XIII. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2008. március 14-15.

FELÜLETKEZELÉSI ELJÁRÁSOK TÖBB SZEMPONTÚ RENDSZEREZÉSE

Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő

Abstract

Surface treatments belong to the most important property-modification and composite-forming techniques carried out for many years, almost since the beginning of the 20th century. In this paper we give a survey and a classification of the surface treating methods, in order to help the selection of the proper combinations of materials and processes.

Összefoglalás

A felületkezelés az egyik legfontosabb tulajdonságmódosító, illetve kompozitképző anyagtechnológia. Napjainkban már az eljárások igen széles köre alkalmazható. Jelen cikk több szempontú rendszerező áttekintését tűzte ki célul, segítve a megfelelő eljárás kiválasztását.

1. Bevezető

Napjaink ipari-technológiai gyakorlatában egyre fontosabb az anyag- és energiatakarékos gyártást elősegítő technológiák alkalmazása, a technológiai műveletek, az üzemi igénybevételek ill. a speciális követelmények szempontjából még éppen szükséges minimális munkadarab térfogatra korlátozva. E koncepciónak általában megfelelnek a felületkezelő eljárások, melyekkel károsodásállóságot (pl. kopásállóságot, megeresztésállóságot, korrózióállóságot) javító felületi kérgék, rétegek hozhatók létre az egyébként - más követelmény vagy előírás hiányában - olcsóbb, könnyebben megmunkálható, szívósabb alapanyagon (alaptesten). A felületkezelés révén tehát a helyi (lokális) igénybevételekhez, követelményekhez igazítható(k) a munkadarabok arra kijelölt tartománya(i), általában az alapanyag (alaptest) nagyobb tömegének jelentősebb szerkezet- és tulajdonságváltoztatása nélkül.

Kezelés előtt vagy közben az alapanyag felületére kerülő idegen anyag			
Kezelés során az alapanyag felületén várhatóan fellépő maximális hőmérséklet az alapanyag olvadáspontjánál	nincs → összetételváltozás nélküli kezelés		van → összetételváltozós kezelés
	kisebb → felületolvadás nélküli kezelés		
	alakítási keményedésen és/vagy maradó nyomóerősültségek kialakulásán alapuló eljárások	felületszilárdítás	fizikai hatásokon és/vagy adhéziós kapcsolódáson alapuló eljárások
	alaktrop átalakuláson és/vagy nemegyensúlyi szövetszerkezet létrejöttén alapuló eljárások	felületedzés	kémiai átalakulásokon és/vagy diffúziós folyamatokon alapuló eljárások
nagyobb → felületolvadásos kezelés	gyors dermedésen és/vagy kristályosodási mikroszerkezet finomodásán alapuló eljárások	felületi átalakítás	metallurgiai reakciókon és/vagy kohéziós kötéseken alapuló eljárások
	felolvasztó hegesztés	lézerekkel	felület- ötvöztetés
	gázhegesztéssel	elektronsugárral	...
	volfrámelektrodás ivhegesztéssel	plazmával	felrakó hegesztés
			lézerekkel
			elektronsugárral
			plazmával
			volfrámelektrodás ivhegesztéssel
			fogyóelektrodás ivhegesztéssel
			salakhegesztéssel
			szikrahegesztéssel
			gázhegesztéssel
			hagyományos CVD
			kombinált CVD
			kémiai szórás
			reaktív kémiai szórás
			ionimplantáció
			kémiai oxidálás
			anódos oxidálás
			vegyületek képzése
			fém színezés
			ötvöztetés
			porközegben
			sóoldékonyban
			gáz közegben
			felületi ráolvasztás
			bemártással
			hőkezeléssel
			lánggal
			plazmával
			elektronsugárral
			lézerrel
			védőbevonatolás
			ragasztás
			festés
			zománcozás
			kémiai fémleválasztás
			galvanizálás
			termikus szórás
			lángszórás
			ívszórás
			plazmaszórás
			lézerszórás
			robbantós szórás
			plattírozás
			húzásos plattírozás
			folytatós plattírozás
			hengerléses plattírozás
			robbantós plattírozás
			dörzsplattírozás
			fizikai gőzfázisú bevonatolás
			vákuumgőzölés
			katódporlasztás
			ionsugaras bevonatolás
			ionsugaras leválasztás

1. ábra Felületkezelési eljárások felosztása

2. Felületkezelési eljárások rendszere

A felületkezelési eljárások egy lehetséges felosztási rendszerét az **1. ábra** szemlélteti. Ezen felosztás alapja az, hogy a kezelendő tárgy felületén várhatóan fellépő maximális hőmérséklet meghaladja-e a tárgy anyagának olvadáspontját vagy sem, ill. idegen anyag (hozaganyag) rákerül-e az alapanyag felületére vagy sem. Ezek szerint beszélhetünk felületolvadásos vagy felületolvadás nélküli, ill. összetételváltozásos vagy összetételváltozás nélküli felületkezelésről. A további rendezőelv a kezelésre jellemző anyagtudományi jelenség (folyamat) és az idegenanyag kötődési mód: alakítási keményedés és/vagy maradó nyomófeszültség kialakulása; allotróp átalakulás és/vagy nemegyensúlyi szövetszerkezet létrejötte; gyors dermedés és/vagy kristályosodási mikroszerkezet finomodás; ill. fizikai hatások és/vagy adhéziós kapcsolódás; kémiai átalakulások és/vagy diffúziós folyamat; valamint a metallurgiai reakciók és/vagy kohéziós kötés. A felületolvadásos kezeléseken belül a felületi átolvasztás a felolvasztó hegesztéssel, a felületötvöztetés a felrakó hegesztéssel rokon alapokon nyugszik, ill. azokat hasonló célból alkalmazzák.

A **2. ábra** a felületkezelő eljárások olyan csoportosítási sémáját mutatja, melyben a rendezőelvet a felületi réteggépzést biztosító alapvető hatás (mechanikai, termomechanikai, termikus, termokémiai, kémiai, elektrokémiai, elektrofizikai, fizikai) jelenti. További rendezőelv a kezelendő felület jellegzetes csúcshőmérséklete, azaz a zárt nyolcszögben a felületolvasztás nélküli, míg a két "túlnyúló" szegmensben a felületolvadásos kezelés-csoportok találhatók.

A **3. ábra** az ismert energiaforrások felületkezelésekhez való alkalmazhatóságát szemlélteti, vagyis az alkalmazott energia eredete szerint megkülönböztethetők:

- elektromos ívhő hasznosítók, melyeknél gázközegben nagy hőmérsékletű kisülés ill. részben ionizált állapot – normál- vagy plazmaív – hatása érvényesül;
- elektromos ellenálláshő hasznosítók, melyeknél nagy erősségű áram átvezetése (közvetlen betáplálás) vagy nagyfrekvenciás árammal gerjesztett induktor mágneses tere általi örvényáram-indukálás (közvetett betáplálás) az anyagban Joule-hőt fejleszt;
- termokémiai reakcióhő hasznosítók, melyeknél exoterm (hőtermelő) oxidációs vagy redukációs kémiai folyamatok mennek végbe;
- termokémiai transzport-folyamatokat aktiválók, melyeknél az anyagokban atom-átrendeződéssel (anyagtranszporttal) járó diffúzió vagy oldódás megy végbe;
- mechanikai alakváltozás energiáját hasznosítók, melyeknél jelentős hidegalakítás vagy nagy nyomásimpulzus okozta deformáció mértéke a meghatározó;
- mechanikai súrlódás energiáját hasznosítók, melyeknél az anyagfelületek menti mikro- vagy makrosúrlódás okozta dörzshatás érvényesül;
- részecskesugárzás energiáját hasznosítók, melyeknél elektronok vagy ionok alkotta fókuszolt

sugár anyagba ütközése és lefékeződése hőt fejleszt;

- elektromágneses sugárzás energiáját hasznosítók, melyeknél fotonok alkotta fókuszolt monokromatikus lézersugárzás abszorpciója érvényesül.

2. ábra Felületkezelési eljárás csoportok

A 3. ábrában a fekete cellák jelölik a gyakorlatban alkalmazott, míg a szürke cellák az elvileg lehetséges eseteket.

Energia forrása	FELÜLET- KEZELÉSI ELJÁRÁS	Összetételváltozás nélküli felületkezelés				Összetételváltoztató felületkezelés			
		Felületolvadás nélküli		Olvadáson		Felületolvadás nélküli		Olvadáson	
		felület szilárdítás	felület edzés	felületi átolv. felolv. heg.	(termikus) szórás	plattírozás	(termo- kémiai) kezelés	felületi ráolvasztás	felületi felrakó heg.
normálív	ÍV-								
plazmaív	PLAZMA-								
áram- átvezetés	ELLENÁLLÁS-								
áram- indukálás	INDUKCIÓS-								
oxidáció	LÁNG-								
redukció	TERMIT-								
diffúzió	DIFFÚZIÓS-								
szilárdoldat képződés	OLDÓ-								
hidegsajtolás	HIDEG- ALAKÍTÁSOS-								
nyomás- impulzus	ROBBANTÁSOS-								
mikro- súrlódás	ULTRAHANGOS-								
makro- súrlódás	DÖRZS-								
elektronsugár	ELEKTRONSU- GARAS-								
ionsugár	IONIMPLAN- TÁCIÓS-								
monokroma- -tikus fény	LÉZERES-								
polikroma- -tikus fény	FÉNYSUGÁR- ZÁSOS-								

3. ábra Eenergiaforrások felületkezelésekhez való alkalmazhatósága

Az alkalmazható eljárások közül egyre inkább előtérbe kerülnek az ún. nagy energiasűrűségű (nagy teljesítménysűrűségű) felületkezelések, melyeknek összetétel-változtatás nélküli vagy összetétel-változtatásos, illetve felületolvasztás nélküli vagy felületolvasztásos változatai egyaránt jól használhatók irányított, azaz csak az arra kijelölt felületrészekre korlátozandó kezelésekhez.

Egyébként a nagy energiasűrűségű megmunkálások (megmunkáló eljárások) családjába sok mindent belefoglalnak, így:

- a felületi rétegfelvitelt biztosító termikus (láng-, elektromos ív-, plazma-, lézer-, robbantásos-) szórást;
- az alakadási (alakítási) célú nagysebességű szerszámos, nyomáshullámos (robbantásos, elektrohidraulikus, mágneses, ultrahangos) megmunkálást; a lézeres termikus hajlítást, egyengetést és forgácsolást, továbbá az integrált lézeres - mechanikus forgácsoló megmunkálást szerszámcsereeléssel;
- funkcionális (nem csak geometriai) prototípusok gyors előállítására (rapid prototyping) hivatott lézer litográfiát, szelektív lézeres szinterelést és közvetlen lézeres gyártást;
- a felületi réteget átalakító
 - plazmás-, elektronsugaras-, lézeres- szilárdító, edző, átolvasztó, ráolvasztó, ötvöző eljárásokat

(beleértve a különféle célú megmunkáló hengerek felületérdesítését ill. -texturálását is),

- ionimplantációt,
- indukciós és ellenállásos gyors hőkezelést;
- az anyagegyesítő ill. anyagszétválasztó (plazma-, elektronsugaras-, lézeres-) hegesztést ill. vágást és a nagysebességű vízsugaras vágást, hozzáértve:
 - olcsó és gyors alakítószerszám-előállítási módszert, mely lézerrel lemezből kivágott szerszám- "szeletek" egymásra építését jelenti;
 - lézeres hegesztés és vágás ill. képlékeny alakítás kombinált alkalmazásával végzett prototípus-gyártást, sőt szériagyártást (pl. összeszabott autókarosszéria-lemezrészecskék gyártása és megmunkálása);
- továbbá az üvegfémek (fémüvegek) előállítására alkalmas gyorsdermesztő módszereket.

Nagy energiasűrűségről (nagy teljesítménysűrűségről) akkor szokás beszélni, ha a fajlagos teljesítmény- (energia-) bevitel meghaladja a $10^2 \text{ W/mm}^2 = 10^4 \text{ W/cm}^2 = 10^8 \text{ W/m}^2$ -es értéket. Az említett határérték azonban nem különíti el jól és egyértelműen a hagyományos ill. az általában nagy energiasűrűségűként emlegetett hőforrásokat, eljárásokat. Talán ez indokolhatta, hogy bevezették az ultra (vagy extrém) nagy energiasűrűség fogalmát is, mely már ténylegesen csak a plazmás-, de főképp az elektronsugaras- és a lézeres eljárásokat jellemezheti, ami számszerűsítve a $10^4 \text{ W/mm}^2 = 10^6 \text{ W/cm}^2 = 10^{10} \text{ W/m}^2$ -es érték - sugárfókuszolás útján történő - megvalósíthatóságát jelenti.

A **4. ábra** csak az ún. ultra nagy energiasűrűségű - tehát plazmás, elektronsugaras, lézeres - felületkezeléseket foglalja össze, zárójelben megemlítve az adott eljárások elterjedt angol elnevezéseit is. Az ábrában szereplő szilárdállapotú és olvadékállapotú ill. termikus és termokémiai kezeléseken kívül egyes szerzők megemlítenek gőzállapotú felületkezelő (lézerrel intenzifikált pirolízis és fotolízis CVD, lézeres PVD, ...) és elektrolitikus (lézerrel gyorsított árammentes bevonó, eloxáló, ...) eljárásokat is.

6. Következtetések / Összefoglaló

A felületkezelési eljárások rendszerezésében meghatározó szerep jut a jellemző anyagtudományi jelenségeknek és az alkalmazható energiaforrásoknak. Ez utóbbiak között egyre nagyobb teret nyernek a nagy energiasűrűségű hőforrások (lézer, elektronsugár).

alapanyag felületi rétege			
alapanyag felületi rétegében	szilárd állapotban marad		olvadék állapotba kerül
	Felületszilárdítás (surface strengthening)	Felületedzés (surface hardening)	Felületi átolvasztás (surface remelting)
	elektronsugárral, lézerrel → lökéshullámos felületszilárdítás (shock wave treatment) → impulzusos keményítés (shock hardening)	elektronsugárral, lézerrel → allotrópiát mutató anyagok keményítése (transformation hardening) → allotrópiát nem mutató anyagok lágyítása (recrystallization annealing)	elektronsugárral, lézerrel → mikroszerkezet-finomítás (microstructure refinement) → homogenizálás (homogenisation) → sűrűség-növelés (densification) → zománcozás, üvegesítés (glazing, vitrification)
	Termikus szórás (thermal spraying)	Felületi ráolvasztás (surface cladding)	Felületötvözés (surface alloying)
összetétel változás	plazmával, lézerrel → plazmaszórás (plasma spraying) → lézerszórás (laser spraying)	plazmával, elektron-sugárral, lézerrel → homogenizálás (homogenisation) → sűrűség-növelés (densification) Előbevonással (azaz 2 lépésben) Por-, huzal-, vagy reaktív gáz-adagolással (azaz 1 lépésben)	elektronsugárral, lézerrel → ötvözőelemek oldatba vitele (alloying treatment) → diszperz részecskék beville (particle injection)

4. ábra Nagy energiasűrűségű felületkezelések

Irodalom

- [1] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007
- [2] M. A. Mihejev: *A hőátadás gyakorlati számításának alapjai* Tankönyvkiadó, Budapest, 1987
- [3] E. A. Metzbower: *Penetration Depth in Laser Beam Welding*. Welding Journal, August 1993, p. 403-407.
- [4] Főszerkesztő Szunyogh László: *Hegesztés és rokon technológiák Kézikönyv* – 3.2.7.

- Plazmahegesztés (204-213. oldal), szerző: Bagyinszki Gyula; Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007 (ISBN 978-963-420-910-2)
- [5] Bagyinszki Gyula: Gyártásismeret és technológia (240 oldal), Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest, 2004
- [6] Bagyinszki Gyula – Kovács Tünde – Kálazi Zoltán – Tom Bell: Acélok duplex felületedzése; Gép LII. évfolyam, 2001/9. szám, 16-22. oldal
- [7] Gyula Bagyinszki: Wear Resistance Characterization of Surface Treatment Layers, Eurotrib'93 - 6th International Congress on Tribology, Budapest - Hungary, August 30 - September 2, 1993, Volume 3., pp. 350-353.
- [8] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: Lézeres anyagtechnológiák energiasűrűségi jellemzői, X. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2005. március 18-19., 75-80. oldal
- [9] Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő - Kovács Tünde: Alakító szerszámacélok károsodásállóságának javítása felületkezeléssel, XI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2006. március 24-25., 9-14. oldal
- [10] Sebestyén Anita - Nagyné Halász Erzsébet - Bagyinszki Gyula - Bitay Enikő: Felületmódosítási eljárások hatása acélok kopásállóságára, XII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2007. március 16-17.; Műszaki Tudományos Füzetek - Erdélyi Múzeum-Egyesület kiadványa (ISBN 973-8231-67-1, ISBN 978-973-8231-67-2) 161-168. oldal
- [11] Bagyinszki Gyula: Nagy energiasűrűséggel kezelt felületi rétegek tulajdonságbecslése (Kandidátusi értekezés), BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Tanszék, 1997, 99 + 49 oldal

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;

Dr. Bitay Enikő, egyetemi docens
 Sapientia – Erdélyi Magyar Tudományegyetem Műszaki és Humántudományok Kar,
 Marosvásárhely/Koronka (Țîrgu Mureș/Corunca)
 Segesvári út (Șoseaua Sighișoarei) 1C.
 Postacím: 540485, Op.9, Postafiók 4.
 Telefon: +40-265 - 20 81 70
 Fax: +40-265 - 20 62 11
 E-mail: ebitay@gmail.com