

XII. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2007. március 16–17.

FELÜLETMÓDOSÍTÁSI ELJÁRÁSOK HATÁSA ACÉLOK KOPÁSÁLLÓSÁGÁRA

Sebestyén Anita, Nagyné Halász Erzsébet, Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő

Abstract

Spare parts exposed to heavy duty use demand steel to meet the requirements of having hard, wear tested surface and at the same time to resist dynamic recourse. This requirement can be realized with creating a hard, wear tested coat on the surface of the tough core. Such hard surface layer can be produced in many ways, eg. surface hardening or surface alloying heating.

Although the traditional methods of surface altering (eg. paintcoat formation, oxidation, fire enamelling, electrochemical detachment, cementation, tempering, etc.) are useful on many fields, they are not or only partly applicable for many consuming aims. Besides they often involve environment pollution and are charged with the problems of placement poiseness secondary-product. At the same time modern surface modifying procedures usually are material and energy saving, environment friendly besides being regulable, reproducible, so to say easily handled and so used for new fields as well.

The altering of surface characteristics can be reached by detachment of new layer, layer growing, modification of surface of block material, occasionally by using both above, or modern surface altering procedures.

Összefoglalás

A megtervezett tulajdonságú felületek kialakításával kapcsolatos eljárások gyors fejlődése következtében tanúi lehettünk az anyagtudomány egy új fejezete, nevezetesen a műszaki felülettudomány kialakulásának. Az alkalmazott korszerű felületmódosítási eljárások során leggyakrabban különféle elektronikai célú, optikai, korrózióálló, keménység- és kopásállóság-növelő, hőszigetelő, dekoratív, stb. bevonatok, vagy vékonyrétegek hatékony kialakítása a cél.

Bár a felületmódosítás hagyományos módszerei (pl.: festékbevonat-kialakítás, eloxálás, tűzi zománcozás, elektrokémiai fémleválasztás, cementálás+edzés, stb.) sok területen hasznosak, azonban számos új felhasználási célra nem, vagy csak korlátozottan alkalmazhatók. Ezen kívül gyakran károsanyag-kibocsátással járnak és mérgező melléktermék-elhelyezési problémákkal terheltek. A korszerű felületmódosítási eljárások ugyanakkor – mindamelllett hogy pontosan szabályozhatók, reprodukálhatók, vagyis jól kézben tarthatók és ezért széles körben alkalmazhatók – általában anyag- és energiatakarékosak, valamint környezet kímélőek is.

Bevezetés

Igen sok gépalkatrész igénybevétele olyan követelményt támaszt az acéllal szemben, hogy felülete kemény, kopásálló legyen és ugyanakkor dinamikus igénybevételnek is ellenálljon. Ez a követelmény úgy valósítható meg, hogy a szívós magú acél felületén kemény, kopásálló réteget hozunk létre. Ilyen kemény felületi réteg többféleképpen állítható elő, pl.:

- felületi edzéssel és
- felületötvöző hőkezeléssel.

A felületi tulajdonságok módosítása [1—9] elérhető:

- új réteg leválasztásával, rétegnövesztéssel vagy
- tömbi anyag felületének módosításával,
- esetenként a kettő együttes alkalmazásával és
- korszerű felületmódosítási eljárásokkal.

1. Hagyományos felületkezelési eljárások

1.1. Felületi edzés

Felületi edzés során az edzhető acél felületi rétegét igen intenzív, gyors melegítéssel ausztenitesítjük, majd gyorsan hűtjük rendszerint kihasználva a kezelt darab saját hőelvonó képességét. A gyors hűtés hatására az ausztenitesített felületi réteg edződik, kemény martenzites szövetű lesz, míg a fel nem melegedett mag a felületi edzést megelőző hőkezeléssel (nemesítéssel) beállított szövetszerkezetnek megfelelően szívós marad. A hevítés hőforrásától függően lángedzés, indukciós (nagyfrekvenciás) edzés lézeres és elektronsugaras edzés különböztethető meg. Mindegyik felületi edzési mód, de különösen az indukciós és a lézeres edzés, nagyon termelékeny.

Például az indukciós felületi edzés célja gépelemek vagy szerszámok felületi keménységének és ezáltal a kopásállóságnak, kifáradási határának növelése úgy, hogy a magjuk szívós maradjon. Az acél felületi rétegének igen nagy sebességű felhevítése jellemzi az eljárást. A hevítés hatásos módja, hogy a bevezetett energia magában a munkadarabban alakul át hővé. A keresztmetszet mentén egyenlőtlen felhevítés nagyfrekvenciás árammal érhető el. Az áram frekvenciájának növekedésével a kéreg áramsűrűsége egyre inkább meghaladja a mag áramsűrűségét. A felületi edzéshez használatos áram frekvenciája 0,01÷5 MHz, amivel elérhető, hogy a felhevített kéreg vastagsága akár 1 mm alatti is lehet. A felületi edzéskor általában nem közvetlenül a darabba vezetik be az elektromos áramot, hanem induktorral nagyfrekvenciás váltakozó mágneses mezőt hoznak létre, amelybe elhelyezett elektromosan vezető anyagú munkadarabban örvényáram keltődik, és az elektromos ellenálláson hővé alakul.

1.2. Termokémiai felületkezelések

A felületi kéreg vegyi összetételének célszerű változtatásával a munkadarab valamely igénybevétellel

szembeni ellenállása javítható. A felületötvöző hőkezelés során a munkadarabot olyan szilárd, folyékony vagy gáznemű közegbe helyezik el, amely nagy koncentrációban tartalmazza az ötvöző elemet. A közeg és a munkadarab felülete közötti nagy ötvözőtartalom-különbség hatására a felületen adszorbeálódott ötvözőelem bediffundál a kérégbe. A diffúzió feltételei javulnak a hőmérséklet növelésével, de ennek határt szab, egyrészt a felület oxidációja, másrészt a mag hőkezeléssel elért kedvező tulajdonságainak romlása, szemcseméretének eldurvulása.

A felületi réteg keménységének növelését célozza a karbon diffúziójával végzett cementálás, a nitrogénötvözést eredményező nitridálás, valamint a bört a felületi rétegbe juttató boridálás.

A legszélesebb körben alkalmazott felületötvöző hőkezelés a cementálás, amelynek során a kis karbontartalmú acél kérgébe karbon diffundál. Ezt követően a cementált darabot megedzik. A cementálást és az ezt követő edzést együttesen alkalmazó hőkezelés a betétedzés.

A cementálás során - a szilárd, folyékony vagy gáznemű cementáló közegből - a karbon az acél felületén adszorbeálódik, ha a réteg karbonoldóképessége nagyobb, mint a tényleges karbontartalma. A karbonban feldúsult, vékony felületi rétegből a karbon a koncentráció-különbség hatására egyre mélyebbre is diffundál.

Nitridáláskor az acél vékony felületi rétegébe nitrogén, karbonitridáláskor ezzel egyidejűleg karbon is diffundál. A nitrogén a vassal és/vagy az acél egyes ötvözőivel nitrid vegyületeket alkot. A nitrideket, karbidokat és karbonitrideket tartalmazó kéreg kemény, az acél ötvözőinek függvényében HV 250...1000 keménységű. A nagy keménységnek köszönhetően a felület kopásálló, kifáradással szembeni ellenállása jó, sőt a nitridált kéreg a korrózióval szemben is ellenállóbb.

Boridálás során bört leadó szilárd, folyékony vagy gáznemű közegből a bór az acél kérgébe diffundál. A boridálás hőmérsékletét alulról a bórleadó közeg bomlási hőmérséklete, felülről az acél szemcsedurvulási hőmérséklete korlátozza. A folyadék közeget, bóraxfürdőt alkalmazó boridáláskor gyakran elektrolízissel is gyorsítják a bór diffúzióját.

2. Korszerű felületkezelési eljárások

2.1. PVD

A PVD (Fizikai gőzfázisú leválasztás) eljárás során a szilárd forrásanyagot párologtatással vagy porlasztással alkotóira bontva a gőztérbe viszik, és leválasztják a bevonni kívánt munkadarabra (szubsztrátumra).

A PVD módszerek közül a vákuumpárologtatás (vákuumgőzölés) a legelterjedtebb rétegnövesztési módszer. A forrásanyagot vákuumtérben olyan hőmérsékletre melegítik, melyen annak gőznyomása eléri kb. 10^{-2} mbar-t. A forrás kívánt hőmérsékletét ellenállásfűtéssel vagy elektronsugaras fűtéssel állítják be. (Az előbbi esetben W (Mo, Ta) szárlól, az utóbbiban alkalmasan választott anyagú tégelyből párologtatnak). A vákuumtérben keletkezett, nagy szabad úthosszal rendelkező részecskék (atomok vagy klaszterek) a szubsztrátum (hordozó) felületére csapódnak és ott kondenzálódnak. A módszer egykomponensű rendszerek, pl. fémrétegek növesztésére alkalmazható előnyösen.

Többszörös rétegek, pl. oxidok, halogenidok, vegyület-félvezetők rétegeinek előállítására, a rétegösszetétel reprodukálására kevésbé alkalmas.

Új lézersugaras energiaközlés, az ún. lézerablációs párologtatás (laser ablation PVD, LAPVD), amelyenél a forrást nagy energiasűrűségű lézerimpulzussal pillanatszerűen elpárologtatják, és az gyakorlatilag változatlan összetétellel megy át a rétegbe. Így kedvezően növeszthetők pl. sokalkotós, nagy hőmérsékletű szupravezető rétegek, stb.

A vákuumpárologtatott rétegek szerkezetüket tekintve döntően polikristályosak. Igen tiszta körülmények és fűtött hordozó esetén azonban egykristályos, a hordozóval azonos orientációjú, ún. epitaxiális rétegek is növeszthetők. Az MBE (Molekulasugaras epitaxiális rétegnövesztés) a vákuumpárologtatás viszonylag új, pontosan szabályozott, számítógéppel vezérelt módszere, amellyel reprodukálható módon növeszthetők atomsoronként változó összetételű rétegek. Mindehhez elengedhetetlen a „környezet” tisztasága, ezért a növesztő berendezés ún. háttérnyomását 10^{-10} mbar körüli értékre kell csökkenteni. Ez különleges szerkezeti anyagokból felépített, turbomolekuláris, titánion-, vagy krioszivattyúkkal ellátott, hűtött falú rendszerekben érhető el.

Porlasztásos módszerek közös jellemzője az, hogy a szilárd halmazállapotú forrásanyagot (target) általában inert gáz-ionokkal, leggyakrabban Ar^+ ionokkal bombázzák, amelyeket kisnyomású ún. hideg-plazmából nyernek. A targetanyagok leporlasztott atomjai — a vákuumtérén át — a hordozó (szubsztrátum) felületére jutva építik fel a réteget. Különböző nitridek, pl. TiN , Si_3N_4 rétegeinek előállítása céljából, Ar-N_2 gázelegy felhasználásával, ún. reaktív porlasztást alkalmaznak. TiN -réteg növesztése esetén döntően az Ar^+ végzi a Ti porlasztását, és a hordozó felületére jutó Ti ott reagál a plazmában ionizált, gerjesztett, vagy atomos állapotú nitrogénnel.

Porlasztással leválasztottak pl. nagy törésmutatójú, kopásálló, a hordozón jól tapadó CeO_2 , TiO_2 és ZrO_2 optikai bevonatokat is, magnetronos porlasztással pedig tömör, optikai multirétegeket.

2.2. Ionos bevonatolás

Az ionos bevonatolás során valamilyen munkagázzal, pl. argonnal, vagy nitridek növesztésekor nitrogénnel, DC plazmát hoznak létre. A forrásanyag gőzét termikus vagy elektronsugaras párologtatással, ionporlasztással, stb. ebbe a plazmátérbe juttatják, amelynek egy hányada ott szintén ionizálódik. A bevonásra szánt munkadarabot negatív potenciálra kapcsolva, — a katódtér közelében létrejövő feszültségesés hatására — a pozitív ionok a felületbe csapódnak és abba behatolnak.

Az ionsugárral aktivált leválasztás (IBAD) során a szubsztrátumot a réteg növekedése közben ionokkal bombázzák. Ez a módszer abban különbözik az előbb ismertetett ionos bevonatolástól, hogy a rétegnövesztést segítő nagy energiájú ionok nem plazmából származnak, hanem egy (vagy több) szabályozott áramú ionforrásból. Ezáltal a réteget építő egyetlen atomra vagy molekulára jutó ionenergia pontosan beállítható.

2.3. CVD

A kémiai gőzfázisú leválasztásos (CVD) módszerek alkalmazása során illékony, gőzfázisba, ill. gázfázisba vitt anyagokból valamilyen kémiai reakcióval választják le a hordozó felületére a rétegépítő anyagot. A termikus CVD során a hordozót fűtik, a gázokat a gáztérben lejátszódó reakciók elkerülése céljából általában hidegen tartják. A fűtést gyakran RF (rádiófrekvenciás) hevítéssel oldják meg. Célszerű a leválasztást viszonylag nagy gázáramlási sebességgel végezni abból a szempontból, hogy a diffúziós határréteg vékony legyen, és így gyorsan pótlódjon a felületen reakcióba vitt anyag. Ugyanakkor célszerű a lamináris gázáramlási tartományban maradni.

A plazmával aktivált kémiai gőzfázisú leválasztási módszerek során a reakciót kisnyomású (nemegyensúlyi) plazmával aktiválják. A lézersugárral aktivált vagy elősegített kémiai gőzfázisú leválasztás (laser assisted CVD) során rétegépítő (fém, kerámia, félvezető, szupravezető) anyag prekursorát lézersugárral bontják. A prekursorok általában illékony hidridek, halogenidek, karbonilok, alkilok, alkoholátok és más vegyületek, illetve gyakran ezek elegyei. A bomlási folyamat pirolitikus vagy fotolitikus lehet.

2.4. Felületszórás

A termikus szórás (thermal spray) nem gázfázisból történő leválasztási módszer. Az elnevezés egy módszercládot jelöl, amelynek tagjaira az jellemző, hogy az anyag (fém, kerámia, fém-kerámia azaz ún. cermet anyagok, egyes polimerek) porszemcséit az olvadáspont közelébe, vagy afölé hevítik, valamilyen módon felgyorsítják, és a megolvadt cseppeket, vagy a majdnem megolvadt szemcséket a bevonandó felületre irányítják. Ütközéskor ezek foltokban elterülnek, átlapolódnak és bevonatot alkotnak.

A lángszórás fémes és nem fémes anyagok felületi réteggel való bevonására használható. A szórásra használt anyagot (mely lehet: huzal, por) az acetilén - oxigén láng megolvasztja, majd az sűrített levegővel vagy más gázzal az előkészített munkadarab felületére sodródik. A felszórt réteg állhat pl. horganyból, alumíniumból, rézből vagy krómnikkel acélból. Az acetilén-oxigén láng nagy hőmérséklete lehetővé teszi azt is, hogy a nagy olvadáspontú anyagok (mint pl. a molibdén) is szórhatók legyenek. A lánggal szórt rétegek a technika valamennyi területén jól beváltak, pl.: kopásvédő vagy korrózióvédő rétegekként, gépelemek javításához.

2.5. Ionimplantáció

Ionimplantáció esetén a gyorsított ionok kölcsönhatása szilárd anyagokkal nagyon összetett, több elemi lépésből álló folyamat. A kölcsönhatás során fellépő főbb primer folyamatok a következők: behatolás, ütközés, atomelmozdulás, hibahelyek (vakanciák) és gyökök képződése, részecske-visszaverődés, rezgési és elektrongerjesztések, ionok és szabad elektronok képződése, stb. Az ezt követő ún. relaxációs szakaszban olyan folyamatok játszódnak le, mint pl.: részecske-emisszió,

atomkeverés, diffúzió, szegregáció, amorfizálódás, kristályosodás, fázisátalakulás, és különféle kémiai reakciók.

Az ionsugaras felületmódosítás jellegzetességei, hogy nagy a felületi rétegben deponált energiasűrűség, és lehetőség van nagy térbeli felbontású kezelésekre úgy mélységben, mint oldalirányban. A kezeléseket nagy vákuumú berendezésben, célszerűen nagy ionáramú, elektronütközéses vagy plazmás ionforrással végzik, leggyakrabban nemesgáz (Ar^+) ionokat alkalmazva. A plazmás felületmódosítás széles körben alkalmazott eljárás, amelynek során a plazmában keletkező pozitív és negatív ionok, gyökök, gerjesztett részecskék, elektronok, fotonok hatnak kölcsön a szilárdtestek felületével.

2.6. Lézeres technológiák

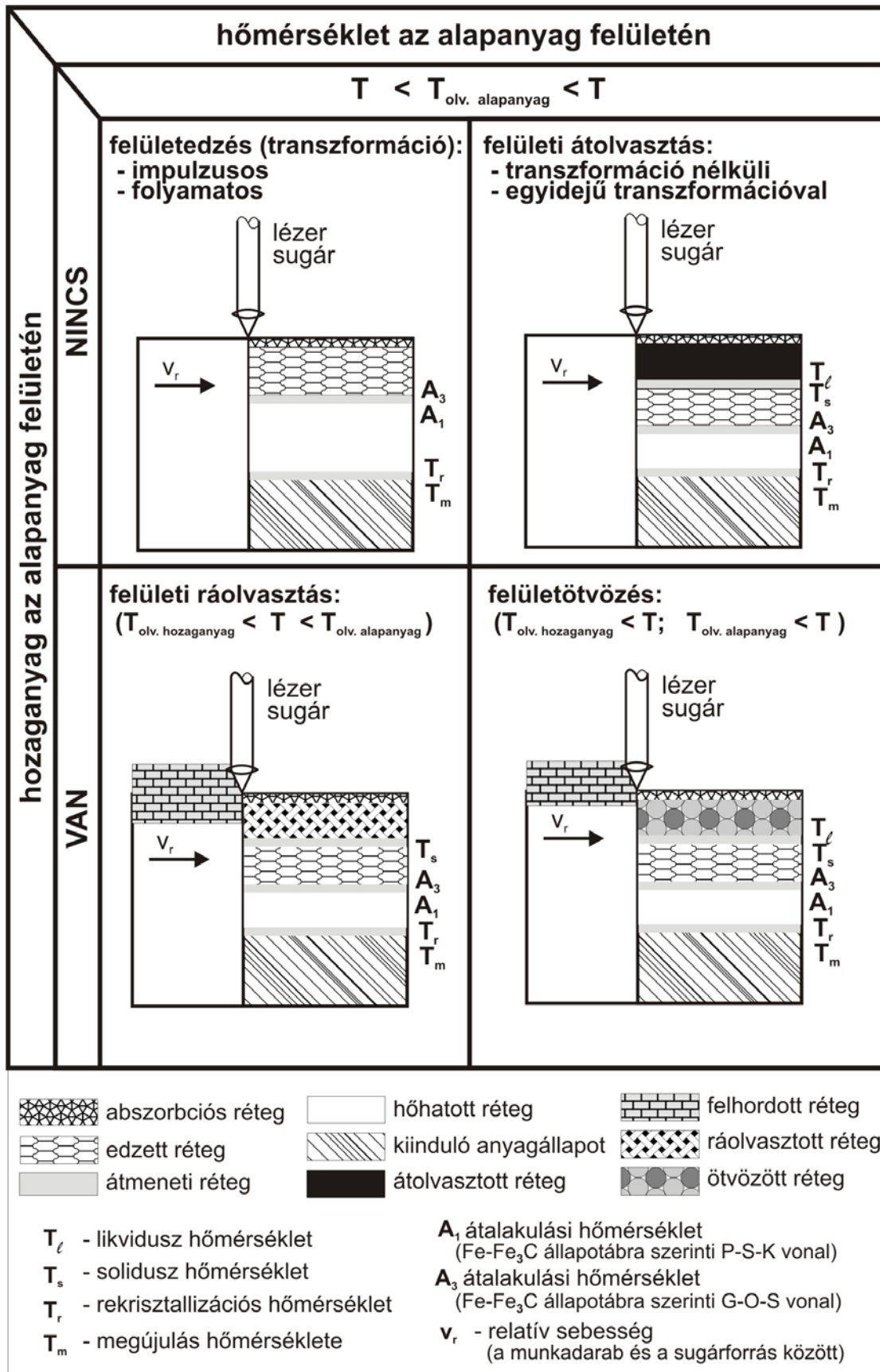
A lézeres felületi átolvasztás (laser glazing) során lézerrel megolvasztják az anyag (pl. rézötözet) felületi rétegét, amely ezt követően gyorsan lehűlve újra megszilárdul. Eközben az összetétel nem változik. Megváltozhat viszont a felületi réteg szerkezete, pl. fém esetén amorf (üvegfém), vagy mikrokristályos felületi fázis képződhet, ami javíthatja a felület kopás-, vagy korrózióállóságát, vagy csökkentheti a kifáradási hajlamát.

A lézeres felületedzés (laser surface hardening) során az anyag felületét lézerrel kezelik oly módon, hogy az ne olvadjon meg, ugyanakkor a hőhatásra a felületi rétegben, pl. vasötözet esetén, martenzites szerkezet alakuljon ki. Ennek hatására megnő a felületi réteg kopásállósága és csökken a kifáradási hajlama.

A lézeres felületi ötvözés (laser surface alloying) során célszerűen megválasztott összetételű porral vagy vékonyréteggel fedett szubsztátumot kezelik. Ennek hatására megolvad a por (vagy vékonyréteg), valamint a szubsztátum felületi rétege is, felületi ötvözetréteg képződését eredményezve. A felületi ötvözetréteg előnyös, a többitől eltérő fizikai, kémiai, illetve mechanikai tulajdonságokkal rendelkezhet.

A lézeres felületi bevonatolás, vagy ráolvasztás, vagy felrakás (laser surface cladding) hasonlít a lézeres felületi ötvözésre. A különbség az, hogy úgy végzik az eljárást, hogy a szubsztátumból minél kevesebb olvadjon meg, tehát az minél kevésbé hígítsa a kialakuló bevonatot.

Az 1.ábra az említett négy lézeres felülettechnológia acélra vonatkozó hatásait szemlélteti.



1. ábra. Lézeres felülettechnológiák és hatásuk (acélok esetében)

Összefoglalás

A felületkezelési eljárások (surface engineering) leggyakrabban a kopás- és a korrózióállóság javítását célozzák, rendszerint kellő szívósságúra hőkezelt alkatrész avagy szerszám felületén. Egyre inkább teret nyernek azok a korszerű eljárások, amelyek pontosan (számítógéppel is) szabályozhatók, nagyon jól irányíthatók (csak azt a részt kezeljük, amit kell) és a környezetet sem terhelik. Ezek közé tartoznak a vákuumtérben dolgozó gőzfázisú illetve implantációs módszerek, valamint a lézeres avagy lézerrel segített kezelések. Ez utóbbiak esetében még vannak kiaknázatlan lehetőségek, amit jól kifejez a már szállóigévé vált mondás: „a lézer egy megoldás, ami keresi a problémát.”

Irodalomjegyzék:

- [1] Bertóti Imre – Marosi György – Tóth András (szerk.), *Műszaki felülettudomány és orvosbiológiai alkalmazásai*. B+V Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 2003
- [2] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő – Kovács Tünde: *Alakító szerszámacélok károsodásállóságának javítása felületkezeléssel*. Műszaki Tudományos Füzetek, FMTÜ 2006. EME, Kolozsvár
- [3] Dr. Bagyinszki Gyula: *Gyártásismeret és technológia*. BMF BGK, Budapest, 2004
- [4] Dr. Szombatfalvy Árpád: *A hőkezelés technológiája*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [5] Bitay Enikő: *Acélok lézeres felületkezelése és modellezése*. EME, Kolozsvár, 2006
- [6] http://www.lindegas.hu/international/web/lg/hu/likelghu.nsf/docbyalias/ind_mv_auto8
- [7] <http://www.ameritherm.com/appnotes.html>
- [8] Bagyinszki Gyula – Réti Tamás – Kálazi Zoltán – Felde Imre – Yue Sun – Tom Bell: *Duplex surface treatment of a 40CrMnMo7 steel based on the combination of plasma nitriding and laser hardening*. 14th International Conference on Surface Modification Technologies, 11-13 September, Paris, 2000
- [9] Bitay Enikő: *Lézeresen kezelt felületek kopásállóvizsgálata*. Műszaki Tudományos Füzetek, FMTÜ, EME, Kolozsvár, 2001

Sebestyén Anita, főiskolai hallgató
Nagyné Halász Erzsébet, főiskolai adjunktus
Dr. Bagyinszki Gyula, főiskolai tanár
 BMF, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai
 Mérnöki Kar, Anyag és Alakítástechnológiai
 Szakcsoport, Budapest 1081 Népszínház u. 8.
 tel: (+36-1) 666-5304; fax: +36-(06)-1-666-5494
 bagyinszki.gyula@bgk.bmf.hu;
Dr. Bitay Enikő, tudományos főkutató
 EME-Kutatóintézet