

XIV. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2009. március 26-27.

DUPLEX FELÜLETKEZELÉS – PLAZMANITRIDÁLÁS ÉS LÉZEREDZÉS KOMBINÁLÁSA

Bitay Enikő, Bagyinszki Gyula

Abstract

The duplex surface treatments involve a combination of traditional thermo-chemical methods (carburizing, nitriding) and surface treatments performed by high energy rapid heating (induction or laser surface hardening). In this paper, it will be demonstrated that using a duplex surface treatment several properties of steel components (wear resistance, load bearing capacity) can be significantly enhanced, and are much better than individually nitrided or laser surface treated ones.

Key words:

surface engineering, Duplex surface treatments, Laser surface hardening, Plasmanitriding.

Összefoglalás

Acélok duplex felületi kezeléseket hagyományos termokémiai technikák (cementálás, nitridálás) és a nagy energia bevittellel jellemzett gyors hevítési módszerek (indukciós, lézeres hevítés) kombinációjának tekinthetők. A cikkben demonstráljuk, hogy a duplex kezelés eredményeként az alkatrészek számos tulajdonsága (kopásállóság, felületi terhelhetőség) jelentős mértékben fokozható, ezen előnyös tulajdonság-változás elérése kizárólag nitridálással, vagy csak lézeres felületkezeléssel nem valósítható meg.

Kulcsszavak:

felületkezelés, duplex felületkezelés, lézeres felületedzés, plazmanitridálás.

A duplex felületkezelések két egymást követően végrehajtott felületkezelést kombináló, anyagok, illetve belőlük készülő termékek károsodásállóságának javítása érdekében alkalmazható technológiák. Ezek közül kiemelhetők azok, amelyek valamilyen termokémiai elő- vagy utókezelést foglalnak magukban.

A kopásállóság fokozása végett normalizált vagy nemesített alapanyagon 570 °C-os, 4–8 órás, gázközegű (pl. 56,3% NH₃; 34–41% H₂; 1,3–2,0% CO₂) nitrocementálást, majd azt követően CO₂-lézerral – megfelelő teljesítmény, előtolási sebesség és defókusz beállításával – felületedzést végeznek. A lézeres felületedzést nitridálással is kombinálják a tribológiai igénybevételekkel szembeni élettartam-növekedés elérése, illetve a Herz-feszültség okozta fáradásos kopás csökkentése érdekében. Ennél az egyik alkalmazhatósági kérdés az lehet, hogy milyen előnyökkel jár egy kétlépcsős, ezért minden bizonnyal többletköltséggel járó kezelés, mint külön-külön a lézeres felületedzés vagy a nitridálás valamelyik változatának alkalmazása. További kérdésként felmerül, hogy ha duplex felületkezelést alkalmazunk, akkor melyik sorrendet válasszuk: nitridálás majd lézeres edzés vagy lézeres edzés és azt követő nitridálás? Újabb kérdésként vetődhet fel: milyen az így kapott felületi réteg termikus stabilitása (megegersztésállósága).

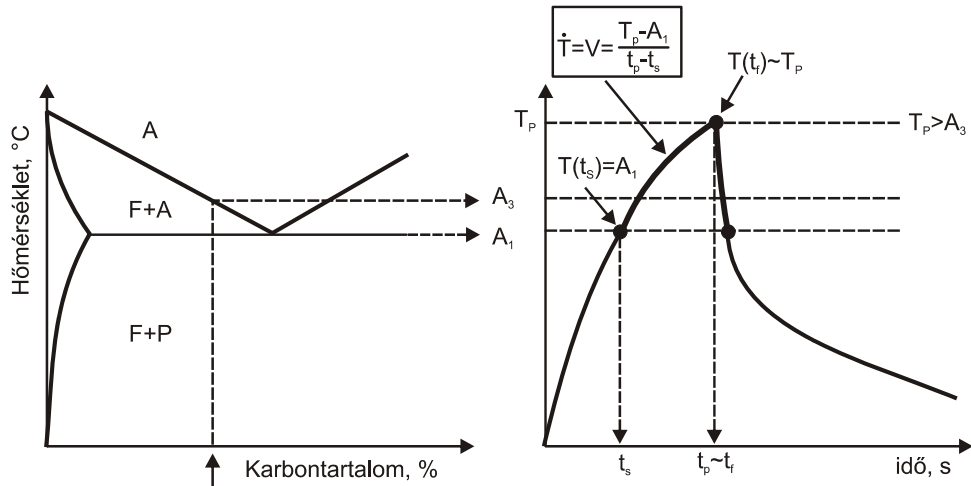
Válasszuk alkalmazási példaként a 40 CrMnMo7 jelű, nitridálható „műanyag-megmunkáló szerszámacélt” (ötvözött melegalakító szerszámacélt). Javasolt felhasználási területe szerint közepes és nagyméretű műanyagfröccsöntő szerszámok anyaga, műanyag- és fémfröccsöntő szerszámok keretanyaga, továbbá az általános gépépítés különböző szerkezeti elemeinek is anyaga. Felhasználási előnyeként fogalmazhatók meg: a javított forgácsolhatósági jellemzők, a kiváló polírozhatóság és fotomarathatóság, valamint az igen jó szívósság. Kémiai összetétele: 0,37% C, 0,29% Si, 1,50% Mn, 1,88% Cr, 0,17% Mo, 0,39% Ni 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. Szükség esetén feszültségmentesítő hőkezelését 650 °C-on, 2 órás hőntartással, majd kemencében történő hűtéssel ajánlott végezni. Indokolt esetben argonvédőgázos volfrámelektrodás ívhegesztő eljárással, rövid és kalapáccsal azonnal nyújtott varratszakaszokkal végezhető javító hegesztés rajta. Nagyobb kiterjedésű és mélységű javító hegesztése csak lágyított állapotában lehetséges.

A munkadarabok „Graphite 33” abszorpciónövelő bevonattal ellátott oldalfelületein a következő lézertechnológiai paraméterekkel valósult meg a felületedzés: a felületi fókuszfoltméret $d_f = 7,2$ mm; a sugárrezgetés frekvenciája $f_s = 100$ Hz, illetve amplitúdója $A_s = 10,5$ mm, míg jelalakja Δ ; a P lézerteljesítmény 1250, 1850, 2500 és 3150 W; a munkadarabok v_r relatív (lézersugarhoz viszonyított) sebessége 400, 600, 800. E két utóbbi paraméterből származtatható $q = P/v_r$ fajlagos hőbevitel (vonalenergia) 126 és 187,5 J/mm között változott.

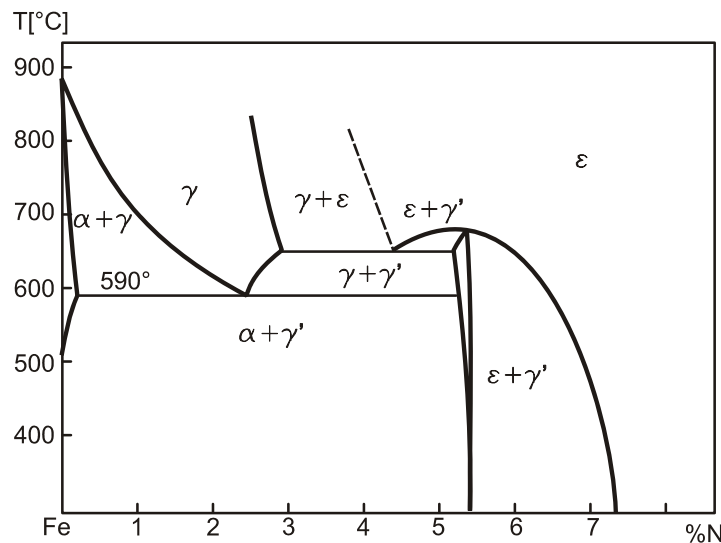
Mivel felületedzéskor a kéreg igen gyorsan hevül fel az ausztenitesítési hőmérsékletre, illetve nagyon gyorsan hűl le arról, gyakorlatilag nincs hagyományos értelemben vett hőntartás. A karbidok mind teljesebb oldódása – ami termikusan aktivált diffúzióval megvalósuló időigényes folyamat – érdekében akár 200–300 °C-kal az A_3 fölé kell hevíteni a kérget, hogy a gyors hőciklus (**1. ábra**) A_1 , illetve A_3 hőmérsékletek feletti szakaszának időintervalluma (t_p-t_s) hosszabb legyen. Az alkalmazandó maximális vagy csúcshőmérséklet (T_p) kisebb lehet, ha az acél nemesített állapotú, azaz a karbidok finom mérettel, diszperz eloszlásban vannak jelen a kiinduló szövetszerkezetben. A felületi réteg felhevítését követő azonnali és rendkívül gyors, saját hővezetésen alapuló „önhűtés” nagy keménységű martenzites szerkezetet eredményez. Felületi edzéskor a kéreg és a mag kémiai összetétele megegyezik, ezért a maradó strukturális feszültségek kisebbek, mint az ötvözőbevitellel járó termokémiai kezelések után. Továbbá a hőbevitel erősen koncentrált, így a termikus feszültségek és az azokból adódható maradó alakváltozások is kisebbek.

Plazmanitridáló berendezésben végzett termokémiai kezelés paraméterei a következők: vákuumtér nyomása 0,62 mbar = 62 Pa; maximális feszültség 900 V; maximális áramerősség 40 A; gázösszetétel (plazmaalkotók) 25% N_2 + 75% H_2 ; gáznyomás (plazmaalkotók) 5 mbar = 500 Pa; felhevítés

sebessége 500 °C/óra; felhevítés időtartama 1,15 óra; hűntartás hőmérséklete: 520 °C; hűntartás időtartama 20 óra.

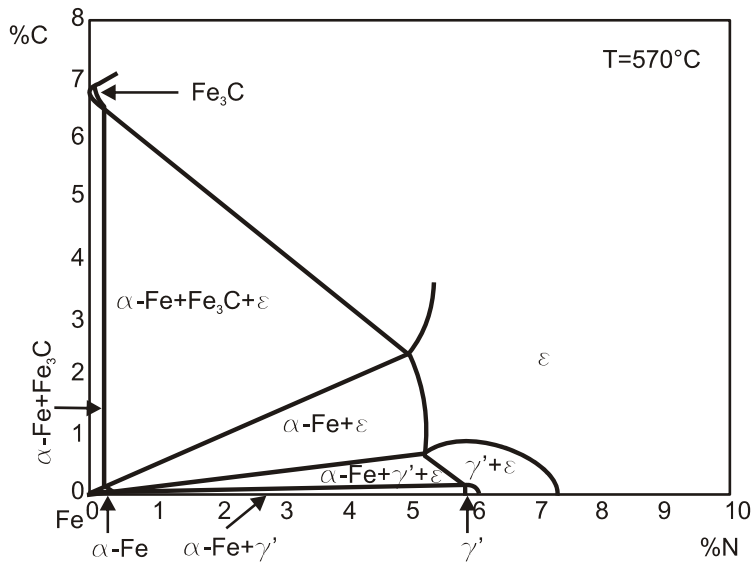


1. ábra. Felületedzés termikus ciklusa



2. ábra. Fe-N kétalkotós állapotábra

A Fe-N kétalkotós (2. ábra), illetve a Fe-N-C háromalkotós állapotábra (3. ábra) szerinti eutektoidos hőmérséklet (590 °C) alatt, nitrogénleadó közegben (pl. NH_3+H_2 vagy N_2+H_2 gázkeverékben) végzett termokémiai kezelés során kialakult kéregben kívülről befelé haladva 11–7% nitrogéntartalmú ϵ -fázis (Fe_{2-3}N , $\text{Fe}_{2-3}[\text{N},\text{C}]$), kb. 5,5% N-tartalmú γ' = Fe_4N vegyület, illetve más keményebb ötvözőnitrid (pl. CrN , Cr_2N , $\text{Cr}_7[\text{C},\text{N}]_3$, $\text{Mo},\text{Cr}_2[\text{C},\text{N}]$), majd 0,1%-nál kisebb N-koncentrációjú (a N-t interstíciósan oldott formában tartalmazó) α -fázis fordulhat elő. Az ilyen szerkezetű kéregben számottevő átalakulás nem megy végbe, csupán a γ' szegregál a ferritből.

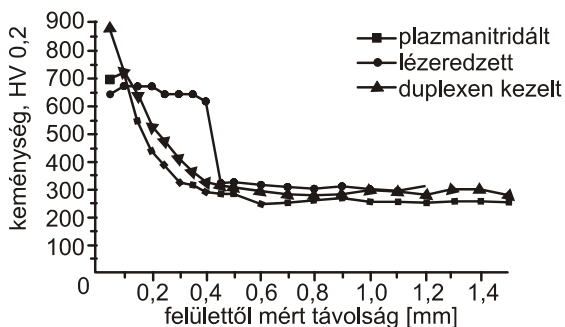


3. ábra. Fe-N-C háromalkotós állapotábra

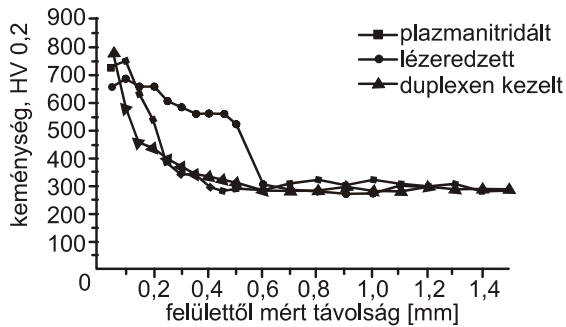
Az 4. ábra diagramsorozata azokat a keménységeloszlási görbéket mutatja, amelyeket a lézeres felületedzés és az azt követő nitridálás eredményezett. Az egyes diagramokon szerepelnek külön a felületedzés, illetve külön a nitridálás utáni keménységeloszlási görbék is. Látható, hogy a megnövelt keménységű kéreg vastagsága az azonos hőbevitelű ($q \approx 187 \text{ J/mm}$) lézeredzéseket követő plazmanitridálás hatására ugyan csökkent, de a keménységmaximum mindkét "szimplex" eljárásához képest növekedett. A duplexen kezelt növelt keménységű kéreg vastagsága egy keskeny „támasztó” zónával nagyobb, mint a plazmanitridálté. A lézeredzés hőbevitelének kb. 30, illetve 60 J/mm-rel való csökkentése (187 helyett 157, illetve 126 J/mm-re) igen kedvezőtlen keménységprofil eredményezett, ami után a plazmanitridálás elvégzése lényeges javulást hozott.

Mivel az 500 °C-os hőmérsékletű és 10 óra időtartamú plazmanitridálás a lézeres felületedzést követte, a kezelt zónák termikus stabilitása (megeresztés-állósága) is minősíthető, ugyanis az elvégzett nitridálás egy hosszú időtartamú megeresztésnek is felfogható. A kialakult keménységprofil kedvező termikus stabilitásról tanúskodik, hiszen a felületedzett állapottal összevetve közvetlenül a felszín alatt keménységnövekedés tapasztalható, és csak mélyebben van megeresztő hatás, ami az edzett kéregben számottevő, míg a nemesített alapanyagban elhanyagolható mértékű. Természetesen az üzemszerűen megengedhető maximális hőmérséklet nem lehet nagyobb, mint a legutolsó – esetünkben a nitridáló – hőkezelés hőmérséklete.

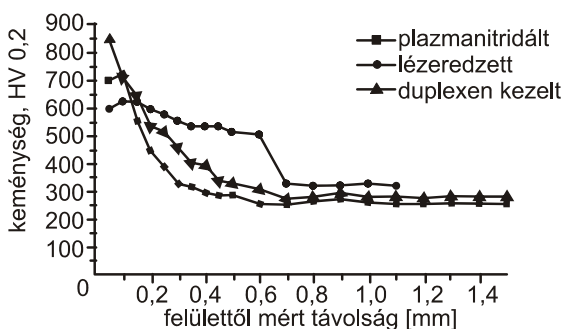
Az 5. ábrán szereplő diagramok azokra a duplex felületkezelésekre vonatkoznak, amelyeknél a nitridálást nem megelőzi, hanem követi a lézeres felületedzés. Az egyes diagramokon – összehasonlítás céljából – szintén szerepelnek a csak lézeredzett, illetve a csak plazmanitridált felületek keménységgörbéi is.



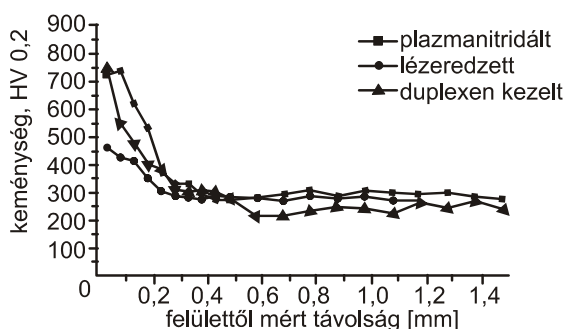
lézerezés: 1250W / 400 mm/min → 187,5 J/mm



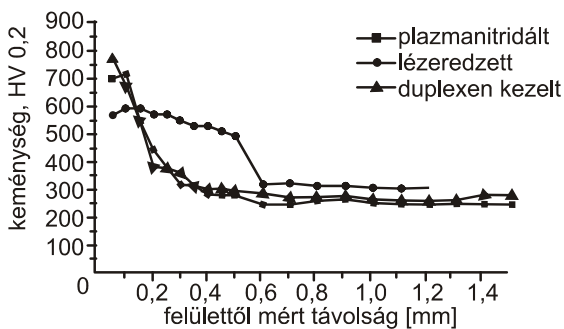
lézerezés: 3150W / 1000 mm/min → 189 J/mm



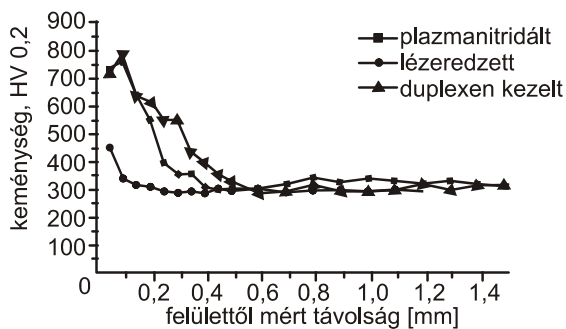
lézerezés: 1850W / 600 mm/min → 185 J/mm



lézerezés: 3150W / 1200 mm/min → 157,5 J/mm



lézerezés: 2500W / 800 mm/min → 187,5 J/mm

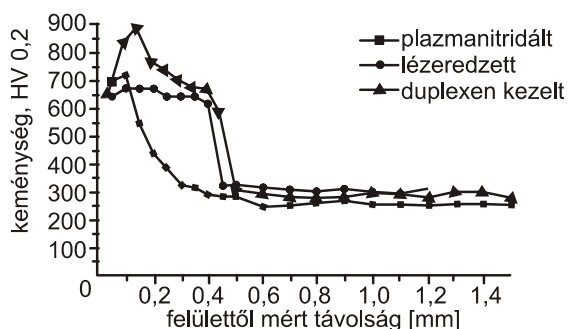


lézerezés: 3150W / 1500 mm/min → 126 J/mm

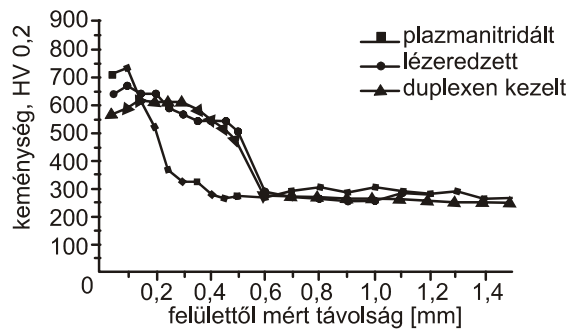
4. ábra. Duplex felületkezelés: lézeres felületedzés és az azt követő nitridálás eredményezte keménységeloszlási görbék

A duplex kezelés szembetűnő eredménye – elsősorban az azonos fajlagos hőbevitelű ($q \approx 187 \text{ J/mm}$) technológiáknál – a magas keménységű zóna meg-növekedett mélysége, ami meghaladja mind a lézerezés, mind a plazmanitridálás utánit. Például edzhetőségi határértéknek tekinthető 550 HV keménység szintnél mérhető zónanövekmény mintegy 0,3–0,5 mm, ami az eredeti (plazmanitridált) 0,15–0,25 mm kéregmélységnek 200%-a. A felületközeli 0,1–0,2 mm-es zónában a keménység ugyan visszaesett, de az adott esetben szükségessé válhat (lehetőségében adott) utánmunkálás ezt eltávolítva

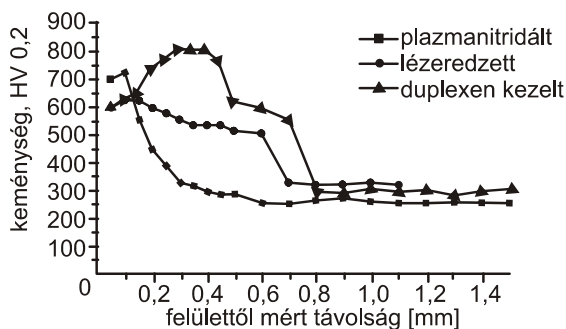
nagyobb keménységű réteget „hoz” felszínre. Az azonos hőbevitelre vonatkozó görbéket összevetve egyfajta kvázioptimumnak tűnik a $P = 1850 \text{ W}$ és a $v_r = 600 \text{ mm/min}$ lézerparaméterekkel készített réteg, de a 2500 W , illetve 800 mm/min lézerparaméterű is kedvező képet mutat. A lézerezés fajlagos hőbevitelének csökkentésével ($187 \rightarrow 157 \rightarrow 126 \text{ J/mm}$) – elsősorban a kezelés sebességének növelése miatt – a lézerezett, illetve a duplexen kezelt kéreg nem kívánatos keménység- és vastagságcsökkenése jár együtt.



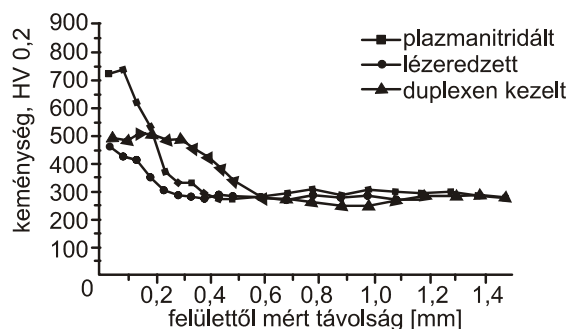
lézerezés: 1250W / 400 mm/min → 187,5 J/mm



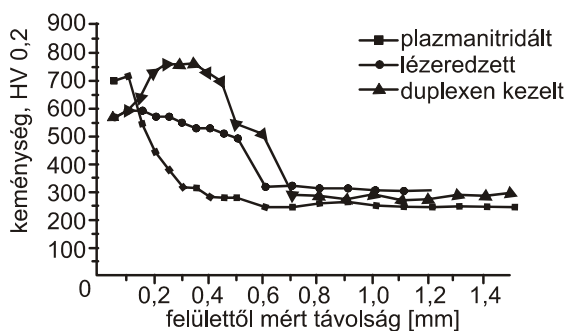
lézerezés: 3150W / 1000 mm/min → 189 J/mm



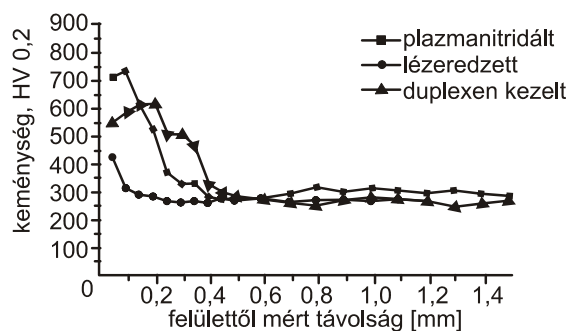
lézerezés: 1850W / 600 mm/min → 185 J/mm



lézerezés: 3150W / 1200 mm/min → 157,5 J/mm



lézerezés: 2500W / 800 mm/min → 187,5 J/mm



lézerezés: 3150W / 1500 mm/min → 126 J/mm

5. ábra. Duplex felületkezelés: nitridálás, majd az ezt követő lézeres felületedzés eredményezte keménységeloszlási görbék

Az eredmények alapján a következő megállapítások tehetők. A duplex felületkezelés egyik kalkulálható 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. Ebben az esetben – megfelelő technológiai paraméterek mellett – a kemény kéreg vastagsága némileg csökken, viszont termikus stabilitása a nagyobb keménységmaximum révén javul, illetve 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.

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 nagyobb keménységértékek érhetők el, bár a maradék ausztenit előfordulási valószínűsége is nagyobb lehet. A megnövekedett keménység a karbonnak és a nitrogénnek a martenzitképződésre gyakorolt összetett (eredő) hatásával hozható kapcsolatba, ugyanis mindkét ötvöző interszticiós 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 fellépő rétegfelbomlás esélyét. A nitridálás „hozzáadása” a lézeres felületedzéshez feltehetően a korrózióállóságot és a (nagy ciklusú) kifáradással szembeni ellenállást is kedvezően befolyásolja.

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 felületkezelésé.

Irodalom

- [1] Davies, D. P.: Duplex hardening: an advanced surface treatment technique combining nitriding and carburising, *Heat treatment of Metals* Vol. 18, (1991.4) p. 97–104;
- [2] Bloyce, A. – Sun. Y. – Li X. Y.: Duplex thermochemical processing of M50 Ni L for gear applications, *Heat treatment of Metals*, (1999.2) p. 37–41;

- [3] Wong, Y. C. – Doyle E. D. – Dearnley P. A.: In-situ duplex plasma treatments for hardened and tempered alloy steels and their performance in rolling and sliding wear, *Proceedings of the 10th Congress of the IFHT* (Brighton, 1–5 September 1996), p. 367–381, IOM Communications Ltd 1999;
- [4] Bell, T.: Surface engineering – past, present and future, *Surface Engineering*, 6, 1990, p. 31–40;
- [5] Bell, T. – Sun, Y.: The principles and mathematical modelling of duplex plasma surface engineering systems of steels, *Proceedings of the 10th Congress of the IFHT* (Brighton, 1–5 September 1996), p. 313-335, IOM Communications Ltd 1999;
- [6] Р. Ценкер – У. Ценкер: Комбинированная термическая обработка стали – нитроцементация и лазерная закалка, *Физическая Металлургия и Металловедение*, 1988, том 66, вып. 6, с. 1150–1158;
- [7] Bergmann, H. W. - Müller, D. - Endres, T. - Damascheck, R. - Domes, J. - Bransden, A. S.: Industrial applications of surface treatments with high power lasers, *Materials Science Forum* Vols. 163–165, (1994) p. 377–404;
- [8] EQUIST 2000 for Windows - *A szabványos acélok adatbázisa*, SACIT Acéltanácsadó Kft., Budapest, 1999;
- [9] Bagyinszki Gyula – Felde Imre - Réti Tamás: Keménységbecslési eljárás acélok lézeres felületdézésének tervezéséhez, *Proceedings of the Jubilee International Conference*, p. 235–240, Bánki Donát Műszaki Főiskola, Budapest, 1999. szeptember 1–2;
- [10] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007;
- [11] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Anyagtulajdonság- és technológiai paraméter-meghatározó módszerek értékelése*, XII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülészaka, Kolozsvár, 2007. március 16–17.; Műszaki Tudományos Füzetek - EME kiadványa 5–10. oldal.

Dr. Bitay Enikő, egyetemi docens

Sapientia – Erdélyi Magyar Tudományegyetem
Műszaki és Humántudományok Kar, Gépészmér-
nöki Tanszék, Marosvásárhely/Koronka (Tîrgu
Mureş/Corunca)

Postacím: 540485, Op.9. Postafiók 4.

Telefon: +40-265-208170

Fax: +40-265-206211

E-mail: ebitay@gmail.com

Dr. Bagyinszki Gyula, főiskolai tanár

BMF, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai
Mérnöki Kar, Anyagtudományi és
Gyártástechnológiai Intézet,

Anyag és Alakítástechnológiai Szakcsoport,
1081 Budapest Népszínház u. 8.

Tel: (+36-1) 666-5304;

Fax: +36-(06)-1-666-5494

E-mail: bagyinszki.gyula@bgk.bmf.hu