- Az edzhetőségi határértéknek tekinthető 550 HV keménységszintnél mérhető zónanövekmény mintegy 0,3÷0,5 mm, ami az eredeti (plazmanitridált) 0,15÷0,25 mm kéregmélységnek 200 %-a.



lézeredzés: 1250W / 400 mm/min → 187,5 J/mm



Az eljárások értékelése (1)

- A **duplex felületkezelés** egyik előnye a **gyorsabb kezelés lehetősége**, ugyanis a felhasználás szempontjából szükséges elegendően nagy kéregvastagság elérése pusztán csak nitridálás alkalmazásával igen hosszú diffúziós időtartamot igényelne. A másik várható előny, hogy a csak felületedzett állapothoz képest a nitridálás "hozzáadása" a kéreg **kedvezőbb termikus stabilitását** eredményez(het)i.
- Ha a lézeres edzést a nitridálás előtt alkalmazzuk, akkor
 - a már felületedzett zóna hosszabb időtartamú megeresztés alá kerül, miközben a nitrogén diffúziója zajlik. Ekkor a kemény kéreg vastagsága némileg csökken, viszont termikus stabilitása a nagyobb keménységmaximum révén javul
 - a csak nitridált kéregéhez képest egy növelt keménységű támasztó rétegnövekmény is észlelhető.
 - ez a duplex felületkezelés egy olyan "**karbonitridálás**", mely az acél kiválasztásával "meghatározott" karbontartalomra történik. A nitridálás hőmérsékletét jól kell illeszteni az acél alapanyaghoz.



Az eljárások értékelése (2)

- Ha a lézeres edzést a nitridálás után alkalmazzuk, akkor
 - Egy olyan konstans karbontartalom-átlag melletti "**nitrocementálást**" végzünk, ami a diffúziós réteg mélységét, azaz a kemény kéreg vastagságát növeli, lehetővé téve egy esetleges utánmunkálást is.
 - A növelt nitrogénkoncentrációnak köszönhetően a diffúziós rétegben magasabb keménységértékek érhetők el, bár a maradék ausztenit előfordulási valószínűsége is nagyobb lehet.
 - A megnövekedett keménység a karbonnak és a nitrogénnek a martenzit-képződésre gyakorolt összetett (eredő) hatásával hozható kapcsolatba, ugyanis mindkét ötvöző interstíciós helyzetekben fordul elő, így a martenzit tetragonálisát (torzultságát) együttesen nagyobb mértékben növelik.
 - Mivel a nitridált réteg már jelen van a felületben, a felületedzés termikus ciklusát illetve hőbevitelét (kezelési sebességét) úgy kell beállítani, hogy a hőmérséklet viszonylag alacsony értéken maradjon, csökkentve a nitrogén rekombinációja és diffúziója következtében felléphető rétegfelbomlás esélyét.
 - A nitridálás "hozzáadása" a lézeres felületedzéshez feltehetően a korrózióállóságot és a (nagy ciklusú) kifáradással szembeni ellenállást is kedvezően befolyásolja.



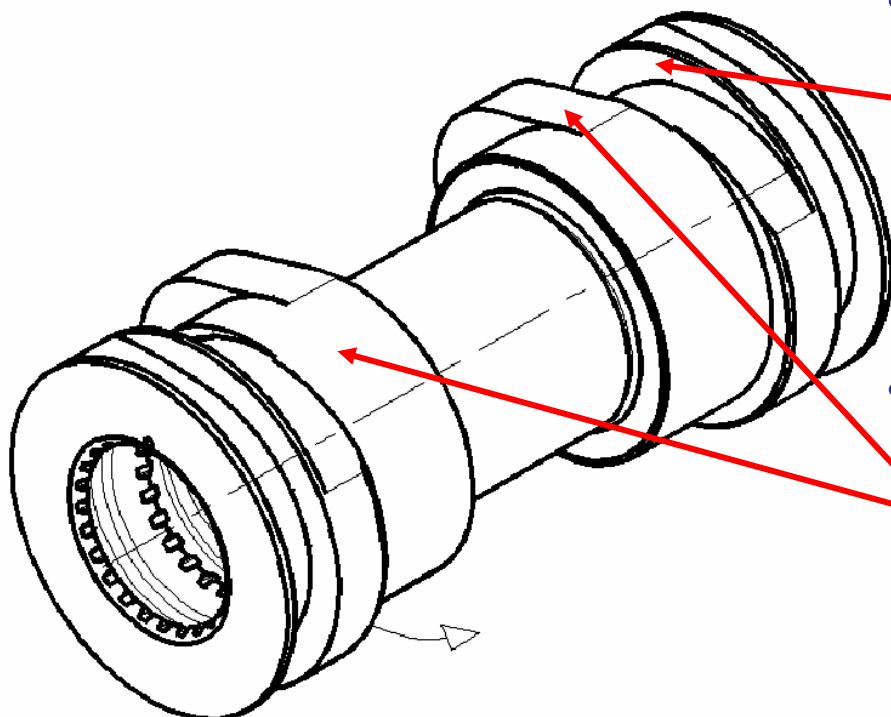
Az eljárások értékelése (3)

- Ha nincs szükség utólagos felületi (abrazív) megmunkálásra, viszont a lehető **legnagyobb felszíni keménységre** kell törekedni, akkor a duplex felületkezelésen belül **először a lézeredzést, majd** azt követően a **plazmanitridálást** célszerű végezni.
- Ha a növelt keménységű kéreg nagyobb mélysége mellett **utómegmunkálási** (vagy egy esetleges "bejáratási") ráhagyás válik **indokolttá**, akkor előnyösebb a **lézeredzést a plazmanitridálás után** végezni.
- Természetesen mindkét esetben ügyelni kell a lézeredzés fajlagos hőbevitelének megfelelőségére, bár úgy tűnik, hogy a lézeredzés + plazmanitridálás kombináció végeredménye kevésbé érzékeny a hőbevitel értékének megválasztására, mint a plazmanitridálás + lézeredzés sorrendű duplex felületkezelése.



Nitridálás és elektronsugaras edzés kombinálása

Vezérmű tengely (3. esettanulmány)



- Nitridálás a teljes felületen
 - Ellenőrzés a vezérlő csapok hornyaiban
 - Itt a kedvező siklási tulajdonságok és a kopásállóság elérése a cél
- Elektronsugaras edzés a vezérlő bütykökön
 - Ellenőrzés a futófelületeken
 - Cél a kiemelkedő kopásállóság elérése



Vezérmű tengely felületi kezelése

- Anyagminőség: 50 CrV4
- 1. technológia: nemesítés (keménység ~ 280 HB)
- 2. technológia: gáznitridálás
 - Keménység:
 - A felületen min. 500 HV 0,3
 - Az alapanyag + 50 HV értéknél mért kéreg vastagság 0,2+0,2 mm
 - Szövetszerkezet:
 - A „fehér réteg” vastagsága min. 8 μm
- 3. technológia: elektronsugaras edzés
 - Edzés a vezérlő bütykökön
 - Mérendő mennyiségek:
 - a vizsgált felületeken a felületi keménység min. 650 HV10
 - adott keménységhez tartozó mélység és maratott csiszolaton meghatározható réteg geometria
 - az 550HV-re előírt mélység: $t(\text{HV}550) \geq 0,4 \text{ mm}$



Alapanyag: 50CrV4

- Összetétel:

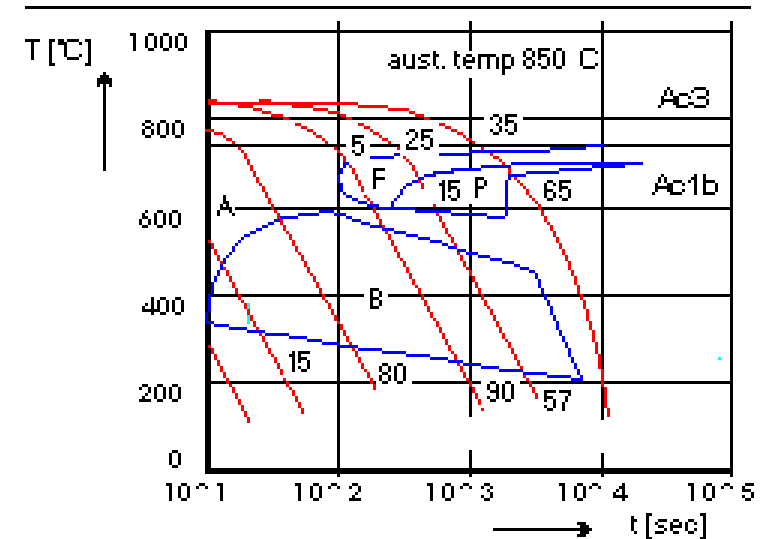
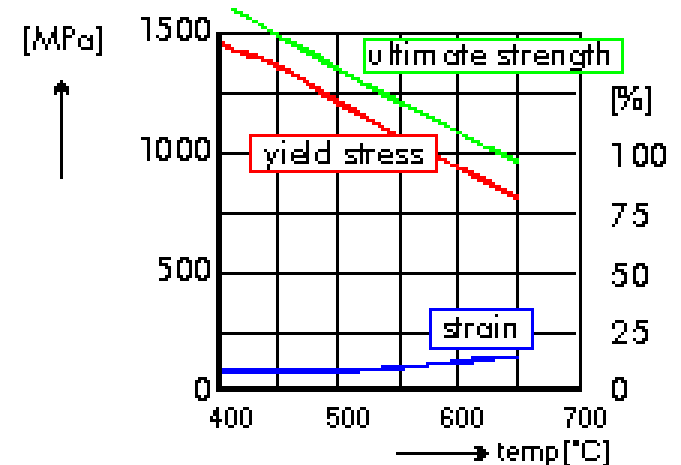
- C 0,50 %
- Si 0,25%
- Mn 0,90%
- Cr 1,1%
- V 0,12%

- Edzés:

- Ausztenitesítés 850 C°-on
- Hűtés olajban

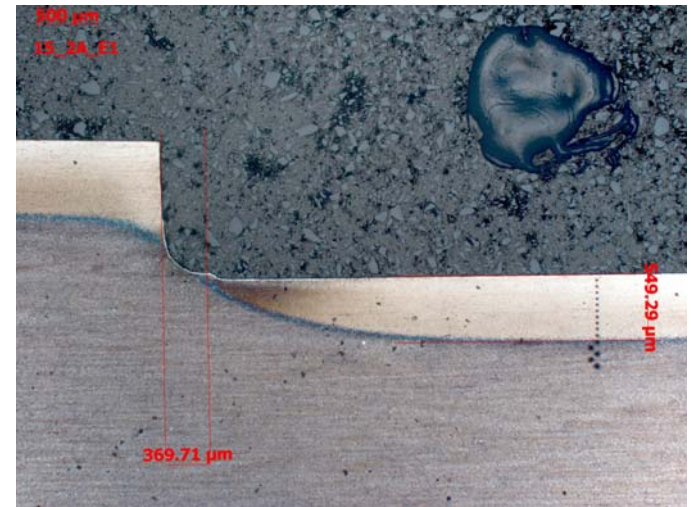
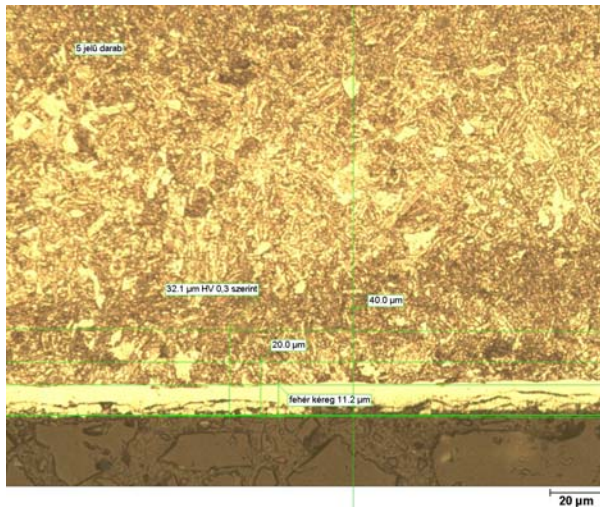
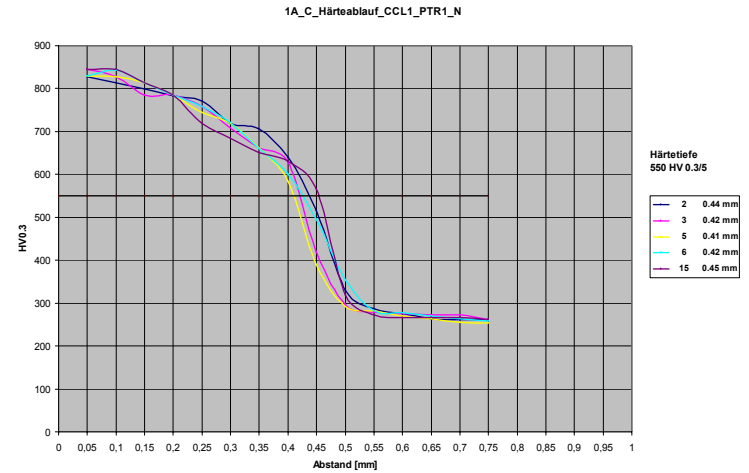
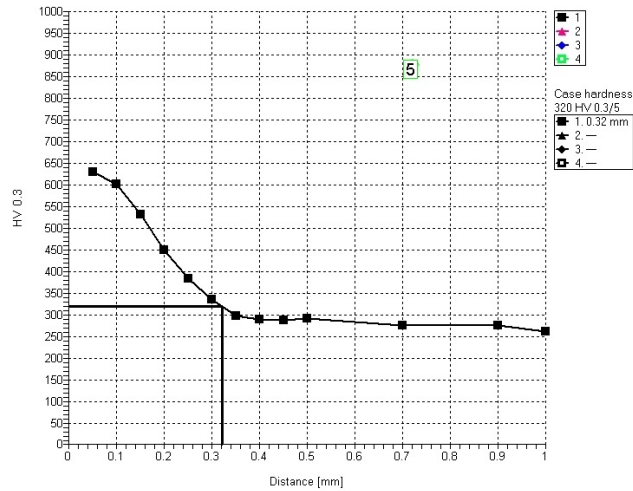
- Megeresztés:

- Igény szerint (lásd a megeresztési diagramot)





A kezeléssel elért tulajdonságok (nitridálás és ES edzés)





A két kezelés együttes hatása

- Alsó görbe: nitridált kéreg keménységeloszlása
- Felső görbe: nitridálás + ES edzés utáni keménység
- Eredmény: az ES edzés után a keménység 0,4 mm mélységben biztosan meghaladja az előírt 550 HV-t, a felületen pedig sokkal nagyobb, mint 650 HV

