

# TRDE PVD-PREVLEKE ZA ZAŠČITO ORODIJ ZA OBLIKOVANJE PLASTIKE (2. del)

Peter Panjan

Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana

## POVZETEK

Tribološki problemi, s katerimi se srečujemo pri oblikovanju plastike, so poleg abrazijske, adhezijske in korozijske obrabe še termično in mehansko utrujanje orodnega materiala in poškodbe, ki nastanejo med polnjenjem kalupa s talino in med izmetavanjem izdelka iz orodja. Vse te težave lahko bistveno zmanjšamo, če orodje zaščitimo z ustreznim postopkom inženirstva površin. V prispevku opisujemo možnosti uporabe trdih PVD-prevlek za zaščito orodij za oblikovanje plastike.

## PVD coatings for protection of tools for plastic moulding (Part 2)

### ABSTRACT

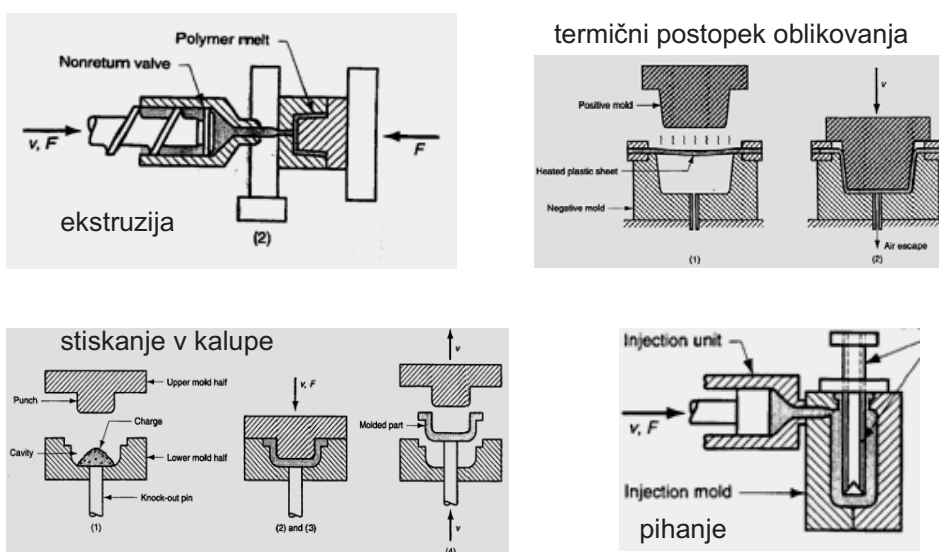
Tribological problems in the plastic moulding industry are beside abrasion, adhesion and corrosion wear, also thermal and mechanical fatigue of tool material and damages which take place during mould filling and during release of products from the tool. All these problems can often be solved by the use of corresponding surface engineering method. In this paper the possibility of the use of PVD hard coatings for protection of moulding tools is described.

## 1 UVOD

Imperativ razvoja na področju oblikovanja plastike je povečati produktivnost in kakovost izdelkov. Obraba in druge motnje v delovanju orodja ter nezadostno mazanje so vzroki za zastoje v proizvodnji in drago obnavljanje orodja. Obraba orodja in težave pri izmetavanju izdelkov iz kalupov se izražajo tudi v slabših mehanskih lastnostih izdelka, v napakah na njegovi površini, manjši produktivnosti in višji ceni izdelka.

Obrabo orodja, nastajanje oblog, kosmičenje pigmentov ter problem slabega tečenja taline in nepopolne zapolnitve kalupa lahko v veliki meri zmanjšamo, če orodje zaščitimo z ustreznim postopkom inženirstva površin. Takšni so elektrokemijski postopki (trdo kromiranje, netokovno nanašanje niklja), ki pa se zaradi ekološke oporečnosti vse bolj poredko uporabljajo. Trdi krom (HRC 72) se uporabi, kadar prevladuje abrazijska obraba in kadar je geometrija orodja enostavna. Če je potrebna enakomerno debela zaščitna plast na orodju, ki ima komplicirano geometrijo, in če je korozija zelo močna, je najprimernejša prevleka netokovnega niklja (HRC 50), ki pa je precej mehkejša od trdega kroma. Trdota niklja se poveča na HRC 62 z dodatkom kobalta ali na HRC 85 z dodatkom diamatnih zrn nanometerske velikosti. Z dodatkom bornitrdih zrn pa se hkrati poveča trdota (HRC 54-67) in zmanjša koeficient trenja. Kadar pa se zahteva samo majhen koeficient trenja, se niklju doda teflonske delce.

Sodobni postopki zaščite orodij za oblikovanje plastike so plazemsko nitiranje, ionska implantacija ter fizikalni (vakuumski, PVD) in fizikalno-kemijski postopki nanašanja (PACVD) trdih prevlek.<sup>(1-6)</sup> V nekaterih primerih je smiselna kombinacija teh postopkov. V nadaljevanju bomo podrobneje opisali možnosti uporabe trdih PVD-prevlek za zaščito orodij za oblikovanje plastike. Trde PVD-prevleke zagotavljajo bolj zanesljivo, bolj kakovostno in bolj ekonomično proizvodnjo izdelkov iz plastike.



Slika 1: Nekateri značilni postopki preoblikovanja plastike

### 3 ZAŠČITA ORODIJ S TRDIMI PVD-PREVLEKAMI

Orodja za oblikovanje plastike so v splošnem izpostavljena kombinaciji mehanskih, korozijskih in termičnih obremenitev. Posledica teh obremenitev je obraba orodja.

Preden se odločimo za postopke zaščite orodja, moramo identificirati mehanizem obrabe v konkretnem primeru. Kadar je abrazijska obraba zelo intenzivna (velika vsebnost polnil in pigmentov), se za zaščito orodja lahko uporabi TiN- ali TiAlN-prevleka. Če pa so abrazijski delci veliki, je primernejša zaščita z debelo (5–10 µm) CrN-prevleko ali prevleko v obliki večplastne strukture. V nekaterih primerih (npr. visokopolirana orodja za izdelavo reflektorjev za žaromete ali kadar je nosilnost orodnega jekla majhna) dosežemo zadovoljivo zaščito orodij za oblikovanje plastike le s kombinacijo plazemskega nitiranja in trde PVD-prevleke. Tako zaščiteno orodje, narejeno iz jekla za delo v toplem, obdrži majhno hrapavost in sijaj tudi po veliki seriji brizgov. Abrazijski obrabi so izpostavljeni zlasti deli brizgalne enote: polž, cilindri in šoba.

Adhezijsko obrabo lahko zmanjšamo z uporabo maziv, z nanosom kemijsko inertne plasti na površino orodnega materiala ali z ionsko implantacijo dušika. Prevleki TiN in TiAlN sta najbolj primerni za zaščito jeklenih delov orodja, prevleka CrN pa za zaščito delov iz bakrovih zlitin, medtem ko je za zaščito izvrtin najprimernejše plazemsko nitiranje. V nekaterih primerih uporaba maziv in sredstev za ločevanje ni dovoljena (npr. izdelki za uporabo v medicini, farmaciji in prehrabni industriji). V takih primerih gibljive dele orodja (kot so npr. trni za izbijanje, vodila) zaščitimo s tanko plastjo trdega maziva (npr. WC/C). WC/C-prevleka ima odlične drsne lastnosti, je relativno trda (HV 1100) in odporna proti "freting"

**Tabela 1:** Primerjava trdot orodnih jekel, nitiranega orodnega jekla, trdega kroma, pigmentov in trdih prevlek

Material	Trdota (HV)		
	1000	2000	3000
Orodno jeklo 45-62 HRC	■		
nitirano orodno jeklo	■		
trdi krom	■		
Steklena vlakna	■		
SiO <sub>2</sub>			■
TiO <sub>2</sub>		■	
TiN		■	
CrN		■	
TiAlN			■
DLC	■	■	■

koroziji. Adhezijski obrabi so najbolj izpostavljeni polž, cilindri in drsni elementi zapiralne enote.

Vpliv korozije lahko zmanjšamo tako, da uporabimo visokolegirana jekla, ki pa so dražja, manj trda in zato obrabno manj obstojna. Zelo učinkovit način korozijske zaščite je nanos netokovnega niklja. Eden od načinov korozijske zaščite orodij je nanos nekaj mikrometrov debele trde PVD-prevleke, ki ima boljše elektrokemijske lastnosti kot orodno jeklo. Nanos trde PVD-prevleke lahko prepreči korozijo ali pa jo vsaj zakasni, saj zmanjša dostop elektrolita do jeklene podlage in ovira odstranjevanje korozijskih reakcijskih produktov. Zaščita pred korozijo s PVD-prevlekami je tem bolj učinkovita, čim večja je njena gostota (čim bolj je fino zrnata in čim manj je v njej mikroskopsko majhnih por, ki omogočijo elektrolitu dostop do podlage). Pore in meje med stebričastimi zrni pa omogočijo dostop elektrolita do podlage, zato korozije ne moremo preprečiti, če brizgamo močno korozivno plastiko. Trda prevleka zato sama po sebi ne zagotavlja zadostne korozijske obstojnosti. Zato je v takih primerih smiselno nanesti trdo prevleko na predhodno kemijsko ponikljano površino orodja. Korozijsko obstojnost še najbolj izboljšamo z ionsko implantacijo kroma v površinsko plast orodnega jekla. Tako lahko pri sobni temperaturi v vrhno plast orodja implantiramo do 30 % kroma. Na površini nastane med delovanjem orodja pasivacijska oksidna plast, ki

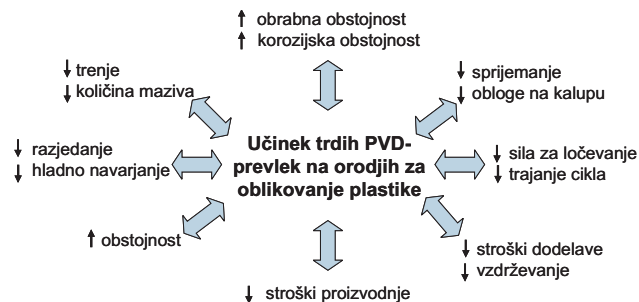
**Tabela 2:** Priporočila podjetja Balzers za izbiro trdih PVD-prevlek za zaščito orodij za oblikovanje plastike<sup>(1)</sup>

Vrsta plastike	Kratica	TiN	CrN	TiAlN
<b>Termoplasti</b>				
Polialkeni	PE, PP, PB	+	++	+++
Polistireni	PS, SB, SAN, ABS, ASA	+++	++	+++
Polivinilklorid	PVC		++	
Fluorirani polimeri	PTFE, PVDF		++	
Polioksimetilen (acetatne smole)	POM	+	++	
Poliamid	PA	+++	+++	+++
Linearni poliestri	PC, PBT(B), PET(P)	+++	+++	
Poliarileneteni	PEEK, PPS, PSU, PES, PPE, PPO	+	+++	
Poliimid	PI	+++		
Celulozni estri	CA, CP, CAP	+++		
Poliakrilat	PMMA	+++		
<b>Duroplasti</b>				
Poliuretani	TPU		+++	
Fenolne smole	PF	+	+++	
Epoksi smole	EP	+	+++	
Nenasičeni poliestri	UP		+	
Poliuretani	PUR		+	
<b>Elastomeri</b>				
Aminoplasti	MF, UF, MP	++	+++	
Sintetični kavčuk	NBR, EPDM, SI	+	++	
Fluorirani elastomeri	multipolimer – TPE, FPM		++	

preprečuje korozijo. Postopek ionske implantacije je drag in ne omogoča obdelave večje površine orodja. Uporablja se v primerih, ko je korozija lokalizirana na relativno majhno površino (npr. ventili za odzračevanje).

Razen naštetih obstaja še vrsta drugih razlogov za uporabo trdih PVD-prevlek za zaščito orodij za oblikovanje plastike:

- Ker so kemijsko dokaj nereaktivne, zmanjšajo sprijemanje plastike s površino orodja in nastajanje oblog. Obloge, ki se pojavijo po daljšem času delovanja orodja, se ne sprimejo tako močno kot pri neprekritem orodju, zato jih lažje in hitreje odstranimo.
- Trde PVD-prevleke omogočijo lažje ločevanje izdelka od orodja, kar je posledica manjših kemijskih in fizikalnih interakcij. To je zlasti ugodno, kadar ne smemo uporabiti sredstev za ločevanje (izdelki za uporabo v medicini, farmaciji in prehrabni industriji).
- Če je orodje prekrito s trdo PVD-prevleko, je čas hlajenja krajši. Manjše sprijemanje plastike z orodjem omogoča odpiranje in izmetavanje izdelka pri višji temperaturi, ne da bi se izdelek plastično deformiral. Zanesljivo in lažje odstranjevanje izdelka pomeni krajši cikel izdelave.
- Trde PVD-prevleke omogočijo lažjo zapolnitev kalupa s talino. Ko se le-ta zapolni s talino, pride do hitrega ohlajanja taline ob steni orodja, kjer nastane trdna plast, ki zmanjša pretok taline. Ker trde prevleke dobro odbijajo toploto, je debelina trdne skorje ob steni orodja manjša, polnjenje pa zato hitrejše.
- Po brizganju lahko velike notranje napetosti v izdelku povzročijo, da se le-ta zvije. Takšne napetosti so še zlasti velike na mestih, kjer so stene tanke. Na takšnih mestih so temperaturni gradienti veliki. Trda prevleka omogoči bolj enakomerno hlajenje, zato so notranje napetosti manjše.
- Nekateri PVD-prevleke (npr. TiN) so zaradi značilne barve odlični indikator obrabe orodja. Zato lahko operater pravočasno opazi obrabo in ustavi proizvodnjo, še preden pride do hujših poškodb orodja.
- Visoko polirana orodja, zaščitena s PVD-prevleko, lahko očistimo brez nevarnosti, da ga poškodujemo, saj je trda prevleka nekajkrat trša od orodnega jekla.
- Na polnjenje kalupa zelo vplivajo kompleksnost geometrije orodja, dolge dolivne poti in tanke stene. Orodja, zaščitena s PVD-prevleko, zadržijo talino dalj časa viskozno, zato so tlaki brizganja bistveno manjši, polnjenje kalupa orodja pa bolj zanesljivo.
- Za izdelavo nekaterih delov orodja za oblikovanje plastike se vse bolj pogosto uporabljajo tudi



Slika 3: Učinek trdih PVD-prevlek na obstojnost in delovanje orodij za oblikovanje plastike

aluminijeve in bakrove zlitine, ker imajo odlične termične lastnosti in ker je njihova obdelava v primerjavi z jeklenimi deli cenejša. Vendar pa so takšni materiali relativno mehki in nagnjeni k obrabi. Njihovo obrabno obstojnost lahko izboljšamo z nanosom trde CrN-prevleke. Za nanos trdih prevlek na temperaturno občutljive podlage moramo uporabiti nizkotemperaturni postopek nanašanja.

Vsi našteti pozitivni učinki PVD-prevleke na obstojnost orodij za oblikovanje plastike imajo naslednje ekonomske učinke (slika 3):

- zastojev v proizvodnji je manj;
- vzdrževalnih del na orodju je manj;
- čas izdelave izdelka je krajši
- zanesljivost proizvodnje je večja, kar je zlasti pomembno pri avtomatizirani proizvodnji;
- manj je izmeta, medtem ko je kakovost izdelkov večja;
- poraba sredstev za ločevanje je manjša.

Vse to pa pomeni večjo produktivnost in manjše proizvodne stroške.

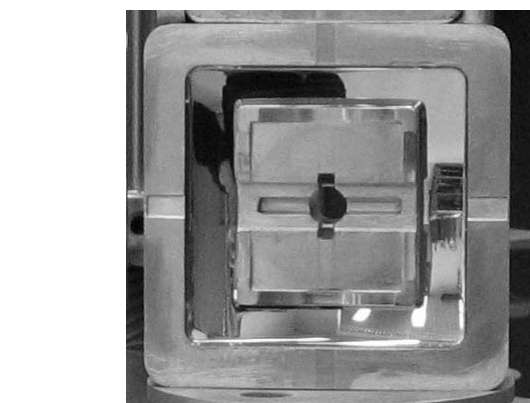
V Centru za trde prevleke na Institutu "Jožef Stefan" že vrsto let prekrivamo različna orodja za oblikovanje plastike. Uspešno jih uporabljajo naslednja slovenska podjetja: TEM (Čatež pri Litiji), Tomplast (Mirna), Polycom (Škofja Loka), Polident (Volčja Draga), Hella (Ljubljana), Iskra Bovec, Cinkarna (Celje), Domel (Železniki) in SEP (Mokronog). S trdimi PVD-prevlekami smo zaščitili tudi več orodij za oblikovanje plastike, ki so bila za tuje naročnike izdelana v slovenskih orodjarnah.

### 3 SKLEP

Razlogov, da se trde PVD-prevleke ne uporabljajo bolj pogosto za zaščito orodij za oblikovanje plastike, je več. Eden od njih je ta, da je treba orodje pred nanosom preizkusiti v proizvodnji. Ostanke plastike na orodju pa je kasneje zelo težko odstraniti, še zlasti iz izvrtin. Med pregrevanjem v vakuumski posodi polimeri izparevajo in kontaminirajo čiste površine orodij.



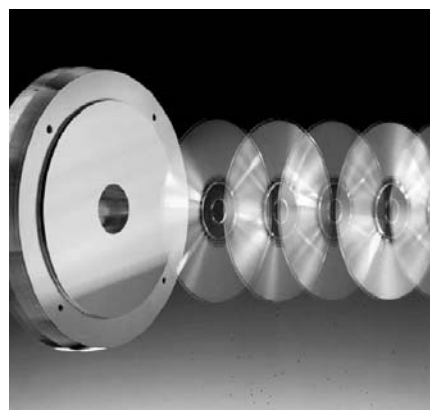
**Slika 4:** Matrice iz elektrolitskega niklja, zaščitene s CrN-prevleko, ki jih v podjetju POLIDENT iz Volčje Drage pri Novi Gorici uporabljajo za izdelavo umetnih zob iz polimetilmetakrilata. Prevleka bistveno poveča obstojnost in zmanjša sprijemanje.



**Slika 5:** Navojni trn (zgoraj), zaščiten s TiN-prevleko, ki ga v podjetju TEM Čatež uporabljajo za izdelavo ohišij za žarnice, ter orodje za brizganje delov stikala (spodaj)

Drugi razlog je dejstvo, da je veliko orodij za oblikovanje plastike narejenih s potopno erozijo. Pri tem nastane na površini nekaj deset mikrometrov debela "bela" plast, ki jo moramo pred nanosom trde prevleke odstraniti, ker je krhka in ne zagotavlja dobre adhezije trde prevleke.

Naslednja težava so lahko velike dimenzije in komplicirana geometrija takšnih orodij ter mikrometrске tolerance.



**Slika 6:** Orodje za proizvodnjo CD- in DVD-plošč, zaščiten s TiN-prevleko (vir: Balzers). Če orodje ni zaščiten s trdo prevleko, ga je treba pogosto polirati. Veliko je neuporabnih izdelkov, ker se zvijejo. Če se orodje zaščiti s TiN-prevleko, se kalup laže napolne s talino, sila za ločevanje izdelka je manjša, čas ohlajanja je krajši in izmet manjši. Manjša je tudi nevarnost nastanka raz na površini orodja med njegovim poliranjem. Obstojnost prekrita orodja je za nekajkrat večja, kakovost izdelkov pa večja.

Nanos prevleke ima smisel le, če je orodje do popolnosti optimizirano ter sposobno brizgati zanesljivo kakovostne izdelke. Ko je orodje optimalno, pa ga je treba za nanos prevleke razdreti (prej morajo biti izdelki odobreni od naročnika, da so ustrezni) in zagotoviti, da se posamezni deli orodja med transportom in nanosom ne bodo poškodovali ali kako drugače spremenili.

Veliko delov orodja za oblikovanje plastike je izdelanih iz orodnega jekla, ki je bilo popuščano pri nizki temperaturi, in iz drugih temperaturno občutljivih materialov, ki niso primerni za nanos trdih PVD-prevlek TiN, CrN, TiAlN s klasičnim postopkom, kjer je temperatura nanašanja okrog 450 °C. Novejši postopki pulznega naprševanja, ki pa se šele uvajajo v industrijsko proizvodnjo, omogočajo nanos kakovostnih trdih prevlek pri temperaturi okrog 150 °C.

## 4 LITERATURA

<sup>1</sup><http://www.coating-guide.balzers.com>

<sup>2</sup>Balzers Application Reports: "BALINIT gets your moulds in shape", Z 059 E (9904), "Plastic processing: Fewer problems, lower costs with BALINIT hard coatings", BD 802 008 AE (9411), "BALINIT Hard Coating in Plastic Processing", BD 800 0014 AE (8910), Balzers A.G., Liechtenstein

<sup>3</sup>O. Kayser, Kombinierte Anwendung von Plasmanitrieren und PVD-Beschichtung im Kunststoffmaschinen- und formenbau, Vakuum in Forschung und Praxis 14 (2002) 3, 156-160

<sup>4</sup>E. J. Bienk, N.J. Mikkelsen, Application of advanced surface treatment technologies in the modern plastic moulding industry, Wear 207 (1997) 6-9

<sup>5</sup>[http://www.tribo.dk/plastics\\_moulds.html](http://www.tribo.dk/plastics_moulds.html)

<sup>6</sup>Zaščita orodij s trdimi PVD-prevlekami, P. Panjan, M. Čekada, Institut "Jožef Stefan", 2005, 218