



HRVATSKO DRUŠTVO ZA MATERIJALE I TRIBOLOGIJU

POSTUPCI MODIFICIRANJA I PREVLAČENJA POVRŠINA

Priručnik za primjenu

Uredili: Tomislav Filetin
Krešimir Grilec

Zagreb, 2004.

Uredili:

prof.dr.sc. Tomislav Filetin, redoviti profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu
dr.sc. Krešimir Grilec, dipl.ing., viši asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

Recenzenti:

dr.sc. Mladen Stupnišek, redoviti profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu
dr.sc. Vinko Ivušić, redoviti profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu
dr.sc. Ivan Esih, redoviti profesor u mirovini Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

Izdavač:

Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, Ivana Lučića 1

Glavni urednik: prof.dr.sc. Vinko Ivušić

Lektorica: Zrinka Romić, prof.

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i sveučilišna knjižnica - Zagreb UDK 621.793/.795(035) POSTUPCI modificiranja i prevlačenja površina : priručnik za primjenu / uredili Tomislav Filetin, Krešimir Grilec. - Zagreb : Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, 2004. Bibliografija. ISBN 953-7040-04-6 1. Filetin, Tomislav 2. Grilec, Krešimir I. Inženjerstvo površina 441118094

Grafičko oblikovanje ovitka: Andrej Filetin, akademski slikar

Crteži: Mario Lesar, graf.ing.

Prijelom na računalu: Hrvoje Cajner, dipl.ing.

Tisak: ITG d.o.o.

Naklada: 200

Copyright © Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju

PREDGOVOR

Smanjenje trenja i trošenja materijala je bez sumnje gospodarstveno vrlo značajna tema. Procjene o godišnjim gubicima od trenja i trošenja su vrlo spekulativne. Istraživanja u Velikoj Britaniji pokazala su da uštede mogu iznositi 1 do 2 % bruto nacionalnog dohotka. Slične procjene postoje u Njemačkoj i Japanu.

Dugo se pokušavalo trošenje smanjiti promjenom svojstava osnovnih materijala, dok se zadnjih 10-ak godina najveća pozornost posvećuje razvoju i primjeni postupaka modificiranja i prevlačenja površina. Nova znanstvena i tehnička disciplina "Inženjerstvo površina" bavi se upravo istraživanjem i primjenom postupaka za stvaranje materijala koji pružaju učinkovitu zaštitu od različitih vidova trošenja. Mnogi od opisanih postupaka služe ne samo za stvaranje prevlaka i slojeva otpornih na trošenje nego istovremeno i slojeva otpornih na koroziju ili površina atraktivnog izgleda.

Razvoj postupaka i funkcionalnih slojeva je sve intenzivniji tako da ga je u praksi vrlo teško pratiti, kako bi se u konkretnom slučaju odabrao najprikladniji postupak i materijal.

Tekst ovog priručnika strukturiran je tako da omogućuje sažeti uvid u karakteristike pojedinih postupaka i u svojstva rezultirajućih materijala prevlaka i slojeva, ali i usporedbu pojedinih postupaka i slojeva.

Sadržaj je većim dijelom rezultat prijevoda priručnika "Verschleißschutz – ein Ratgeber für die Anwendung verschleißhemmender Schichten" u izdanju Fachausschuß 10 "Harte Schichten" der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik (AWT), Wiesbaden, 1997. /1/. Dodani su vlastiti opisi sol-gel postupaka, opisi triboloških svojstava i sažeti pregled metoda ispitivanja pojedinih svojstava otpornosti na trošenje.

Priručnik će se neprestano nadopunjavati opisima novih postupaka, pa je stoga priređen kao html dokument, i kao takav će biti instaliran na web portal **mat-net.hr**.

Cijenjenim recenzentima, prof.dr.sc. Vinku Ivušiću, prof.dr.sc. Mladenu Stupnišku i prof.dr.sc. Ivanu Esihu zahvaljujemo na vrlo korisnim sugestijama koje su bitno doprinijele poboljšanju teksta. Posebna hvala gospođi Đurđici Gorščak, dipl.ing. stroj. koja je kompetentno prevela velik dio izvornog teksta priručnika zahvaljujući dobrom poznavanju i struke i njemačkog jezika. Također zahvaljujemo Hrvoju Cajneru, dipl.ing. na uloženom trudu pri prijelomu teksta na računalu i gospodinu Lesaru na lijepo urađenim crtežima.

Ovaj priručnik je jedan od rezultata tehnološkog projekta "SUMAT-Razvoj i primjena suvremenih materijala" koji financira Ministarstvo znanosti obrazovanja i športa RH u razdoblju od 2002.-2005. Zahvaljujemo Ministarstvu na financijskom potpori projektu.

Tomislav Filetin

Krešimir Grilec

SADRŽAJ

UVOD	1
A. PRIMJERI SLUČAJEVA TROŠENJA	7
B. OPISI POSTUPAKA I SLOJEVA ZA ZAŠTITU OD TROŠENJA	19
PREGLED GRUPE 1: MARTENZITNI SLOJEVI	21
1.1 Prokaljeni slojevi	25
1.2 Plamenom zakaljeni slojevi	28
1.3 Indukcijski kaljeni slojevi	32
1.4 Laserom zakaljeni površinski slojevi	38
1.5 Površinsko kaljenje snopom elektrona	42
1.6 Cementirani slojevi	45
PREGLED GRUPE 2: POVRŠINSKI SLOJEVI PROMIJENJENOG KEMIJSKOG SASTAVA (TOPLINSKO-KEMIJSKI SLOJEVI)	49
2.1 Nitrirani slojevi / nitrokarburirani slojevi	55
2.2 Borirani slojevi	61
2.3 Difuzijski slojevi kroma	66
PREGLED GRUPE 3: TOPLINSKI NAŠTRCANI SLOJEVI	69
3.1 Samotekuće legure	81
3.2 Čisti metali	86
3.3 Metalni karbidi	89
3.4 Metalni oksidi	93
3.5 Metalne legure	97
3.5.1 Metalne legure: legure na osnovi željeza	97
3.5.2 Metalne legure: legure na osnovi nikla i kobalta	100
3.5.3 Metalne legure: legure na osnovi aluminija i bakra	104
3.6 Posebni materijali – samoprilagodljivi slojevi	108
PREGLED GRUPE 4: CVD – PREVLAKE	113
4.1 Visokotemperaturne CVD prevlake od tvrdih spojeva na osnovi titana – TiC, TiN, Ti(C, N), jednoslojne i višeslojne	121
4.2 Visokotemperaturne CVD prevlake od Al-oksida višeslojne prevlake u kombinaciji s tvrdim spojevima na osnovi titana	123
4.3 Srednjetemperaturne CVD prevlake od Ti-karbonitrida	124
PREGLED GRUPE 5: PVD – PREVLAKE	125
5.1 Titan-nitridne prevlake	135
5.2 Titan-karbonitridne prevlake	137
5.3 Titan-aluminij-nitridne prevlake	138
5.4 Krom-nitridne prevlake	139
5.5 Prevlake od ugljika slična dijamantu	140

PREGLED GRUPE 6: NAVARENI SLOJEVI	143
6.1 Slojevi za zaštitu od trošenja od čeliku sličnih materijala	151
6.2 Slojevi za zaštitu od trošenja s visokim udjelom tvrdih faza	155
6.3 Slojevi za zaštitu od korozije	159
6.4 Slojevi za zaštitu od korozije i trošenja	162
6.5 Disperzijski i legirani slojevi	165
PREGLED GRUPE 7: LASERSKO RASTALJIVANJE SLOJEVA	169
7.1 Slojevi s uloženim disperziranim česticama	177
7.2 Legirani slojevi	182
7.3 Lasersko prevlačenje	186
7.4 Laserski pretaljeni slojevi	191
PREGLED GRUPE 8: GALVANSKI I SRODNI SLOJEVI	195
8.1 Tvrdo kromirani slojevi	203
8.2 Slojevi od nikla i fosfora	205
8.3 Disperzijski slojevi od nikla i fosfora	207
PREGLED GRUPE 9: IONSKI IMPLANTIRANI SLOJEVI	209
9.1 Implantiranje dušika sa ili bez separacije mase iona	217
9.2 Implantiranje ugljika ili metalnih iona	218
9.3 Implantiranje iona pomoću plazmatskih izvora	219
9.4 Miješanje snopa iona	220
9.5 Prevlačenje potpomognuto snopom iona	221
PREGLED GRUPE 10: OSTALI SLOJEVI	223
10.1 Sol-gel slojevi	225
C. OPISI TRIBOLOŠKIH SVOJSTAVA	231
D. OPISI METODA ISPITIVANJA OTPORNOSTI NA TROŠENJE	247
LITERATURA	257