

## UVAJANJE HITROREZNIH JEKEL, IZDELANIH PO POSTOPKIH METALURGIJE PRAHOV (PM/HIP), V PROIZVODNI PROGRAM SŽ METALA RAVNE, d.o.o.

### INTRODUCING POWDER-METALLURGY (PM/HIP) HIGH-SPEED STEELS TO THE PRODUCTION PROGRAMME OF SŽ METAL RAVNE

**Tatjana Večko Pirtovšek, Borut Urnaut, Ferdo Grešovnik**

SŽ METAL Ravne, d.o.o., Koroška c. 14, 2390 Ravne na Koroškem, Slovenija  
tatjana.pirtovsek@sz-metal.si

*Prejem rokopisa - received: 2000-10-02; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-09-27*

V letu 2000 smo v Metalu v proizvodni program pričeli uvajati tudi hitrorezna jekla PM/HIP. Bistvene prednosti hitroreznih jekel, izdelanih po postopku metalurgije prahov, v primerjavi s klasičnimi hitroreznimi jekli izvirajo iz postopka izdelave - to je izdelave jekel s plinsko atomizacijo taline in z vročim izostatskim stiskanjem. Izbrali smo dobavitelja vroče izostatsko stisnjenih ingotov iz hitroreznih jekel PM, sami pa osvajamo vročo plastično predelavo teh jekel. Predstavili bomo postopek izdelave te vrste jekel, njihove boljše uporabne lastnosti v primerjavi z lastnostmi klasičnih hitroreznih jekel, njih uporabo, naša dobavitelja ter trg teh jekel.

Ključne besede: hitrorezna jekla, PM/HIP, metalurgija prahov, plinska atomizacija, vroče izostatsko stiskanje, vroča plastična predelava, lastnosti, uporaba, trg

In 2000, high-speed steels produced by the PM route were introduced into SŽ Metal Ravne d.o.o.'s production program. Their advantage over conventional high-speed steels comes from their process of manufacture, i.e. rapid-solidification technology (the manufacture of steels using gas atomisation of a melt and hot isostatic pressing). A producer of hot isostatically pressed ingots made of powder-metallurgy high-speed steels was selected while the hot plastic processing of these steels is being worked on by our company. The manufacturing process of these steels and their superior properties will be presented in comparison with conventional high-speed steels, their application, our suppliers and the market for these steels.

Key words: high-speed steels, powder metallurgy, gas atomisation, hot isostatic pressing, hot plastic processing, properties, application, market

#### 1 POSTOPEK IZDELAVE HITROREZNIH JEKEL PM/HIP

Hitrorezna jekla so visoko legirana plemenita orodna jekla na osnovi Cr-W-Mo-V-Co z več kot 0,7 % C. Zaradi svoje kemične sestave in specifične toplotne obdelave dosegajo visoko popuščno obstojnost in zadržijo trdoto tudi v vročem stanju do temperature okoli 600 °C. Zato se uporabljajo za izdelavo različnih rezilnih orodij. Vendar so ta jekla sorazmerno krhka, predvsem je nizka njihova žilavost.

Pri klasični izdelavi hitroreznih jekel najprej izdelajo homogeno talino z zahtevano kemično sestavo. Med njenim strjevanjem v kokili pa zaradi izcejanja nastane nehomogena mikrostruktura z grobo evtektično karbidno mrežo. S plastično predelavo jo razbijemo, vendar je mikrostruktura končnega izdelka še vedno nehomogena z dokaj grobimi karbidi, ki pa so zaradi plastične predelave usmerjeni v vzdolžni smeri. Ti karbidi, ki na eni strani dajejo hitroreznemu jeklu značilne lastnosti, rezilnost in obrabno odpornost, po drugi strani omejujejo žilavost in trdnost jekla, saj so inicialna mesta za prelom. Osnovna ideja postopka izdelave hitroreznih jekel po postopkih metalurgije prahov (PM) je hitro strjevanje taline, ki onemogoči nastanek izcej. Količina taline mora

biti tako majhna, da se lahko strdi dovolj hitro, da so nastale izceje zanemarljivo majhne.

Sočasno in neodvisno eden od drugega so v letih 1970/71 Švedski in Američani razvili vsak svoj postopek metalurgije prahov hitroreznih jekel. Švedski so razvili postopek ASP - Anti Segregation Process, Američani pa takoimenovani postopek CPM - Crucible Particle Metallurgy. Oba postopka sta sestavljena iz enakih faz: proizvodnja prahu, oblikovanje prahu in zgoščevanje prahu - to je vroče izostatsko stiskanje, ter nadaljnja vroča plastična predelava<sup>1,2,3,4</sup>.

##### 1.1 Proizvodnja prahu

Talino hitroreznega jekla pripravijo v indukcijski peči iz sortiranega hitroreznega odpadka, lastnega povratnega materiala in zlitin. Pripravljen talino prelijejo v ogrevan talilnik, ki ima na dnu odprtino. Kontroliran curek taline odteka skozi dno talilnika v atomizacijski stolp, kjer se sreča z visokotlačnim curkom inertnega plina argona ali dušika, ki curek taline razprši v drobne kapljice kroglične oblike z enako kemično sestavo. Kapljice padajo skozi atomizacijski stolp in se na svoji poti zaradi majhnega volumna hitro strdijo v prah. Vsak delec prahu ima zelo drobno in homogeno

mikrostrukturo. Prah presejejo, da dobijo ustrezne frakcije, in ga skladiščijo v hranilnikih z zaščitno atmosfero.

### 1.2 Oblikovanje prahu

Da bi dali prahu obliko, ga nasujejo v kapsule, zvarjene iz nizkoogljične jeklene pločevine. Da bi dosegli enakomerno razporeditev delcev prahu različnih velikosti s čim večjo nasipno gostoto, kapsule polnijo skozi več odprtin in jih med tem vibrirajo. Kapsule nato evakuirajo in zaprejo.

### 1.3 Vroče izostatsko stiskanje

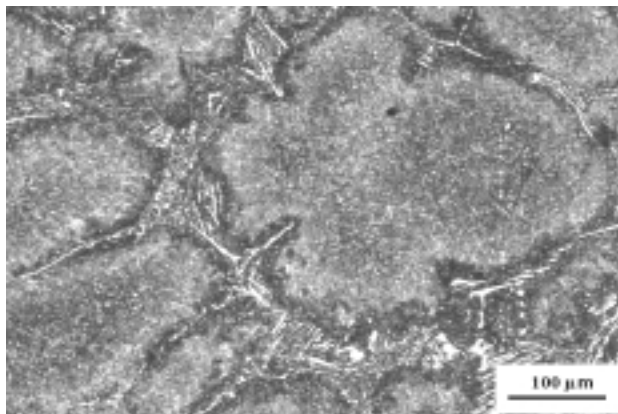
S prahom napolnjene kapsule vroče izostatsko stisnejo z visokim tlakom plina argona pri visokih temperaturah do popolne zgostitve v t. i. ingote oz. gredice HIP (angl.: hot isostatic pressing). Ti se nadalje predelujejo po klasičnih postopkih plastične predelave v končne oblike in dimenzije.

Postopek izdelave hitroreznih jekel PM/HIP ima v primerjavi s klasičnim načinom izdelave dve bistveni prednosti:

- jeklo ima zelo drobno in homogeno mikrostrukturo, katere rezultat so boljše uporabne lastnosti jekla (visoka žilavost ob zelo visoki trdoti, večja izotropnost, boljša brusilnost jekla v toplotno obdelanem stanju)
- postopek daje možnost izdelave superhitroreznih jekel in visoko obrabnoobojnih jekel za delo v hladnem, to je jekel, ki so tako visoko legirana, da jih po metodi klasične metalurgije ni možno izdelati, saj niso dovolj preoblikovalna in jih ni možno uspešno kovati in valjati.

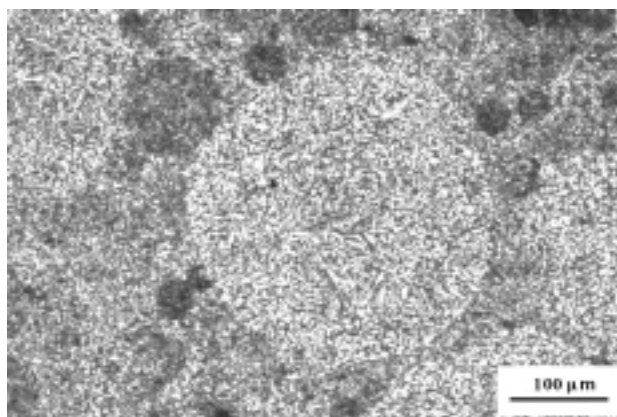
## 2 LASTNOSTI HITROREZNIH JEKEL PM/HIP

Mikrostruktura hitroreznih jekel PM/HIP je bistveno bolj drobna in enakomerna kot pri klasičnih hitroreznih jeklih. Na **sliki 1** je prikazana lita mikrostruktura ingota



**Slika 1:** Mikrostruktura litega ingota iz klasičnega hitroreznega jekla AISI: M2 (BRM2)

**Figure 1:** Microstructure of cast ingots made from conventional high-speed steel AISI: M2 (BRM2)

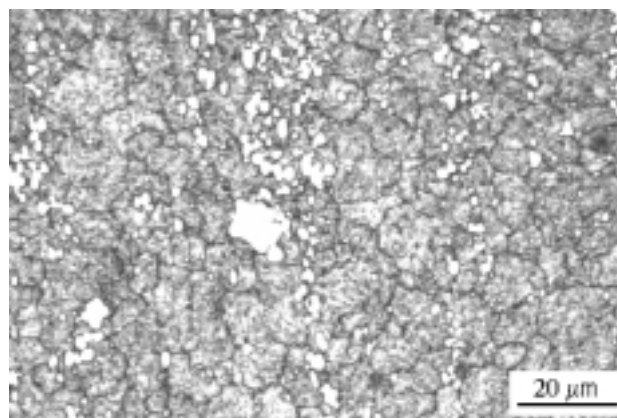


**Slika 2:** Mikrostruktura vroče izostatsko stisnjene ingota iz hitroreznega jekla PM/HIP vrste AISI: M3:2 (RAVNE23)

**Figure 2:** Microstructure of hot isostatically pressed ingots made of PM/HIP high-speed steel, AISI type: M3:2 (RAVNE23)

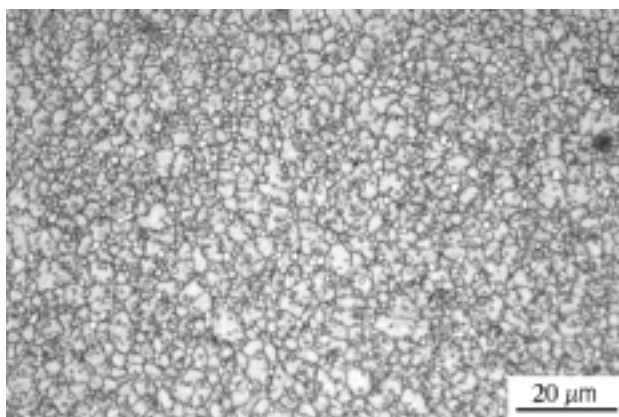
iz klasičnega hitroreznega jekla (BRM2 - W. Nr.: 1.3343), v kateri nastopa groba karbidna evtektična mreža s posameznimi karbidi, ki dosežejo velikost tudi do 30 oz. 40  $\mu\text{m}$ . V mikrostrukturi ingota PM/HIP iz jekla M3:2 - W. Nr. 1.3344 - **slika 2**, vidimo obrise delcev prahu, med večjimi delci so manjši, v delcih prahu pa so drobni, enakomerno razporejeni karbidi. Po kovanju in valjanju v končno dimenzijo ostane mikrostruktura klasičnega hitroreznega jekla še vedno precej nehomogena, karbidi so razporejeni v vzdolžni smeri in dokaj grobi - **slika 3** - in povzročajo anizotropnost. Mikrostruktura hitroreznega jekla PM/HIP pa vsebuje drobne in enakomerno razporejene karbide v žilavi martenzitni osnovi - **slika 4**. Medtem ko v klasičnem hitroreznem jeklu kljub intenzivni plastični predelavi še vedno najdemo posamezne 10 - 15  $\mu\text{m}$  karbide, je večina karbidov v hitroreznem jeklu PM/HIP velikosti pod 3  $\mu\text{m}$ .

Hitroreznega jekla PM/HIP lahko imajo enako kemično sestavo kot pa klasična hitroreznega jekla, lahko pa so višje legirana. Ob enaki kemični sestavi dosežejo po toplotni



**Slika 3:** Mikrostruktura klasičnega hitroreznega jekla AISI: M2 (BRM2) dimenzije  $\phi$  33 mm

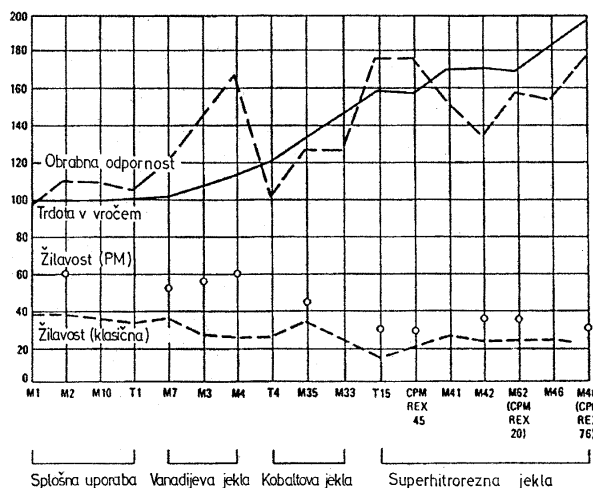
**Figure 3:** Microstructure of conventional high-speed steel AISI: M2 (BRM2),  $\phi$  33 mm



**Slika 4:** Mikrostruktura hitroreznega jekla PM/HIP vrste AISI: M3:2 (RAVNE23) dimenzije φ 34 mm

**Figure 4:** Microstructure of PM/HIP high-speed steel, AISI type: M3:2 (RAVNE23), φ 34 mm

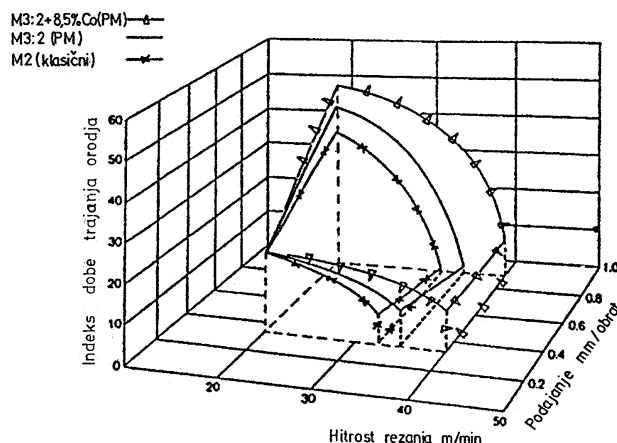
obdelavi enako trdoto, trdoto v vročem in popuščno obstojnost ter s tem enako obrabno odpornost kot klasična hitrorezna jekla ter bistveno višjo udarno žilavost. Visoka udarna žilavost ob zelo visoki trdoti je njihova bistvena lastnost. Kadar so ta jekla više legirana, lahko dosežejo višjo trdoto, trdoto v vročem, boljše popuščno obstojnost in boljše obrabno odpornost ob še vedno visoki udarni žilavosti. Na **sliki 5** je diagram, ki prikazuje relativno obrabno odpornost, trdoto v vročem in udarno žilavost hitroreznih jekel, izdelanih po klasični metodi in po metodi metalurgije prahov<sup>5</sup>. Obrabna odpornost ter trdota v vročem sta ob enaki kemični sestavi enaki pri jeklu, izdelanem po metodi metalurgije prahov in po klasični metodi, udarna žilavost hitroreznega jekla PM/HIP pa je višja. Na splošno z višjo stopnjo legiranja naraščata trdota v vročem in obrabna



**Slika 5:** Relativna obrabna odpornost, trdota v vročem in žilavost hitroreznih jekel, izdelanih po klasični in metodi PM/HIP<sup>5</sup>

**Figure 5:** Relative wear resistance, red hardness, and toughness of high-speed steels produced using the conventional and PM/HIP methods<sup>5</sup>

— Wear resistance                      — Red hardness  
 --- Toughness (conventional)    ○ ○ ○ ○ ○ Toughness (PM/HIP)



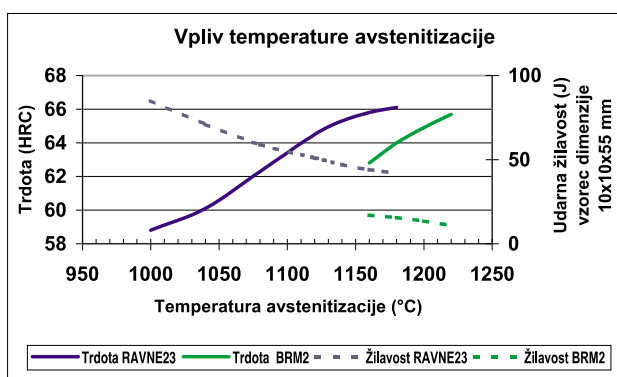
**Slika 6:** Doba trajanja pehalnega zobnika<sup>6</sup>

**Figure 6:** Tool-life index of shaper cutters tested for various combinations of feed (mm/stroke) and cutting speed (m/min)<sup>6</sup>

odpornost, udarna žilavost pa je kljub temu še vedno relativno visoka.

Visoka udarna žilavost je posledica zelo drobnih in enakomerno razporejenih karbidov ter nizke vsebnosti nekovinskih vključkov, ki so tudi zelo drobni.

Rezultat vseh teh lastnosti je daljša doba trajanja orodij, izdelanih iz hitroreznih jekel PM/HIP. **Slika 6** prikazuje trajnostno dobo pehalnega zobnika, izdelanega iz klasičnega hitroreznega jekla BRM2, PM/HIP - hitroreznega jekla M3:2 ter PM/HIP - hitroreznega jekla M3:2 + 8,5 % Co<sup>6</sup>. Hitrorezna jekla PM/HIP pokažejo zaradi bistveno večje udarne žilavosti in obstojnosti rezilnega roba svoje prednosti predvsem v težkih razmerah dela: pri velikih hitrostih rezanja in velikih oblikovalnih silah.



**Slika 7:** Trdota in udarna žilavost PM/HIP - hitroreznega jekla RAVNE23 in klasičnega hitroreznega jekla BRM2 v odvisnosti od temperature avstenitizacije - vsi vzorci kaljeni v vakuumski peči pri tlaku plina 1,5 bar in popuščeni 3-krat 1,5 ure pri 560 °C, vzorci za določitev udarne žilavosti dimenzije 10 x 10 x 55 mm brez zareze<sup>9</sup>

**Figure 7:** Hardness and impact toughness of PM/HIP - high-speed steel RAVNE23 and conventional high-speed steel BRM2 depending upon austenitizing temperature - all samples hardened in a vacuum furnace at 1,5 bar gas pressure and tempered three times for 1,5 h at 560 °C; samples for determination of impact toughness - 10 x 10 x 55 mm without notch<sup>9</sup>

Zaradi drobnih in enakomerno razporejenih karbidov imajo ta jekla zelo dobre obdelovalne lastnosti v mehko žarjenem stanju.

Hitrorezna jekla PM/HIP imajo v primerjavi s klasičnimi veliko boljšo sposobnost za brušenje, ki prav tako izvira iz drobnih, enakomerno razporejenih karbidov. Ta lastnost pa poceni izdelavo orodja.

### 3 TOPLOTNA OBDELAVA HITROREZNIH JEKEL PM/HIP

Toplotna obdelava hitroreznih jekel PM/HIP je podobna kot pri klasičnih. Zaradi fine in homogene mikrostrukture dosegajo enakomernejšo trdoto po toplotni obdelavi kot pa klasična. Druga njihova značilnost pa je ta, da zelo hitro "reagirajo", zaradi česar jih je najzanesljiveje kaliti v dobro vodenih in kontroliranih vakuumskih pečeh. Jeklo lahko namreč zelo hitro pregrejemo. Delovno trdoto orodja najdemo z ustrežno temperaturo kaljenja in tudi orodja za delo v hladnem vedno 3-krat visoko popustimo, navadno pri temperaturi 560 °C. Pri kaljenju z nižje temperature dobimo nižjo trdoto po popuščanju in ustrežno temu višjo žilavost orodja. Diagram na **sliki 7** prikazuje trdoto in udarno žilavost PM/HIP - hitroreznega jekla RAVNE23 (M3:2, W.Nr.: 1.3344) ter klasičnega hitroreznega jekla BRM2 (M2, W. Nr.: 1.3343) v odvisnosti od temperature avstenitizacije <sup>9</sup>.

Po vročem izostatskem stiskanju so lastnosti hitroreznega jekla PM/HIP popolnoma izotropne. Izotropnost se v veliki meri ohrani tudi po vroči plastični predelavi. Zato so dimenzijske spremembe med toplotno obdelavo manjše in enakomernjše.

### 4 UPORABA HITROREZNIH JEKEL PM/HIP

Zaradi svojih lastnosti in dragega postopka izdelave se hitrorezna jekla PM/HIP uporabljajo za izdelavo dragih in zahtevnih orodij, kjer cena jekla v ceni orodja pomeni le majhen delež (približno 10 % cene orodja). Drugo področje uporabe so orodja, ki morajo imeti dolgo dobo uporabnosti. To so orodja v serijski proizvodnji, vgrajena v obdelovalne linije, kjer vsak zastoj, bodisi zaradi menjave ali loma orodja povzroči velik proizvodni strošek. Iz hitroreznih jekel PM/HIP izdelujejo na primer: orodja za izdelavo zobnikov, posnemalne igle, palične rezkarje za končno obdelavo gravur, navojne

čeljusti, navojne svedre itd. Zaradi enakomerne obrabe jih uporabljajo tudi za izdelavo delovnih valjev v večvaljčnih ogrojdih. Iz njih izdelujejo tudi orodja za delo v hladnem, na primer orodja v hitrohodnih stiskalnicah, kjer se zaradi hitro ponavljajočih se delovnih operacij orodje segreje nad 200 °C. Uporabljajo jih tudi za izdelavo orodij za hladno oblikovanje plastičnih mas in za stiskanje kovinskih ali keramičnih prahov, za izdelavo votlic za vlečenje kovin ter raznih obrabnoobstožnih delov v orodjih.

### 5 TRG, PORABA IN PROIZVAJALCI HITROREZNIH JEKEL PM/HIP

Svetovna poraba klasičnih hitroreznih jekel vztrajno narašča in je približno 100.000 ton na leto. Poraba hitroreznih jekel PM/HIP pa je med 12.000 in 14.000 tonami na leto. Hitrorezna jekla PM/HIP na omenjenih področjih deloma nadomeščajo klasična, tako da njihova poraba raste s 5-odstotno letno rastjo, to je približno 700 ton na leto. Trg torej narašča, vendar se tudi proizvodne kapacitete iz leta v leto večajo.

Trg hitroreznih jekel PM/HIP je razdeljen na dve glavni področji: na trg rezilnih orodij in trg orodij za delo v hladnem. Na trgu rezilnih orodij so naročila večja, po nekaj ton, cene so nižje, dobavni roki pa daljši. Na trgu orodij za delo v hladnem pa so naročila v kg, cene so zelo visoke, jekla pa prodajajo iz zaloge.

Metal si prizadeva priti med vodilne svetovne proizvajalce klasičnih hitroreznih jekel, kot sta Erasteel in Böhler-Uddeholm. Svoj prodajni asortiman želi dopolniti tudi s hitroreznimi jekli PM/HIP. Ne nameravamo investirati v drago tehnologijo proizvodnje prahov in vročega izostatskega stiskanja, temveč smo izbrali dobavitelja vroče izostatsko stisnjenih ingotov. Tudi naš švedski dobavitelj HIP-ingotov Bodycote Powdermet se je zaradi konkurenčnosti specializiral le za eno fazo proizvodnje jekel PM/HIP, to je za vroče izostatsko stiskanje, proizvodnjo prahov, ki jo ima že od leta 1984, pa opušča. Prahove namerava kupovati v sosednjem Anvalu, ki se ponaša z dolgoletno tradicijo proizvodnje prahov in z največjim atomizerjem za plinsko atomizacijo kovinskih prahov na svetu. V Metalu osvajamo le vročo plastično predelavo in toplotno obdelavo hitroreznih jekel PM/HIP.

V Evropi ima najpogosteje uporabljeno hitrorezno jeklo PM/HIP oznako AISI: M3:2 (DIN: S 6-5-3), ki

**Tabela 1:** Proizvajalci in njihova hitrorezna jekla PM/HIP

**Table 1:** Producers and their PM/HIP high-speed steels

Erasteel	Böhler	Uddeholm	Crucible Steel Co.	Carpenter	Bodycote	Metal Ravne	Standardi		
							AISI	EU	DIN W. Nr.
ASP2023	S 790 PM	VANADIS 23	CPM M3	Micromelt M3	APM23	RAVNE23 (BRM3)	M3:2	HS 6-5-3	1.3344
ASP2030		VANADIS 30	CPM Rex 45	Micromelt HS30	APM30	RAVNE30	M3:2 + Co	HS 6-5-3-8	
ASP2060		VANADIS 60			APM60			HS 6-7-6-10	1.3241
	S 690 ISOMATRIX		CPM Rex M4HC(HS)	Micromelt M4		(BRM4)	M4		

smo ga že uvrstili v proizvodni program Metala pod imenom RAVNE23, kvaliteta, ki jo ravnokar uvrščamo v proizvodni program pod imenom RAVNE30 pa je AISI: M3:2 + 8,5 % Co. Najbolj popularno hitrorezno jeklo PM/HIP na ameriškem trgu je AISI: M4, ki ga bomo prav tako proizvajali za ameriški trg. Sledile bodo še druge kvalitete, kot je npr. superhitrorezno jeklo ASP2060 (VANADIS60). Glavno vodilo pa bodo razmere na trgu. V tabeli 1 so navedene komercialne oznake najpogosteje uporabljenih hitroreznih jekel PM/HIP, njihovi proizvajalci in oznake po primerjalnih standardih.

## 6 SKLEP

V Metalu Ravne, edinem proizvajalcu orodnih jekel v Sloveniji, ki je pomemben tudi v svetu, se zavedamo dejstva, da je za orodjarje najpomembnejša lastnost orodnega jekla (in s tem tudi orodja, izdelanega iz njega), njegova trajnostna doba ali vzdržnost. Vzdržnost pa lahko dosežemo z dobro konstrukcijo, ustreznim jeklom in kvalitetno toplotno ter mehansko obdelavo orodja. Zato nenehno izboljšujemo kakovost obstoječih orodnih jekel in v proizvodni program uvajamo tudi nova.

Hitrorezna jekla PM/HIP v svetu niso novost, prav tako so tudi slovenskim orodjarjem že nekaj let poznana in se tudi pri njih vztrajno uveljavljajo. Niso le izboljšana verzija klasičnih hitroreznih jekel, temveč

lahko drastično znižajo proizvodne stroške. Npr. v velikoserijski proizvodnji, kot jo ima avtomobilska industrija. Tu se uporabljajo draga in zahtevna orodja, kjer strošek vložnega materiala velikokrat ne pomeni več kot 1 - 2 % cene izdelave orodja. Zaradi izjemnih lastnosti hitroreznih jekel PM/HIP se tudi področja njihove uporabe vztrajno širijo, s tem pa tudi njihov tržni delež.

## 7 LITERATURA

- <sup>1</sup> Hellman P., J. B. Pfeffer, H. Larker, I. Stromblad: The ASEA-Stora Process, A new process for the manufacture of tool steel and other alloy steels from powder, *Modern developments in powder metallurgy*, Plenum Press, 4(1970), 573-582
- <sup>2</sup> Tornberg C., P. Billgren: Gas atomized high speed steel powders, *First international high speed steel conference*, Leoben, 1990, 107-114
- <sup>3</sup> Westin L., H. Wisell: Powder metallurgical high speed steels, *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 25(1996), 41-46
- <sup>4</sup> Šuštaršič B., F. Vodopivec, M. Komac: The HIP Technology, XXXIX<sup>th</sup> Symposium on metallurgy and metallic materials, Ljubljana, 1988
- <sup>5</sup> Powder metallurgy high-speed tool steels, *Tool materials*, ASM Speciality Handbook, 1995, 21-31
- <sup>6</sup> Hellman P.: High-speed steels by powder metallurgy, *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 27(1998), 44-52
- <sup>7</sup> Powder metal technologies and applications, *ASM Handbook*, Volume 7, ASM International, 1998
- <sup>8</sup> Tool steels in the next century, 5<sup>th</sup> International conference on tooling, Leoben, 1999
- <sup>9</sup> Internal documents of Metal Ravne