

Analiza struktury i składu chemicznego połączeń spawanych: płyta trudnościeralna – stal konstrukcyjna

The structure and chemical composition of joint of abrasion-resisting plate and construction steel analysis

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę strukturalną i składu chemicznego połączenia spawanego płyty trudnościeralnej ze stalą konstrukcyjną S235JR wykonanego metodą MAG drutem litym G3Si1 o średnicy 1,2 mm w osłonie mieszanki aktywnej Arcal 21 (92% Ar + 8% CO₂). Przeprowadzone badania wizualne i penetracyjne, badania metalograficzne: makro- i mikroskopowe oraz mikroanaliza rentgenowska składu chemicznego i rozkładu pierwiastków stopowych w obszarze spoiny pozwoliły na określenie zmian struktury i towarzyszących im zmian składu chemicznego zachodzących w poszczególnych obszarach złącza spawanego. Badania dowiodły, że w wyniku spawania dochodzi do stopienia materiału warstwy odpornej na zużycie ściernie i przejścia węglików do spoiny oraz częściowego niejednorodnego wymieszania spawanych materiałów, co powoduje wzrost twardości w tym obszarze do 600 HV i może być przyczyną powstania pęknięć od strony lica spoiny. Badania nie wykazały obecności pęknięć w obszarze grani spoiny. Analizując wyniki badań, należy stwierdzić, że wykonane złącze spawane spełnia wymogi eksploatacyjne stawiane połączeniom tego typu.

Abstract

The article analyzes the structural and chemical composition of the abrasive-resistant plates with structural steel S235JR welded joints made by MAG G3Si1 solid wire with a diameter of 1.2 mm in the shielding active gas Arcal 21 (92% Ar + 8% CO₂). Visual and penetrant testing, metallographic examination: macro, micro and microscopic X-ray analysis of chemical composition and distribution of alloying elements in the weld area allowed us to identify structural changes and accompanying changes in chemical composition occurring in the various areas of the welded joints. Research shown that the abrasive-resistant layer is melted in the welding process. Moreover the carbide transition into the weld and the partial non-homogenous mixing of welded materials, which increases the hardness in this area up to 600 HV and may cause cracks on the face of the weld are obtained. The study does not reveal the cracks in the weld root. Analyzing the results of the study should be noted that the welded joint made meets the requirements of this type of connections.

Wstęp

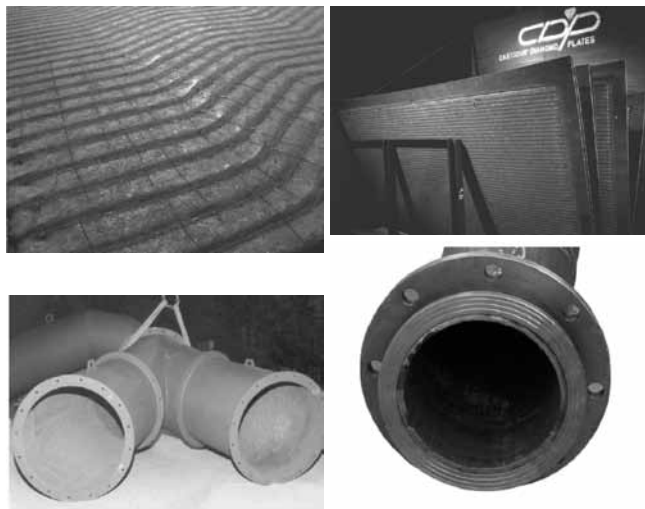
Poszukiwanie nowych grup materiałów pozwalających na intensywną eksploatację części maszyn i urządzeń w wydłużonym okresie wydaje się bardzo pożądane, uwzględniając przy tym aspekt ekonomiczny. Postęp we wprowadzaniu nowych rozwiązań materiałowych musi być jednak poprzedzony staranną

i wnikliwą analizą. Dotyczy to także implementacji nowej grupy materiałów odpornych na ścieranie w postaci płyt, blach oraz rur. Ta grupa materiałów stanowi nową generację materiałów odpornych na ścieranie, która dzięki szczególnym właściwościom uzyskanym w drodze złożonego procesu produkcyjnego znalazła zastosowanie w przemyśle hutniczym, górniczym, motoryzacyjnym, odlewniczym, wydobywczym kruszywa, utylizacji odpadów, a także w wytwarzaniu, eksploatacji części maszyn i urządzeń pracujących w ciężkich warunkach. Płyty odporne na zużycie ściernie odznaczają się dobrą spawalnością, udarnością, z powodzeniem nadają się do obróbki plastycznej i mechanicznej, dzięki wysokiej czystości metalurgicznej. Umożliwia to

Dr inż. Jacek Górka, dr inż. Marcin Adamiak –
Politechnika Śląska, **inż. Ewa Darda –** FILTROPOL
Brzezinka

połączenie wysokiej twardości z dużą odpornością na działanie dynamicznych obciążeń mechanicznych. Płyty oraz blachy trudnościeralne mogą być w niektórych przypadkach stosowane jako płyty przenoszące obciążenia. Dzięki zastosowaniu płyt trudnościeralnych na elementy pracujące w warunkach intensywnego zużycia ściernego uzyskuje się znaczne oszczędności materiałowe oraz ekonomiczne, wynikające z redukcji kosztów produkcji na skutek ograniczenia postojów maszyn i urządzeń wynikających z mniejszej częstotliwości wymiany zużytych części. Możliwości użycia tego typu materiałów są znaczne i jeszcze nie do końca poznane. W najbliższym czasie może nastąpić wzrost ich zastosowań związany z dokładniejszym poznaniem ich właściwości i cech użytkowych.

Płyty trudnościeralne to warstwowe wykładziny łączące w sobie łatwość montażu i wysoką odporność na zużycie ściernie oraz erozję. Wykonuje się je przez pokrycie łatwo spawalnej blachy nośnej odporną na zużycie warstwą stopową lub cermetową. Stosuje się dwie metody uzyskiwania trwałych powłok – napawanie łukowe i dyfuzyjne wiązanie proszków cermetowych w piecu próżniowym. Niezależnie od sposobu wytwarzania, płyty trudnościeralne odznaczają się wysoką jakością wykonania, stałą na całej powierzchni arkusza i identyczną na poszczególnych arkuszach tego samego typu (rys. 1). Wyjątkową odporność na zużycie ściernie płyt uzyskuje się dzięki obecności w wierzchniej warstwie twardych, złożonych faz węglkowych (1500÷3000 HV), 2÷3 razy przewyższających twardość najczęściej spotykanych ścierniw. Istotnym czynnikiem poprawiającym trwałość warstw odpornych na ścieranie jest uporządkowane rozmieszczenie twardych faz. Możliwość kontroli procesu napawania oraz krystalizacji warstw napawanych sprawia, że ich struktura, niezależnie od składu chemicznego i twardości zastosowanych faz, dodatkowo wpływa na zwiększenie trwałości. Płyty te mogą być cięte plazmowo pod warstwą wody, gięte i łączone, tworząc fragmenty



Rys. 1. Przykłady elementów konstrukcyjnych odpornych na zużycie ściernie

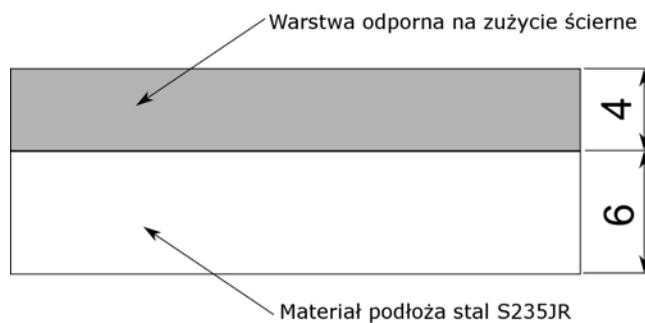
Fig. 1. The samples of abrasive resistant construction elements

wykładzin lub części urządzeń odpornych na zużycie ściernie. Płyty trudnościeralne mogą być stosowane nie tylko jako płaskie fragmenty zabezpieczające powierzchnie narażone na silne zużycie, ale dzięki dobrej spawalności warstwy podkładowej oraz możliwości gięcia do średnicy 400 mm mogą być z nich tworzone złożone konstrukcje [1÷7].

Badania własne

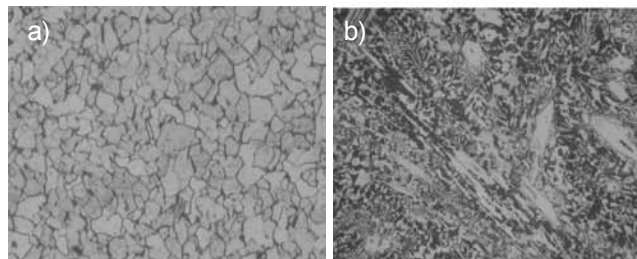
Coraz częściej w przemyśle cementowym, przy wytwarzaniu wszelkiego rodzaju kruszyw, niektóre elementy zbiorników, rynien zsypanych narażonych na intensywne ścieranie, wykonuje się z nowych materiałów o zwiększonej odporności na zużycie ściernie. Wykorzystywanie elementów tego typu wymusza konieczność opracowania technologii spawania elementu wykonanego ze stali konstrukcyjnych o dobrej spawalności z elementem, którego spawalność jest silnie ograniczona składem chemicznym (wysoki równoważnik węgla). Podczas spawania dochodzi do wymieszania składników stopowych stali konstrukcyjnej ze składnikami warstwy o zwiększonej odporności na ścieranie, co powoduje znaczne zmiany struktury i składu chemicznego w obszarze spoiny.

Celem wykonywanych badań była analiza struktury i składu chemicznego złącza spawanego metodą MAG płyty trudnościeralnej i stali konstrukcyjnej niestopowej. Badaniom poddano złącze próbne: płyta trudnościeralna (rys. 2, 3, tabl. I) – stal konstrukcyjna niestopowa S235JR (tabl. II).



Rys. 2. Budowa płyty trudnościeralnej

Fig. 2. The structure of abrasive-resistant plate



Rys. 3. Mikrostruktura płyty trudnościeralnej: a) materiał podłoża: struktura ferrytyczno-perlityczna, b) warstwa odporna na zużycie ściernie: struktura żeliwa chromowego

Fig. 3. The abrasive-resistant plate microstructure: a) base material: ferritic-perlitic structure, b) abrasive-resistant layer: chromium cast iron structure

Tablica I. Skład chemiczny warstwy odpornej na zużycie ścierne płyty trudnościeralnej, %
Table I. The chemical composition of abrasive-resistant layer of abrasive-resistant plate, %

C	Cr	Nb	B	Fe
5,2	22	7	1,8	reszta

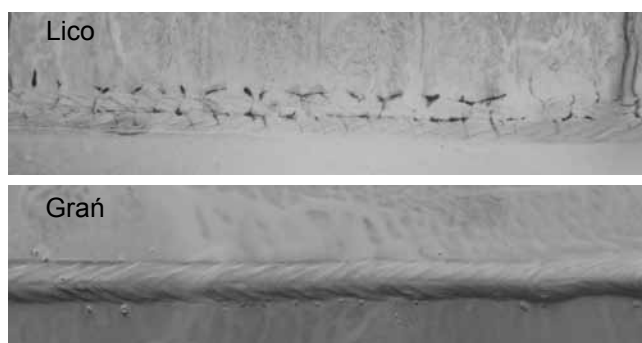
Tablica II. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne stali S235JR
Table II. The chemical composition and mechanical properties of S235JR steel

Skład chemiczny, %								
C _{max}	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	N
0,35	max 1,4	–	0,045		–	–	–	0,009
Właściwości mechaniczne								
Granica plastyczności R _{e min} , MPa			Wytrzymałość na rozciąganie R _m , MPa			Wydłużenie A _{5 min} , %		
235			340÷470			26		

Tablica III. Parametry spawania złącza próbnego płyta trudnościeralna - stal konstrukcyjna niestopowa
Table III. Welding parameters of abrasive-resistant plate-structural steel experimental joint

Ścieg	Metoda spawania	Wymiar spoiwa, mm	Natężenie, A	Napięcie V	Biegunowość i rodzaj prądu	Prędkość podawania drutu, m/min	Prędkość spawania, cm/min
1	135	ø1,2	200	21,5	DC +	0,4 – 0,6	90 – 100
2			200	22,5			

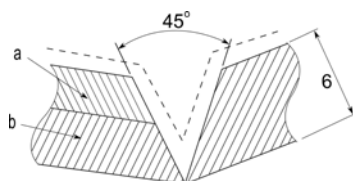
Podstawowe składniki chemiczne badanej płyty odpornej na zużycie ścierne to: chrom, niob i bor, zapewniające hipereutektyczną osnowę, w której koncentracja węglików chromu przekracza 45%. Średnia twardość warstwy odpornej na zużycie ścierne wynosi 68 HRC (twardość osnowy ok. 850 HV30, faz twardych 1500÷3000 HV). Temperatura pracy nie przekracza 250°C. Podłoże płyty trudnościeralnej stanowi stal konstrukcyjna niestopowa.



Rys. 6. Lico i grań spoiwy złącza próbnego po badaniach penetracyjnych
Fig. 6. Face and the root of the weld of experimental joint after penetration testing

Wykonanie złącza spawanego

W celu przeanalizowania zmian struktury i składu chemicznego w obszarze spawania wykonano złącze



Rys. 4. Schemat przygotowania złącza płyta trudnościeralna – stal konstrukcyjna niestopowa do spawania, a – napoina trudnościeralna, b – stal S235
Fig. 4. Abrasive-resistant plate – structural unalloyed steel joints preparation scheme for welding, a – abrasive-resistant plate, b – S235 steel

próbne metodą MAG drutem litym G3Si1 o średnicy 1,2 mm w osłonie mieszanki aktywnej Arcal 21 (92% Ar + 8% CO₂) (rys. 4, tabl. III).

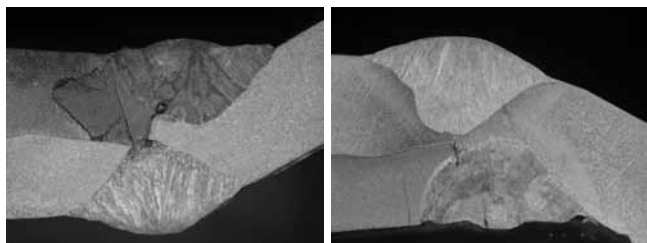
Przeprowadzone badania wizualne zgodnie z normą PN-EN 970:1999 oraz badania penetracyjne wg PN-EN 571-1 wykonanego złącza próbnego wykazały, że grań spoiwy jest wolna od pęknięć. W lico spoiwy można natomiast zaobserwować pęknięcia wychodzące na powierzchnię (rys. 5 i 6).



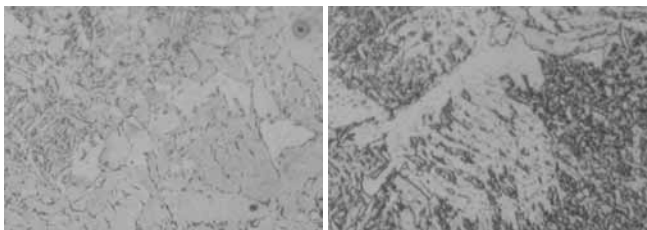
Rys. 5. Lico i grań spoiwy złącza próbnego
Fig. 5. Face and the root of the weld of experimental joint

Badania metalograficzne

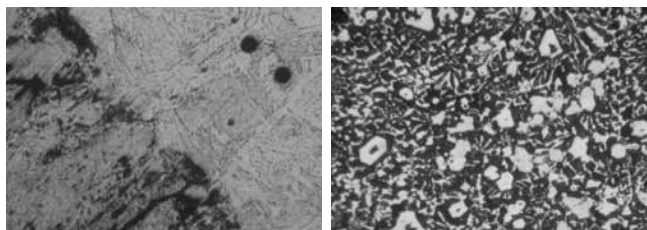
W celu określenia zmian strukturalnych w obszarze spawania przeprowadzono badania metalograficzne makro- i mikroskopowe wykonanych złączy spawanych. Badania metalograficzne makroskopowe wykonano na mikroskopie stereoskopowym Olympus SZX9 – do trawienia złącza użyto odczynnika Adlera. Badania metalograficzne mikroskopowe wykonano na mikroskopie świetlnym Olympus PME 3U – do trawienia złącza użyto odczynnika nital. Wyniki badań metalograficznych makroskopowych przedstawiono na rysunku 7, a badań mikroskopowych na rysunku 8.



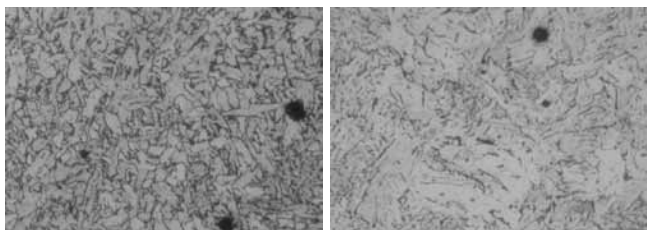
Rys. 7. Makrostruktura złącza spawanego płyta trudnościeralna - stal konstrukcyjna niestopowa, trawienie: odczynników Adlera, pow. 4x
Fig. 7. Macrostructure of the abrasive-resistant plate-structural unalloyed steel welded joint, etching: Adler, magn.: x4



Przejście materiał rodzimy – spoina od strony S235JR, rozrost ziarna
 Struktura spoiny, od strony stali S235JR



Koncentracja węglików, przejście materiał rodzimy – spoina od strony płyty trudnościeralnej
 Struktura żeliwa chromowego z wydzieleniem węglików, płyta trudnościeralna

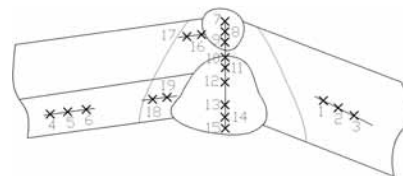


Struktura bainityczna, obszar spoiny
 Rozrost ziarna, SWC spoina – płyta trudnościeralna

Rys. 8. Mikrostruktura złącza spawanego płyta trudnościeralna - stal konstrukcyjna niestopowa
Fig. 8. Microstructure of abrasive-resistant plate-structural unalloyed steel welded joint

Pomiar twardości

W celu określenia wpływu spawania na właściwości spoiny i SWC złącza spawanego wykonano po-

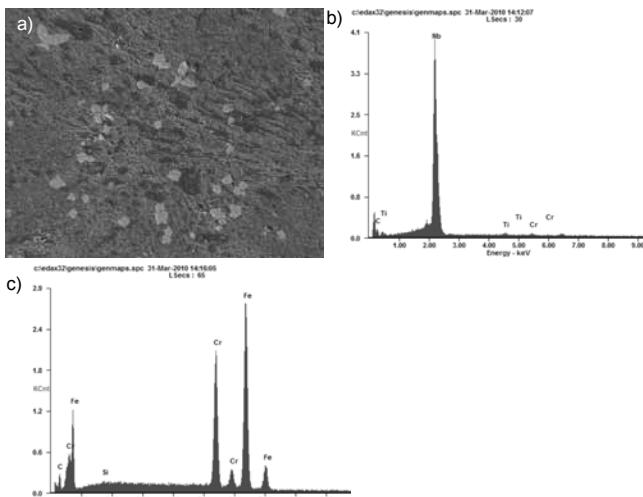


Rys. 9. Miejsca pomiaru twardości spawanego złącza płyta trudnościeralna-stal konstrukcyjna niestopowa
Fig. 9. The places of hardness testing of abrasive-resistant plate-structural unalloyed steel welded joint

miar twardości metodą Vickersa na twardościomierzu MICRO-VICKERS 401MVD firmy WILSON WOLPERT, przy obciążeniu 9,81 N. Czas obciążenia wynosił 15 s. Schemat pomiaru i wyniki pomiaru twardości przedstawiono na rysunku 9 i w tabelicy IV.

Analiza rentgenowska składu chemicznego

Skład chemiczny poszczególnych obszarów złącza spawanego oraz rozkładu pierwiastków stopowych w spoinie sprawdzono na mikroanalizatorze rentgenowskim EDS. Wyniki przedstawiono na rysunkach 10 i 11.

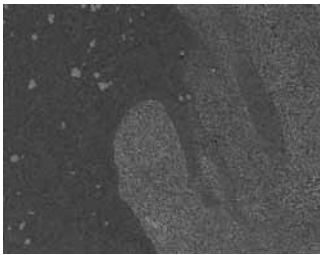


Rys. 10. Wyniki badań złączy spawanych płyta trudnościeralna-stal konstrukcyjna niestopowa, a) mikrostruktura badanej spoiny z widocznymi wydzieleniami węglików stopowych, b) wykres energii rozproszonego promieniowania rentgenowskiego wydzielenia węglikowego, c) wykres energii rozproszonego promieniowania rentgenowskiego materiału osnowy

Fig. 10. Results of tests of abrasive-resistant plate-structural unalloyed steel welded joint: a) microstructure of joint with separated alloying carbides, b) the energy X-ray scattering diagram for separated carbide, c) the energy X-ray scattering diagram for matrix material

Tablica IV. Wyniki pomiaru twardości HV1 złącza spawanego płyta trudnościeralna - stal konstrukcyjna niestopowa
Table IV. Results of hardness HV1 testing of abrasive-resistant plate-structural unalloyed steel welded joint

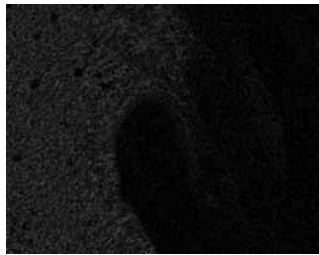
Twardość HV1 (wg rys. 9)										
Miejsce pomiaru	1	2	3	4	5	6	16	17	18	19
	warstwa napawana płyty trudnościeralnej			warstwa wierzchnia płyty trudnościeralnej			SWC podłoża płyty trudnościeralnej		SWC warstwy napawanej płyty trudnościeralnej	
HV1	116	119	121	797	784	820	146	127	860	580
Miejsce pomiaru	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	grań spoiny			środek spoiny			lico spoiny			
HV1	203	202	194	298	294	286	447	588	554	



Obraz obszaru wymieszania, SEM



Mapa rozkładu powierzchniowego żelaza



Mapa rozkładu powierzchniowego chromu



Mapa rozkładu powierzchniowego niobu

Rys. 11. Mikrostruktura obszaru wymieszania spoina - warstwa odporna na ścieranie oraz mapy rozkładu powierzchniowego pierwiastków stopowych
Fig. 11. Microstructure of weld - abrasive-resistant layer intermix area and alloying elements distribution maps

Podsumowanie

Badania wykazały, że nowa technologia spawania umożliwia poprawne wykonanie połączeń płyta trudnościeralna - stal konstrukcyjna niestopowa, jednak należy zwrócić szczególną uwagę na poprawne wykonanie warstwy przetopowej. z badań wynika, że od strony lica powstają pęknięcia w obszarze spoiny, a grań spoiny jest wolna od pęknięć. Przyczyną powstania pęknięć jest wymieszanie się stopiwa z materiałem płyty trudnościeralnej, wskutek czego w górnym obszarze spoiny dochodzi do powstawania struktur hartowniczych o wysokiej twardości dochodzącej nawet do 600 HV. Przeprowadzone badania makro- i mikroskopowe wykazały, że pęknięcia powstałe w obszarze lica spoiny nie przechodzą do grani spoiny ani do materiału podłoża płyty trudnościeralnej. W związku z tym nie będą one miały negatywnego wpływu na właściwości eksploatacyjne wykonanych elementów spawanych. Z powodu niejednorodności składu chemicznego spawanego złącza, można w nim zaobserwować trzy strefy. Lico spoiny ma strukturę martenzytyczną z licznymi wydzieleniami węglików o twardości

dochodzącej do 600 HV. W licu można zaobserwować liczne pęknięcia, powstałe na skutek naprężeń i przemian fazowych w obszarze spawania. W środkowej części połączenia powstaje struktura bainityczna o twardości rzędu 300 HV. W tym obszarze widać pęknięcia, które następowały od strony lica spoiny. Obszar grani spoiny ma strukturę ferrytyczno-perlityczną o twardości dochodzącej do 200 HV i jest wolny od pęknięć. W wyniku spawania dochodzi do stopienia materiału warstwy odpornej na zużycie ściernie i przejścia węglików do spoiny oraz częściowego niejednorodnego wymieszania materiału. Badania na mikroanalizatorze rentgenowskim wykazały, że w obszarze spoiny można zaobserwować wydzielenia węglików niobu, natomiast chrom tworzy eutektyki węglikowe. Analiza rozkładu pierwiastków stopowych w spoinie potwierdziła wcześniejsze wyniki badań i wykazała nierównomierne rozmieszczenie niobu i chromu w obszarze spoiny.

Literatura

- [1] Klimpel A., Górka J., Czupryński A.: Comparison of chromium cast iron deposits of wear plates, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 18, Issue 1-2, September-October 2006, s. 387-390.
- [2] Klimpel A., Górka J.: Properties of chromium cast iron deposits SSA surfaced, *The 14th International Scientific Conference on Achievements in Mechanical and Materials Engineering AMME'2006*, Gliwice-Wisła. 16-18 maja 2006.
- [3] Francis J.A.: Prediction of steady state dilution in multipass hardfacing overlays deposited by self shielded FCAW, *Science and Technology of Welding*, nr 2/02.
- [4] Castolin Eutectic, Catalogue, CastoDur Diamond Plates, CastoTubes.
- [5] Sapate S.G., Rama Rao A.V.: Effect of carbide fraction on erosive wear behaviour of hardfacing cast irons, *Wear*, nr 256, 2004.
- [6] Stevenson A.N.J., Hutchings I.M.: Wear of hardfacing white cast irons by solid particle erosion, *Wear*, 186-187, 1995.
- [7] Kasuya T., Hashiba Y., Ohkita S., Fuji M.: Hydrogen distribution in multipass submerged arc weld metals, *Science and Technology of Welding and Joining*, nr 4/2001.