

MARCELI MAZUR
Katedra Spawalnictwa

OPRACOWANIE ELEKTROD RDZENIOWYCH DO UTWARDZAJĄCEGO
NAPAWANIA STALI W OSŁONIE CO₂

Streszczenie: W pracy przeanalizowano przechodzenie pierwiastków stopowych do stopiwa. Opracowano elektrody rdzeniowe do utwardzającego napawania w osłonie CO₂, pozwalające na uzyskanie stopiwa bainitycznego o zakresach twardości: 340÷370 HV, 410÷440 HV i 440-470 HV.

Podano współczynniki przechodzenia C, Mn, Si, Cr do napoiwy i rozkład twardości w poszczególnych warstwach.

1. Wstęp

Jednym z najczęściej stosowanych zabiegów spawalniczych jest napawanie utwardzające. Napawanie może być stosowane nie tylko przy regeneracji szybko zużywających się elementów maszyny i mechanizmów lecz również jako oddzielna technologia wykonywania nowych elementów maszyn. Umożliwia ono otrzymanie napawanych powierzchni o odmiennych własnościach mechanicznych niż materiał podłoża, pozwala na otrzymanie metalu wysokostopowego i nadanie mu wymaganej twardości, odporności na ścieranie, kwasoodporności, żaroodporności itp.

Metoda napawania w osłonie CO₂ znajduje zastosowanie zarówno przy napawaniu płaskich jak i cylindrycznych oraz innych powierzchni. Nadaje się też dobrze do regeneracji wałków o małych średnicach, gdyż pozwala na napawanie wałków już o średnicy 10-20 mm, co np. przy napawaniu pod topnikiem nie jest możliwe z uwagi na zbyt duże jeziorko ciekłego metalu.

Do zalet tej metody należy także to, że można proces napawania mechanizować i automatyzować w dowolnym usytuowaniu przestrzennym napawanej płaszczyzny, nie wykluczając również pozycji sufitowej. Łuk i formujący się metal można przy tym

obserwować, co jest ważne w przypadku napawania części o złożonym kształcie.

Stosując automatyczne napawanie w osłonie CO_2 można zwiększyć wydajność pracy 3-4 razy i o 30-40% obniżyć koszty regeneracji w porównaniu do ręcznego napawania łukowego [1].

Własności napawanego metalu zależą głównie od jego składu chemicznego. Jedną z metod uzyskania odpowiedniego składu stopu jest zastosowanie do napawania elektrod rdzeniowych.

Elektrody rdzeniowe pozwalają na wprowadzenie do napoiwy do 40% pierwiastków stopowych [1], przy czym przez odpowiedni dobór składników można otrzymać dowolny skład chemiczny stopu.

Celem pracy było opracowanie elektrod rdzeniowych do utwardzającego napawania w osłonie CO_2 dla otrzymania stopu o twardościach ok. 350 HV, 400 HV, 450 HV.

Dodatkowym założeniem było uzyskanie elektrod o średnicy 2 mm, a więc przydatnych do napawania półautomatem EMA-400.

2. Przechodzenie pierwiastków stopowych do stopu

Przy spawaniu w atmosferze utleniającej, jaką stanowi zdysocjowany w łuku CO_2 , wypalanie się składników stopowych w łuku jest intensywniejsze niż w jeziorce ciekłego metalu. Tłumaczy się to wyższą temperaturą w łuku, większą powierzchnią kontaktu kropelek metalu z gazem, a także większym stopniem dysocjacji CO_2 w łuku niż nad ciekłym metalem.

Temperatura kropelek metalu w strefie łuku osiąga 2150-2350°C, a gazu - 2900°C, podczas gdy temperatura metalu w jeziorce wynosi ok. 1700°C, a gazu w miejscu zetknięcia się z jeziorkiem 2300°C [2].

Ilość gazu zdysocjowanego na tlen i tlenek węgla według reakcji



wynosi w strefie łuku 58%, podczas gdy na powierzchni jeziorka tylko 15%.

Wyżej wymienione różnice powodują, że wypalanie się składników stopowych, znajdujących się w elektrodzie, jest bardziej intensywne niż składników z materiału rodzimego. W strefie najwyższych temperatur panujących w łuku najsilniejszymi odtleniaczami są według kolejności malejącej Al, Ti, C, Si, Mn, Cr [5].

Zawartość danego składnika w napoinie lub spoinie w zależności od jego wyjściowej koncentracji w elektrodzie i materiale rodzimym można określić według wzoru [2]

$$[M]_n = \mu_d m [M]_d + \mu_m n [M]_m,$$

gdzie:

- $[M]_n$ - zawartość pierwiastka M w napoinie, %;
- $[M]_d, [M]_m$ - zawartość pierwiastka M w drucie i materiale rodzimym, %;
- μ_d, μ_m - współczynniki przechodzenia pierwiastka M z drutu i materiału do stopiwa;
- m, n - udziały drutu elektrodowego i materiału rodzimego w napoinie (współczynniki wymieszania), przy czym $m + n = 1$.

Przy napawaniu wielowarstwowym z dostateczną dla praktyki dokładnością można przyjąć, że przy ilości warstw $k \geq 3-5$ koncentracja danego składnika w górnej warstwie jest równa [3]

$$[M]_n = \mu_d [M]_d$$

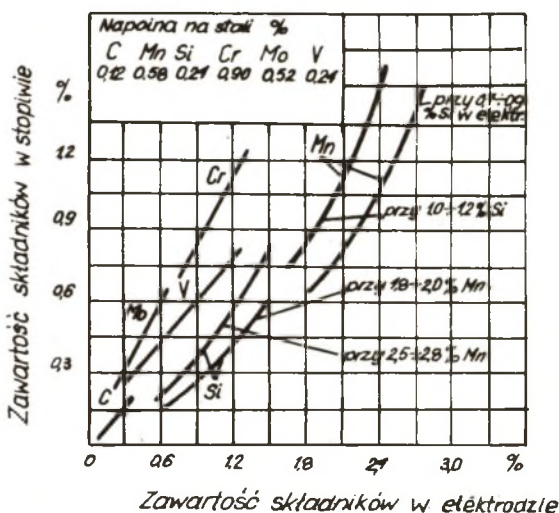
Przeważnie operuje się pojęciem ogólnego współczynnika przechodzenia μ i w ten sposób obliczona koncentracja składnika M w napoinie wynosi

$$[M]_n = \mu [M]_d.$$

Współczynnik μ_d określa się przez analizę chemiczną napawanego metalu na płytkę miedzianą, a ogólny współczynnik przechodzenia μ - przez analizę metalu spoiny wykonanej przy

zukośowaniu na V lub przy napawaniu przez analizę chemiczną stopiwa danej warstwy.

Przechodzenie składników stopowych do spoiny zależy przy spawaniu w osłonie CO_2 również od składu chemicznego elektrody rdzeniowej i parametrów spawania. Dla spawanej stali o następującym składzie: 0,12% C; 0,58% Mn; 0,24% Si; 0,90% Cr; 0,52% Mo i 0,24% V przedstawiono (rys. 1) zmianę składu chemicznego pięciowarstwowej spoiny wykonanej w CO_2 w zależności od zawartości danego składnika w elektrodzie rdzeniowej [4].



Rys. 1. Zmiana składu chemicznego spoiny przy spawaniu w osłonie CO_2 w zależności od składu elektrody rdzeniowej

Należy jeszcze podkreślić, że wypalanie się składników z elektrod rdzeniowych jest większe niż z pełnych drutów niskostopowych i według [2] wynosi 20÷25% Mn, 10÷20% Si, 10÷15% C, 25÷35% Ti.

Tłumaczy się to obecnością dużej ilości tlenków żelaza w proszku żelaza stosowanym do produkcji rdzenia elektrod, a także dużą powierzchnią kontaktu zmieszanych składników z atmosferą łuku.

3. Przebieg badań

3.1. Materiały użyte do produkcji elektrod

Na wykonanie otoczki elektrod rdzeniowych przeznaczonych do napawania w osłonie CO_2 zastosowano taśmę walcowaną na zimno ze stali St2. Do wykonania mieszanki rdzeniowej użyto następujące sproszkowane żelazostopy:

- żelazomangan Fe-Mn,
- żelazokrzem Fe-Si,
- żelazochrom Fe-Cr

oraz w celu uzupełnienia mieszanki - sproszkowane żelazo. Skład chemiczny zastosowanych materiałów podano w tablicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny materiałów
użytych do produkcji elektrod rdzeniowych

Materiały		Skład chemiczny %					
		C	Mn	Si	Cr	P	S
Taśma 10 x 0,4 St2		0,16	0,39	-	-	0,022	0,033
Fe proszek		0,125	0,42	-	-	0,022	0,045
żela-	Fe - Mn	1,20	80,8	2,3	-	0,27	0,07
zosto-	Fe - Si	0,16	0,10	44,6	-	0,091	-
py	Fe - Cr	0,29	0,89	1,12	52,07	0,007	0,015

3.2. Wykonanie elektrod

Zmielone składniki mieszanki rdzeniowej po przesianiu (maksymalna ziarnistość 0,25 mm) i dokładnym odważeniu suszono w temperaturze ok. 150°C w ciągu 3 godzin, następnie wymieszano w mieszalniku w celu zapewnienia jednorodnego składu chemicznego mieszaniny.

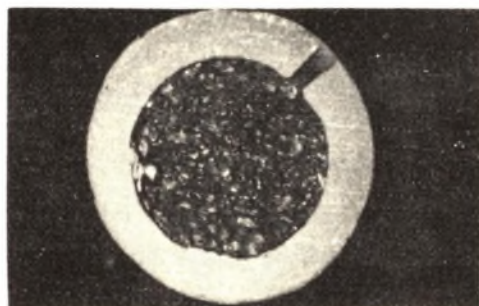
Wykonanie elektrod polegało na zwijaniu taśmy z równoczesnym zasypywaniem jej mieszanką i przeciąganiu zwiniętej taśmy celem zmniejszenia średnicy i sprasowania wkładu proszkowego.

Do zwijania taśmy zastosowano średnicę oczka 3,25 mm, a następnie przeciągano elektrodę przez oczka o średnicach 3,0; 2,7; 2,5; 2,3; i 2,0 mm [6].

Odcinek taśmy w momencie napełniania i przekrój poprzeczny elektrody rdzeniowej pokazano na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Odcinek elektrody rdzeniowej w momencie zwijania i napełniania wkładką ferrostopową
Pow. 1 x



Rys. 3. Przekrój poprzeczny elektrody rdzeniowej
Pow. 10 x

W celu otrzymania stopiwa o założonej twardości wykonano elektrody o składzie chemicznym podanym w tablicy 2.

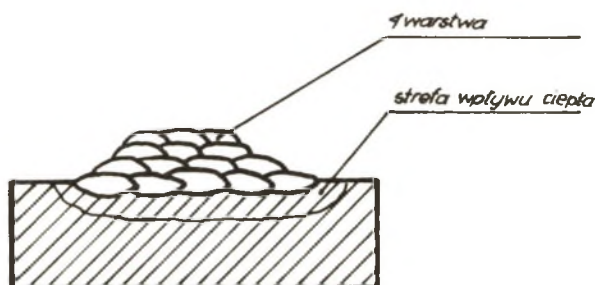
Tablica 2

Skład elektrod rdzeniowych

Oznaczenie elektrody	Skład chemiczny %						Przewidywana twardość HV
	C	Mn	Si	Cr	P	S	
E1	0,19	3,6	1,83	1,18	0,020	0,032	300 ÷ 350
E2	0,196	3,59	1,92	2,10	0,033	0,023	380 ÷ 430
E3	0,20	3,6	1,92	3,1	0,034	0,043	450 ÷ 500

3.3. Badanie składu chemicznego, twardości i badania metalograficzne stopiwa

Dla określenia przydatności wykonanych elektrod do utwarzającego napawania wykonano na blachach ze stali St3S czterowarstwowe napoiwy (rys. 4).



Rys. 4. Schemat napawania próbek

Napoiny wykonano na płytach o wymiarach ok. 300x300x25 mm przy użyciu półautomatu EMA-400 stosując następujące parametry napawania:

- natężenie prądu spawania $I = 240 \div 290$ A
- napięcie łuku $U = 24 \div 30$ V
- szybkość posuwu elektrody $V_{el} = 1,6$ m/min,
- natężenie przepływu CO_2 $V^* = 15$ l/min
- średnica elektrody $d = 2$ mm.

W celu ustalenia współczynników przechodzenia C, Mn, Si oraz Cr do napoiny przeprowadzono badania składu chemicznego stopiwa opracowanych elektrod.

Skład chemiczny pierwszej i ostatniej warstwy podano w tabelicy 3.

Tabelica 3

Skład chemiczny stopiwa wykonanego elektrodami rdzeniowymi

Oznaczenie elektrody	Warstwa	Skład chemiczny %					
		C	Mn	Si	Cr	P	S
E1	1	0,12	1,70	0,76	0,67	0,024	0,026
	4	0,12	2,28	1,13	1,05	0,028	0,022
E2	1	0,135	2,16	0,93	1,6	0,027	0,024
	4	0,13	2,53	1,18	2,08	0,027	0,022
E3	1	0,14	2,2	0,92	2,3	0,026	0,024
	4	0,13	2,62	1,25	3,05	0,027	0,020

Tablica 4

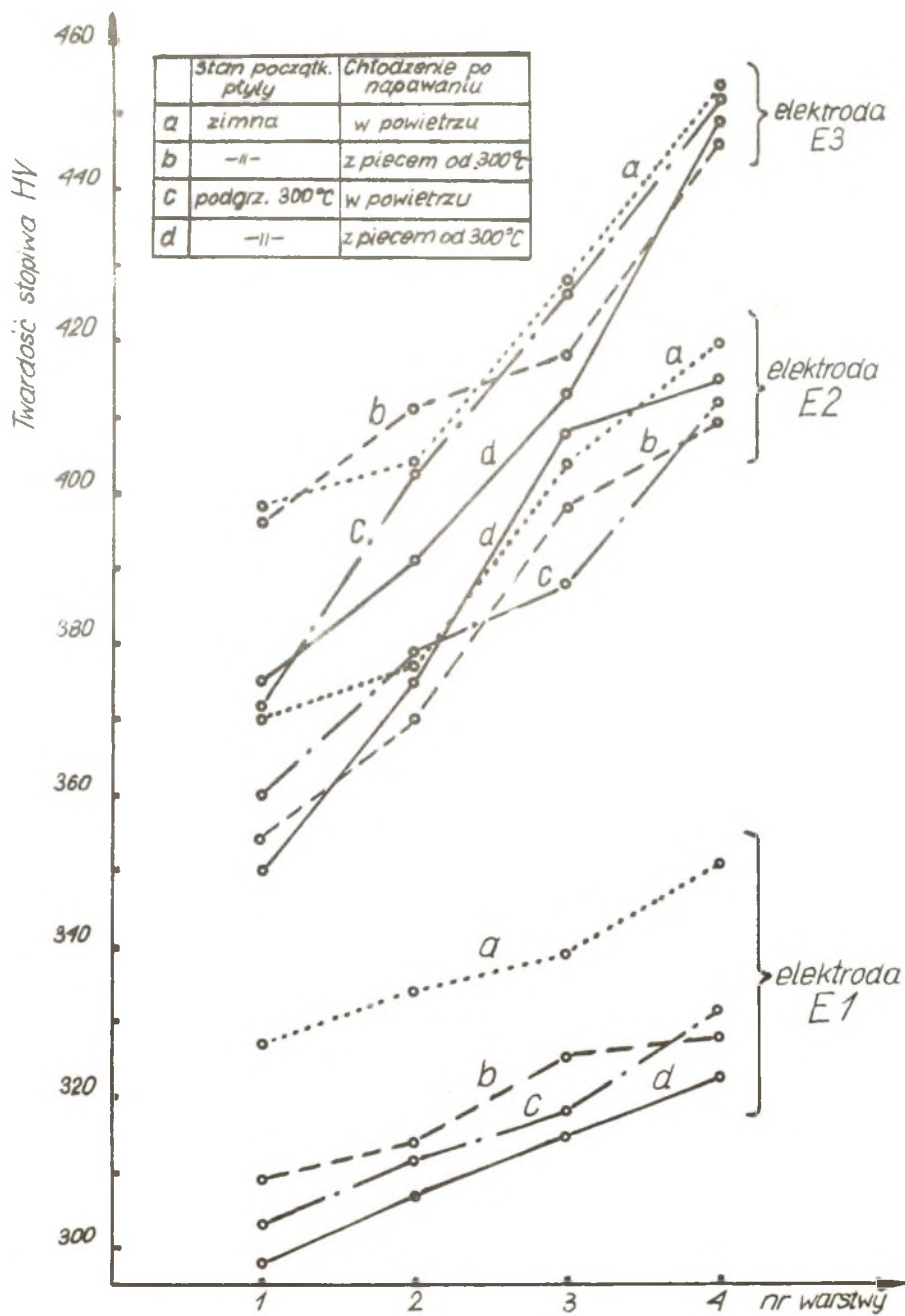
Rozrzut twardości dla różnych warunków uzyskiwania stopiwa elektrod E1, E2, E3

Warunki uzyskania stopiwa		Rozrzut twardości HV					
		1 warstwa			4 warstwa		
		E1	E2	E3	E1	E2	E3
a	Płyta zimna; po napawaniu studzona na wolnym powietrzu	318- 334	353- 385	406- 425	344- 362	420- 432	459- 481
b	Płyta zimna; po napawaniu podgrzana do temp. ok. 300°C i studzona z piecem	299- 318	334- 358	393- 409	320- 337	402- 420	459- 470
c	Płyta wstępnie podgrzana do temp. ok. 300°C; po napawaniu studzona na wolnym powietrzu	295- 308	338- 362	368- 383	311- 344	404- 427	462- 478
d	Płyta wstępnie podgrzana do temp. ok. 300°C; po napawaniu studzona z piecem	290- 307	315- 339	355- 370	317- 331	409- 420	462- 473

Pomiary twardości na pierwszej i czwartej warstwie stopiwa wykonano dla różnych technologicznych warunków napawania. Dla ujawnienia skłonności stopiwa do zimnych lub gorących pęknięć wykonano napoiny w warunkach podanych w tablicy 4. Tablica ta zawiera również granice rozrzutu wyników twardości dla 10 punktów pomiarowych na licu pierwszej i czwartej warstwy stopiwa wykonanego elektrodami E1, E2, E3 (punkty pomiarowe co 10 mm).

Do pomiarów twardości stopiwa poszczególnych warstw przygotowano zgłady wycięte poprzecznie do napoiny. Pomiaru dokonano w środku warstwy. Wyniki tych pomiarów ujęto na rys. 5.

Jedynie w przypadku stopiwa elektrody E3, uzyskanego w najbardziej niekorzystnych warunkach (próbka zimna - stygnięcie na wolnym powietrzu) tj. przy maksymalnej szybkości chłodzenia,



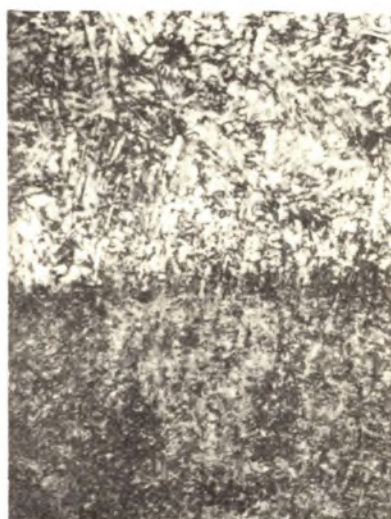
Rys. 5. Twardość stopiwa elektrod E1, E2, E3 dla różnych warunków napawania

stwierdzono występowanie pęknięć w napoinach. W innych warunkach napawania i dla pozostałych elektrod pęknięć nie stwierdzono.

Badania mikroskopowe ujawniły przeważnie bainityczne struktury napawanych warstw. Nie zaobserwowano w napoinach wad w postaci zażużeń i pęcherzy gazowych. Strukturę metalograficzną stopiwa napawanego na zimną próbkę i chłodzonego na wolnym powietrzu pokazano na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Struktura stopiwa elektrod rdzeniowych Bainit. Traw. Nital Pow. 250 x. Stopiwo 4 warstwy, płyty zimne - chłodzone po napawaniu w powietrzu



Rys. 7. Strefa przejściowa napoin na stali St3S. Od strony materiału rodzimego pseudoperlit i ferryt w układzie Widmannstättena. Traw. Nital. Pow. 250 x

4. Analiza przeprowadzonych badań

Wykonane elektrody rdzeniowe, przeznaczone do półautomatycznego napawania w osłonie CO_2 , pozwoliły na uzyskanie stopiwa o następujących zakresach twardości:

- elektroda E1 340-370 HV,
- elektroda E2 410-440 HV,
- elektroda E3 440-470 HV.

Dane te dotyczą pomiaru twardości na licu czwartej warstwy napoiny oraz napawania zimnej płyty i stygnięcia próbki na wolnym powietrzu. Stwierdzono, że napoiny wykonane na płycie wstępnie podgrzanej i po napawaniu studzonej z piecem charakteryzują się bardziej równomiernym rozkładem twardości. Twardość stopiwa pierwszej warstwy jest we wszystkich przypadkach najniższa na skutek stosunkowo dużego udziału materiału rodzimego, twardość następnych warstw wzrasta.

Celem pracy było nie tylko otrzymanie odpowiedniej twardości lecz również otrzymanie stopiwa bez pęknięć i pęcherzy. Na podstawie przeprowadzonych prób stwierdzono, że stopiwo elektrod E1 i E2 nie wykazuje skłonności do pęknięć na gorąco i na zimno. Przy napawaniu zimnej płyty elektrodą E3 i stygnięciu stopiwa w powietrzu zaobserwowano pęknięcia. Wstępne podgrzanie płyty do temperatury ok. 300°C zapewnia otrzymanie stopiwa bez pęknięć, zmniejsza się bowiem wtedy szybkość chłodzenia.

Badania metalograficzne wykazały, że stopiwo opracowanych elektrod ma strukturę bainityczną. Badania chemiczne stopiwa potwierdziły charakterystyczne dla procesu spawania i napawania w osłonie CO₂ stosunkowo duże wypalanie się składników stopowych, szczególnie odtleniaczy Mn i Si.

Ogólny współczynnik przechodzenia μ danego składnika stopowego dla elektrod rdzeniowych jest niższy niż w przypadku pełnych drutów niskostopowych. Należy przyjąć, że wypalanie się składników stopowych w łuku jest prawie stałe i niezależne od kolejności i ilości układanych warstw, natomiast ogólny (ostateczny) współczynnik przechodzenia składnika do stopiwa zależy w pewnym stopniu od kolejności układania warstw. Jest on najniższy dla pierwszej warstwy, co spowodowane jest rozcieńczeniem stopiwa oraz bardziej utleniającymi warunkami w stopiwie wymieszanym z materiałem rodzimym. W miarę układania warstw następnych przechodzenie składników staje się większe. Dla opracowanych elektrod ostateczne współczynniki przechodzenia składników do stopiwa podano w tablicy 5.

Tablica 5

Ostateczne współczynniki przechodzenia składników elektrod

Składnik elektrody	Współczynnik przechodzenia	
	1 warstwa	4 warstwa
C	0,63 - 0,70	0,63 - 0,65
Mn	0,47 - 0,61	0,63 - 0,73
Si	0,41 - 0,48	0,60 - 0,65
Cr	0,56 - 0,76	0,73 - 0,89

Analizując powyższe dane można zauważyć dość znaczne wypalanie się chromu. Podczas spawania pełnymi drutami uzysk chromu wynosi nawet 90+95% i dlatego Cr zaliczany jest czasem do składników pasywnych [5]. Wypalanie się chromu zmniejsza się w obecności pierwiastków o znacznie większym niż Cr powinowactwie do tlenu i np. według danych radzieckich [1] zawartość Ti w ilości 1,0+2,0% znacznie zmniejsza wypalanie się Cr, W, V oraz zmniejsza rozpryskiwanie metalu. Otrzymuje się ponadto metal drobnoziarnisty bez pęknięć i porów.

Sumaryczna zawartość S i P w stopiowie opracowanych elektrod nie przekracza na ogół 0,05%.

5. W n i o s k i

- Opracowano skład elektrod rdzeniowych do utwardzającego napawania w osłonie CO₂ o następujących zakresach twardości stopiwa
 - a) 340-370 HV,
 - b) 410-440 HV,
 - c) 440-470 HV.
- Dla elektrody o twardości stopiwa 440÷470 HV wymagane jest wstępne podgrzanie napawanych elementów do temperatury ok. 300°C w celu uniknięcia pęknięć w stopiowie. Dla pozostałych elektrod wstępne podgrzanie nie jest wymagane - uzyskuje się napoiiny bez pęknięć i pęcherzy.
- Współczynniki przechodzenia C, Mn, Si, Cr do stopiwa elektrod rdzeniowych są niższe niż pełnych drutów niskostopowych.

LITERATURA

- [1] Grocholskij N.F.: Wostanowlenije detalej maszin i mechanizmow swarkoj i napławkoj. Wydanie 2. Moskwa 1966 r. Maszynostrojenije.
- [2] Zaruba J.J., Kasatkin B.S. i inni: Swarka w uglekisłom gazje. Wydanie 2. Kijów 1966 r. Technika.
- [3] Razikow M.J.: Awtomatizieskaja napławka w sredje uglekisłowo gaza. Wydanie 1. Moskwa 1962. Maszgiz.
- [4] Kasatkin B.S., Kaohowskij H.J., Wahnin Ju.N.: K woprosu swarki legirowannyh stalej w sredje uglekisłowo gaza. Awtomatizieskaja swarka 1956 r. nr 5.
- [5] Pierożek B.: Spawanie stali w osłonie CO₂. Wydanie 1. Warszawa 1967 r. WNT.
- [6] Chojnacki R., Mazur Z., Korzeniec J.: Prace dyplomowe magisterskie. Pol. Śląska 1969 r. Niepublikowane.

ИТОГ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ (ФИТИЛЬНЫХ) ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ НАПЛАВКИ СТАЛИ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Резюме

В работе проведен анализ перехода легированных элементов в наплавленный металл. Были разработаны порошковые электроды для упрочняющей наплавки в среде углекислого газа, при помощи которых можно получить бейнитическую структуру наплавленного металла со следующими пределами твердости: а) 340-370 HV, б) 410-440 HV, в) 440-470 HV.

Указаны коэффициенты перехода C, Mn, Si, Cr в наплавленный металл и распределение твердости на отдельных слоях наплавки.

CORED ELECTRODES FOR CO₂ SHIELD HARD SURFACING

S u m m a r y

Analysis of taking in of alloying elements into weld metal deposit was discussed. New developed cored electrodes for CO₂ - shield hard surfacing on steel, enabling obtaining bainitic weld metal deposit of hardnesses ranging: 340÷370 HV, 410÷440 HV, 440÷470 HV were described.

The relation between the amounts of C, Mn, Si, Cr in the cored electrodes and weld metal deposit from them was given. Also hardness of multi- run deposition was established.