

Parametri optimizacije varjenja za novo stržensko žico tipa RD 971

Optimisation of Welding Parameters for the New Tubular Cored Electrode Type RD 971

Jozef Meško - Viliam Leždík - Miloš Mičian

Namen članka je pokazati možnosti optimiranja varilnih parametrov za novo stržensko žico tipa RD 971, ki je izvedena z matematično - statističnim vrednotenjem varilnega toka in napetosti. Vsi preskusi so bili narejeni z novim dodajnim materialom - s stržensko žico tipa RD 971, ki je bila razvita na Tehnološki fakulteti, Univerze v Žilni, v sodelovanju z Institutom za varjenje v Bratislavi

© 1999 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: žice strženske, optimiranje varjenja, stabilnost procesov, kriteriji stabilnosti)

The aim of this paper is to show how the parameters can be optimised using a mathematical - statistical evaluation of the time dependence of the electric current and voltage with the new tubular cored wire type RD 971. This contribution demonstrates the abilities of the new filler material - tubular cored wire type RD 971, that was developed at the Department of Technological Engineering, University of Žilina in co-operation with VÚZ - Bratislava.

© 1999 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: cored wire electrodes, optimum welding conditions, stability of process, stability criterion)

0 UVOD

Podobno kakor pri drugih postopkih obločnega varjenja, se, zaradi brizganja, pojavljajo velike izgube dodatnega materiala tudi pri varjenju v zaščitnih atmosferah. Ta način varjenja je zahtevnejši glede vzdrževanja procesa v okviru pogojev optimalne stabilnosti. Vrednotenje stabilnosti varilnega obloka je zasnovano na optimizaciji delovnih področij. Optimalna delovna področja je mogoče ugotoviti pri različnih načinih prehajanja dodatnega materiala. Za optimalna delovna področja je značilno, da ni brizganja in da je zvarni spoj kakovosten. Delovna področja optimalnih varilnih parametrov so vezana na določen vir varilnega toka, določen dodajni material in zaščitni plin ([1] in [7]).

1 ANALIZA KRATKOSTIČNEGA PREHAJANJA MATERIALA

Za stabilnost varilnih procesov velja običajno pravilo, da mora biti hitrost odtaljevanja enaka hitrosti dovajanja dodatnega materiala. Če je hitrost dovajanja dodatnega materiala večja od hitrosti odtaljevanja, potem se kapljice potaplajo v zvarno kopel. Ob pojavu kratkega stika med elektrodo in talino se začne zmanjševati hitrost odtaljevanja in pride do znižanja varilne napetosti [4].

0 INTRODUCTION

The arc welding method with shielding gas has large losses due to splashing, similar to other arc welding methods. The arc welding with shielding gas is more appropriate to keep the weld process in the optimum area of stability. The evaluation of stability arcing is based on optimum working areas. We can find optimum working areas in different weld metal transmittal modes. The welding areas chosen from the working process are characterised by minimum splashing and weld joint quality. The optimum parameters are determined from working areas, more specifically the welding source of current, filler metal and shielding gas ([1] and [7]).

1 THE SHORT CIRCUIT PROCESS ANALYSIS

It is a common rule that for a stable welding processes, the wire melting speed must be balanced with the speed of the feed in the base material direction. If the electrode feed speed is higher than the melting speed, then the melt metal drop at the end of electrode is in the welding bath during the short circuit. After the short circuit process starts (the short circuit process is realized in large-scale welding parameter areas), lower melting speeds or lowering of the values of the voltage occur [4].

Proces kratkostičnega prehajanja se lahko razdeli v kratkostično fazo x_s in fazo gorenja obloka x_o (ki včasih izostane - faza izostajanja x_a). Za interval kratkega stika je značilno znižanje varilne napetosti na vsega nekaj voltov. Čas znižane varilne napetosti je sorazmerno odvisen od velikosti nastale kapljice. V času trajanja kratkega stika z uporovnim segrevanjem prostega konca elektrode se napetost postopno zvišuje. Tok ne more slediti spremembi napetosti kratkega stika, ker je odvisen od časovne konstante vira in od induktivnosti varilnega tokokroga. Ob pojavu kratkega stika se prične tok eksponentno zvečevati in doseže največjo vrednost na koncu tega obdobja.

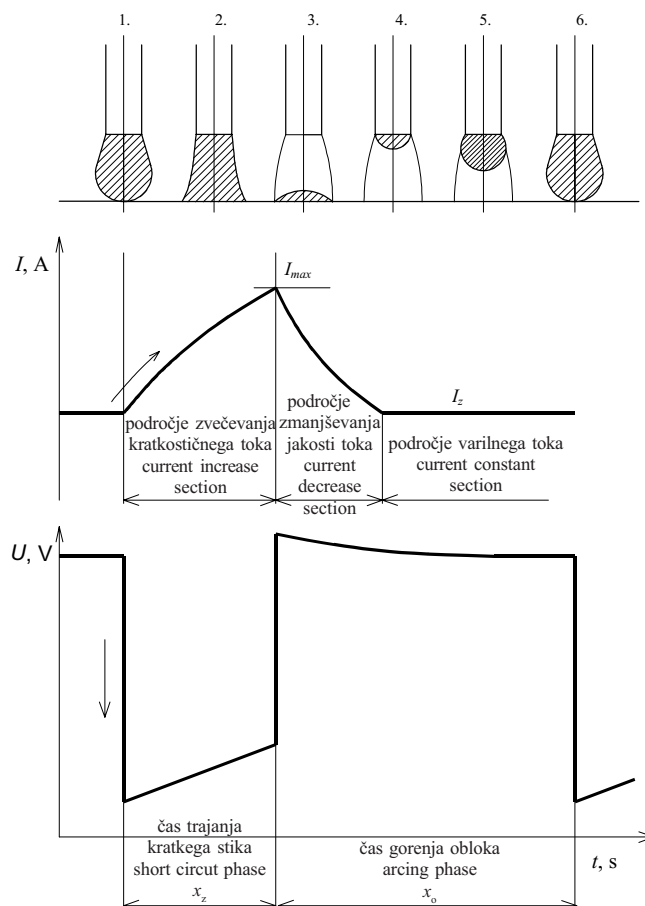
Pojav največje jakosti kratkostičnega toka povzroči, da pride ob ponovni vzpostavitvi obloka do brizganja taline. Ob vžigu obloka dosežena jakost kratkostičnega toka ni odvisna samo od njegovega zvečevanja, pomembno je odvisna tudi od dinamičnih lastnosti vira toka in obenem od največje vrednosti varilnega toka. Po prekinitvi kratkega stika se jakost toka zmanjša na srednjo vrednost varilnega toka.

Ob prekinitvi kratkega stika se pojavi tudi kratkotrajno povišanje varilne napetosti ([5] in [6]). Potek kratkostičnega obdobja s fazami prehajanja materiala prikazuje slika 1.

The short circuit process can be divided into the short circuit phase x_s , and the arcing phase x_o (sometimes the phase absence x_a). The short circuit section is defined as the decrease of the voltage to a value of a few volts. The time of the voltage decrease during the short circuit is proportional to the size of the drop causing the short circuit. During the short circuit the voltage slowly rises up to a value equal to the heating-up resistance. The current can not follow the course of voltage because it is influenced by the time welding constant of the source and the circuit. As the short circuit begins, the current starts to rise exponentially and at the end of the short circuit it reaches its maximum intensity.

These phenomena cause splashing of the metal during the short circuit phase, where not only the ratio of current increase is of importance (it is a function of the welding source dynamic properties), but also the maximum value of the welding current. At the end of the short circuit process the welding current decreases to the average value.

The phenomenon causes the short-time rising of the voltage after the finish of the short circuit process ([5] and [6]). The short circuit phase of metal transfer is demonstrated in Fig. 1.



Sl. 1. Shematski prikaz varilnega kroga s potekom jakosti toka in napetosti ter fazami prehajanja materiala med kratkim stikom in gorenjem obloka

Fig. 1. A schematic diagram showing the cycle of current and voltage continuance with metal transfer at the short circuit phase and arcing phase

1.1 Kriteriji stabilnosti pri kratkostičnem varilnem procesu

Pogosto se presoja stabilnost varilnega procesa samo na temelju vidnih in zvočnih pojavov v obloku in v skladu z obliko zvara. Za to metodo ocenjevanja optimalnih nastavitvev so potrebne bogate praktične izkušnje in strokovna kritičnost ocenjevalca. Zato je bilo razvitih več načinov statističnega vrednotenja varilnih parametrov, ki se spreminjajo okoli srednje vrednosti, npr.: varilne napetosti ali varilnega toka [1].

Podrobno matematično-statistično vrednotenje toka in napetosti omogoča, da za različne varilne razmere te vrednosti ponazorimo s histogrami. Ti histogrami ponazarjajo relativno pojavljanje v času, ko se vrednosti toka in napetosti pojavljajo na različnih ravneh ([1] in [2]).

Za vrednotenje stabilnosti varilnega procesa se lahko uporabijo različne metode in kriteriji. Pogosto se izkaže, da izbor kriterija izhaja iz relativne širine histograma. Eden od kriterijev stabilnosti je ocenjen s sekundarnimi parametri; zlasti s časom gorenja obloka x_o in časom kratkega stika x_s . Kriteriji pomenijo za te parametre izračunana odstopanja S . Varilni proces z majhno vrednostjo S je stabilen. Kratkostični proces se kaže kot niz povezanih pojavov kratkih stikov obloka in pekinitve obloka.

Kriterij stabilnosti kratkostičnega varilnega procesa je mogoče definirati z indeksom stabilnosti W , ki je sestavljen iz vrste časovnih variacijskih koeficientov posameznih faz procesa:

$$W = \tau_s V_s + \tau_o V_o + \tau_a V_a \quad \%$$
 (1)

V_i - koeficient variiranja, izračunan iz časa trajanja posamezne faze,
 o - faza gorenja obloka,
 s - faza kratkega stika,
 a - faza prekinitve,
 τ_i - relativni delež posamezne faze v varilnem procesu:

V_i - is the variation coefficient for the times of existence for individual phases,
 o - phase of arc,
 s - phase of short circuit,
 a - phase of interruption,
 τ_i - phase relative share in the welding process:

$$\tau_i = \frac{\sum X_i}{t_c} \quad (2),$$

kjer je:
 $\sum X_i$ - vsota dejansko končanih faz [s],
 t_c - celotni čas opazovanja varilnega procesa [s].

when:
 $\sum X_i$ - the summary of existent phase elapsed [s],
 t_c - the global read cycle time of existing quantity [s].

Variacijski koeficient je določen z izrazom:

The variation coefficient is determined from the formula:

$$V_i = \frac{\delta_i}{x_i} \cdot 100 \quad \%$$
 (3)

kjer sta:
 δ_i - standardna deviacija parametrov,
 x_i - povprečna vrednost veličine.

when:
 δ_i - standard deviation of parameters,
 x_i - average parameters of quantity.

1.1 The stability criterion for the short circuit welding process

The stability of the welding process can often be judged only with the help of visual and acoustic demonstration of the arc and according to the form of the weld. The present method of evaluation of the optimum settings requires plenty of practical experience. As a result several workers have used statistical evaluation of the values of welding parameter decomposition around their average values, for example voltage or current [1].

A detailed mathematical - statistical evaluation of the variation of current and voltage allows the creation of histograms of decomposition of these quantities under different welding conditions. These histograms demonstrate the percentile distribution of now, these quantities are affected with time ([1] and [2]).

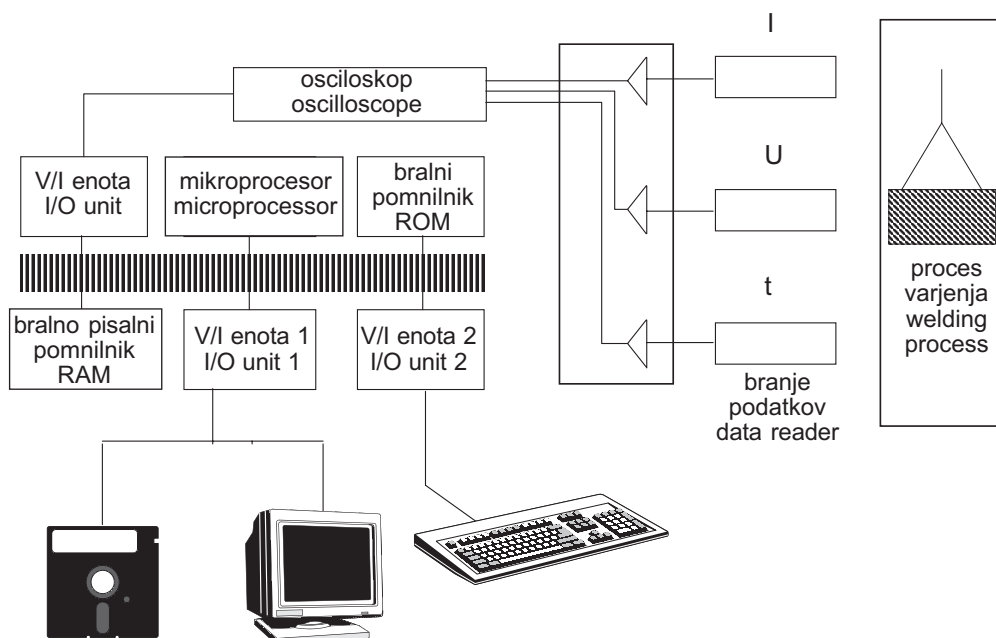
Different methods and criteria can be used to assess the stability of the welding process. The choice of criterion often comes from investigating the relative width of the histogram. One important assessment of stability requires is evaluation of the secondary parameters. In particular the parameter types: time arcing x_o and time short circuit x_s . The criterion is position at the calculations decisive aberration S these parameters. The process with a low value of S is shown as stable. The short circuit process is shown as a series of casual actions, short circuits of arcing and absences.

The stability criteria short circuit welding process can be defined by the index of stability W , which are constituted from the summary time variations coefficient of individual phases:

Če upoštevamo definicijo kriterija stabilnosti, je razumljivo, da se z nizanjem vrednosti varilnih parametrov začne večati delež ustavitov v skupnem času varjenja. Težave z vžiganjem obloka ob kratkem stiku se izražajo z nepravilnostmi pri nastajanju zvara. Varilni proces je časovno stabilen ob pravilnem prehajanju dodatnega materiala v talino zvara, ko ima kriterij stabilnosti W najmanjšo vrednost.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Za statistično obdelavo izmerjenih vrednosti varilne napetosti v področju kratkostičnega prehajanja materiala je bil uporabljen indeks stabilnosti W . Merilni sistem je prikazan na sliki 2.



Sl. 2. Shema merilne naprave za odbiranje varilne napetosti in toka

Fig. 2. A schematic of the measuring equipment for reading of voltage and current in the welding process

Preskusni varjenci dimenzij $60 \times 15 \times 160$ mm iz jeklene perlitne litine so bili predgrevani na temperaturo $T_p = 650^\circ\text{C}$. Preskusi so bili narejeni s tremi vrednostmi jakosti varilnih tokov: $I_z = 210, 250$ in 280 A.

Varilna napetost se je spreminjala v področju $U_z = 18$ do 30 V, tako da je potekal varilni proces v področju kratkostičnega prehajanja materiala. Naslednji varilni parametri so bili konstantni:

- dolžina prostega konca žice: $l = 25$ mm, premer: $\phi 2$ mm
- $v_z = 50$ mm/s
- induktivnost varilnega tokokroga: $L = 4,25$ mH,
- pretok zaščitnega plina: $Q = 15$ l/min, Argon 4,6 (99,996% Ar),

If the stability criterion for the welding process is taken into consideration, it becomes clear that with lower values of the welding parameters the absence portion of the summary welding time begins to grow. There are problems with the ignition of the arc after a phase of short circuit the consequence of which is the observed anomaly in the formation of the welding bead. The welding process is time stable and requires regular transition filler metal in the welding bath if the stability criterion W takes its minimum values [2].

2 EXPERIMENTAL PART

The index stability W was applied to show how the criterion for an area short circuit transfer metal could be stated from the voltage measurement course using statistical interpretation. The appropriate schema is showed in Fig.2.

For the experimental test we used casting slabs of size $60 \times 15 \times 160$ mm produced from ferrite-pearlite ductile iron and preheated to the temperature $T_p = 650^\circ\text{C}$. Three levels of welding current were used: $I_z = 210, 250$ and 280 A.

The voltage ranged from $U_z = 18$ to 30 V when the welding process ran in the short circuit area transfer. The following welding parameters were constant:

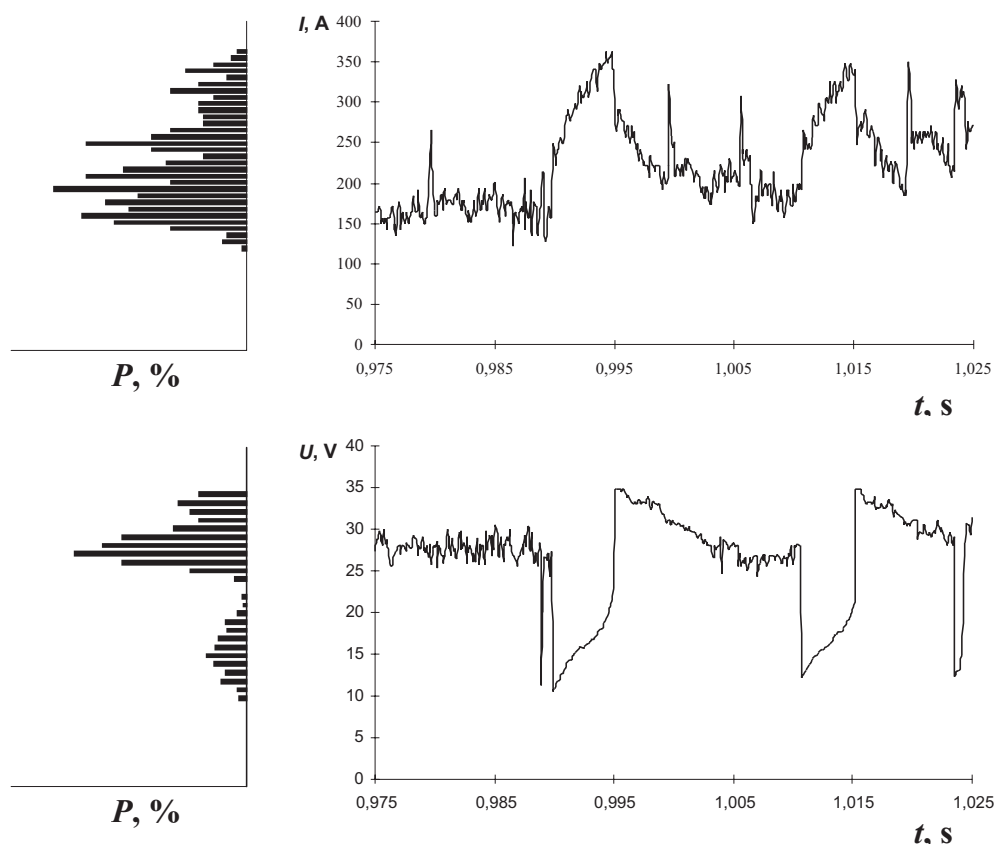
- the push outting of electrode: $l = 25$ mm, rightward welding technique, electrode diameter: $\phi 2$ mm
- the welding rate: $v_z = 50$ mm/s,
- the induction of welding circuit: $L = 4,25$ mH,
- the shielding gas - Argon 4,6 (99,996% Ar), quantity gas: $Q = 15$ l/min,

Kot delovno področje je bil uporabljen proces, pri katerem je bila frekvenca kratkih stikov višja od 10 s^{-1} . Ta omejitev je bila v skladu z disertacijo [5].

Indeks stabilnosti W je odvisen od varilne napetosti [5]. Ta funkcija ima svoj minimum v področju največje stabilnosti. Za vse nastavitve varilnih parametrov je bil odbran potek varilne napetosti in analiziran čas gorenja obloka in čas kratkega stika (faza ustavitve - odsotnosti procesa je bila zelo neizrazita, zato ni bila upoštevana). Te vrednosti so v skladu z ravni varilne napetosti, ki je najpogosteje uporabljena za izdelavo histograma. Histogram relativne pogostosti pojavljanja različnih ravni napetosti in toka za prikazana časovna poteka obeh parametrov, za stržensko elektrodo tipa RD 971, prikazuje slika 3.

In the working area a process was maintained with short circuit frequency attaining values as high as 10 s^{-1} . This boundary was specified according to the thesis [5].

The index stability W is dependent on the welding voltage, according to [5]. The function has a minimum which determines the area with the highest stability. For all setting values the welding voltage course displaying the arcing time x_o and the short circuit time x_s was recorded (the absence phase had been few expressive, therefore it was not included). These values corresponded to the level of voltage which has been mostly used for drawing a histogram. The histogram depending on the distribution time P for different levels of current and voltage for the tubular cored electrode RD 971 is showed in Fig. 3.



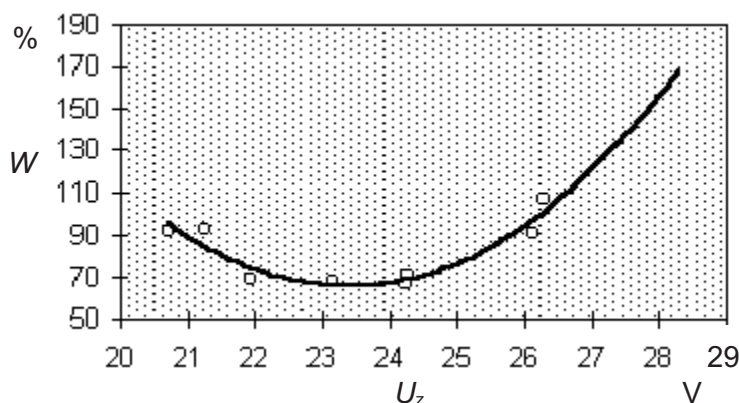
Sl. 3. Potek napetosti, toka in histograma relativne pogostosti P za različne ravni toka in napetosti za stržensko elektrodo tipa RD 971, varjene z $U_z = 27V$ in $I_z = 210 A$

Fig. 3. The continuance of voltage, current and histograms - percentage distribution time P with different levels of current and voltage for tubular cored electrode type RD 971, $U_z=27 V$ and $I_z=210 A$

Na sliki 3 prikazan potek varilne napetosti je bil posnet v optimalnih varilnih razmerah, ker je bila tedaj vrednost indeksa stabilnosti minimalna. Takrat je dejansko varilni proces časovno stabilen in je prehajanje materiala v talino zvara normalno.

The welding voltage in Fig.3 is optimised for the existing welding conditions, because processes at these voltages have minimum value index stability W . It was proved, that the welding process is time stable and the transition of the filler metal into the welding bath is normal.

Na sliki 4 je prikazana krivulja indeksa stabilnosti W za različne vrednosti napetosti U_z , pri varilnem toku $I_z = 250$ A. Dodajni material je bil strženska elektroda tipa RD 971. Krivulja indeksa stabilnosti W je bila določena z regresijsko analizo drugega reda. Uporabljena je bila varilna napetost, ki je ustrezala ekstremnemu indeksu stabilnosti, to je pri njegovi najmanjši vrednosti.



Sl. 4. Indeks stabilnosti v odvisnosti od varilne napetosti U_z pri varjenju s stržensko elektrodo tipa RD 971 s tokom $I_z = 250$ A

Fig. 4. The index stability W dependence at welding voltage U_z for tubular cored electrode type RD 971 and current $I_z = 250$ A

V preglednici 1 so prikazani optimalni varilni parametri in vrednosti brizganja Ψ za varjenje s stržensko elektrodo tipa RD 971. V preglednici prikazane količine brizganja so bile izračunane iz izmerjenih vrednosti količine dovedenega dodatnega materiala v var in količine raztaljene elektrode v istem času.

Preglednica 1. Optimalne vrednosti varilne napetosti U_z pri varjenju z jakostmi tokov $I_z = 210, 250$ in 280 A. Uporabljen je bil dodajni material: strženska elektroda tipa RD 971

Tabel 1. The optimum values of welding voltage U_z for welding current $I_z = 210, 250$ and 280 A. The filler material used was the tubular cored electrode type RD 971

| I_z [A] | U_z [V] | W_{min} [%] | Ψ [%] |
|-----------|-----------|---------------|------------|
| 210 | 26 | 74 | 13,05 |
| 250 | 23 | 66 | 9,76 |
| 280 | 28 | 67 | 12,75 |

3 SKLEP

Vrednotenje stabilnosti vžiganja obloka, pri varjenju s kratkim oblokom z novo stržensko elektrodo, tipa RD 971, je bilo izvedeno z indeksom stabilnosti W , pri konstantni vrednosti varilne napetosti U_z in pri različnih jakostih tokov I_z (z nastavljanjem induktivnosti varilnega tokokroga) v razmerah, za katere je značilno, da imajo najmanjšo vrednost indeksa stabilnosti W . Indeks stabilnosti W pri varjenju s stržensko elektrodo tipa RD 971 je $W = 66$ %, kar pomeni, da gori oblok v teh razmerah

In Fig. 4 values for the index of stability W for different welding voltage U_z and welding current $I_z = 250$ A are shown. The filler metal was tubular cored electrode type RD 971. The 2nd order method regression analysis was used. The welding voltage used corresponded to the extreme value of the stability index which was a minimum.

In Table 1 optimum parameters and the value of splash Ψ for the tubular cored electrode type RD 971 are shown. The shown splash values were calculated from measured values of weld deposit metal mass and melted electrode mass.

The evaluation of stability arcing for a newly developed tubular cored electrode type RD 971 by the index stability W short circuit process was obtained using values of welding voltage U_z for different levels of current (in settings inductance of welding circuit) which are characterised by a minimal value of index stability W . The index stability W at the tubular cored electrode type RD 971 is $W = 66$ % which means, that the existing values of the burning electric arc are stable. From

stabilno. Na podlagi teh vrednosti so bili nazadnje ugotovljeni optimalni varilni parametri za varjenje s stržensko elektrodo tipa RD 971 naslednji:

$$U_z = 23 V, \quad I = 250 A, \quad L = 4,25 mH, \quad \overline{x_s} = 0,00355 s$$

Pri teh varilnih parametrih je bilo ugotovljeno minimalno brizganje kapljic $\Psi = 9,76 \%$

Na temelju teh doseženih rezultatov izhajajo, da preskušana strženska elektroda dogoreva stabilno in ima normalno prehajanje materiala v talino zvara. Če se za varjenje uporabi strženska elektroda tipa RD 971, se oblikuje normalen zvar in je talina zvara dobro zaščitena z žlindro, nastalo iz mineralnega polnjenja strženske elektrode.

these values the following welding parameters for the tubular cored electrode type RD 971 are determined:

These welding parameters were measured at the smallest values of splash $\Psi = 9.76 \%$.

Based on these results it is clear, that the tubular cored electrode type RD 971 burning stable has a normal transfer of metal to the welding bath. If we used tubular cored electrode type RD 971 for normal designs, good coverage weld bead by slag took place.

4 LITERATURA

4 REFERENCES

- [1] Leždík, V. (1997) Plnená elektróda na zváranie grafitických liatin. Dizertačná práca. ŽU v Žiline, Žilina, 113.
- [2] Kim, W. (1995) A study on the effect of contact tube-to-workpiece distance on weld pool shape in gas metal arc welding. *Welding Journal*, 141 - 151.
- [3] Senčák, V. (1994) Metodika hodnotenia stability oblúkových bezskratových procesov. *Zváranie*, 43, č.3, 58.
- [4] Ondrejček, P., P. Chovanec (1995) Vplyv chemického zloženia na stabilitu horenia oblúka. *Zváranie*, 44, č.5, 103 -106.
- [5] Ondrejček, P. (1991) Vzťah fyzikálnych a metalurgických faktorov pri zváraní v CO₂ skratovým procesom. Dizertačná práca. Bratislava, 276.
- [6] Ondrejček, P. (1992) Metalurgický význam parametrov zvárania v CO₂ skratovým procesom. *Zváračské správy*, 2, 25 -31.
- [7] Meško, J., L. Bechný (1997) Welding and repairs of castings from cast irons. *Livarski vestnik*, Slovenija – Ljubljana, 44, č.3, 84-91.

Naslov avtorjev: doc.dr. Jozef Meško
dr. Viliam Leždík
dr. Miloš Mičian
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Žilini
Veľký Diel
010 26 Žilina, Slovaška

Author's Address: Ass.Prof.Dr. Jozef Meško
Dr. Viliam Leždík
Dr. Miloš Mičian
Faculty of Mechanical
Engineering
University of Žilina
Veľký Diel
010 26 Žilina, Slovak Republic

Prejeto: 25.3.1999
Received:

Sprejeto: 15.9.1999
Accepted: