

Wstęp

Spawanie przy pomocy elektrod otulonych oraz drutów proszkowych jest nadal znaczącą i niezastąpioną techniką produkcji i montażu konstrukcji stalowych w warunkach zewnętrznych w porównaniu do metod bezżużlowych. Rolą żużla jest zapewnienie ochrony jeziorka spawalniczego przed utlenianiem, stabilności i utrzymania łuku, odpowiedniego składu chemicznego spoiny oraz ochrona izolacyjna spoiny. Wydajność oraz skład chemiczny topników w znacznym stopniu wpływają na wytrzymałość mechaniczną spoiny. Dodatkowo właściwości fizyczne topników, takie jak lepkość, napięcie powierzchniowe, współczynnik rozszerzalności cieplnej, pojemność cieplna oraz wielkość ziaren odgrywają również ważną rolę w utrzymaniu spoiny o dobrej jakości. Produkcja elektrod otulonych jest procesem wieloetapowym, co pokazano na schemacie (Rys. 1).

Pierwszą i jednocześnie najważniejszą kwestią w produkcji elektrod otulonych jest skład chemiczny mieszanki. Różne zachowanie dostępnych na rynku topników zależy od ich składu chemicznego, pochodzenia geologicznego surowców, z których zostały wykonane oraz procesu produkcji [1]. Wybór surowców do produkcji otuliny zależy od wymaganego składu fazowego suchej mieszanki. Do najczęściej używanych minerałów zapewniających osłonę gazów należy kalcyt, wprowadzany z wapieniem, o wzorze chemicznym CaCO_3 . Rozkład termiczny CaCO_3 zachodzi w temperaturze 950°C, prowadząc do powstania CaO oraz CO_2 , który następnie rozpada się w plazmie łuku na tlenek węgla i tlen atomowy. Do innych surowców wykorzystywanych do produkcji otuliny należą ility zawierające glinokrzemiany takie jak kaolinit $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, skalenie alkaliczne zawierające krzemiany glinu takie jak ortoklaz $(\text{KAlSi}_3\text{O}_8)$ oraz albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, kwarcyty wzbogacone w tlenek SiO_2 (96-98 % mol.), wysokiej czystości dwutlenek tytanu zawierający ponad 95% TiO_2 . Trzecią grupę stanowią żelazostopy, które wprowadza się do masy w celu odtlenienia płynnego metalu w spoinie. Żelazomangan (FeMn), żelazotytan (FeTi) oraz żelazokrzem (FeSi) należą do grupy najczęściej stosowanych surowców odtleniających do produkcji topników.

Odpowiednią płynność stopionego żużla oraz redukcję zawartości dyfundującego wodoru otrzymuje się poprzez dodanie składników zawierających jon fluorowy. Fluorek wapnia CaF_2 jest najczęściej stosowany do produkcji topników i jest on wprowadzany w postaci fluorytu. Spoina to kolejna ważna grupa składników do produkcji topników, które są stosowane wyłącznie w przypadku produkcji elektrod otulonych. Są nimi najczęściej roztwory krzemianu sodu i potasu ($\text{M}_2(\text{SiO}_3)_2\text{O}$, gdzie $\text{M}=\text{Na}$ or K).



Rys. 1 Schemat produkcji elektrod

Materiały i metody

Do badań użyto kilka rodzajów dostępnych na rynku elektrod tj. trzy rodzaje elektrod zasadowych oraz trzy rodzaje elektrod rutylowych. Ponadto badaniu poddano również jeden rodzaj rutylowego drutu proszkowego. Charakterystykę badanych materiałów przedstawiono w Tabeli 1. Spoiny zostały wykonane w pozycji pionowej (PF) na stali S355J2+N (zgodnie z normą EN 10025-2). Średnica użytych elektrod wynosiła 3,2 mm oraz 1,2 mm w przypadku rutylowego drutu proszkowego. Prąd spawania został ustawiony na 100A dla elektrod i na 190A dla drutu proszkowego. Żużle zostały pobrane ze spoiny i oznaczone jak pokazano w Tabeli 1.

Rodzaj materiału/metoda spawania	Producent	Oznaczenie elektrody	Europejskie oznaczenie elektrody	Oznaczenie żużla
Elektrody zasadowe/ 111	Oerlicon	Special	E 38 3 B 12 zgodnie z EN ISO 2560A	BO
	Esab	EB146	E 38 3 B 42 zgodnie z EN ISO 2560A	BE
	Metalweld	EVB47	E 42 2 B 32 zgodnie z EN ISO 2560A	BM
Elektrody rutylowe/ 111	Oerlicon	Overcord	E 38 0 R 12 zgodnie z EN ISO 2560A	RO
	Esab	ER146	E 38 0 R 12 zgodnie z EN ISO 2560A	RE
	Metalweld	Rutweld 13	E 38 0 R 12 zgodnie z EN ISO 2560A	RM
Drut proszkowy rutylowy/136	Nittetsu	SF-3AM	T 46 4 Z P M 2 H5 zgodnie z EN ISO 17632A	FCW

Tabela 1. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Uzyskane żużle zostały poddane analizie fazowej przy pomocy dyfraktometru rentgenowskiego (XRD; X'Pert Pro firmy Philips) w zakresie kątów 2 theta 5-90°, z wykorzystaniem promieniowania Cu K_α ($\lambda=1,54056\text{\AA}$) oraz analizie pierwiastkowej metodą fluorescencji rentgenowskiej (XRF; Philips X'Unique II). Ponadto przeprowadzono obserwacje pod mikroskopem wysokotemperaturowym do temperatury 1400°C z szybkością nagrzewania 10°C/min.

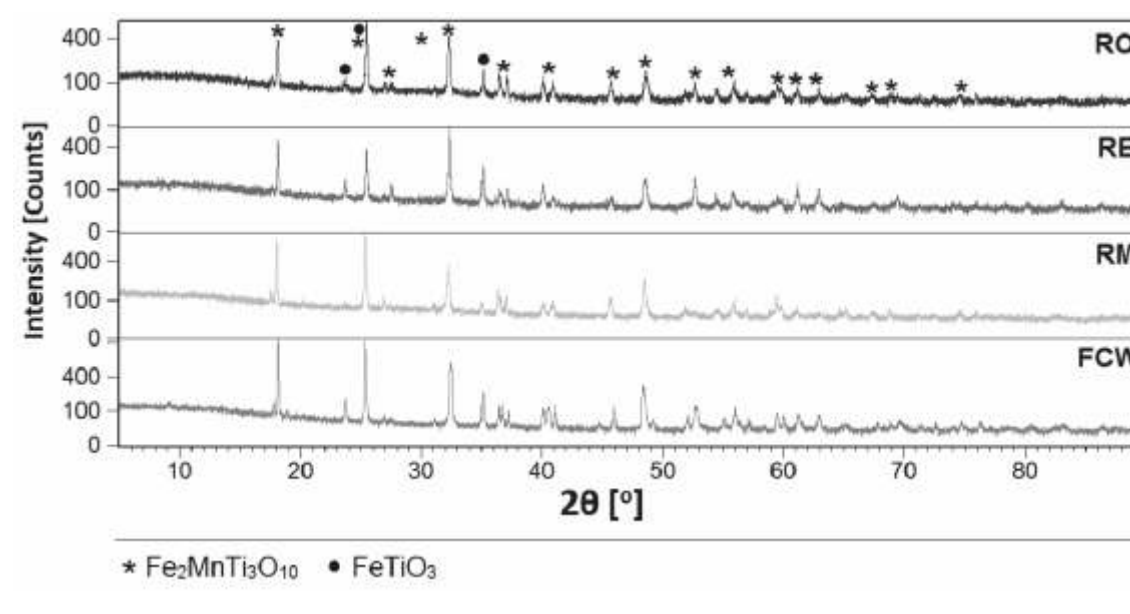
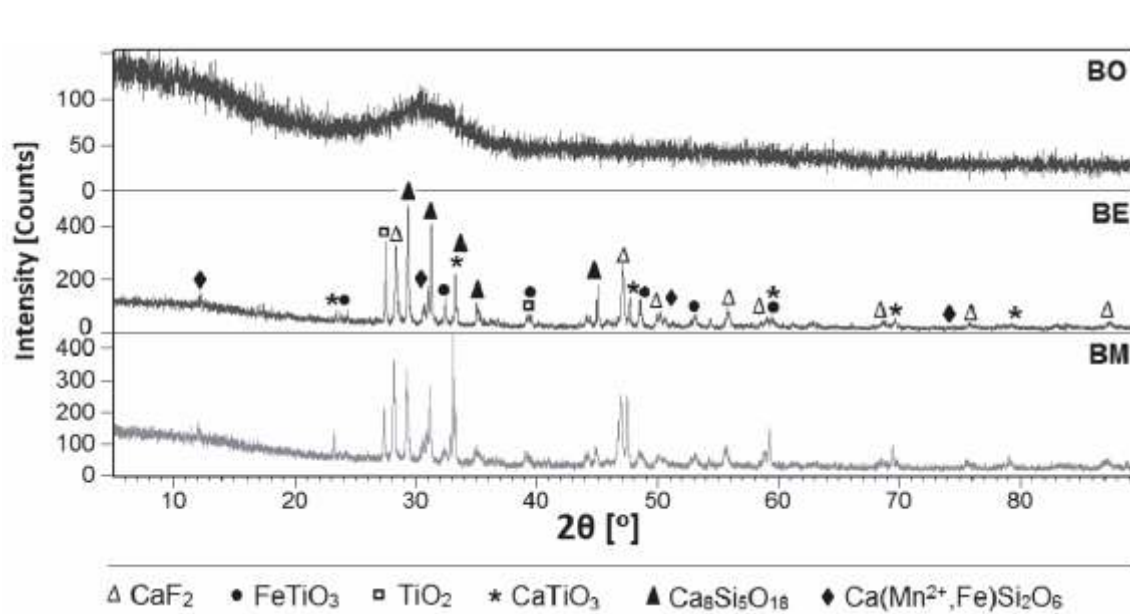
Wyniki badań i dyskusja

XRF

Próbka	Zawartość pierwiastka, % masowy											
	O	Ca	Si	Mg	Ti	Mn	Fe	K	Na	Al	Cr	F
Żużle zasadowe												
BO	37,2	23,4	16,7	1,6	3,1	7,1	6,1	1,8	0,2	0,6	0,1	2,1
BE	32,2	32,7	10,2	0,1	5,9	4,6	2,8	0,9	0,9	0,5	0,03	9,2
BM	31,9	31,2	8,9	0,3	8,6	3,9	4,1	1,3	0,1	0,4	0,04	9,3
Żużle rutylowe												
RO	38,6	3,6	9,7	0,1	24,3	8,5	8,3	3,1	0,7	3	0,1	-
RE	38,3	3,8	8,3	0,1	25,9	10,1	8,1	1,1	1,7	2,5	0,1	-
RM	39,7	2,4	9,5	0,1	26,3	8,1	6,6	3,2	0,3	3,7	0,1	-
Żużel drutu proszkowego												
FCW	37	0,1	2,3	4,7	37,7	11,9	1,5	0,2	1,8	1,3	0,04	1,5

Tabela 2. Analiza pierwiastkowa badanych żużli

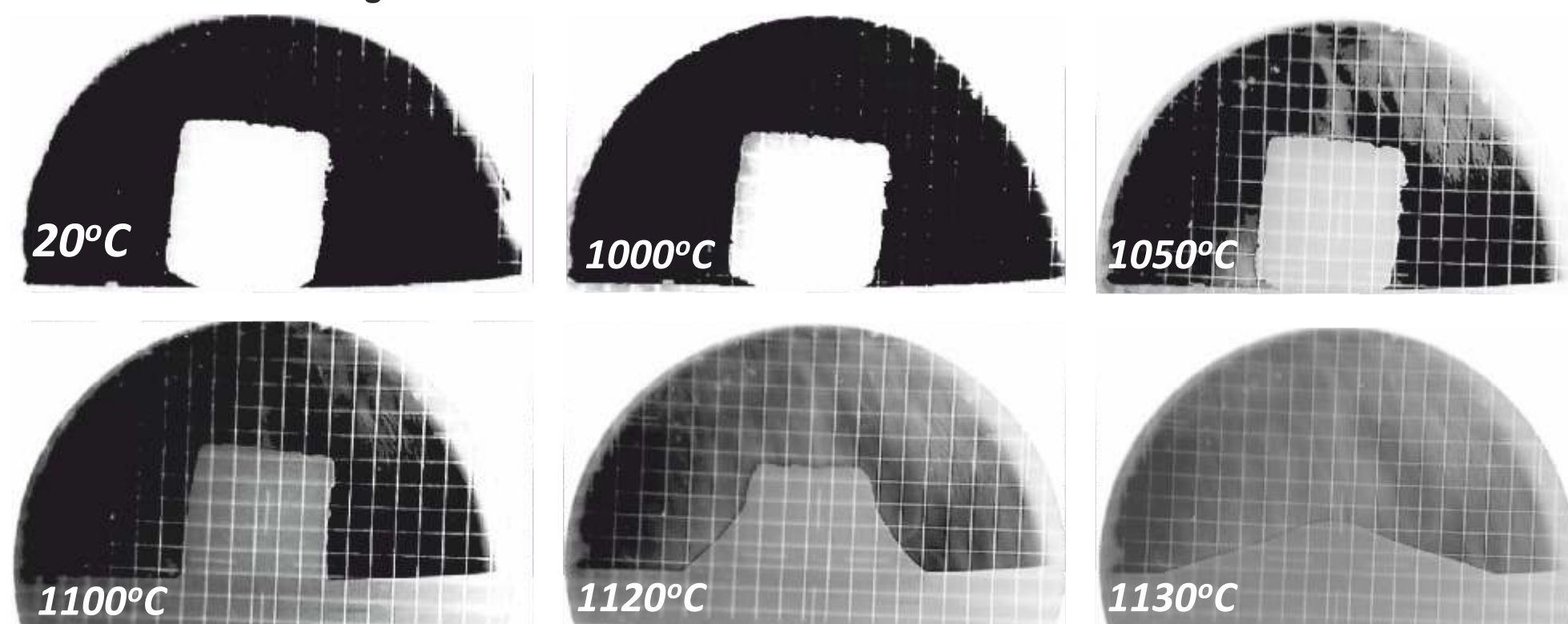
XRD



Jak przedstawiono w Tab. 2 żużle BE oraz BM są do siebie zbliżone pod względem składu chemicznego. Zawartość głównych składników takich jak Ca, Si, Ti, Mn jest na tym samym poziomie w żużlu BE i BM, natomiast żużel BO zawiera mniej Ca, Ti oraz większą ilość Si i Mn. Skład pierwiastkowy badanych elektrod rutylowych jest podobny. Żużel FCW charakteryzuje się mniejszą ilością Si, Ca oraz większą zawartością Mg, Ti i Mn w porównaniu z żużlami rutylowymi.

Rys. 2 pokazuje wyniki analizy XRD żużli zasadowych. Dyfraktogramy próbek BE oraz BM przedstawiają ich wielofazowy charakter, natomiast dyfraktogram próbki BO przedstawia silnie amorficzną strukturę. Taka struktura jest wynikiem większej ilości fazy krzemianowej, która uległa zeszkleniu w wyniku szybkiego chłodzenia. Dyfraktogram próbki BO jest typowy dla związków o strukturze amorficznej. W celu lepszego zrozumienia „zachowania” żużla BO koniecznym byłoby przeprowadzenie dodatkowych badań komplementarnych, np. przy użyciu spektroskopii IR. Dyfraktogramy żużli BE oraz BM zawierają refleksy charakterystyczne dla fluorytu, krzemianów i tytanianów oraz refleks o dużej intensywności pochodzący od rutylu przy $2\theta=27,52^\circ$ (w próbce BE) oraz przy $2\theta=27,39^\circ$ (w próbce BM). Podobne fazy zostały wcześniej zarejestrowane przez Vaz i współautorów. Ponadto dyfraktogram żużla BM posiada większą ilość refleksów, i o wyższej intensywności, dla tytanianu wapnia CaTiO_3 . Główną fazą w składzie żużli rutylowych (RO, RE, RM - Rys. 3.), jest $\text{Fe}_2\text{MnTi}_5\text{O}_{10}$ o symetrii ortorombowej. We wszystkich próbkach, przy pomocy XRD, wykryto również tytanian żelaza FeTiO_3 posiadający strukturę perowskitu. Dyfraktogram XRD żużla pochodzącego z drutu proszkowego (oznaczonego jako FCW) jest analogiczny do żużli rutylowych.

Mikroskopia wysokotemperaturowa Na przykładzie żużla zasadowego BO



Zaobserwowano, iż żużel zasadowy BO posiada najniższą temperaturę mięknięcia oraz topienia. Takie zachowanie ma związek z dużą ilością fazy amorficznej, która została wykryta metodą XRD (Rys. 2., BO). Obserwacje mikroskopowe wykazały również mały zakres temperatur pomiędzy temperaturą mięknięcia i topienia, około 20°C. Próbkę zaczyna mięknać w temperaturze 1100°C, a w 1130°C jest już całkowicie stopiona. Temperatura topienia żużla BO jest około 85°C niższa od temperatury mięknięcia żużli BE i BM, z tego względu spawanie przy użyciu elektrod BO pozwala na użycie niższych parametrów spawania przy jednoczesnym utrzymaniu stabilności topienia elektrody. Mały zakres temperatur pomiędzy temperaturą mięknięcia i topienia oraz duża lepkość, spowodowana zwiększoną zawartością krzemianów (Tab. 1., Rys. 2.), zapobiega wypływowi żużla oraz opadaniu ciekłego metalu, a spawanie w trudnych pozycjach, takich jak PF, PE, PD lub PG jest znacznie łatwiejsze. Obserwacja żużli rutylowych wskazuje zarówno na ich wyższą temperaturę mięknięcia, jak i topienia w porównaniu do żużli zasadowych. Żużel z drutu proszkowego FCW charakteryzuje się najwyższą temperaturą mięknięcia i topienia oraz stosunkowo małym zakresem temperaturowym pomiędzy nimi.

Wnioski

- Spawanie z użyciem zasadowej elektrody otulonej BO prowadzi do powstania żużla wzbogaconego w fazę amorficzną, która będzie znacznie wpływać na technikę spawania. Zwiększona lepkość amorficznej fazy krzemianowej powoduje lepszą przyczepność ciekłego żużla do jeziorka spawalniczego, co ułatwia spawanie w trudnych pozycjach, przy tych samych parametrach spawania, bez wypływania żużla oraz zwisania jeziorka spawalniczego.
- Ze względu na wyższą temperaturę topienia żużli elektrod rutylowych możliwe jest zastosowanie techniki z wydłużonym łukiem spawania, co ułatwia spawanie w trudnych pozycjach. Jednakże wysoka temperatura krzepnięcia żużla rutylowego może spowodować uwieszenie gazów wewnątrz spoiny, co powoduje zwiększenie porowatości i niższą jakość spoiny.
- Żużel powstały w procesie spawania drutem proszkowym FCAW wykazuje najwyższą temperaturę mięknięcia i topienia oraz niski zakres temperatur pomiędzy nimi, co powoduje, że szybciej krzepnie, dzięki czemu spawanie w przymusowych pozycjach takich jak pułapowa i pionowa jest znacznie łatwiejsze.

Autorzy pragną podziękować firmie SPAW-PROJEKT z Krakowa za pomoc w przygotowaniu materiałów do badań

Kontakt:

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych

Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
http://kcimo.pl; ilona.jastrzebska@agh.edu.pl

56.

KONFERENCJA SPAWALNICZA

SPAWALNICTWO
zawsze można więcej



14-16.10.2014; Sosnowiec