

# ODPORNOST ORODNIH JEKEL PROTI TREM VRSTAM OBRABE

## TOOL STEELS' RESISTANCE TO THREE WEAR MECHANISMS

**Franc Uranc**

SŽ Metal Ravne d.o.o., Koroška c. 14, 2390 Ravne na Koroškem, Slovenija

*Prejem rokopisa - received: 2000-01-12; sprejem za objavo - accepted for publication: 2000-03-16*

Obrabo sedmih tipov orodnih jekel smo po intenzivnosti razvrstili v 3 razrede. Ugotovljeno je, da zmanjšujejo vse tri vrste obrabe dodatki ogljika in vanadija, da povečuje odpornost proti kotalni obrabi dodatek kroma in molibdena, proti izmenično drsni obrabi dodatek kroma in volframa, proti enakomerni drsni obrabi pa dodatek molibdena in volframa.

Ključne besede: orodna jekla, mehanizmi obrabe, temperatura, pritisk, protisnov, hitrost

Tool steels were arranged into 3 classes (ratings), considering the resistance to different wear mechanisms. It was established that the presence of:

- carbon and vanadium increases the resistance to all wear mechanisms
- chromium and molybdenum increases the rolling abrasion resistance
- chromium and tungsten increases the wear resistance by alternating sliding, and
- molybdenum and tungsten increases the wear resistance to uniform sliding.

Key words: tool steels, wear mechanisms, temperature, pressure, speed, counter material

### 1 UVOD

Proti trem vrstam obrabe (kotalni z zdrsom, izmenično drseči in enakomerno drseči) z različnimi hitrosti in temperaturama so v Tribološkem laboratoriju Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani preizkusili naslednja orodna jekla: BRM1 (S 2-9-1), BR885 (S 2-9-2), BRM2 (S 6-5-2), OSV1 (S 6-3-5-5), UTOP MO 6 (6% Cr, 1% W, 1% Mo, 0,6% V), UTOP MO 5 (8% Cr, 1% W, 1% Mo), OCR 12 VM (12% Cr, 0,6% Mo, 1% V).

Uporabljeni sta bili protijekli: OC 100EX (kot primer je za preizkuse z enakomernim drsenjem podana **preglednica 1**) in PK 12 SP. Uporabljena je bila enaka hladilna tekočina kot v hladni valjarni Acroni.

**Preglednica 1:** Obraba z enakomernim drsenjem; Protisnov OC100EX; Pritisk  $2 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>; Drsna pot 1885

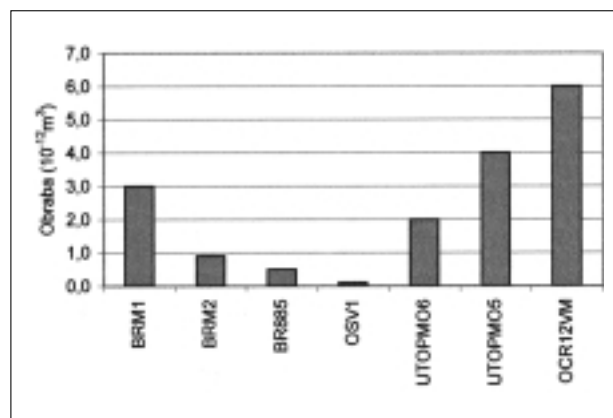
**Table 1:** Wear by uniform sliding; Counter material OC100EX; Pressure  $2 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>; Sliding distance 1885 m

Jaklo	Količina obrabe ( $10^{-12}$ m <sup>3</sup> )			
	Temperatura (°C)			
	20		90	
	Hitrost (m/s)			
	0,1	0,3	0,1	0,3
BRM1	-	-	3,0	0,5
BRM2	1,0	0,3	0,9	0,3
BR885	-	-	0,5	0,1
OSV1	0,15	0,2	0,1	0,1
UTOPMO6	1,0	1,0	2,0	0,3
UTOPMO5	5,0	3,0	4,0	2,0
OCR12VM	-	-	6,0	2,0

### 2 EKSPERIMENTALNO DELO

**Razpredelnica 1 in slika 1** prikazujeta način obdelave za razvrstitev preizkusnih izsledkov v tri razrede s ciljem, da se ugotovi, kateri legirni elementi najbolj povečajo obrabno obstojnost pri določenem mehanizmu obrabe.

**Slika 1** podaja razvrstitev obrabnih izsledkov, prikazanih v četrtem stolpcu **razpredelnice 1**: obraba v enotah  $10^{-12}$  m<sup>3</sup> po enakomernem drsenju 1885 m na jeklu OC100EX s pritiskom  $2 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> pri temperaturi 90°C. Razlike med obrabami posameznih jekel so do 100-kratne, kar je dodaten razlog za razvrščanje obrab v



**Slika 1:** Obraba z enakomernim drsenjem; Protisnov OC100EX; Pritisk  $2 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>; Drsna pot 1885 m; Drsna hitrost 0,1 m/s; Temperatura 90°C

**Figure 1:** Wear by uniform sliding; Counter material OC100EX; Pressure  $2 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>; Sliding distance 1885 m; Speed 0.1 m/s; Temperature 90°C

F. URANC: ODPORNOST ORODNIH JEKEL PROTI TREM VRSTAM OBRABE

**Preglednica 2:** Orodna jekla v skupini najmanjše obrabe (ocena 1) pri 20°C in hitrosti kotaljenja 0,06 m/s, ali največji hitrostji 0,01 m/s (pri izmeničnem drsenju), oz. 0,1 m/s pri enakomernem drsenju

**Table 2:** Tool steels with the lowest wear (rating 1) by the temperature at 20°C, the rolling speed 0,06 m/s, and the maximum speed 0,01 m/s in alternating sliding and 0,1 m/s in uniform sliding tests

Temperatura 20°C	Način preskušanja		KOTALNO		IZMENIČNO		ENAKOMERNO	
	Zdrs (m/s)		0,06		0,01		0,1	
	Protiv		OC100EX	PK12SP	OC100EX	PK12SP	OC100EX	PK12SP
Jeklo	Legirni elementi	% C						
BRM1	4Cr-2W-9Mo-1V	0,80	-	-	-	-	-	-
BRM885	4Cr-2W-9Mo-2V	1,00	-	-	-	-	-	-
BRM2	4Cr-6W-5Mo-1V	0,90				X		X
OSV1	4Cr-6W-3Mo-5V-5Co	1,50		X	O	X	O	X
UTOPMO6	6Cr-1W-1Mo-0,6V	0,70	O	X				
UTOPMO5	8Cr-1W-1Mo	0,55		X				
OCR12VM	12Cr-0,6Mo-1V	1,50	-	-	-	-	-	-

**Preglednica 3:** Orodna jekla v skupini najmanjše obrabe (ocena 1) pri 20°C in hitrosti kotaljenja 0,3 m/s, ali 0,15 m/s (največja hitrost pri izmeničnem drsenju), ali 0,3 m/s (enakomerno drsenje)

**Table 3:** Tool steels with the lowest wear (rating 1). Temperature 20°C, rolling speed 0,3 m/s, maximum sliding speed 0,15 m/s in alternating wear, 0,3 m/s in uniform sliding tests

Temperatura 20°C	Način preskušanja		KOTALNO		IZMENIČNO		ENAKOMERNO	
	Zdrs (m/s)		0,3		0,15		0,3	
	Protiv		OC100EX	PK12SP	OC100EX	PK12SP	OC100EX	PK12SP
Jeklo	Legirni elementi	% C						
BRM1	4Cr-2W-9Mo-1V	0,80	-	-	-	-	-	-
BRM885	4Cr-2W-9Mo-2V	1,00	-	-	-	-	-	-
BRM2	4Cr-6W-5Mo-1V	0,90			O	X	O	X
OSV1	4Cr-6W-3Mo-5V-5Co	1,50		X		X	O	X
UTOPMO6	6Cr-1W-1Mo-0,6V	0,70	O	X			(O)	
UTOPMO5	8Cr-1W-1Mo	0,55	O	X				
OCR12VM	12Cr-0,6Mo-1V	1,50	-	-	-	-	-	-

**Preglednica 4:** Orodna jekla v skupini najmanjše obrabe (ocena 1) pri 90°C in hitrosti kotaljenja 0,06 m/s, ali 0,01 (največja hitrost med izmeničnim drsenjem), ali 0,1 m/s med enakomernim drsenjem

**Table 4:** Tool steels with the lowest wear (rating 1). Temperature 90°C, rolling speed 0,06 m/s, maximum sliding speed 0,01 m/s in alternating wear, and 0,1 m/s in uniform sliding tests

Temperatura 90°C	Način preskušanja		KOTALNO		IZMENIČNO		ENAKOMERNO	
	Zdrs (m/s)		0,06		0,01		0,1	
	Protiv		OC100EX	PK12SP	OC100EX	PK12SP	OC100EX	PK12SP
Jeklo	Legirni elementi	% C						
BRM1	4Cr-2W-9Mo-1V	0,80	O	X				X
BRM885	4Cr-2W-9Mo-2V	1,00	O	X			(O)	X
BRM2	4Cr-6W-5Mo-1V	0,90				X	(O)	X
OSV1	4Cr-6W-3Mo-5V-5Co	1,50	O	X		X	O	X
UTOPMO6	6Cr-1W-1Mo-0,6V	0,70		X	O			
UTOPMO5	8Cr-1W-1Mo	0,55		X		X		
OCR12VM	12Cr-0,6Mo-1V	1,50	O	X	O			X

**Preglednica 5:** Orodna jekla v skupini najmanjše obrabe (ocena 1) pri 90°C in hitrosti kotaljenja 0,3 m/s, ali 0,15 m/s (največja hitrost med izmeničnim drsenjem), ali 0,3 m/s med enakomernim drsenjem

**Table 5:** Tool steels with the lowest wear (rating 1). Temperature 90°C, rolling speed 0,3 m/s, maximum sliding speed 0,15 m/s in alternating wear, and 0,3 m/s in uniform sliding tests

Temperatura 90°C	Način preskušanja		KOTALNO		IZMENIČNO		ENAKOMERNO	
	Zdrs (m/s)		0,3		0,15		0,3	
	Protiv		OC100EX	PK12SP	OC100EX	PK12SP	OC100EX	PK12SP
Jeklo	Legirni elementi	% C						
BRM1	4Cr-2W-9Mo-1V	0,80		lepljenje			O	
BRM885	4Cr-2W-9Mo-2V	1,00	O	lepljenje	O		O	X
BRM2	4Cr-6W-5Mo-1V	0,90		lepljenje	O	X	O	X
OSV1	4Cr-6W-3Mo-5V-5Co	1,50	O	X		X	O	X
UTOPMO6	6Cr-1W-1Mo-0,6V	0,70	lepljenje				(O)	
UTOPMO5	8Cr-1W-1Mo	0,55	lepljenje	X	O			
OCR12VM	12Cr-0,6Mo-1V	1,50		X	O			

Legenda: - ni preizkušano; O, X obraba jekla v 1. razredu; (O) obraba jekla med 1. in 2. razredom; □ obraba jekla v 2. in 3. razredu; lepljenje - protisnov se je lepila na preskušane

razrede. Razlike med obrabami jekel v različnih razredih so najmanj dvakratne.

Podobno so obdelani izsledki drugih poskusnih načinov (kotalnega, izmenično drsnega) in za različne drsne oz. kotalne hitrosti, različne temperature in za obe protisnovi.

V razredu I so zbrana orodna jekla, ki so se v vseh preizkusnih razmerah najmanj obrabljala.

**Preglednice 2 do 5** predstavljajo jekla iz najbolj obrabno obstojne skupine (I.) za vse tri obrabne načine in preizkuse proti obema protisnovema.

**Preglednici 2 in 3** predstavljata najbolj obstojna jekla pri temperaturi 20°C, preglednici 4 in 5 pa pri temperaturi 90°C.

Hitrosti kotaljenja oz. drsenja so upoštevane po skupinah:

**Preglednici 2 in 4** prikazujeta najbolj obrabno obstojna jekla za hitrosti pod 0,1 m/s, **preglednici 3 in 5** pa za hitrosti med 0,15 m/s do 0,3 m/s.

Iz teh preglednic je mogoče razpoznati, katera jekla so najbolj odporna in kateri legirni elementi v orodnih jekel (označeni v drugem in tretjem stolpcu s smerno sestavo) najbolj povečujejo obrabno obstojnost v specifičnih razmerah.

Proti vsem trem mehanizmom obrabe sta odporni jekli OSV1 in OCR 12 VM, ki vsebujeta precej več ogljika kot druga jekla v skupini (1,5%).

Hitrorežno jeklo OSV 1 je obstojno proti jeklu PK 12 SP pri vseh treh načinih preverjanja obrabe, proti OC 100 EX pa pri enakomernem in izmeničnem drsenju (pri 20°C), ali pa pri kotaljenju in enakomernem drsenju pri 90°C (**preglednici 4 in 5**).

Jeklo OCR 12 VM je precej manj obstojno kot jeklo OSV 1, navkljub večji vsebnosti ogljika (C). Kot kažejo preskusi obrabe pri 90°C s protisnovjo PK 12 SP, jeklo OCR 12 VM ni obstojno pri izmeničnem drsenju, ampak le pri kotaljenju in enakomernem drsenju. Jeklo OCR 12 VM ni obstojno proti jeklu OC 100 EX pri enakomernem drsenju.

### 3 DISKUSIJA

Proti posameznim načinom obrabe pa je odpornost orodnih jekel naslednja:

1. Proti **kotaljenju** se ne vede dobro samo jeklo BRM 2. Najbolj povečata obrabno obstojnost (kot prikazujeta **razpredelnici 4 in 5**) legirna elementa ogljik in vanadij. Povečujeta odpornost proti obema protisnovema in pri obeh drsnih hitrostih. Molibden je učinkovit le pri manjši hitrosti, krom pa le proti protisnovi PK 12 SP. Hitroreznim jeklom zagotovijo obrabno obstojnost molibden in ogljik ter vanadij (jeklo OSV1), medtem ko drugim (OCR12VM) krom in ogljik. Posebnost pri tem tipu obrabe je nalepljanje protisnovi na preizkušanece. Do tega pride pri večji od obeh preizkusnih hitrosti (0,3 m/s), če je preizkusna temperatura 90°C. Na hitroreзна jekla (razen OSV1) se

naleplja protisnov PK12VM, na jekli UTOPMO6 in UTOPMO5 pa protisnov OC100EX.

2. Iz **razpredelnic 2 in 3** je razvidno, da sta zoper obrabo pri **izmeničnem drsenju** najbolj obstojnejši orodni jekli BRM 2 in OSV 1 (S 6-5-2, S 6-3-5-5), ki se od drugih preiskanih jekel razlikujeta ravno po večji vsebnosti volframa. Obstojni sta predvsem zoper protisnov PK 12 SP. Iz **razpredelnic 4 in 5** je razvidno, da sta odporni proti isti protisnovi tudi pri 90°C. Pri tej temperaturi in proti tej protisnovi je pri manjši hitrosti in zoper OC100EX pri večji hitrosti obstojno le še jeklo UTOP MO5 zaradi kroma kot legirnega elementa. Ta element v zadostni količini v jeklu OCR 12 VM daje odpornost pri obeh hitrostih zoper protisnov OC 100 EX. Velika obstojnost orodnih jekel OSV 1 in OCR 12 VM pri 90°C govori tudi o velikem vplivu ogljika in vanadija na obstojnost proti izmeničnemu drsenju. Obstojnost proti izmeničnemu drsenju povečujejo legirni elementi volfram, krom, ogljik in vanadij.

3. Odpornost proti obrabi pri **enakomernemu drsenju** dajejo predvsem volfram, molibden, ogljik in vanadij. Jekli UTOP MO 6 in UTOP MO 5 nista odporni proti temu tipu obrabe, verjetno ravno zaradi razmeroma majhne vsebnosti teh legirnih elementov. Zaradi nekoliko večje vsebnosti ogljika in vanadija kot v jeklu UTOP MO 5, je UTOP MO 6 delno odporen tudi proti tej vrsti obrabe.

Iz tega sklepamo, da krom ne povečuje obstojnosti proti enakomerni drsni obrabi, vsaj ne toliko kot volfram, molibden, ogljik in vanadij.

Proti obrabi te vrste se odlično obnesejo vsa hitrorežna jekla, molibdenska in molibdensko-volframova. To kaže na močan vpliv molibdena in volframa. Posebno opazen je vpliv hitrosti v povezavi s protisnovjo. Pri manjši od obeh preizkusnih hitrosti so hitrorežna jekla obstojna predvsem proti protisnovi PK 12 VM, pri večji hitrosti (0,3 m/s) pa proti protisnovi OC 100 EX. Visoka odpornost hitroreznega jekla OSV 1 (S 6-3-5-5) proti obema protisnovema in pri vseh razmerah obrabe kaže na odločilen vpliv vanadija.

### 4 SKLEPI

- ogljik pri vsebnostih med 0,55 in 1,5% povečuje obstojnost proti vsem trem tipom obrabe,
- vanadij med 0,5 in 5% izboljšuje obstojnost proti vsem tipom obrabe,
- krom med 4 in 12% izboljšuje obstojnost proti kotalni in izmenični obrabi,
- molibden med 0,6 in 9% izboljšuje obstojnost proti kotalni in enakomerni drsni obrabi,
- volfram med 1 do 6% povečuje obstojnost orodnih jekel proti izmenični in proti enakomerni drsni obrabi z jeklom,
- za dobro odpornost proti kotalni obrabi so odločilni elementi krom, ogljik, molibden in vanadij, zato so

- za kotalno obremenjena orodja, npr. podporne valje v Sendzimir ogrodjih za hladno valjanje, primerna vsa jekla, ki vsebujejo v večji koncentraciji katerega od teh elementov: 9% Mo, ali 5% V, ali 6 do 12% Cr. Ni pa za ta namen primerno jeklo BRM 2,
- proti izmenični obrabi so najbolj obstojna jekla z visoko vsebnostjo volframa, kroma, vanadija zato so za hladno delujoče matrice ali delovne valje v Sendzimir ogrodjih primerna jekla BRM2, OSV1 in OCR12VM,
  - proti enakomerni drsni obrabi so obstojna orodna jekla z veliko vsebnostjo katerega od elementov molibden, volfram, vanadij pa tudi ogljik. Taka jekla so vsa po vrsti hitrorezna.

## 5 LITERATURA

<sup>1</sup> Vižintin, J., Report No. CTTD-ES-MK1-94, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana (1994) 16, 17