

ZAVARIVANJE ŽICAMA KOJE SU PUNJENE METALNIM PRAHOM

WELDING WITH METALLIC FLUX CORED WIRES

Ivan LAKOTA, Marjan BREGANT, Mojca ŠOLAR¹⁾

Ključne riječi: prahom punjene žice, metalnim prahom punjene žice, zavarivanje, sitnozrnati čelici, karakteristike, usporedba

Key words: flux cored wire, FCW, metallic FCW, welding, finegrained steel, characteristics, comparison

Sažetak: U radu su predstavljene osobine nove metalnim prahom punjene žice za zavarivanje sitnozrnatih čelika. Navedena je usporedba karakteristika metalnim prahom punjenih žica sa bazičnim i rutilnim prahom punjenim žicama te masivnima žicama sa mogućnostima primjene kod zavarivanja različitih vrsta konstrukcija i postrojenja.

Abstract: In article characteristics of new metal flux cored wire for welding fine-grained steels are shown. Comparison of metal FCW with basic, rutile FCW and massive wire and possibility of application in different fields of welding industry is given.

¹⁾ ELEKTRODE Jesenice, Cesta železarjev, 4270 Jesenice

1. UVOD

Upotreba prahom punjenih žica je općenito u svijetu u porastu. Učešće prahom punjenih žice u odnosu na ostale dodatne materijale iznosi za Europu iznad 10 %, Ameriku iznad 20 % te za Japan iznad 30 %. Uzrok za porast primjene prahom punjenih žica je u njihovim osobinama. Ove žice udružuju karakteristike obloženih elektroda i masivnih žica što znači da omogućavaju automatizaciju i istovremeno posjeduju različite karakteristike zbog razlika u svojstvima punila. Prahom punjene žice omogućavaju zavarivanje pod prahom, zavarivanje postupcima MIG / MAG ili omogućuju zavarivanje u vlastitoj zaštiti – samozaštitne žice. Prema upotrebi dijele se na prahom punjene žice za zavarivanje i navarivanje, a po sastavu punila na bazične, rutilne i metalne karaktere punila.

Metalnim prahom punjene žice su novije, razvijene su 70-tim godinama 20. stoljeća. Za zavarivanje su značile nove mogućnosti s aspekta upotrebe. Punilo tih žica sastoje se iz prahova različitih metala i dodataka za desoksidaciju, dok dodataka za tvorbu troske gotovo da i nema.

Sitnozrnnati čelici u zadnje vrijeme kod izgradnje konstrukcija često zamjenjuju nelegirane čelike jer omogućavaju izgradnju konstrukcija s tanjim limovima. Time se osim lakše konstrukcije postiže i manja potrošnja goriva kod automobilske industrije, sniženje troškova rada, manje zavarenih spojeva i brže izvođenje zavarivačkih radova. To je rezultiralo povećanjem upotrebe sitnozrnatih čelika te potrebom za primjenom punjenih žica u automatiziranim proizvodnjama.

2. STANDARDI PRAHOM PUNJENIH ŽICA

Pregled standarda koji prikazuju svojstva prahom punjenih žica naveden je u Tablici 1.

Tablica 1. Standardi ISO, AWS, EN i DIN za prahom punjene žica ovisno o tipu čelika

Tipovi čelika	Standardi za prahom punjene žice			
	ISO	AWS	EN	DIN
Nelegirani i sitnozrnnati čelici	17632- ISO	A-5.20	EN 758	DIN 8559
Čelici postojani na puzanje	17634- ISO	A-5.29	EN 12071	
Visokočvrsti čelici	18276- ISO	A 5.29	EN 12535	
Nehrđajući i termopostojani čelici	17633- ISO	A 5.22	EN 12073	
Sivi lijev	1071- CEN			
Navarivanje			EN 14700	DIN 8555

3. KARAKTERISTIKE I PROIZVODNJA RAZLIČITIH TIPOVA PRAHOM PUNJENIH ŽICA

Prahom punjene žice sastoje se iz metalnog plašta i punila. Poprečni presjek prahom punjene žice izrađene punjenjem cijevi prikazan je na slici 1. Električni luk kod MIG/MAG zavarivanja prahom punjenom žicom prikazan je na slici 2.

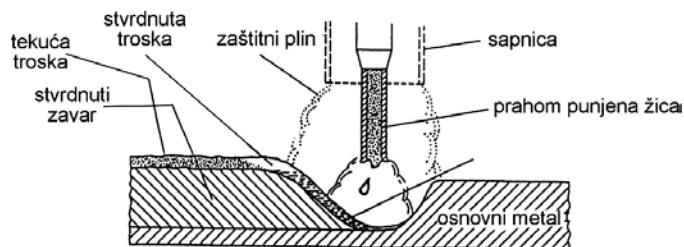
Funkcija metalnog plašta je, da stvara osnovni metal depozita, formira oblik žice i omogućuje prijelaz električne struje preko plašta.

Punilo može biti na bazi metala, minerala, dezoksidanata i dodataka a ima slične karakteristike kao plašt kod obloženih elektroda. Punilo omogućava čišćenje zavara, dezoksidaciju, legiranje, veću stabilnost električnog luka, tvorbu kapljica, putem troske sprječava oksidaciju zavara te usporava hlađenje metala šava.

Karakteristike prahom punjenih žica razlikuju se međusobno i po tehnologiji izrade. Postoji više postupaka, ali u principu su tri osnovna postupka izrade punjenih žica: bešavna prahom punjena cijev, izrada cijevi iz traka na stik i izrada cijevi preklapanjem, slika 3 [1].

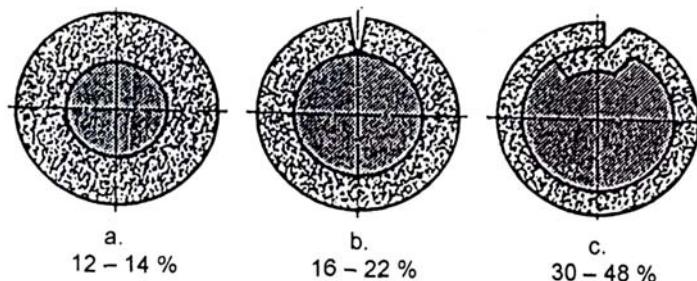


Slika 1. Presjek prahom punjene žice



Slika 2. Električki luk kod zavarivanja prahom punjenim žicama sa troskom

Postupak punjenja cijevi obično zbog homogenosti zahtijeva aglomerirano punilo koje se puni tako da cijev za vrijeme punjenja vibrira. Tako punjene žice imaju najmanji sadržaj vodika, neosjetljive su na ovlaživanje tako da sušenje prije zavarivanja nije potrebno. Moguće je dodatno čišćenje površine prahom punjenih žica i nanošenje sloja bakra koji sprječava koroziju, poboljšava transport žice i prijelaz električne struje kod zavarivanja. Kako ove žice imaju ograničen volumen punjenja tako je i ograničeno legiranje iz punila.

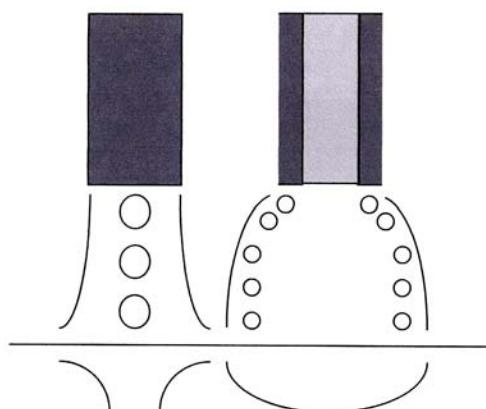


Slika 3. Nekoliko profila prahom punjenih žica sa težinskim postocima punila u žici

Prahom punjene cijevi izrađene iz trake omogućavaju bržu izradu punjenih žica s nižim troškovima osnovnih materijala, ostvaruju veće učešće punila a na taj način i izradu dodatnih materijala s većim legiranjem. Nedostatak je moguće veće vlaženje punila ako su punila bazičnog karaktera te je potrebno sušenje žica prije upotrebe što znači da nije moguće stavljanje bakrene prevlake.

4. KARAKTERISTIKE RAZLIČITIH VRSTA PRAHOM PUNJENIH ŽICA I USPOREDBA SA MASIVNIM ŽICAMA

Ako prahom punjene žice usporedimo sa masivnim žicama primijeti će se, da je kod prahom punjenih žica bolje razlijevanje i spajanje zavara sa osnovnim materijalom. Uzrok tome je, da se prahom punjene žice rastaljuju iz plašta, što rezultira širim lukom, slika 4. Širi luk sprječava stvaranje nalijepljenih mesta a povoljan je za zavarivanje robotima. Postiže se i veća produktivnost zavarivanja zbog veće brzine taljenja jer je manja površina prijelaza struje. Zbog djelovanja punila, prahom punjene žice manje su osjetljive na premaze i korodiranost limova i omogućavaju dodatno legiranje zavara iz punila.



Slika 4. Usporedba električnog luka i prijelaz materijala kod masivne (desno) i prahom punjene žice (lijevo)

Rutilnim prahom punjene žice

U punilu rutilnim prahom punjenih žica glavni je sastojak rutil, koji je dobar ionizator i stabilizator električnog luka, pa tvori u širem području štrcajući luk. Ovim žicama zavarivanje je dosta jednostavno u svim položajima, jer se zbog visoke temperature taljenja rutila troska dosta brzo stvrdnjava [2]. Karakteristike ovih žica su još: dobra uspostava luka, troska se sama odstranjuje a odlična je za zavarivanje korijenskih zavara sa keramičkom podlogom.

Kako je u zavaru veći sadržaj kisika i vodika, za posljedicu ima slabiju rastezljivost i veću mogućnost pojave pukotina. Zbog toga je ograničenje u primjeni za limove debljine do 45 mm. Zavar štiti troska koja se dobro odstranjuje. Za postizanje dobre žilavosti pri niskim temperaturama kod tih žica često se koristi mikrolegiranje s borom i titanom [3].

Bazičnim prahom punjene žice

Zbog bazičnog sastava punila veće je čišćenje metala zavara i smanjeni sadržaj vodika u zavaru. Kao rezultat toga manja je sklonost stvaranju pukotina, dobro je svojstvo žilavosti i rastezljivost. Ove žice upotrebljavaju se za zavarivanje najzahtjevnijih konstrukcija. Zbog niske sklonosti stvaranju pukotina pri upotrebi nema ograničenja s aspekta debljine limova. Posjeduju odlične mehaničke karakteristike i žilavosti kod niskih temperatura. Troska se kod ovih žica zbog prisutnih fluorida stvrdnjava kasnije, što otežava zavarivanje u prinudnim položajima. Izgled zavara je grublji, a nešto je povećano i prskanje. Ovo prskanje moguće je smanjiti upotrebom mješavine plinova.

Metalnim prahom punjene žice

Ove žice su novije od prahom punjenih žica i omogućavaju brže zavarivanje od zavarivanja s punim žicama. Glavni sadržaj punjenja tvore metali i dezoksidanti. Zavarivanje sa prahom punjenim žicama je veoma slično zavarivanju sa masivnim žicama. Karakteristike metalnim prahom punjenih žica su slijedeće:

- visoka brzina učinka taljenja,
- kod zavarivanja manja mogućnost stvaranja poroznosti,
- odlična zavarljivost,
- zavarivanje se vrši skoro bez rasprskavanja materijala uz dovoljnu količinu zaštitnog plina i kod pravih parametara zavarivanja,
- odlično se primjenjuje za punjenje kutnih zavara,
- veoma povoljne su za zavarivanje sa robotima – skoro nema troske,
- povoljnije su za zavarivanje zavara s više prolaza jer nema čišćenja zavara,

- dobro ponovno paljenje luka,
- koeficijent iskorištenja iznosi 90 – 98 %, dok kod žica s troskom iznosi 75 – 90 %,
- prijenos materijala kod zavarivanja se vrši štrcajućim lukom ili u obliku krupnih kapi.

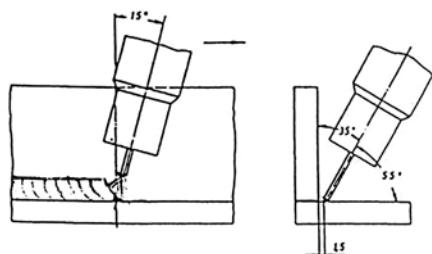
Kod upotrebe prahom punjenih žica za zavarivanje čelika postojanih prema puzanju, za sitnozrnate čelike i čelike viših čvrstoća najviše se upotrebljavaju bazične prahom punjene žice. U zadnje vrijeme djelomično ih zamjenjuju i metalnim prahom punjene žice.

Kod zavarivanja sa metalnim prahom punjenim žicama na zavaru se javljaju samo manji otoci oksida.

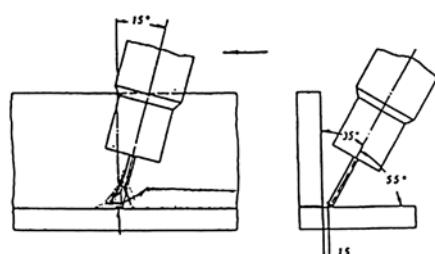


Slika 5. Zavar s Filtub 32M bez čišćenja nakon zavarivanja

Za prahom punjene žice koje tvore trosku pri zavarivanju se primjenjuje tehnika u desno, a za metalom punjene žice tehnika u lijevo. Prikaz je na slikama 6 i 7.



Slika 6. Prahom punjene žice sa troskom, tehnika zavarivanja u desno



Slika 7. Metalnim prahom punjene žice i masivne žice, tehnika zavarivanja u lijevo

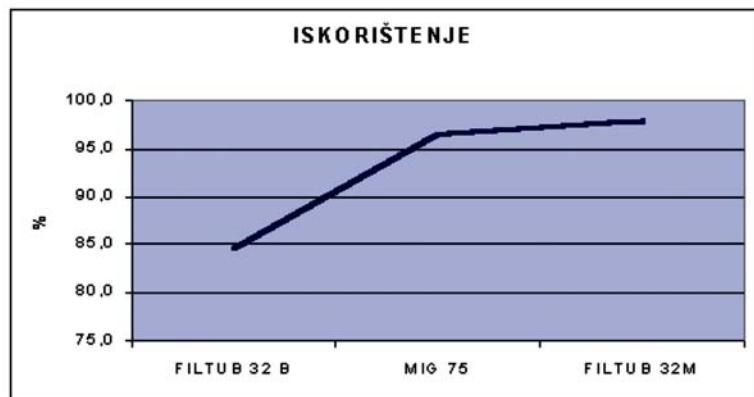
Kod zavarivanja metalnim prahom punjenim žicama najveću dubinu provara postižemo kod sučeljnih zavara tehnikom zavarivanja u desno (pulling), a kod zavarivanja kutnih zavara tehnikom zavarivanja u lijevo (pushing).

U tvornici "Elektrode Jesenice" usporedili smo iskorištenje i brzine taljenja kod bazičnih, metalnih i masivnih žica za zavarivanje sitnozrnatih čelika: Filtub 32B, Filtub 32M i MIG 75. Kod eksperimenta upotrijebili smo iste uvjete i parametre zavarivanja, napon $U= 24,5$ V, struju $I= 230$ A i istu brzinu zavarivanja. Rezultati su prikazani u slikama 8 i 9.

Usporedba presjeka kutnih zavara izvedenih bazičnim, metalnim i masivnim punjenim žicama. Zavarivanje je izvedeno s istim parametrima zavarivanja: naponom $U= 24,5$ V, strujom $I= 230$ A i istom brzinom zavarivanja. Slike 10, 11 i 12 prikazuju usporedbu presjeka kutnih zavara.

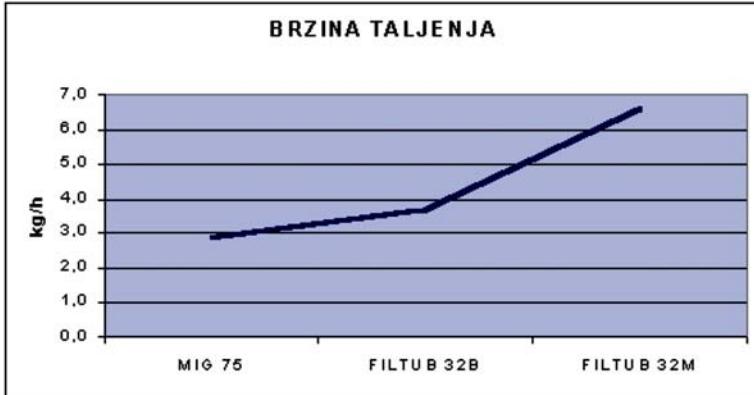
Slike pokazuju najmanju penetraciju kod masivnih žica a najveću kod metalom punjenim žicama.

ISKORIŠTENJE
 %
 84,6 FILTUB 32 B
 96,6 MIG 75
 98,0 FILTUB 32M

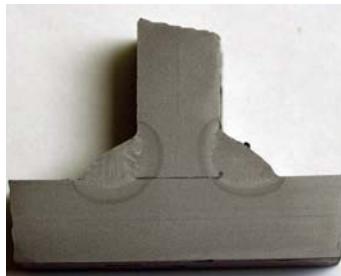


Slika 8. Iskorištenje je najveće kod zavarivanja metalnim prahom punjenim žicama, slijede masivne, a najniže iskorištenje je kod punjenih žica sa troskom.

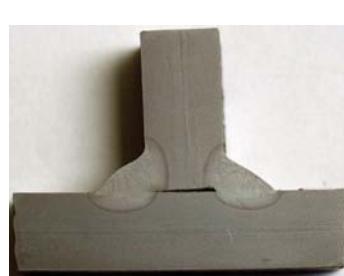
BRZINA TALJENJA
 kg/h
 2,9 MIG 75
 3,7 FILTUB 32B
 6,6 FILTUB 32M



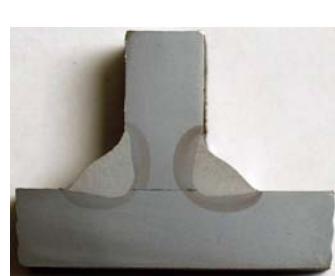
Slika 9. Brzina taljenja kod prahom punjenih žica je veća od masivnih žica zbog karakteristika električnog luka, što smo već komentirali kod slike 4.



Slika 10. Kutni zavar sa bazičnim prahom punjenom žicom Filtub 32B,
 zavarivano u desno



Slika 11. Kutni zavar sa metalnom prahom punjenom žicom Filtub 32 M,
 zavarivano u desno



Slika 12. Kutni zavar sa masivnom žicom MIG 75,
 zavarivano u lijevo

Uspoređeni su i sadržaj vodika u zavaru kod zavarivanja sa Filtubom 32B, Filtubom 32M i MIG 75 žicom. Navarivanje je izvedeno pri istim uvjetima, provedena su tri paralelna mjerenja sa glicerinskom metodom i dobiveni su sljedeći rezultati:

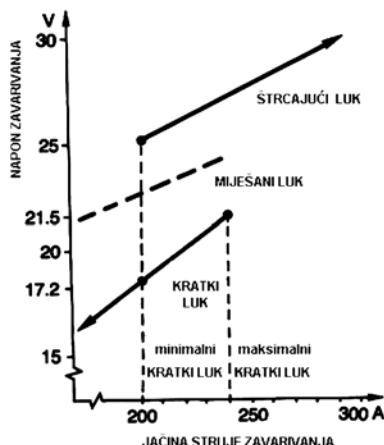
- Filtub 32B 0,77 ml/100 g;
- Filtub 32M 0,08 ml/100 g;
- MIG 75 0,10 ml/100 g.

Podaci ukazuju na veoma niski sadržaj vodika u zavaru.

U tablici 2. prikazana je usporedba načina zavarivanja i karakteristika kod različitih tipova žica kod zavarivanja u zaštiti plinova.

Tablica 2. Karakteristike bazičnih, rutilnih i metalnih prahom punjenih žica i masivnih žica

Vrsta prahom punjene žice	Karakteristike			
	bazična	rutilna	metalna	masivna
Polaritet zavarivanja	+	+	+	+
Smjer zavarivanja	→	→ (korijen)	←	←
Kratki luk	x		x	x
Štrcajući luk		x	x	x
Zaštitni plin	C1, M21	C1, M21	C1, M21	C1, M21
Maksimalna debljina lima	neograničeno	do 45 mm	neograničeno	neograničeno
Odstranjenje troske	x	x	nije potrebno	nije potrebno
Položaj zavarivanja	ograničeno	neograničeno	neograničeno	neograničeno



Slika 13. Karakteristike električnog luka i prijelaza metala kod različitih parametara zavarivanja sa metalnim prahom punjenom žicom [4].

5. PODRUČJA UPOTREBE METALNIM PRAHOM PUNJENIH ŽICA

Punjene žice, metalne, bazične i rutilne žice upotrebljavaju se u svim područjima zavarivanja: brodogradnji, kotlogradnji, izgradnji mostova, automobilskoj industriji, izgradnji građevinskih i poljoprivrednih strojeva, željezničkoj industriji.

Metalnim prahom punjene žice prije svega se koriste kod automatizacije i robotike i na područjima upotrebe gdje je potrebno zavarivati višeslojno bez odstranjenja troske. Upotrebljavaju se kako na području zavarivanja tako i na području navarivanja.

Na tržištu se pojavljuju različiti tipovi metalnim prahom punjenih žica kao što su :

- nelegirane prahom punjene žice,
- nisko legirane prahom punjene žice sa dodatkom Ni, Mo i Cr u jezgri,
- žice sa veoma niskim sadržajem vodika u metalu zavara,
- prahom punjene žice za navarivanje,
- prahom punjene žice za zavarivanje nehrđajućih čelika austenitnog tipa,
- prahom punjene žice za zavarivanje nehrđajućeg čelika martenzitnog tipa.

U tvornici "Elektrode Jesenice" trenutno se proizvode sljedeće tipove metalnim prahom punjenih žica za zavarivanje i navarivanje: FILTUB 12 M, FILTUB 32 M, FILTUB 38 M, FILTUB DUR 12, FILTUB DUR 14 i FILTUB DUR 16 [5].

Karakteristike metalnim prahom punjenih žica navedene su u tablicama 3 – 7.

Tablica 3. Specifikacije metalnim prahom punjenih žica za zavarivanje

Vrsta žice	EN 758	AWS
FILTUB 12 M	T 46 4 M M 2	ASME-SFA-5.20 : E 71 T-1
FILTUB 32 M	EN12535:T69 6 Mn2NiMo B M	ASME-SFA-5.29 : E 111 T 1-K4
FILTUB 38 M	EN12535:T89 4 ZMM2 H5	ASME-SFA-5.29 : E 121CGMH4

Tablica 4. Kemijski sastav čistog zavara metalnim prahom punjenih žica

Vrsta žice	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
FILTUB 12 M	0,05	0,55	1,40	>0,020	>0,020			
FILTUB 32 M	0,05	0,50	1,50	>0,020	>0,020	0,45	2,10	0,40
FILTUB 38 M	0,05	0,50	1,60	>0,020	>0,020	1,00	2,20	0,40

Tablica 5. Mehanička svojstva čistog zavara metalnim prahom punjenih žica

Vrsta žice	Re min (N/mm ²)	Rp min (N/mm ²)	Izduženje (%)	Charpy, J min		
				0 °C	- 20 °C	- 40 °C
FILTUB 12 M	460	540 - 640	24	100	80	47
FILTUB 32 M	690	750 - 850	16	80	60	47
FILTUB 38 M	890	950 - 1100	14	70	55	47

Tablica 6. Specifikacije metalnim prahom punjenih žica za navarivanje

Vrsta žice	DIN 8555
FILTUB DUR 12	MSG 5 – GF – M21 – 40-P / MSG 5 – GF – C1 – 40-P
FILTUB DUR 14	MSG 6 – GF – M21 – 50-GP / MSG 6 – GF – C1 – 50-GP
FILTUB DUR 16	MSG 6 – GF – M21 – 60-GP / MSG 6 – GF – C1 – 60-GP

Tablica 7. Kemijski sastav i mehanička svojstva metalnim prahom punjenih žica

Vrsta žice	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Tvrdoća navara (HRc)
FILTUB DUR 12	0,12	0,60	1,50	5,50	1,00	37 - 42
FILTUB DUR 14	0,35	0,60	1,20	5,50	0,80	48 - 53
FILTUB DUR 16	0,45	0,60	1,60	5,50	0,80	57 - 62

6. ZAKLJUČAK

U članku je predstavljena usporedba različitih vrsta prahom punjenih žica i masivnih žica sa metalnim prahom punjenim žicama. Zavar bez troske, visoko iskorištenje i brzine taljenja, dublji uvar - penetracija, mogućnost zavarivanja u svim položajima i dobre mehaničke osobine su samo neke od karakteristika koji u zadnje vrijeme povećavaju potražnju po metalnim prahom punjenim žicama. Potražnju dopunjava i sve češća upotreba robota, koji na mnogim mjestima već nadoknađuju teški rad zavarivača. U tvornici "Elektrode Jesenice", priprema se nova najsvremenija liniju za proizvodnju punjenih žica, koja će omogućiti proizvodnju kvalitetnih praškom punjenih žica šire palete dolegiranja, s niskim sadržajem vodika i po konkurentnim cijenama.

7. LITERATURA

- [1] Lakota, I. "Vrste, lastnosti in uporaba polnjenih žic", Zbornik referatov Dan varilne tehnike 2005. Novo mesto SLO, 2005, pp 55-60.
- [2] Scholz, E. "Prinzipielle Erläuterungen des Fluxofil sysrems- Stand der Entwicklung", Oerlikon Schweissmitteilungen 33.,1975, Nr.73, pp 8-13.
- [3] Scholz, E. "Einfluss mikrolegierter Fülldraht auf mechanischen Eigenschaften von ein undmehrlagigen MSG Schweißverbindungen", Oerlikon Schweissmitteilungen 35.,1977, Nr.80/81, pp 23-27.
- [4] Tessin, F. "Gasgeschützte Fülldrähte für allgemeine Baustähle, Auswahl und Normung", <http://www.fuelldraht.de/Fuelldraht/Fuelldraehte%20fuer%20allgemeine%20Baustaeahle.html>
- [5] Podaci iz tehnične literature Elektrode Jesenice., 2006