

## **NOVI TIP IZVORA STRUJE TE UTJECAJ NOVIH PARAMETARA NA DEPOZIT I PENETRACIJU KOD EPP POSTUPKA ZAVARIVANJA**

### **NEW TYPE OF INVERTER POWER SOURCE AND INFLUENCE OF THE NEW PARAMETERS ON DEPOSIT AND PENETRATION AT SUBMERGED ARC WELDING PROCESS**

**Zorin ŠANKO** <sup>1)</sup>

**Ključne riječi:** unos toplinske energije, Balans, "Power Wave", Frekvencija, Depozit, offset

**Key words:** heat input, balance, "Power Wave", frequency, deposit, offset

**Sažetak:** Novi izvor struje AC/DC 1000 omogućava promjenu kontrole oblika krivulje izlaznog vala, s obzirom na promjenu frekvencije te omogućava korištenje mješovite izmjenične i istosmjerne struje u tijeku zavarivačkog procesa. Promjenom ovih novih parametara koji kontroliraju oblik izlazne krivulje, utječemo znatno na depozit materijala, izgled zavara, penetraciju te unos energije u jedinici vremena. Ovaj rad prezentira ove aspekte koji su uspoređivani u laboratoriju za specijalne postupke zavarivanja (Institut zavarivanja Genova). Uspoređivan je konvencionalni EPP postupak zavarivanja u položenom položaju na C-Mn čeličnim limovima sa EPP postupkom tzv. "Full Wave Control". Ovaj rad konstatira jednu značajnu novost kod EPP postupka zavarivanja.

**Abstract:** New power source AC/DC 1000 allows the change of control of output curve, according to changed frequency and allows application of mixed DC and AC current during welding process. By application of these new parameters that controls the shape of output curve, there is a significant influence on material deposit, weld shape, penetration and heat input. This paper presents these aspects while compared in laboratory for special welding processes (Welding institute Genova). Conventional EPP welding process in horizontal position for welding C-Mn steel sheets is compared with "Full Wave Control" welding process. This paper presents one of the important novelties in SAW welding process.

---

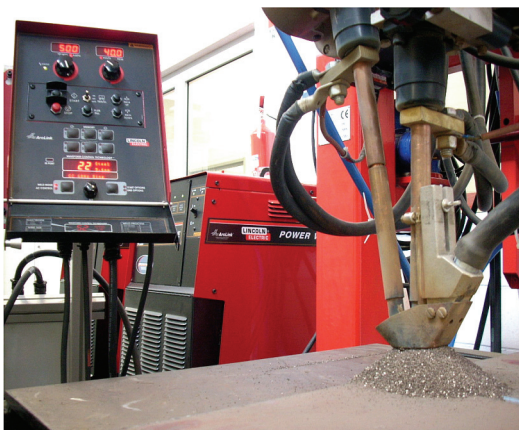
<sup>1)</sup> Trea Trade d.o.o, Blažiči 2a, 51264 Viskovo

## 1. UVOD

Kod EPP postupka zavarivanja pod zaštitnim slojem praška nisu se događale u svijetu nikakve značajnije inovacije zadnjih godina. Kod MIG - MAG zavarivanja punom žicom pod zaštitnim slojem plina te postupka zavarivanja prahom punjenim žicama u zaštiti i bez zaštite plina naprotiv, u zadnjih dvadesetak godina implementirana su mnoga poboljšanja:

- Upotreba novih elektronskih komponenata omogućava modeliranje oblika izlaznih valova apliciranih na pulsirajući električni luk. Kao rezultat dobivamo optimalne parametre za različite aplikacije procesa.
- Upotreba "Tandem" MIG postupka zavarivanja (Dva izvora struje svaki s jednim dodavačem žice u jednoj sapnici za zavarivanje), što u konačnosti značajno povećava depozit materijala u jedinici vremena.
- TT (MIG-MAG) - postupak zavarivanja sa kratkim električnim lukom (prijenosom metala kroz električni luk sa silom površinske napetosti).
- MIG - MAG postupci zavarivanja sa sinergijskim izvorima struje zavarivanja upotrebljenih, sa različitim pohranjenim softverima, sa različitim kombinacijama tehničkih plinova tzv. "TIME" proces, koji daju veće depozite u jedinici vremena u odnosu na druge MIG - MAG postupke zavarivanja.

Mogućnost reguliranja parametara zavarivanja kod EPP postupka zavarivanja, bila je do unazad par godina limitirana kontrolom brzine žice za zavarivanje (jakost struje), te naponom električnog luka. Glavne postavke kod EPP postupka zavarivanja glede povećanja depozita materijala, bile su i danas još uvijek jesu kombinacija istosmjerne i izmjenične struje zavarivanja, Tandem postupkom ili maksimalno do 5 žica u električnom luku, gdje se dobivaju značajno veći depoziti materijala posebice kod zavarivanja debelo stijenih cijevnih segmenta. Danas je to ograničenje nadvladano, zahvaljujući implementiranju nove elektronike koja može kontrolirati i mijenjati više električnih parametara zavarivanja odjednom.



Slika 1. EPP postupak zavarivanja

U daljnjem izlaganju prezentirat će se rezultati testiranja različitih novih parametara na EPP postupak zavarivanja tvrtke Lincoln Electric, s izvorom struje Power Wave AC/DC 1000.

Prikazao se je utjecaj električnih parametara kod zavarivanja EPP postupka na depozit materijala u svezi sa geometrijom izgleda zavara.

Iskustvo iz proizvodnje u različitim industrijskim aplikacijama, evidentirali su značajne mogućnosti djelovanja na izlazni oblik vala izmjenične struje zavarivanja kako slijedi:

- Povećani depoziti materijala tipičnih za DC-, sa širim i bolje povezanim zavarima ili povećana penetracija, u funkciji sa sljedećim zahtjevima;
- Ljepši oblik zavara
- Veća stabilnost električnog luka
- Bolje startanje električnog luka
- Regulacija specifične unesene toplinske energije
- Znatno smanjenje fenomena toplinskih deformacija nakon zavarivanja tankih limova

- Smanjenje fenomena magnetskog puhanja el. luka
- Jednostavnost upravljanja/kontrole procesa zavarivanja.

Područje ispitivanja proba bilo je ponašanje parametara, uz korištenje izvora struje Power Wave® AC/DC 1000 koji dopušta kompletnu kontrolu primarnih električnih parametara sa mogućnošću iskorištavanja različitih oblika valova struje.

Power Wave® AC/DC 1000 je digitalni invertorski izvor struje koji omogućava fleksibilnu regulaciju parametara bez modificiranja Hardvera i bez promjene kablova u slučaju promjene polariteta. Na Power Wave® AC/DC 1000, moguće je mijenjati sljedeće:

- Iskorištavanje karakteristike konstantne struje ili karakteristike konstantnog napona (CC i CV)
- Iskorištavanje istosmjerne struje (DC+ ili DC-) ili izmjenične struje (AC) sa sinusoidalnim ili kvadratnim valovima.
- Mogućnost korištenja frekvencije od 10 Hz do 100 Hz;
- "Wave Balance"-kontrola pozitivnog i negativnog postotka komponente struje pri kvadratnom valu.
- "Wave Offset"-kontrola kompenzacije pozitivne i negativne komponente.

## 2. REALIZIRANI POKUSI

Odabrana je jedna serija zavara na ravnoj ploči, za eliminaciju eventualnih razlika koje se mogu dobiti prema formi zavara, održavajući konstantne električne i geometrijske parametre

- Jakost struje: 500 A
- Napon: 30 V
- Slobodni kraj žice: 25 mm
- Brzina zavarivanja: 580 mm/min
- Puna žica: Ø3.2 mm
- Unos energije: 1.5 KJ/mm

Realizirani pokusi i korišteni parametri prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Realizirani pokusi na eksperimentalnim programima

Pokus	Struja	Kontrola	Polaritet	Frekvencija [Hz]	Balance	Offset
A	DC	CC	+	n.a.		0
B	DC	CC	-	n.a.		0
C	AC	CC	n.a.	60	50 %	0
D	AC	CC	n.a.	60	25 %	0
E	AC	CC	n.a.	60	75 %	0
F	AC	CC	n.a.	60	50 %	-25
G	AC	CC	n.a.	60	50 %	+25
H	AC	CC	n.a.	20	50 %	0
I	AC	CC	n.a.	40	50 %	0
L	AC	CC	n.a.	80	50 %	0
M	AC	CC	n.a.	100	50 %	0
N	AC	CC	n.a.	60	75 %	+25
O	AC	CC	n.a.	60	25 %	-25
P	AC	CC	n.a.	20	25 %	-25
Q	AC	CC	n.a.	100	25 %	-25

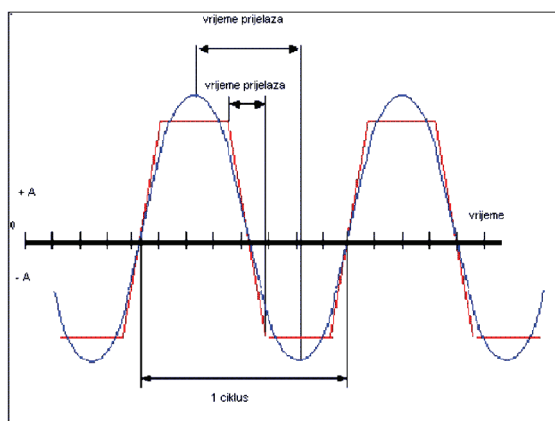
### 3. POWER WAVE AC/DC1000 U USPOREDBI S TRADICIONALNIM SISTEMOM ZAVARIVANJA

Zahvaljujući mogućnosti nezavisnog upravljanja frekvencije "balanca", "offseta" tehnologija Power Wave® AC/DC 1000 vraća mogućnost depozita tipičnih za DC – bez negativnih aspekata kao što smo naviknuti kod DC- (puhanje magnetskog luka).

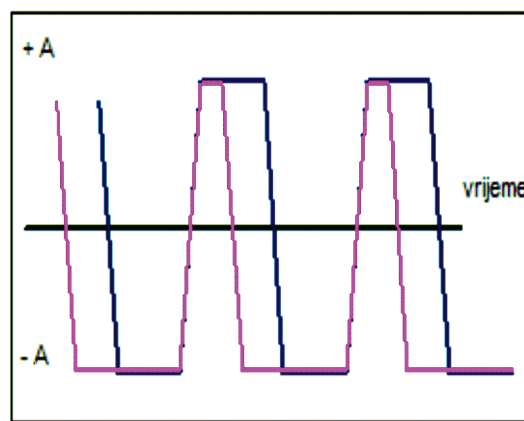
Kontrola geometrija površine zavara limitira mogućnost pretjeranog konveksnog nadvišenja zavara. Ovaj aspekt je koristan za smanjenje rizika zajeda na rubu, posebno u višeslojnim postupcima zavarivanja.

Kod korištenja konvencionalnog EPP izvora struje, DC+ je jedini sistem koji garantira stabilnost električnog luka, koji podnosi zadovoljavajuću penetraciju. Penetracija je vezana na jakosti struje zavarivanja koja je proporcionalna sa brzinom žice.

Korištenje tehnologije bazirane na izmjeničnoj struji modulirane sa kvadratnim valovima dopušta odabir dubine penetracije i povećanog depozita materijala.



Slika 2. Usporedba sinusoidalnog i kvadratnog vala



Slika 3. Balance regulacija

Osim toga usporedbom konvencionalne tehnologije bazirane na izmjeničnoj struji zavarivanja, sa sinusoidalnim valovima, tehnologija Power Wave® AC/DC 1000 daje puno veću stabilnost električnog luka.

Vrijeme prijelaza je jedan tipičan slučaj nestabilnosti električnog luka normalno povezan sa AC modom. Kao što se može vidjeti na slici 1. vrijeme prijelaza jednog sinusoidalnog vala je veće nego li jednog kvadratnog vala, za jednako djelovanje struje zavarivanja.

Balace je izražen kao postotak komponente struje DC+. Na slici su shematski prikazane dvije ekstremne situacije balanca. Situacija na slici 2. pokazuje jedan balace 25 % ili za 25 % pozitivnog vremena el. luka, za vrijeme ostatka 75 % negativnog. Obrnuti slučaj vidi se na slici 3.

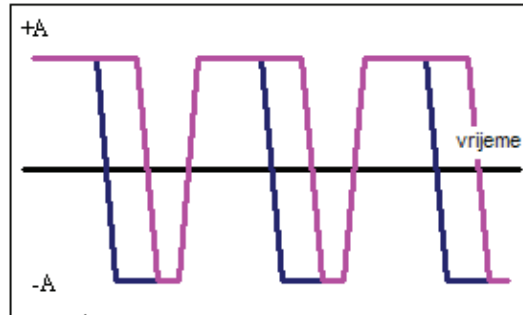
Mogućnost promjene postotka balansa pozitivnog i negativnog izravno utječe na kontrolu depozita i dubine penetracije. S jednim većim postotkom pozitivne struje, postižu se doista veće dubine penetracije i manje vrijednosti depozita.

Rezultate dobivenih proba zavarivanjem konvencionalnim tehnologijama DC+ i DC usporedili smo sa rezultatima dobivenim moduliranjem kvadratnih valova.

Rezultati prikazani u tablici 2. prikazuju dobivene vrijednosti veličina značajnim zadržavanjem kvalitete izgleda profila zavara i dobivenih vrijednosti depozita materijala.

Smanjenjem postotka pozitivne komponente nasuprot konvencionalnih postupaka DC+ i DC- može se vidjeti da se povećava depozit, dok se dubina penetracije smanjuje. Kod probe E i probe D čak i kod ekstremnih vrijednosti balansa ističe se povećanje depozita materijala za cca

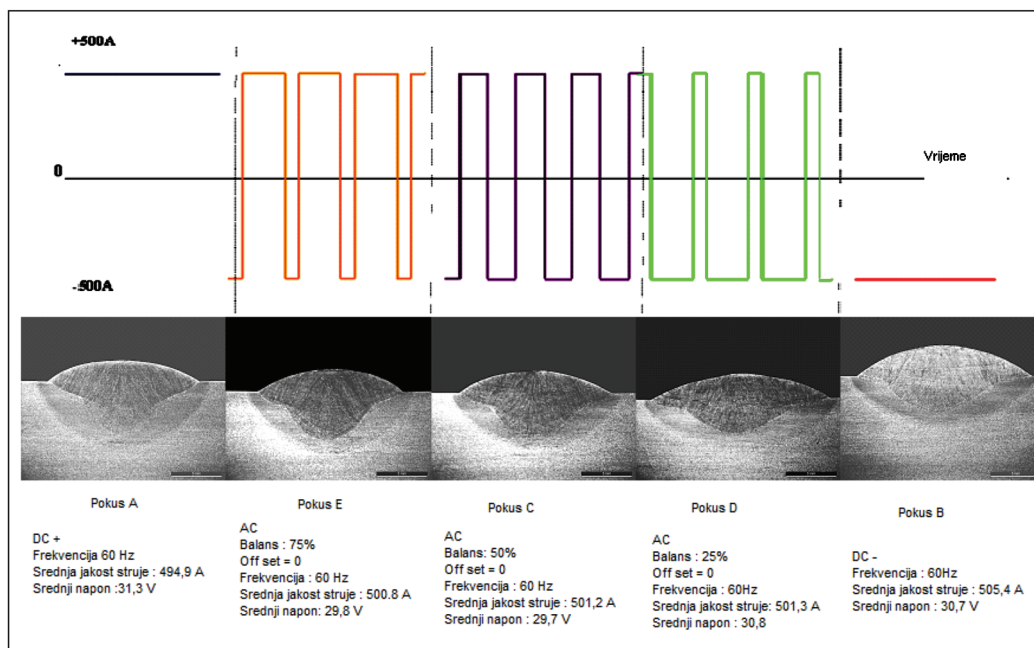
22 % dok se penetracija smanjuje za 29 %. Nadalje se ističe da je geometrija zavara uvijek bolje povezana kod povećanja pozitivne komponente.



Slika 4. Dobiveni rezultati zavarivanja konvencionalnim tehnologijama

Tablica 2. Značajni parametri depozita zavarivanja

Proba	Tip struje	Balance	Offset	Frekvencija (Hz)	Karakter izvora	Brzina žice (mm/sek)	Brzina zavarivanja (m/min)	Depozit (g/sek)	Dužina zavara (mm)	Dubina penetracije (mm)	Nadvišenje zavara (mm)
A	DC+	=	0	60	CC	29,07	58	1,55	15,4	5,4	2,1
E	AC	75%	0	60	CC	26,52	58	1,67	14,5	4,8	2,3
C	AC	50%	0	60	CC	29,12	58	1,84	15,4	4,3	2,3
D	AC	25%	0	60	CC	32,29	58	2,04	17,9	2,6	
B	DC-	=	0	60	CC	42,24	58	2,67	17,5	3,2	3,1



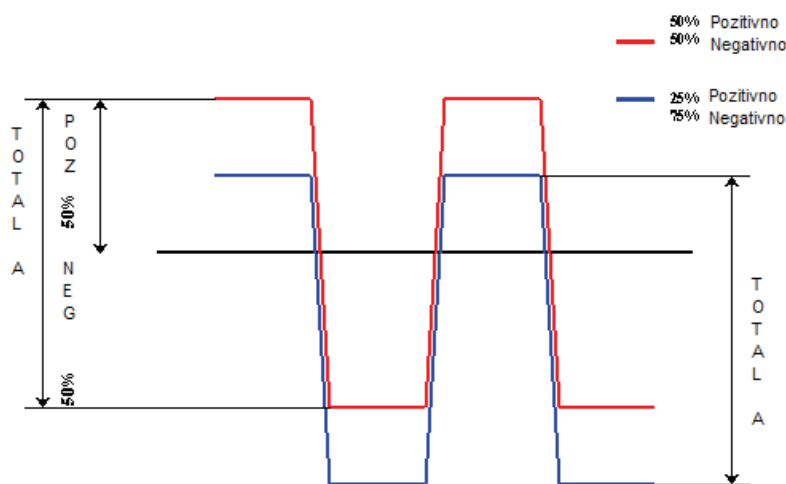
Slika 5. Detaljni prikaz utjecaja balansa na kvadratne valove

Važno je napomenuti da se za iste vrijednosti kalkilirane toplinske energije sa povećanjem postotka negativne komponente, povećava postotak toplinske energije lokalizirane na žici, smanjujući znatno toplinsku energiju, koja se distribuira na osnovni materijal koji se zavaruje, sa posljedicom manjeg povećanja kristalnog zrna.

## 5. EFEKTI KOMPENZACIJE (OFFSET)

Varijacija offset-a prikazana na slici 5. prikazuje kapacitet sistema, povećanjem ili smanjenjem pozitivne ili negativne dimenzije udjela struje zavarivanja.

Omjer primjenjivosti sistema offseta je između +25 % i -25 %. Jedna vrijednost offset-a prema +25 %, ekvivalentna je povećanju pozitivne komponente, sa posljedicom povećanja dubine penetracije na štetu depozita materijala u jedinici vremena.



Slika 6. Promjene offset-a

U slučaju dijametralno suprotnom jedna vrijednost -25 %, sa posljedicom snižavanja krivulje s naklonošću uzdizanja negativne komponente, rezultira povećanjem depozita materijala te smanjivanjem dubine penetracije.

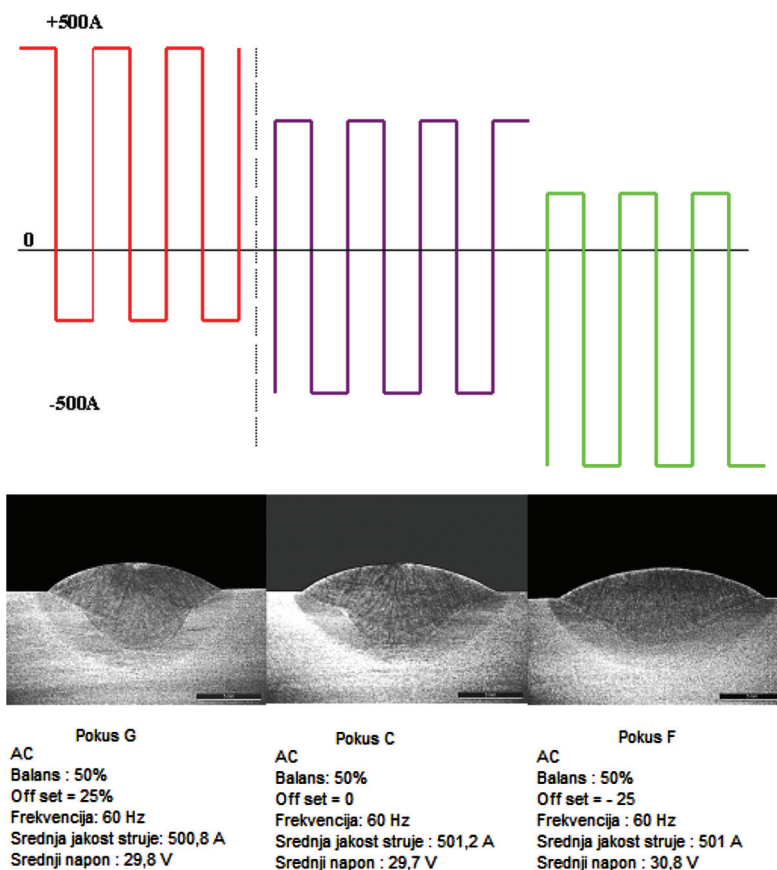
U tablici 3. mogu se vidjeti rezultati eksperimenta.

Tablica 3. Rezultati dobiveni promjenom offset-a

Proba	Tip struje	Balance	Off set	Frekvencija (Hz)	Karakter izvora	Brzina žice (mm/sek)	Brzina zavarivanja (m/min)	Depozit (g/sek)	Dužina zavara (mm)	Dubina penetracije (mm)	Nadvišenje zavara (mm)
G	AC	50 %	25	60	CC	27,45	58	1,73	13,6	4,7	2,2
C	AC	50 %	0	60	CC	29,12	58	1,84	15,4	4,3	2,3
F	AC	50 %	-25	60	CC	31,01	58	1,96	16,3	3,7	2,3

U tablici 3. možemo vidjeti dobivene rezultate ekstremnim mijenjanjem offset-a. S offsetom 0 prema +25 %, sa jednim većim povećanjem poluvala pozitivnog (od -375 do +625), dobio se je jedan zavareni spoj sa boljom dubinom penetracije 4,7 mm, ali sa smanjenim

depozitom nego li kod offset-a 25 %, ili ako gledamo kroz dijagram struje od najniže (+375 do -625) kroz pokus G do pokusa F. Kroz dva ekstremna offset-a ističe se povećanje depozita za cca 13 % ali se penetracija smanjuje za cca 21 %. Slika 6. pokazuje dobivene rezultate.



Slika 7. Promjene offset-a

Tablica 4. Dobiveni rezultati ispitivanja sa promjenom frekvencije

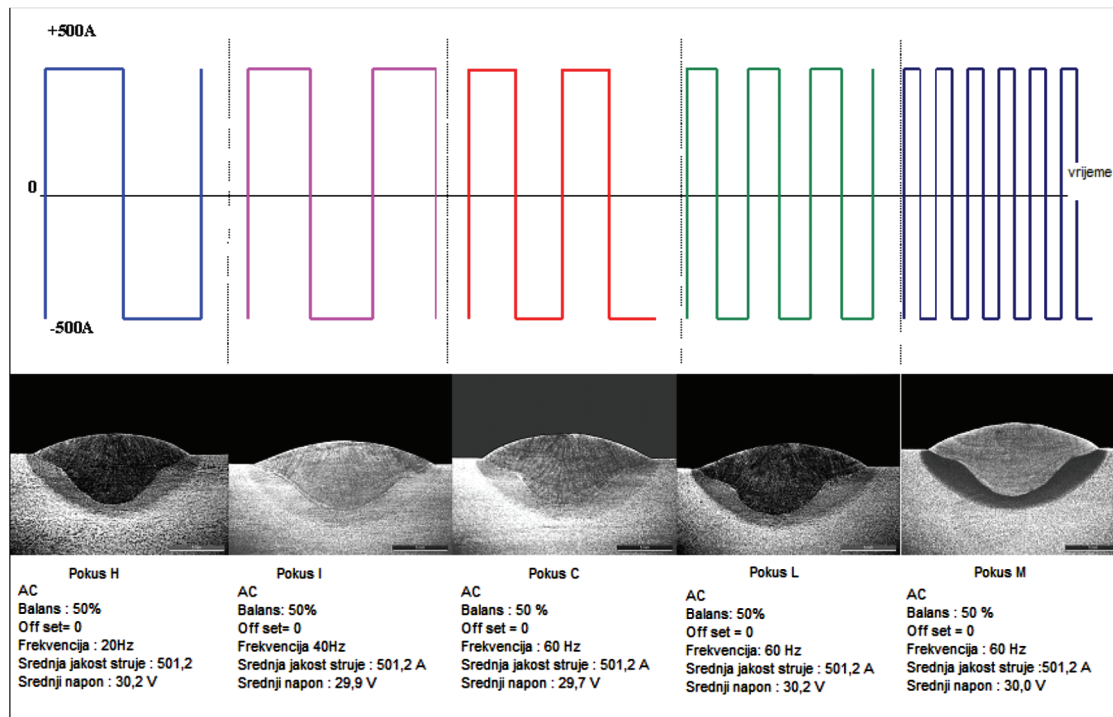
Proba	Tip struje	Balance	Offset	Frekvencija (Hz)	Karakter izvora	Brzina žice (mm/sek)	Brzina zavarivanja (m/min)	Depozit (g/sek)	Dužina zavara (mm)	Dubina penetracije (mm)	Nadvišenje zavara(mm)
H	AC	50 %	0	20	CC	29,78	58	1,88	14,4	4,5	1,9
I	AC	50 %	0	40	CC	27,42	58	1,73	16,5	4,2	2,2
C	AC	50 %	0	60	CC	29,12	58	1,84	15,4	4,3	2,3
L	AC	50 %	0	80	CC	28,87	58	1,82	15,5	4,4	2,1
M	AC	50 %	0	100	CC	27,22	58	1,72	15,6	4,3	2,4

## 6. EFEKTI FREKVENCIJE

Tehnologija **Power Wave® AC/DC 1000** omogućava promjenu frekvencije od 10 i 100 Hz, dok je kod konvencionalnog AC izvora struje frekvencija uvijek ista: 50 Hz.

Pokuse koje su radili naši kolege u Americi pokazuju na jedan način nelinearni rast penetracije s obzirom na povećanje frekvencije. Probe koje smo radili kod nas u Europi, potvrđuju Američka istraživanja i također daju osnove za daljnja proučavanja utjecaja povećanja frekvencije.

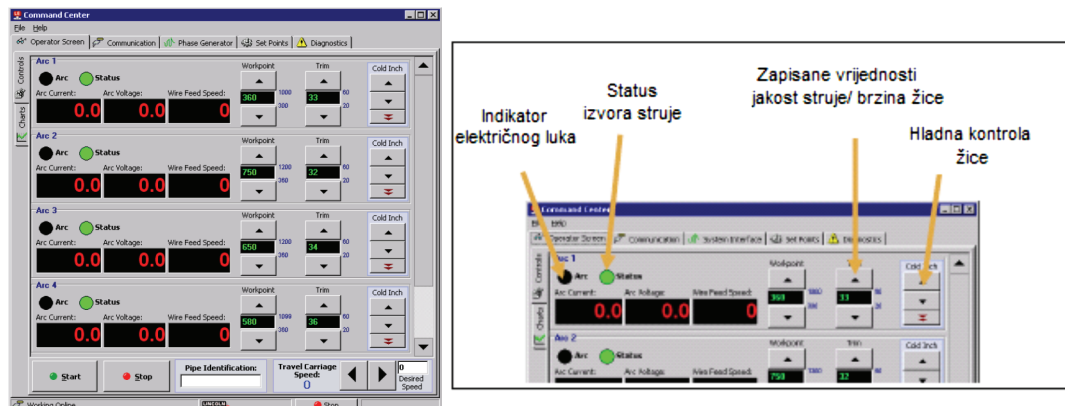
Tablica 4. i slika 7. ilustriraju promjenu parametra zavarivanja s obzirom na promjenu frekvencije.



Slika 8. Dobiveni rezultati sa promjenom frekvencije

## 7. KOMUNIKACIJA SOFTVERA

Jedna od prednosti upotrebe tehnologije **Power Wave® AC/DC 1000**, je uvedena mogućnost ubacivanja softvera direktno preko osobnog računala.



Slika 9. Informatičko upravljanje sa izvorom struje preko osobnog računala





## 8. ZAKLJUČAK

Probe koje su radene, pokazuju velike potencijalne mogućnosti povećanja produktivnosti te geometrijsku kontrolu izgleda zavara sa izvorom **Power Wave® AC/DC 1000**, kod rada EPP postupkom zavarivanja. Zahvaljujući mogućnostima nezavisne kontrole sljedećih parametara zavarivanja:

- Karakteristike izvora struje (CC padajuća ili CV ravna )
- Mogućnost izbora struje : DC, AC sinusoidalnih ili AC sa kvadratnim valovima
- Promjena frekvencije od 10Hz do 100Hz
- Mogućnost promjene balance
- Mogućnost promjene kompenzacije (off set)

Ove mogućnosti rada potvrđene su kod jako puno naših korisnika ove zavarivačke opreme u Europi:

- Za izradu posuda pod tlakom
- Za izradu teške bravarije posebice debelih limova
- Kod izrade vjetroelektrana
- Brodogradnje
- Izrade cjevovoda za transport plinova
- Izrade strukturnih cjevovoda.

## 9. LITERATURA

- [1] Making Butt Welds with Power Wave AC/DC 1000™ Technology,  
<http://content.lincolnelectric.com/pdfs/products/literature/nx360.pdf>, 24.08.2009.
- [2] Power Wave® AC/DC 1000™, Increase Productivity, Quality and Flexibility,  
<http://www.weldcut.co.za/downloads/POWER%20WAVE%20ACDC%201000.pdf>, 24.08.2009.