

S T T PROCES PRENOSA MATERIJALA

**Dragan Mitić, dipl.inž.maš.¹, Sava Đurić, dipl.inž.maš.²,
dr Miomir Vukićević, dipl.inž.maš.³**

¹d.o.o. „NIVAR“ Niš, 18000 Niš, Černojevića 11/1, ²IMK „14. oktobar“ AD Kruševac, 37000 Kruševac, Jasički put 2, ³ Mašinski fakultet Kraljevo, 36000 Kraljevo, Dositejeva 19

***Rezime:** STT (STT - Surface Tension Transfer) je proces prenosa kapljica rastopljenog dodatnog materijala površinskim naponom slično kao kod zavarivanja MIG/MAG postupkom sa kontrolisanim prenosom u kratkom spoju. Izvor struje za STT proces ima mogućnost da precizno kontroliše struju zavarivanja tokom celog ciklusa zavarivanja. Struja zavarivanja se reguliše u skladu sa trenutnim zahtevom zavarivačkog luka. Princip rada uređaja se bitno razlikuje od klasičnih uređaja za zavarivanje MIG/MAG postupkom koji rade sa konstantnim naponom. Uređaji za zavarivanje koji omogućavaju STT proces prenosa materijala imaju mogućnost da u mikrosekundama vrše promenu jačine struje u zavisnosti zahteva luka. Ovo se obezbeđuje povratnom spregom, to jest postavljanjem sonde na predmet rada. Ovim procesom se obezbeđuje kontrolisani unos toplote, minimalno rasprskavanje, veća penetracija, te se koristi za zavarivanje cevi, za provar korena i slično. Ovim postupkom se mogu zavarivati svi ugljenični čelici, pocinkovani čelici, nerđajući čelici, nikel i njegove legure, silikonske bronzne, legure bakra, kao i titan.*

Ključne reči:

prenos materijala, površinski napon, zavarivanje, struja zavarivanja, zaštita gasa, kratak luk, povratna sprega, unos toplote, rasprskavanje, uvarivanje, provar korena

S T T MATERIAL TRANSFER PROCESS

STT (STT - Surface Tension Transfer) is process where transfer of balls of molten filling material is done by surface tension, similar as in welding by MIG/MAG procedure with controlled transfer in short-circuit connection. Source of current for STT process has possibility to precisely control welding current during entire welding cycle. Welding current is regulated in accordance with momentary requirement of welding arc. Method of work in this device is significantly different compared to conventional devices for welding by MIG/MAG procedure where tension is constant all the time. Welding devices, which enable STT procedure of material transfer, have possibility to change current intensity in microseconds, regarding arc requirements. This is achieved by feedback, i.e. placing sonde at subject of work. This process enables controlled heating, minimal spatter, and larger penetration, so useful with pipe welding, root penetration and so on. By this process is possible to weld all: carbon steel, zinc steel, stainless steel, nickel and alloys, silicium bronze, copper alloys as well as titan.

Key words:

transfer of material, surface tension, welding, welding current, gas protection, short arc, feedback, heating, spatter, burnthrough, root penetration

1. UVOD

Imajući u vidu sve strože zahteve u pogledu kvaliteta zavarenih spojeva, mogućnosti automatizacije, sniženja troškova izrade i poboljšanja uslova rada proizvođači opreme za zavarivanje ulažu sve više u izučavanju procesa zavarivanja, razvoj novih, uređaja i njihovu proizvodnju. Tako je Linkoln Electric razvio potpuno nov i jedinstven izvor struje za

zavarivanje GMAW (MIG/MAG) postupkom zavarivanja, a samo ime potiče izvodi se iz procesa kontrole ciklusa zavarivanja STT Surface-Tension-Transfer (slika 1). STT je prvi izvor struje za zavarivanje koji kontroliše prenos dodatnog materijala pri zavarivanju kratkim lukom. Omogućava kontrolu ciklusa zavarivanja u skladu sa realnim parametrima električnog luka uz korekciju parametara zavarivanja iz bazičnog programiranja (setovanja) izvora koje je zadao rukovalac.



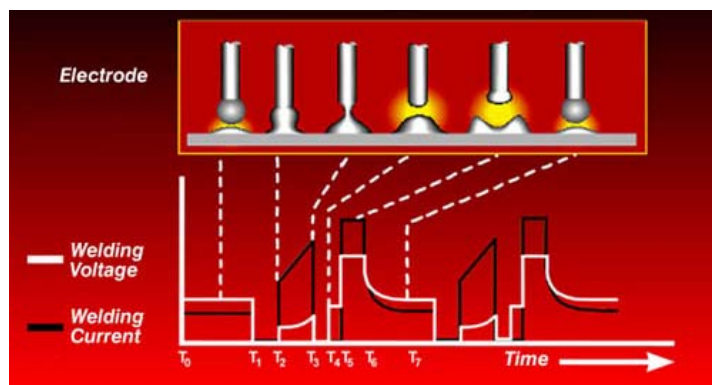
Slika 1. INVERTEC STT Invertorski uređaj za zavarivanje uz prenos materijala u zavarivačkom luku procesom površinskog napona rastopljenog materijala

Prednost izvora struje koji omogućavaju STT process su da omogućavaju rad i zavarivanje kratkim lukom, uz perfektan prenos materijala i kontrolu procesa u svakoj fazi gorenja luka uz analizu i korekciju parametara zavarivanja. Prednosti STT postupka, rada po zavarivačkom modelu kratkog luka, proizilaze iz savršeno savladanog prenosa metala na "kupati" šava kroz analizu pojedinačnih faza gorenja električnog luka.

2. OPIS S T T PROCESA PRENOSA MATERIJALA

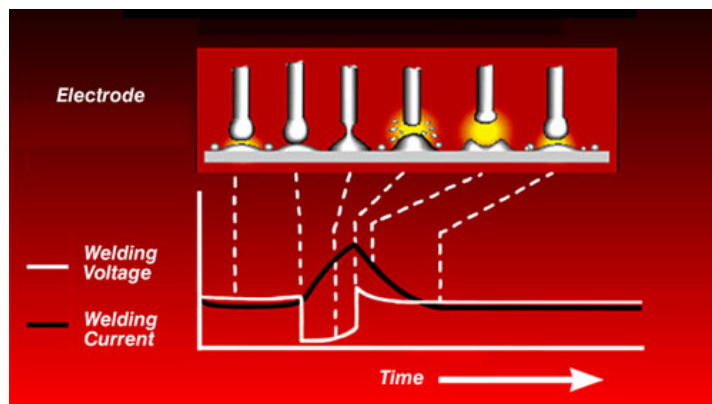
Upravljačka jedinica na bazi preporučenih parametara napona električnog luka meri i podešava vrednosti. Izvor stalno reaguje i podešava u svim fazama prenosa metala sa elektrode u "kupati" šava u skladu sa realnom situacijom.

Na slici 2. je prikazan ciklus zavarivanja STT procesom sa promenama struje zavarivanja i napona električnog luka u svakoj fazi prenosa metala sa vrha elektrode u "kupati" šava.



Slika 2. Izvor struje koji omogućava STT process

Na slici 3. je prikazan ciklus zavarivanja primenom klasičnog, konvencionalnog izvora struje.



Slika 3. Konvencionalni, klasični izvor struje

Za objašnjenje principa rada i karakteristika izvora struje za zavarivanje sledi kratka analiza principa zavarivanja uz primenu STT izvora, kao i poređenje sa konvencionalnim izvorima za zavarivanje GMAW (MIG/MAG) postukom koje karakteriše konstantna voltaža.

Interval T0-T1: Električni luk gori između kraja elektrode i "kupatića" šava. Kapljica rastopljenog materijala za popunu šava formira se na vrhu elektrode. Ova faza je, praktično, ista kao i faza formiranja kapljice kod konvencionalnog načina zavarivanja – interval T0 –T1 na slici .

Interval T1-T2: Veličina kapljice rastopljenog materijala za popunu šava na vrhu elektrode dostiže određenu veličinu i javlja se kontakt između kapljice i "kupatića" šava – STT proces analizira ovu situaciju i, u momentu kontakta između kapljice rastopljenog materijala za popunu šava i "kupatića" šava, limitira struju zavarivanja na 10 A i time značajno umanjuje rasprskavanje (rasipanje) materijala. Ista faza kod konvencionalnog načina zavarivanja odgovara tački T1 na slici. Kontakt rastopljenog materijala za popunu šava u obliku kapljice na vrhu elektrode postoji pri punoj struji zavarivanja sve do tačke T3, kada struja zavarivanja dostiže svoj maksimum.

Interval T2-T3: Proces zavarivanja je u ovoj fazi kratkog spoja. STT proces povećava struju u saglasnosti sa predhodno određenom funkcijom za odvajanje kapljice rastopljenog materijala za popunu šava u "kupatiću" šava.

Interval T3-T4: Odvajanje metala za zavarivanje sa vrha elektrode i prenos u "kupatiću" šava dešava se u ovoj fazi. Upravo u ovom intervalu STT proces kontroliše struju zavarivanja limitiranjem sa početne vrednosti od 50 A i tako maksimalno ograničava rasprskavanje i druge nepoželjne efekte prouzrokovane dinamičkom aktivnošću ponovnog startovanja električnog luka. Upoređujući sa konvencionalnim postupkom (vidi sliku), ova faza odgovara tački T3. Očigledno je da se prekid u kratkom spoju dešava pri najjačoj struji, što izaziva značajno rasprskavanje i nestabilnost čitavog procesa pri ponovnom startovanju električnog luka. STT proces detektuje, kroz svoja kola, momenat, blizak završetku faze kratkog spoja i pri odvajanju kapljice rastopljenog materijala i prenosu u "kupatiću" šava limitira struju zavarivanja na 50 A.

Interval T4-T7: U ovom intervalu STT proces identifikuje završetak prenosa metala u "kupatiću" šava i kontroliše zadati električni luk do faze zadovoljavajuće velike kapljice rastopljenog metala na vrhu elektrode. Tako je jedan interval, period zatvoren (završen), njegovo vreme je cca 5 ms i ceo proces se ponavlja opet u ciklusima. Kada je uporedimo sa konvencionalnim postupkom, ova faza odgovara intervalu T3 – T4 na slici.

Princip izvođenja STT izvora određen je strujnim kolima, koja kontrolišu čitav proces i upravljaju, na primer, kolom lakog (jednostavnog) zavarivanja, čime se neprekidno upoređuju stvarne veličine (vrednosti) parametara električnog luka sa odgovarajućim vrednostima u memoriji procesora i vrednostima parametara iz predhodnih ciklusa. Procesor procenjuje situaciju i u pravo vreme izvodi potrebne intervencije i vrši regulaciju parametara zavarivanja. Jedinstveno kolo nazvano "dv/dt detektor" prepoznaje fazu neposredno pre završetka kratkog spoja. STT je izvor za GMAW (MIG/MAG) zavarivanje, koje ne "operiše" (radi) niti sa konstantnom strujom (CC), niti sa konstantnim naponom (CV). To je izvor širokog opsega upravljanja parametrima zavarivanja, kod koga su brzina dodavanja žice i struja zavarivanja kontrolisane nezavisno.

Parametri zavarivanja koji su zadani u skladu sa preporukama koriguju se u svakoj fazi ciklusa u skladu sa realnim uslovima.

Prednosti primene STT izvora struje za zavarivanje su sledeće:

- Unos toplote tokom zavarivanja je minimalan ;
- Smanjuju se deformacije usled zavarivanja ;
- Smanjuje se zona uticaja toplote ;
- Minimalno rasprskavanje, manje i do 90% u odnosu na klasične izvore struje za zavarivanje GMAW (MIG/MAG) postupkom;
- Potreba za čišćenjem zavara je minimalna ;
- Čišćenje okolne zone zavarivanja je minimalno

Oblik i veličina «kupati» šava u svim položajima i situacijama zavarivanja su takvi da lice šava, presek i provar korena nemaju razlike, konstantnog su oblika i dimenzija.

Čak i zavarivač sa malo iskustva može da izvede bez problema koreni zavara, i to tankih limova do 0,6 mm pa naviše, u vertikalnoj poziciji, odozdo na gore. Zavarivač ne mora da strahuje i opterećuje se da li će uspešno da izvede operaciju zavarivanja, jer izvor obezbeđuje optimalne parametre.

Izgled šava je besprekoran, a čišćenje i brušenje zavara je nepotrebno.

Proces zavarivanja je veoma fleksibilan, te STT izvor se može koristiti za zavarivanje različitih debljina bez prekida, na primer limova 3 mm i debljine 12 mm.

Kontrola procesa je perfektna i omogućava veoma kvalitetno zavarivanje tankih limova, izvođenje provara korena itd. Sve to omogućava zamenu postojećih tehnologija, zavarivanja netopivim elektrodama GTAW (TIG) postupkom, produktivnijim procesom uz bolji kvalitet zavara. Na taj način je Omogućen izbor velikog broja kvaliteta elektrodnih žica za zavarivanje i smanjenje troškova dodatnih materijala

STT proces zavarivanja se može koristiti za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika, omogućava zavarivanje u zaštiti CO₂ gasa uz visok kvaliteta zavarenog spoja i smanjenje troškova zavarivanja.

STT izvore mogu svi koristiti, obuka zavarivača je kratka, a korisnik uočava prednosti STT izvora za zavarivanje "već od prvog dana". Njegovom primenom se omogućava svođenje štetnih dimnih gasova na minimum, jer je zavidno nizak nivo stvaranja štetnih dimnih gasova (slike 4 i 5).

Stvorena je mogućnost jednostavnog zavarivanja nelegiranih i niskolegiranih čelika, visokolegiranih čelika i elektrohemijski plakiranih materijala.

STT izvor je univerzalni izvor za širok krug korisnika. Omogućava i primenu tehnologije lemljenja električnim lukom, na primer, tankih limova karoserija automobila. Brzina lemljenja je veća uz manje zagrevanje delova koji se spajaju lemljenjem. Mogu se koristiti različiti zaštitni gasovi, uključujući čist argon i helijum za nerđajući čelik, pri čemu, korisnik ima mogućnost izbora, zavisno od tehnoloških mogućnosti i cene.

Postoji mogućnost primene ovih izvora i pri navarivanju. Pri tome, zbog niskog toplotnog unosa, javlja se minimalno mešanje sa osnovnim materijalom u "kupati" šava, a navar u mnogim slučajima ima zahtevane osobine već u prvom sloju i ne prska.



Slika 4.
Zavarivanje GMAV (MIG/MAG) postupkom kratkim lukom primenom klasičnog izvora struje za zavarivanje.



Slika5.
Zavarivanje GMAV (MIG/MAG) postupkom primenom STT izvora struje za zavarivanje, koji ima kontrolisan proces prenosa materijala, smanjuje rasprskavanje materijala i emisiju štetnih dimnih gasova pa se preporučuje njegova primena u svim situacijama gde su zahtevi u pogledu kvaliteta visoki, a uslovi izvođenja kritični.

3. OPIS S T T IZVORA STRUJE

STT izvor struje za zavarivanje, koji je obično "snabdeven" uređajem za dodavanje žice LN 742, napaja se naponom iz glavnih provodnika 3x380 V / 50 Hz. Izlazna struja može predhodno biti podešena u opsegu od 0 do 450 A. Izvor ima na prednjem panelu komande za podešavanje osnovne struje, maksimalne struje, podešavanje za topli start, izbor prečnika elektrodne žice, priključak za daljinsko upravljanje, priključak za uređaj za dodavanje žice i izlazni priključak za struju zavarivanja (slika 6). Uređaj za dodavanje žice LN 742, dozvoljava "predhodni - raniji" i "naknadni - kasniji" dotok zaštitnog gasa, a ima i neke druge funkcije.

Setovanje, programiranje STT procesa zavarivanja je jednostavno i vrši se komandama na prednjem panelu izvora struje za zavarivanje:

Podešavanje prečnika žice vrši se prekidačem na izvoru struje za izbor prečnika: na prečnike 1,2 mm i veće ili na prečnike 1 mm i manje.

Izbor tipa materijala koji se zavaruje vrši se prekidačem za izbor na izvoru: na nelegirani čelik ili visoko legirani čelik.

Vrši se **podešavanje odešavanje "vrha" struje**, koje utiče na dužinu luka.

Na kraju se izvrši **podešavanje završetka ciklusa (Tail out)**, koje utiče na snagu luka.

Ovo je sve i može se početi sa zavarivanjem STT izvorom struje za zavarivanje.



Slika 6. INVERTEC STT Komandna tabla uređaja za zavarivanje

4. PRIMERI PRAKTIČNE PRIMENE

Namena izvora struje za zavarivanje STT procesom je predodređena njegovim osobinama, koje su izuzetno korisne posebno kod zavarivanja tankih limova, korenih zavora u svim položajima zavarivanja, uključujući i vertikalni položaj odozdo na gore, popunjavanja velikih zavora, zavarivanja sa limitiranim unosom toplote za zavarivanje itd. Njegova praktična primena uključuje izradu sudova pod pritiskom i cevovoda, proizvodnju mašina i opreme za prehrambenu industriju itd. STT izvor struje za zavarivanje, čiji su princip rada, karakteristike i oblast primene izloženi u ovom radu, rezultat je dugotrajnog razvoja i sistematskog rada Odeljenja za nauku i istraživanje Kompanije Lincoln Electric, sa ciljem da pomeri granicu GMAW (MIG/MAG) tehnologije zavarivanja i predstavlja novinu u svetu zavarivanja i uvodi se u primenu kao tehnologija za XXI vek.

Primeri praktične primene STT izvora struje za zavarivanje dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Primeri praktične primene

RED.BR.	USLOVI ZAVARIVANJA	IZGLED ŠAVA
01.	<p><i>Navarivanje</i> <i>NiCro 70/19 ø 1,2 mm</i> <i>Debljina lima 30 mm</i> <i>Klasa materijala 11 373.</i> <i>Izvor struje zavarivanja: STT-II</i> <i>Položaj navarivanja: PA (vodoravno položeno)</i> <i>Visina navara T 00-0,7 mm</i></p>	
02.	<p><i>Makroizbrusak: Provar korena;</i> <i>Izvor struje: STT II;</i> <i>Položaj zavarivanja: PG (odozgo nadole);</i> <i>Lim debljine 12 mm;</i> <i>Materijal: 1.4301 (X5CrNi18-10 odnosno Č 4580)</i> <i>Dodatni materijal: LNM 316 LSi ø 1,2 mm</i></p>	

03. **Makroizbrusak: Zavari ispune;**
Izvor struje: POWER WAVE (pulsni režim)
Položaj: PA (vodoravno položeno);
Lim debljine 12 mm;
Materijal: 1.4301 (X5CrNi18-10 odnosno Č 4580)
Dodatni materijal: LNM 316 LSi ø 1,2 mm



04. **Ugaoni šav izveden na galvanizovanom limu,**
debljine 3 mm bez oštećenja površinskog sloja



05. **Navar bronzom na limu debljine 30 mm,**
vertikalan položaj zavarivanja



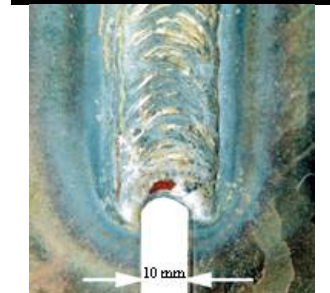
06. **Koreni zavar na cevi od visokolegiranog CrNi čelika sa**
zaštitom korena, verikalni nadglavni položaj zavarivanja.



07. **Ugaoni spoj bez rasprskotina**



08. **Primer kontrole "kupačila" šava u vertikalnom položaju**
zavarivanja na čeličnom limu debljine 2 mm sa zazorom 10
mm.



09. **Navarivanje ivica ploče**



5. ZAKLJUČAK

Izvori struje za zavarivanje primenom STT procesa, prenosom materijala primenom površinskog napona predstavljaju na našim prostorima još uvek novinu. Njihove prednosti vezane pre svega za mogućnosti primene, kvalitet izvedenih spojeva kao i ekološki razlozi predstavljaju bitan razlog za njihovo uvođenje u primenu, bez obzira na nešto više troškova ulaganja u nabavku opreme. STT pulsno zavarivanje razvio je kao revolucionarni proces Lincoln Electric pre svega za zavarivanje cevi, čijom promenom se ostvaruje odličan provar korena šava i dobro uvarivanje i fuzija materijala, uz minimalno rasprskavanje i minimalnu količinu dimnih gasova. Preporučuje za zavarivanje srednje legiranih čelika, nerđajućih čelika, nikla i legura nikla, silicijumskih bronz. U poređenju sa klasičnim MAG postupkom zavarivanja srednje i visokolegiranih čelika, zavarivanje uređajem STT II su pravi izvor razvijen za poluautomatsko i automatsko zavarivanje uz minimalno rasprskavanje, smanjenu emisiju štetnih dimnih gasova, minimalan unos toplote i uz mogućnost kontrole uvarivanja. Tipična primena STT II uređaja je zavarivanje cevi, sudova pod pritiskom, tankova i sudova od nerđajućeg čelika, obloga, sudova pod pritiskom, kotlova i slično.

LITERATURA

- [1] Eliot K. Stava, A new, low-spatter arc welding machine, Welding journal, AWS, Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio, 1999.
- [2] Milica Antić, Aleksandar Đorđević, Utisci sa sajma zavarivanja u Esenu 2005. godine, Beograd, 2005.
- [3] Tom Pomphrey, Controlling Welding Fume, A Total Systems Approach, The Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio, 1998.
- [4] Josef Hetych, STT – First Source With Controlled Short – Circuiting Transfer, The Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio, CZ WELD, Pardubice, Czech Republic, 2007.
- [5] , Surface Tension Transfer™ (STT®) Waveform Control Technology™ for the 21 st century, The Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio, 1997.
- [6] , STT® Procedure Development, Simple Guidelines on Setting up Procedures for STT®, The Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio, 1998.
- [7] , Tehnički izveštaji, tehničke informacije, prospektni i kataloški materijali, The Lincoln Electric Company, Cleveland, Colpart Brograd