



Miroslav S. Milićević¹, Tatjana M. Jovanović¹, Valentina M. Nejković²

KAKO SMO IZUMELI NAJBOLJI MAGNETNI KONCENTRATOR NA SVETU ZA VISOKOFREKVENTNO ZAVARIVANJE

HOW WE INTENDED THE WORLD'S BEST HUB FOR HIGH-FREQUENCY WELDING

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.92 ; 621.9.014

Rad primljen / Paper received:

April 2014.

Adresa autora / Author's address:

¹ Niš, Bulevar Nemanjića 33/39, email: lavmiro@eunet.rs,

² Elektronski fakultet u Nišu

Ključne reči: koncentrator, zavarivanje, brzina, snaga, energija.

Key words: welding, concentrator, speed, power, energy

Abstract

Rad predstavlja doprinos poboljšanju energetskih parametara kod visokofrekventnog induktivnog zavarivanja čeličnih cevi. Doprinos se sastoji u velikoj uštedi potrošene električne energije. Funkcija koncentratora je da prenese i pretvori elektromagnetnu energiju u toplotnu energiju na najbolji način. Optimalan koncentrator je predmet izuma rada i on je realizovan sa magnetodielektrikom tipa Fluxtro A. Rezultati eksperimentalnih istraživanja čine rešenje najboljim na svetu što potvrđuju odgovarajući kriterijumi.

Abstract

This paper represents contribution of improvement for energy parameters of high frequency inductive welding of steel tubes. This improvement was shown through lessened consumption of electric energy. The function of concentrator is to transfer and convert electromagnetic energy into heating energy in the best possible max. Optimal concentrator with Fluxtro A magneto-dielectric material was projected and made. Practical results provide us most one of the best solutions in this field in the world, with the proven criteria.

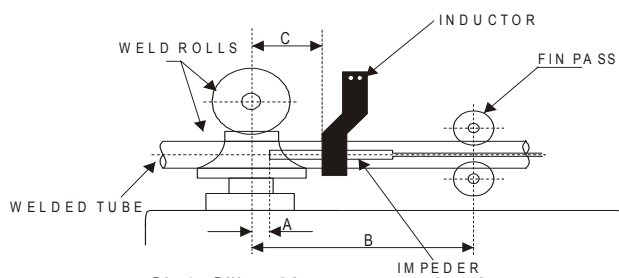
1. UVOD

Rad obrađuje temu vezanu za istraživanje i praktičan razvoj vezan za poboljšanje tehnokonomskih parametara kvaliteta VF induktivnog zavarivanja čeličnih cevi na odgovarajućim tehnološkim linijama za proizvodnju. Ideja da se cevi zavaruju VF strujama ima dug i veliki razvojni put u celom svetu [1,2,3,4]. Kod VF zavarivanja postoje dve metode i to kontaktna i induktivna, a razlikuju se po načinu na koji se prenosi elektromagnetna energija oscilatora na ivice čelične trake koja se zavaruje. Koja će se metoda izabrati, zavisi od proizvodnog programa kao i strategije samih proizvođača generatora za zavarivanje.

Kroz ovaj rad će se obrađivati doprinosi koji su postignuti kod VF zavarivanja putem induktivne metode prenosa energije. Inače, istraživanja su rađena na VF cevnim generatorima, koji rade na frekvencijama od 400 do 500 kHz, a koji su integrisani sa tehnološkim linijama za izradu čeličnih cevi fabrike gde se vrše istraživanja.

Generatori za induktivno zavarivanje se sastoje od visokonaponskog transformatora, ispravljača visokog napona, oscilatora sa elektronskom cevi kao aktivnim elementom, transformatora za prilagođenje impedanse i izlaznog induktora. Regulacija snage se obavlja tiristorskim regulatorima napona koji su povezani u primaru VN transformatora, tako da se ovom promenom izaziva promena visokog napona u sekundaru koji ispravljen predstavlja anodni napon oscilatora.

Finalni deo generatora za zavarivanje cevi je prikazan na sl. 1. Induktor se povezuje preko razvodne ruke na sekundar transformatora za prilagođenje. Unutar induktora prolazi formirana cev od čelične trake. Valjcima za zavarivanje se pritiskaju ivice trake koje su zagrejane do temperature topljenja tako da se određenim pritiskom obavlja tzv. kovanje. Ispred su valjci za vođenje i usmeravanje zavarenog spoja cevi.



Sl. 1. Slika sklopa za zavarivanje



Zbog poboljšanja efekata zavarivanja unutar cevi se ugrađuje dobro poznati u ovoj tehnici impedier, čija je funkcija da smanji struje u unutrašnjoj i spoljašnjoj konturi cevi ispod samog induktora a poveća struju u ivicama trake koja teče tzv. V prilazom preko kontaktne tačke. Indukovana struja u ivicama trake na otporu usled gubitaka izaziva toplotu koja izaziva temperaturu sve do tačke topljenja. Topljenje čelične trake se vrši u uskim granicama, a proizvodnja čeličnih cevi je kontinualna i to brzinom od 100 m/min.

Dimenzije sa sl.1. određuje ponaosob svaki proizvođač generatora a iste su određene u [1,16]. Na istraživačima je da iznalaženjem i kreativnm delovanjem postignu dobre rezultate. Do sada je poznato da je impedier izrađivan od zaštitne čaure koja se punila feritima kao magnetnim koncentrorima. Čaura služi za mehaničku zaštitu i istovremeno obezbeđuje priključak radi hlađenja impediera zbog disipacije. Postoji mnogo radova i projekata koji su usmeravani na poboljšanje impediera radi smanjenja utroška električne energije pri zavarivanju cevi.

2. PROJEKTOVANJE NOVOG KONCEPTA ZAVARIVANJA UVOĐENJEM NOVE ORIGINALNE KONSTRUKCIJE KONCENTRATORA

Glavno mesto i doprinos ovog rada je projektovanje novog koncentratora koji će kroz praktične rezultate nadvisiti sva rešenja koja su do sada poznata u svetu. Radi ocene efektivnosti koristiće se poznati kriterijumi iz [1,4] gde se gleda specifična snaga [kW/mm(m/min)] u funkciji proizvodne brzine[m/min] . Takođe se koristi kriterijum iz [14] gde se pri zavarivanju prati toplotni koeficijent [kW/m/min] u funkciji brzine zavarivanja. Uvodimo i novi kriterijum, gde se prati utrošak energije po jedinici proizvoda - čelične cevi[kWh/t] u funkciji proizvodne brzine [m/min].

Da bi de obavilo valjano i strogo testiranje, moralo se kroz eksperimente u zavarivanju pronaći najbolji referentni koncentrator sa feritima. Kroz višegodišnju praksu koristili su se feriti raznih proizvođača sa različitim uspehom a naročito od domaćih Ei ferita. Na bazi ovih iskustava, rezultata iz [11,15,16,], mnogih

tehničkih podataka iz ponuda, kao referentni ferit se usvaja TDK-ov ferit. Koncentrator sa TDK feritima je dao do sada najbolje rezultate u zavarivanju čeličnih cevi.

Po prvi put se predlaže i uvodi u konstrukciju koncentratora magnetodielektrik firme Fluxtrol iz Mičigena – USA. Testirano je više tipova magnetodielektrika, ali za visokofrekventno induktivno zavarivanje čeličnih cevi, na frekvencijama na kojima rade lampni generatori koji se istražuju i na kojima je dokazan doprinos novog koncentratora. Testirani su magnetodielektrici Fluxtrol B i A, gde je istoimena firma za visokofrekventno zavarivanje specijalno razvila tip B, a tip A je serijske proizvodnje korišćen za termičku obradu metala.

2.1 Prikaz eksperimentalog istraživanja sa Ei feritnim koncentrorom

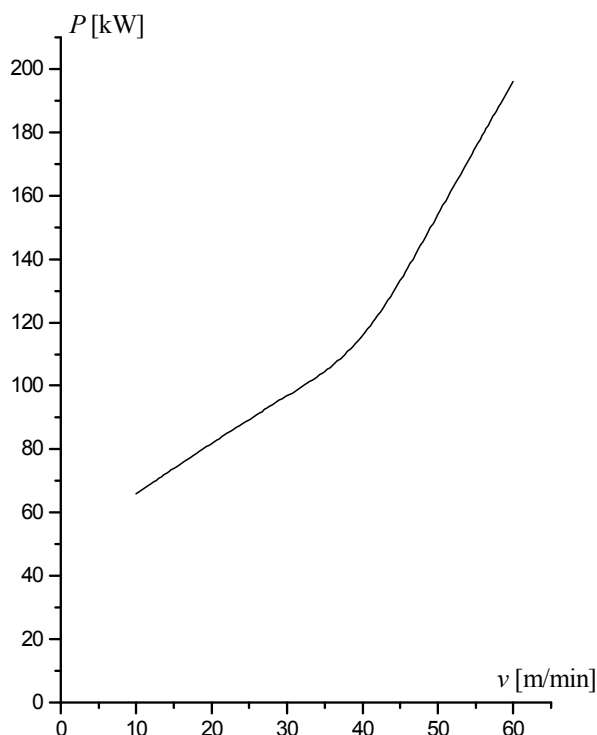
Elektronska industrija je razvila nekoliko ferita za VF zavarivanje. Sama jezgra ferita se proizvode od oksida gvožđa i oksida dvovalentnih metala kao što su ZnO, NiO, MnO i CoO i visokog su stepena čistoće i proizvedeni su u strogo kontrolisanim uslovima sinterovanja. Sve ovo obezbeđuje da feriti mogu raditi na visokim frekvencijama i povećanim temperaturama pri čemu se teži da se približno zadržava vrednost magnetnog permeabiliteta i magnetne indukcije.

Od strane ovog proizvođača preporučuje se primena feritnih materijala tipa N31 i M32, a naša iskustva su pokazala da je bolje rezultate postigao ferit N31. Ovaj ferit ima početni permeabilitet 250, relativni faktor gubitaka 70÷140. Indukcija pri magnetnom polju od 10A/cm iznosi 3,25 T, a za ovaj materijal je specifična otpornost $10^5 \Omega\text{cm}$. Kiri temperatura ferita N31 iznosi 250°C .

Testiranje Ei feritnog koncentratora je obavljeno na generatoru korisne snage (snage odate na induktoru) 130kW pri zavarivanju čelične cevi prečnika 26,9x2,65 mm, gde su rezultati pregledno dati u tabeli T1. Snaga se izračunava kao proizvod jednosmerne struje i napona iz ispravljača koji napajaju oscilator generatora, i kad je reč o snazi kod ovakvih testiranja misliće se na ovu snagu. Na sl.2 je data grafička zavisnost snage potrebne za zavarivanje u funkciji brzine zavarivanja cevi.

v [m/min]	U_a [kV]	I_a [A]	P [kW]
10	5,6	11,8	66
20	6,36	12,9	82
30	7,0	13,87	97
40	7,5	14,8	111
50	9,37	16,47	154,3
60	11,14	17,6	196

Tabela 1. Eksperimentalna istraživanja pri zavarivanju cevi prečnika 26,9x2.65 mm pomoću Ei feritnog koncentratora



Slika 2. Snaga u funkciji brzine zavarivanja pri proizvodnji cevi prečnika 26,9x2,65 mm pomoću Ei feritnog koncentratora

2.2 Specijalni materijal za koncentrator razvijen od Američke firme Fluxtrol B

Američka kompanija Fluxtrol je specijalno za potrebe VF zavarivanja čeličnih cevi razvila magnetodielektrik FluxtrolB. Eksperimentisanja su nastavljena sa magnetodielektrikom tipa Fluxtrol B. Osnovne karakteristike ovog magnetodielektrika su te da mu je magnetni permeabilitet 23÷25, električna otpornost 20÷40 kΩcm, specifična težina 5,8÷5,9 gr/cm³, radna frekvencija 10÷450 kHz, $B=1$ T i $H=11000$ A/m. Ovaj materijal pripada grupi mekih magnetodielektrika. Do sada se koristio kod induktivni grejanja i raznih termičkih obrada.

Za naše eksperimente od magnetodielektrika (MDM) Fluxtrol B napravljen je koncentrator polja za zavarivanje

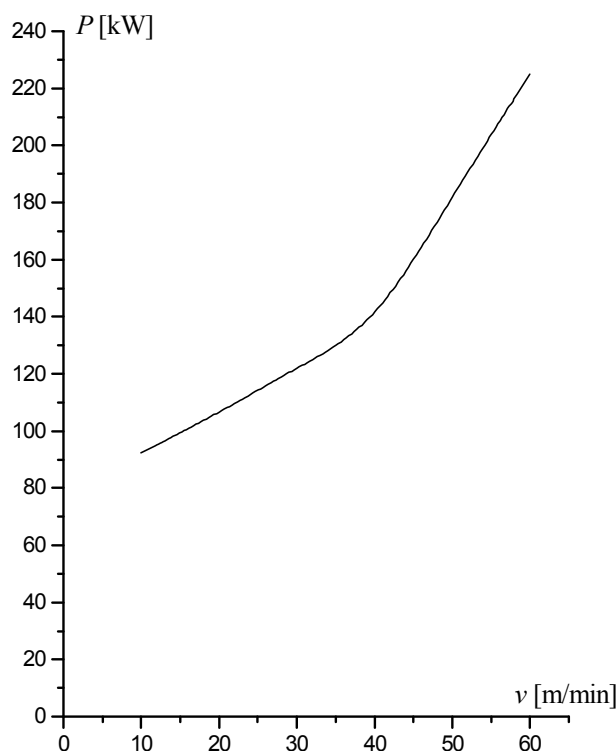
čelične cevi prečnika 26,9x2,5 mm. Rezultati iz testa zavarivanja su pregledno dati u tabeli T.2 Grafik za angažovanu snagu je dat na sl.3 kao funkcija brzine zavarivanja.

Primenom ovog MDM-a za koncentrator nismo postigli energetske uštede u odnosu na ferite Ei i TDK. Var je bio još kvalitetniji u odnosu na mehaničke probe spljoštavanja. Cevi zavarene ovom metodom su imale i vizuelno drugačiji var, a testovi mehaničkog spljoštavanja su dali velike prednosti ovom novom koncentratoru.

Iz navedenih tabela i grafika se zaključuje da ovo rešenje nije povoljnije u energetskej potrošnji prema koncentratorima realizovanim sa feritima Ei i TDK. Ali je primećeno da je var dobijen primenom koncentratora od magnetodielektrika Ferotron 559 postojaniji i da izdržava bolje testove na mehaničke probe spljoštavanja.

v [m/min]	U_a [kV]	I_a [A]	P [kW]
10	6,75	13,67	92,3
20	7,61	13,95	106,2
30	8,25	14,8	122,10
40	9	15,17	136,53
50	10,5	17,39	182,59
60	11,90	18,91	225,0

Tabela 2. Vrednosti eksperimentalnih podataka pri zavarivanju cevi prečnika 26,9x2,5 mm primenom koncentratora Fluxtrol B



Slika.3 Angažovana snaga u funkciji brzine zavarivanja pri proizvodnji cevi prečnika 26,9x2,5 mm uz primenu koncentratora Fluxtrol B

2.3 Realizacija koncentratora sa optimalnim TDK feritnim materijalom

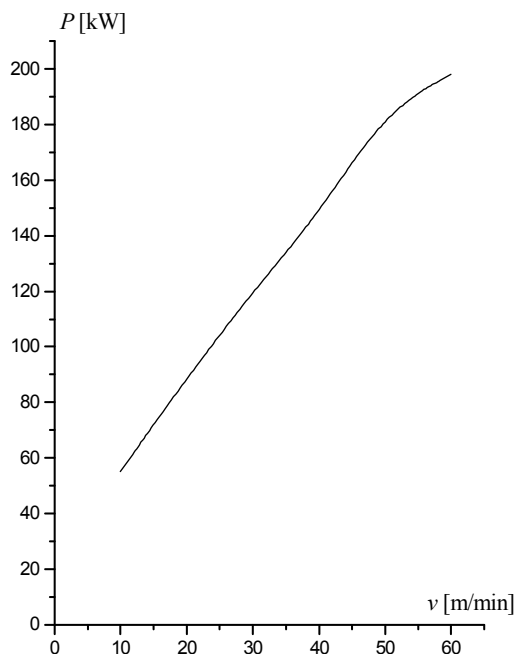
Za induktivno zavarivanje kod istraživanih generatora korišćeni su feriti za koncentratore firme TDK [11]. Ova firma proizvodi ferite sa specijalnom namenom za VF induktivno zavarivanje. U katalogu ove firme navode se osnovne karakteristike ferita ali nema podataka o ključnim magnetnim parametrima. Ovi feriti, u energetske smislu, daju bolje rezultate pri zavarivanju cevi u odnosu na ferite firme Ei.

Na istom generatoru obavljeno je testiranje koncentratora polja sa TDK feritima pri proizvodnji i zavarivanju čelične cevi prečnika 21,3x2,65 mm. Rezultati su pregledno dati u tabeli T3 Na sl.4 je data grafička zavisnost angažovane snage u funkciji brzine zavarivanja pri zavarivanju napred navedene cevi.

Podaci iz ovih tabela i grafika dobijeni pri zavarivanju sa koncentratorima od TDK ferita, ukazuju da su efikasniji u odnosu na Ei ferite u smislu energetske uštede, odnosno angažovanih i potrebnih snaga za zavarivanje pri proizvodnji čeličnih cevi.

v [m/min]	U_a [kV]	I_a [A]	P [kW]
10	5,05	10,92	55,1
20	7,5	11,84	88,8
30	9,0	13,32	119,98
40	10	14,8	148
50	11,35	16,3	185
60	11,82	16,75	198

Tabela 3. Vrednosti podataka pri izradi cevi prečnika 21,3x2,65 mm pomoću TDK ferita



Slika.4 Angažovana snaga u funkciji brzine zavarivanja pri proizvodnji čelične cevi prečnika 21,3x2,65 mm pomoću TDK feritnog koncentratora

2.4 Kako smo pronašli najbolji koncentrator za VF zavarivanje na svetu

Dalja eksperimentalna ispitivanja nastavljena su na uzorcima magnetodielektrika tipa Fluxtrol A, čiji su grubi osnovni tehnički podaci: radni opseg frekvencija 60 do 30kHz, minimalna magnetna permeabilnost iznosi 55, električna otpornost $6,5 \times 10^{12} \Omega\text{cm}$, $B=1 \text{ T}$ i $H=12500 \text{ A/m}$. Specifična težina je $6,8 \div 7,1 \text{ gr/cm}^3$. Navodi se da je maksimalna magnetna permeabilnost u opsegu 110÷120. Ovaj magnetodielektrik je predviđen, bar kako ga deklarirše proizvođač, za rad na nižim i srednjim frekvencijama. Frekvencija na kojoj rade generatori za VF induktivno zavarivanje je u opsegu (400÷500) kHz.

Vidi se da ovaj magnetodielektrik ne odgovara za oblast visokfrekventnog zavarivanja, a pomoću TDK ferita ostvaren je optimalan rezultat u klasi feritnih rešenja i tu više se ne može učiniti ništa u smislu energetske uštede.

Takođe magnetodielektrik tipa B iako je proračunat za oblast viskih frekvencija ne može dati energetske uštede. Čak štaviše i simulacioni paketi američke firme Fluxtrol i instituta CIT su dali neadekvatne rezultate jer se ih opovrgli opsežni eksperimentalni rezultati i istraživanja autora ovog rada. Autori su dovedeni pred svršen čin, da završe kompletna istraživanja zato što nisu bili u mogućnosti da sami dizajniraju ni nove feritne materijale ni magnetodielektrike.

Autori su nastavili ipak istraživanja, i sa raznim koncentratorima od specijalnih čeličnih materijala i rezultati nisu bili značajniji. Autori ovog rada su rešili da upotrebe FluxtrolA, iako je neodgovarajući po

frekvenciji, ali je znatno većeg magnetnog permeabiliteta i moraće da da zavarivanje sa velikom energetsom uštedom. Ali, zbog velikih gubitaka pitanje koliko će vremenski da izdrži do pregorevanja i potpunog uništenja. Opsežnim eksperimentalnim istraživanjima u dužem periodu, u standardnim uslovima hlađenja koncentratora, autori su postavili sebi cilj da se proizvede najmanje 3 smene, što su i postigli čime su velikom energetsom uštedom dobili značajnije povećanje proizvodne brzine tehnološke linije za proizvodnju čeličnih cevi. Na ovaj način iako je magnetodielektrik znatno skuplji od ferita, sve je to zanemarljivo u odnosu na dobijenu finansijsku dobit od povećane produktivnosti. Time je dobijen najbolji u energetsom smislu koncentrator na svetu za VF zavarivanje čeličnih cevi.

Ako bi se vezali za podatak o frekvenciji, praktično ovaj MDM je neadekvatan. Ali što se tiče magnetnog permeabiliteta, pri većim magnetnim poljima, ovaj magnetodielektrik je veliki izazov za primenjena istraživanja. Testovi ovog materijala su izvršeni u proizvodnji cevi prečnika 21,3x2,65 mm.

Rezultati eksperimentalnih istraživanja novog magnetodielektričnog koncentratora A su pregledno dati u tabeli T4. Grafik angažovane snage u funkciji brzine zavarivanja, za novi koncentrator, je dat na sl.5. Odmah se primećuje velika energetska ušteda ovog koncentratora u odnosu na zavarivanje sa E_i i TDK feritnim koncentratorima.

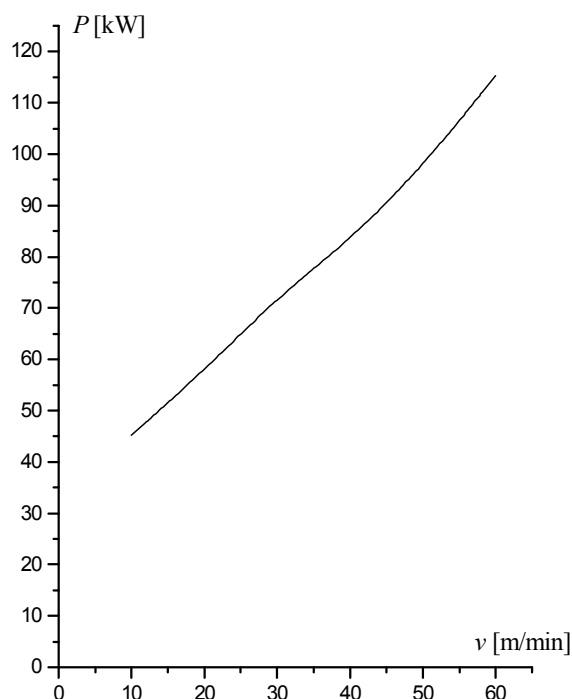


v [m/min]	U_a [kV]	I_a [A]	P [kW]
10	5,94	7,61	45,2
20	6,25	9,25	57,8
30	6,50	11,1	72,15
40	7,50	11,1	83,25
50	8,25	11,84	97,70
60	8,90	12,95	115,3

Tabela 4. Eksperimentalni rezultati pri zavarivanju cevi prečnika 21,3x2,65mm uz primenu magnetodielektrika tipa Fluxtrol-A

Ispitivanjem kvaliteta vara sa novim FluxtrolA koncentratom polja utvrđuje se da je zavareni spoj kvalitetniji i da izdržava mnogo više probe na mehaničko spljoštavanje. Sveukupno gledajući dobili smo nov materijal, magnetodielektrik Fluxtrol A, koji upotrebljen za koncentrat polja za VF induktivno zavarivanje, ima energetske uštede koje su znatne i mnogo kvalitetniji var u odnosu na staro rešenje VF zavarivanja sa feritnim koncentratom.

Ovaj solidan rezultat je postignut, iako je materijal predviđen za mnogo manje frekvencije, a testiranja su obavljena na generatoru snage 130 kW, koji ima trenutnu radnu frekvenciju oscilovanja oko 430 kHz. Dužina koncentratora sa magnetodielektrikom Fluxtrol A je bila 150 mm dok je kod starog feritnog rešenja iznosila 200 mm.

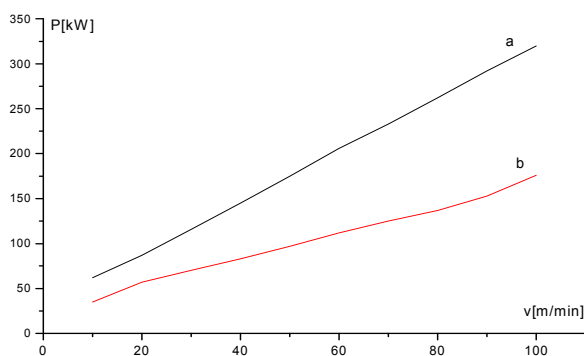


Slika.5 Angažovana snaga u funkciji brzine zavarivanja pri proizvodnji cevi prečnika 21,3x2,65 mm uz primenu FluxtrolA koncentratom

3. PRIMENA KRITERIJUMA ZA OCENU EFIKASNOSTI NAJBOLJIH IMPEDERA ZA VF ZAVARIVANJE

Zbog upoređivanja i ocene rezultata novog impedera, sa magnetodielektrikom FluxtrolA, u odnosu na koncentrat sa TDK-ovim feritom, i izabranu cev ϕ 21, 3 x 2, 6 mm, rezultati će biti prezentovani grafički. Eksperiment je obavljen na VF generatoru snage 130 kW.

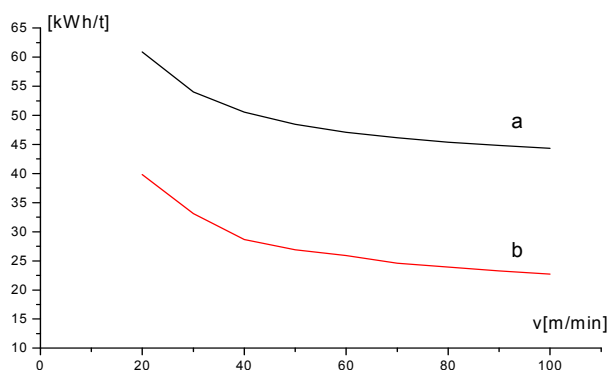
Na sl. 6 su dati grafici, gde je na ordinati prikazana snaga u [kW] koja se očitava iza ispravljača generatora, a na apscisi je brzina zavarivanja u [m/min]. Svi grafici obeleženi sa "a" odnose se na feritni a "b" na novousvojeni impedera. Sa sl. 6 jasno se vidi da je potrošnja energije i učešća snage znatno manja za novi koncentrat u poređenju sa feritnim TDK koncentratom, te je primetna ušteda od preko 40%



Slika.6 Grafik utrošene snage u funkciji brzine zavarivanja(a pomoću TDK ferita i b pomoću magnetodielektrika FluxtrolA)

Koristeći novouvedeni kriterijum nacrtani su grafici na sl. 7 gde se na ordinati nalazi preračunata utrošena električna energija po toni zavarene cevi [kWh/t] u funkciji proizvodne brzine [m/min]. Analizom grafika sa sl. 7 se utvrđuje da koncentrador sa magnetodielektrikom Fluxtrol A troši znatno manje energije po toni zavarene

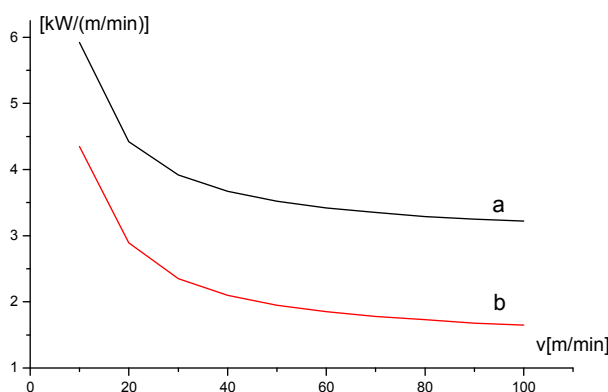
cevi. Izvodimo posve jedan novi zaključak da se potrošnja pri brzinama većim od 50 m/min približava asimptoti što dovodi do zaključka da je ovo produktivna oblast zavarivanja. Odnosno, pri manjim brzinama se troši mnogo više električne energije no pri većim.



Slika. 7. Grafik utrošene energije po toni proizvoda u funkciji brzine zavarivanja ("a" TDK ferit i "b" magnetodielektrik FluxtrolA)

Na sl. 8 je dat grafički prikaz, kao u [14], gde je na ordinati dat tzv. toplotni koeficijent i to snaga iz ispravljača podeljena brzinom zavarivanja [kW/m/min] u funkciji brzine zavarivanja [m/min]. I iz ovog kriterijuma

se vidi da novi impeder ima znatno povoljniju grafičku zavisnost, odnosno znatno manji toplotni koeficijent.

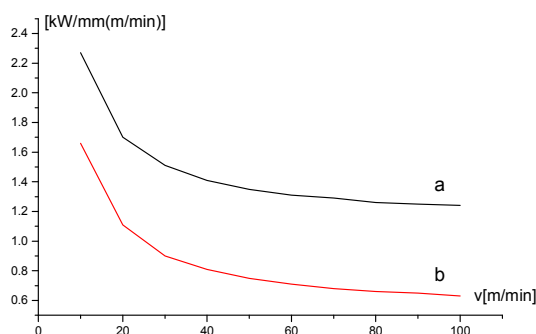


Slika.8. Grafik toplotnog koeficijenta u funkciji proizvodne brzine ("a" TDK ferit i "b" magnetodielektrik FluxtrolA)



Sledeći kriterijum ocene uspešnosti impedera za zavarivanje ilustruje sl. 9, gde je prema [1,4], na ordinati data tzv. specifična snaga [kW/mm(m/min)] u funkciji

brzine zavarivanja cevi. Manje vrednosti krive "b" potvrđuju superiornost koncentratora sa FluxtrolA materijalom u odnosu na feritni koncentrator.



Slika. 9 Grafik specifične snage u funkciji brzine zavarivanja ("a" TDK ferit i "b" magnetodielektrik FluxtrolA)

Zajedničko za sva tri kriterijuma je to da izvodimo zaključak da je veoma nepovoljno zavarivati na malim brzinama, već to treba činiti na brzinama većim od 50 m/min. što potvrđuju svi grafici.

Naš novi FluxtrolA koncentrator podvrgnućemo upoređenju i sa nekim veoma skupim koncentratorima koji su realizovani sa nekim drugim feritima i 3% Si čelikom i amorfnim folijama iz [14]. Rezultati za upoređenje su pregledno dati u tabeli T₅. Rezultati iz ove

tablice su dati po opadajućim vrednostima koje označavaju veće performanse koncentratora. Kod Fluxtrola A, prva kolona, potrošnja energije pada do ispod 30 kWh/t, specifična snaga iz druge kolone po prvi put u svetu pada ispod vrednosti 1. Sva tri kriterijuma povoljno ocenjuju koncentrator sa magnetodielektrikom Fluxtrol A, a buduća primena promeniće filozofiju zavarivanja, a posebno, kada se upoređuje kontaktna i induktivna metoda VF zavarivanja.

Kriterijum			
Mat. koncentr..	$\frac{kWh}{t}$	$\frac{kW}{mm(m/min)}$	$\frac{kW}{m/min}$
FERIT- [14]	83,3	3,57	15
3% Si-foil	57,11	2,45	10,3
FERIT- TDK	50	1,35	3,52
MAGN. DIEL. – F3	27	0,75	1,95

Tabela 5. Eksperimentalni rezultati

4. ZAKLJUČAK

Pokazano je u radu da se uvođenjem novog koncentratora sa magnetodielektrikom Fluxtrol A, znatno poboljšavaju energetska i drugi pokazatelji u odnosu na feritni koncentrator i u odnosu na neke druge specijalne koncentratore. Primenom novog koncentratora se znatno poboljšava kvalitet vara čelične cevi jer zbog boljeg provara dobija se kontinualniji var i imaju se manja nadvišenja unutrašnjeg vara. Ovo potvrđuju rađeni testovi sa mehaničkim probama i rezultati sa metalografske analize.

Novi koncentrator je dominantniji prema dva poznata kriterijuma iz literature a dominantan je i prema novouvedenom kriterijumu iz ovog rada. Znatno smanjenje utroška električne energije, čak do 49%,

stvara osnovne pretpostavke za povećanje produktivnosti tehnoloških linija za izradu čeličnih cevi.

Rezultati iz prakse ispravljaju krivu korekcionog faktora za induktivnu metodu zavarivanja, kod cevi malih dijametara, tako da ovu metodu primenom ovog FluxtrolA koncentratora čine boljom u odnosu na kontaktnu metodu zavarivanja. Pokušaj američke firme Fluxtrol da projektovanjem i izradom magnetodielektrika Fluxtrol B za zavarivanje nije uspeo, nisu se pokazali pouzdanim ni simulacioni paketi za modeliranje, tako se pokazalo da je praktično istraživanje majka svih nauka. Budući da se radi o postignutim rezultatima na lampnim generatorima, ovim velikim uštedama se menja sveukupni koeficijent iskorišćenja lampnih generatora za zavarivanje čeličnih cevi.

Sve u svemu postignuta je značajna tehno-ekonomska ušteda, tako za rad u dve smene, povećanjem



proizvodne brzine godišnje se postiže finansijska ušteda od 300000 evra ako bi se samo proizvodila cev izabrana kao reprezent ispitivanja tj. ϕ 21,3 x 2,65 mm.

Osnovni zaključak je da se u radu daje značajan doprinos u uvođenju novih materijala za koncentrator, što pored praktičnog predstavlja i teoretski doprinos. Povećava se kvalitet vara cevi, povećava produktivnost odakle sledi godišnja ušteda koja nadmašuje cenu celog generatora za zavarivanje. Rad pored navedenih doprinosa uveliko menja poglede na samu filozofiju metoda VF zavarivanja. Glavni izum i vrednost ovog rada je to što su rezultati postignuti pomoću neodgovarajućeg materijala, svesnim žrtvovanjem veka trajanja koncentratara dobijene su velike energetske uštede a samim tim je dobijena velika finansijska dobit.

LITERATURA

- [1] Šamov N.A. Lunin V.I., Ivanov N.V. Vysokočastotnaja svarka metalov, Mašinstroenie, Leningrad, 1977
- [2] Brajović V. Elektrotermija, Naučna Knjiga, Beograd, 1985
- [3] Guljajev D. Soveršenstvovanie tehnologii proizvodstva i povišenje kačestva elektrostvarnyh trub, Tehnika, Kiev, 1984
- [4] Ivanov N.V. Lunin V.I., Kulžinski L.V., Vysokočastotnaja svarka metallov, Mašinstroenie, Leningrad, 1979
- [5] Rudnev I.V.,..., Induction heat treatment, Steel Heat Treatment Handbook, New York, Basel, Hong Kong, 1997
- [6] Fluxtrol Manufacturing, Inc., MI-USA, Magnetic Flux Concentrators for High Frequency Ind. Heating 1996.
- [7] Ruffini S.R., Nemkov S.V., Materials for Effective Magnetic Flux Control and Concentration in Induction Heating Processes, Proces Control Instrumentation, November, 1996
- [8] Ruffini S.R., Ruffini T.R., Nemkov S.V., Advanced Design of Induction, Industrial Heating, November, 1998
- [9] Milićević M., Avtomatičeskoe upravljenie processom indukcionnoi svarki trub s primeneniem mikro – EVM, VII Meždunarodnaja konferencija stran članov SEV i SFRJ po avtomatizaciji proizvodstvenyh processov i upravljenija v černoi metalurgii, SSSR, Ždanov, 1988
- [10] Wade J. Effective Utilisation of Magnetic Flux Concentrators in Induction Heating at Commercial Heat Treating Plant, Heat Treatments, Cleveland, Ohio
- [11] TDK impeder core, Tehnical documentation, Italy
- [12] Ruffini R.S., Nemkov V.S, Magnetic field control and concentration induction heating coils, Centre Induction Technology, Troy, USA
- [13] Ruffini S.R., Ruffini R.T., Nemkov S.V., Goldstein R.S, Computer Simulation for Induction Heat Treating of Automotive Parts, Global Power Train Congress, 1998, Detroit, MI – USA
- [14] Mitani K., Shibuya-Ku H., 'Impeder: How its innovation and design impacts the welding process', The Eight Annual World Tube Congress 9-12.11. 1992, Chicago, Illinois
- [15] Electronic Heating Equipment, Inc., Impeders, Work Coils, Ferrite Casing, 1998 Catalog Applications Guide, Buckley – WA
- [16] Wright J., Principles of high Frequency Induction Tube Welding, Electronic Heating Equipement, Inc., Sumner, 1997