

Tomasz WĘGRZYN, Michał MIROS, Damian HADRYŚ

## **SPAWANIE POWYPADKOWYCH RAM SAMOCHODÓW CIĘŻAROWYCH ELEKTRODAMI OTULANYMI Z DODATKIEM MOLIBDENU**

**Streszczenie.** Artykuł został napisany w ramach wydziałowego programu badawczego „Naprawa i regeneracja powypadkowych części samochodowych” BK-295-RT1-2008 (projekt badawczy w Politechnice Śląskiej, Wydział Transportu). W opracowaniu tym przeanalizowano właściwości plastyczne złącza spawanego znajdującego się w ramie pojazdu ciężarowego. Standardowymi elektrodami zasadowymi oraz elektrodami zasadowymi z dodatkiem molibdenu wykonano złącza, z których wycięto próbki o kształcie próbek udarnościoowych. Próbki zostały odkształcone obciążeniem statycznym i dynamicznym, a następnie wyprostowane do kształtu początkowego, następnie został na próbkach nacięty karb. Tak przygotowane próbki zostały poddane próbie udarności. Przeanalizowano również charakter przełomów badanych stopiw oraz struktury metalograficzne. Na podstawie wyników badań powiązano własności mechaniczne spawanych ram samochodowych z bezpieczeństwem biernym pojazdów.

## **POST ACCIDENTS TRUCK FRAMES WELDING WITH BASIC COATED ELECTRODES WITH ADDITION OF MOLYBDENUM**

**Summary.** Plastic properties of welded joint in frame of truck was analyzed. Joints were made by standard basic electrodes and laboratory electrodes with an addition of molybdenum. Toughness samples were cut out from prepared joints. Toughness samples were bent with static and dynamic loading. Furthermore samples were straightened to primary shape. The samples prepared in this way were tested by impact toughness test. Moreover the character of breakthrough and metallography structure of tested joints was analyzed. The results of investigations allowed to join mechanic properties and passive safety of vehicles.

### **1. WPROWADZENIE**

Za pomocą spawania naprawiane są pęknięcia ram pojazdów powstałe w wyniku zderzenia lub wynikające ze zmęczenia materiału na skutek intensywnej eksploatacji pojazdu [1]. Spawanie wykorzystywane jest również w procesach przystosowania ram pojazdów ciężarowych do potrzeb indywidualnych użytkowników. Z wykorzystaniem procesu spawania montowane są na ramach pojazdów różnego rodzaju elementy, służące np. do mocowania agregatów, zbiorników itp. Spawanie wykorzystywane jest również podczas bardzo odpowiedzialnych zabiegów mających na celu zwiększenie długości ramy pojazdu np. dla potrzeb budowy samochodu-lawety [2, 3]. Złącza tak odpowiedzialne bezwzględnie powinny być wykonywane zgodnie z instrukcjami montażowymi.

W trakcie eksploatacji pojazdu mogą się pojawić obciążenia zarówno o charakterze statycznym, jak i dynamicznym. Mogą one być na tyle duże, że będą powodowały odkształcenie trwale spawanej ramy [4, 5]. Odkształcenie takie może być naprawiane poprzez statyczne prostowanie [2-4]. Odkształconą ramę naczepy samochodowej przed naprawą poprzez statyczne prostowanie przedstawiono na rysunku 1. W skrajnych przypadkach odkształcenia mogą być na tyle duże, iż wykluczają dalszą eksploatację pojazdu.



Rys. 1. Odkształcenie ramy naczepy samochodowej [5]

Fig. 1. Deformation of trucks semitrailer [5]

Podczas naprawy ramy przez statyczne prostowanie odkształcane są zarówno jej elementy konstrukcyjne, jak i połączenia spawane.

W warunkach warsztatowych ważną metodą napraw ram jest spawanie elektrodami otulonymi [6, 7]. Najlepsze właściwości plastyczne stopiw otrzymanych przy użyciu elektrod otulonych gwarantują zasadowe elektrody, w stopiwie których znajduje się stosunkowo niewielka ilość tlenu (poniżej 400 ppm) [8-10]. Z tego też względu spawanie zasadowymi elektrodami otulonymi sklasyfikowane zostało jako proces niskotlenowy [11]. Spawanie takimi elektrodami nie gwarantuje wysokiej udarności stopiwa w niskiej temperaturze, w której również eksploatowane są pojazdy. Z tego też względu postanowiono przeanalizować wpływ dodatku molibdenu do otuliny elektrod zasadowych na udarność złącza. Dodatkowo przeanalizowano strukturę stopiwa, zwłaszcza ilość drobnoziarnistego ferrytu AF (acicular ferrite), którego zawartość jest powiązana z udarnością stalowego stopiwa niskostopowego i niskowęglowego [8, 9, 11].

## 2. CZĘŚĆ BADAWCZA

Celem badań było określenie właściwości plastycznych złączy spawanych ram pojazdów ciężarowych, naprawianych po trwałych odkształceniach. Do wykonania badanych złączy zastosowano spawanie zasadowymi elektrodami otulonymi EB 1.50 oraz elektrodami wykonanymi laboratoryjnie z dodatkiem Mo. Do otuliny elektrod wprowadzono do 1% żelazomolibdenu, co pozwoliło uzyskać w stopiwie do 0,5% molibdenu. Podczas spawania zastosowano prąd o natężeniu 140 A. Średnica elektrod wynosiła 4 mm. Do wykonania modelowych złączy spawanych wykorzystana została stal 18G2 (S355J2G3 wg EN), powszechnie stosowana jako materiał do produkcji ram pojazdów ciężarowych. Skład stopiwa badanych elektrod otulonych został przedstawiony w tabelicy 1.

Tablica 1

## Skład chemiczny stopiwa elektrod

| Skład chemiczny stopiwa elektrod EB 1.50               |       |       |          |          |        |       |
|--|-------|-------|----------|----------|--------|-------|
| C, %   | Mn, % | Si, % | P max, % | S max, % | O, ppm | Mo, % |
| 0,08   | 0,8   | 0,41  | 0,018    | 0,017    | 450    | -     |
| Skład chemiczny stopiwa elektrod z dodatkiem molibdenu |       |       |          |          |        |       |
| C, %   | Mn, % | Si, % | P max, % | S max, % | O, ppm | Mo, % |
| 0,07   | 0,87  | 0,38  | 0,016    | 0,019    | 370    | 0,53% |

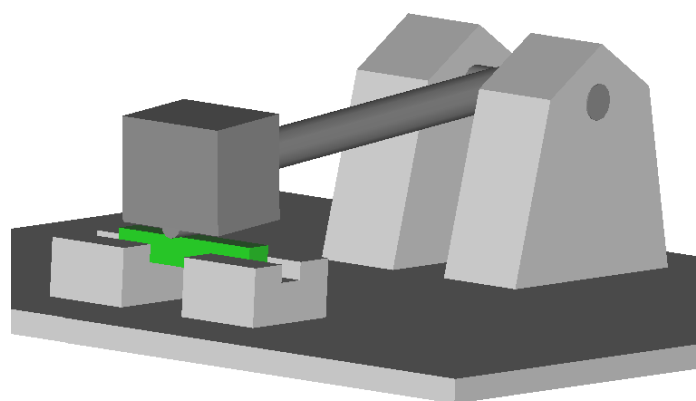
Z przygotowanego stopiwa wykonano próbki przeznaczone do odkształcania (o wymiarze próbek udarnościoowych, lecz bez naciętych karbów). Próbki podzielone zostały na trzy grupy: do odkształcania statycznego, dynamicznego i próbki nieodkształcone (tabl. 2).

Tablica 2

## Podział próbek użytych do badań

| Grupa | Charakter odkształcania próbek: |
|-------|---------------------------------|
| I     | statyczny                       |
| II    | dynamiczny                      |
| III   | bez odkształceń                 |

Odształcenie obciążeniem statycznym realizowane było z użyciem prasy śrubowej. Natomiast obciążenie dynamiczne realizowane było z użyciem specjalnie wykonanego urządzenia. Na przygotowaną próbkę spuszczały ciężarek o masie 9 kg z wysokości 0,4 m, powodując odkształcenie próbki. Schemat urządzenia do realizacji obciążenia dynamicznego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Sposób realizacji obciążenia dynamicznego  
Fig. 2. The way of realize dynamic burden

Proces odkształcania próbek zarówno obciążanych statycznie, jak i dynamicznie powodował uzyskanie strzałki ugięcia do około 3 mm (30% grubości próbki udarnościoowej). Odształcone próbki zostały poddane statycznemu prostowaniu, realizowanemu na prasie śrubowej. Proces ten symulował naprawę złącza w ramie pojazdu. Następnie na próbkach wykonano karb zgodnie z wytycznymi podanymi w normie PN-87/M-69772. Karb na

próbkach, które były odkształcone, nacinano na tej stronie, która była rozciągana podczas obciążania wstępnego. W celu odtworzenia rzeczywistych warunków eksploatacji pojazdu przeprowadzono badania udarności w temperaturze  $+20^{\circ}\text{C}$  oraz  $-40^{\circ}\text{C}$ . Badania przeprowadzone zostały zgodnie z normami PN-EN 10045-1 oraz PN-79/H-04371. Energie łamania stopiw wykonanych elektrodą zasadową EB 1.50 przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Energia łamania stopiw wykonanych elektrodą zasadową EB 1.50

| Rodzaj obciążenia wstępnego                  | Energia łamania <sup>1)</sup> , J |                               |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|
|  | W temp. $+20^{\circ}\text{C}$     | W temp. $-40^{\circ}\text{C}$ |
| Stopiwo nieodkształcone                      | 208                               | poniżej 30                    |
| Stopiwo odkształcone obciążeniem dynamicznym | 190                               | poniżej 30                    |
| Stopiwo odkształcone obciążeniem statycznym  | 172                               | poniżej 30                    |

1) średnia z 3 pomiarów

Uzyskano zróżnicowane wyniki badań. Największą energią łamania charakteryzowało się stopiwo nieodkształcane wstępnie. Stopiwo wykonane elektrodą zasadową oraz odkształcone wstępnie obciążeniem dynamicznym wykazało niższą o około 5% energię łamania w stosunku do stopiwa nieodkształconego wstępnie. Natomiast stopiwo odkształcone wstępnie obciążeniem statycznym posiadało udarność niższą o około 15% od stopiwa nieodkształcanego. W przypadku stopiwa wykonanego elektrodą zasadową z dodatkiem molibdenu również stopiwo nieodkształcane miało największą energię łamania. Jednak wpływ wcześniejszego odkształcenia okazał się inny niż w przypadku stopiw wykonanych elektrodą zasadową bez dodatku molibdenu. Energie łamania stopiw wykonanych elektrodą zasadową z dodatkiem molibdenu przedstawiono w tablicy 4.

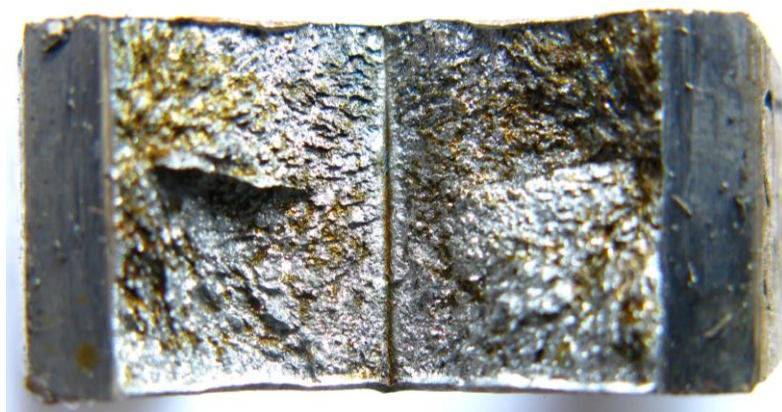
Tablica 4

Energia łamania stopiw wykonanych elektrodą zasadową z dodatkiem 0,53 % Mo

| Rodzaj obciążenia wstępnego                  | Energia łamania <sup>1)</sup> , J |                             |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|
|  | Temp. $+20^{\circ}\text{C}$       | Temp. $-40^{\circ}\text{C}$ |
| Stopiwo nieodkształcone                      | 192                               | 74                          |
| Stopiwo odkształcone obciążeniem dynamicznym | 161                               | 63                          |
| Stopiwo odkształcone obciążeniem statycznym  | 153                               | 48                          |

1) średnia z 3 pomiarów

W temperaturze dodatniej stopiwo wykonane elektrodą zasadową z dodatkiem molibdenu charakteryzowało się niższą energią łamania niż stopiwo wykonane elektrodą bez dodatku molibdenu. Natomiast w temperaturze ujemnej stopiwo takie posiadało energię łamania powyżej granicy bezpieczeństwa (47J). Dodatek molibdenu spowodował wyraźną poprawę udarności (zawsze powyżej 48 J) w niskiej temperaturze. W celu wyjaśnienia różnej energii łamania stopiw oraz różnego wpływ wstępnego odkształcenia na energię łamania stopiw przeprowadzono badania przelomów. Miały one charakter mieszany i ciągliwy. Przykład przelomu ciągliwego próbki wykonanej elektrodą zasadową z dodatkiem molibdenu oraz złamanej w temperaturze  $-40^{\circ}\text{C}$  przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przelom ciągliwy próbki wykonanej elektrodą zasadową z dodatkiem molibdenu, temp. łamania  $-40^{\circ}\text{C}$ , pow. x5

Fig. 3. Ductile breakthrough of metal weld deposit made with basic coated electrode with addition of molybdenum, temperature of Charpy test  $-40^{\circ}\text{C}$ , mag. x200

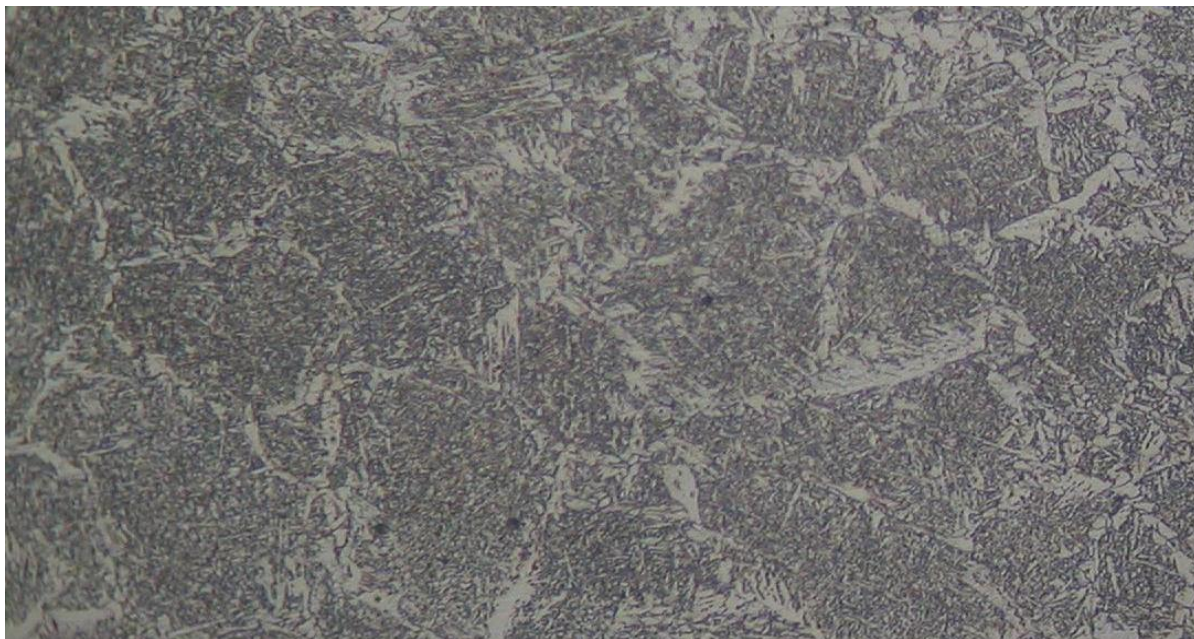
Dalszym etapem badań było przeanalizowanie struktury metalograficznej. Stwierdzono różnice strukturalne stopiw badanych elektrod. W strukturach próbek wykonanych elektrodą zasadową z dodatkiem molibdenu występowała większa ilość drobnoziarnistego ferrytu AF (*acicular ferrite*). Ilość drobnoziarnistego ferrytu AF jak również innych odmian morfologicznych ferrytu: GBF (*grain boundary ferrite*) oraz SPF (*side plate ferrite*) określano mikroskopią świetlną, stosując tzw. technikę „siatkową” zgodnie z wytycznymi Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa, podanymi w Dokumencie MIS-IX-1323-84 oraz z wykorzystaniem programu *Met-ilo*. Wyniki w obu zastosowanych metodach pomiarowych dawały podobne rezultaty. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabelicy 5.

Tabela 5

Struktura stopiwa elektrod zasadowych

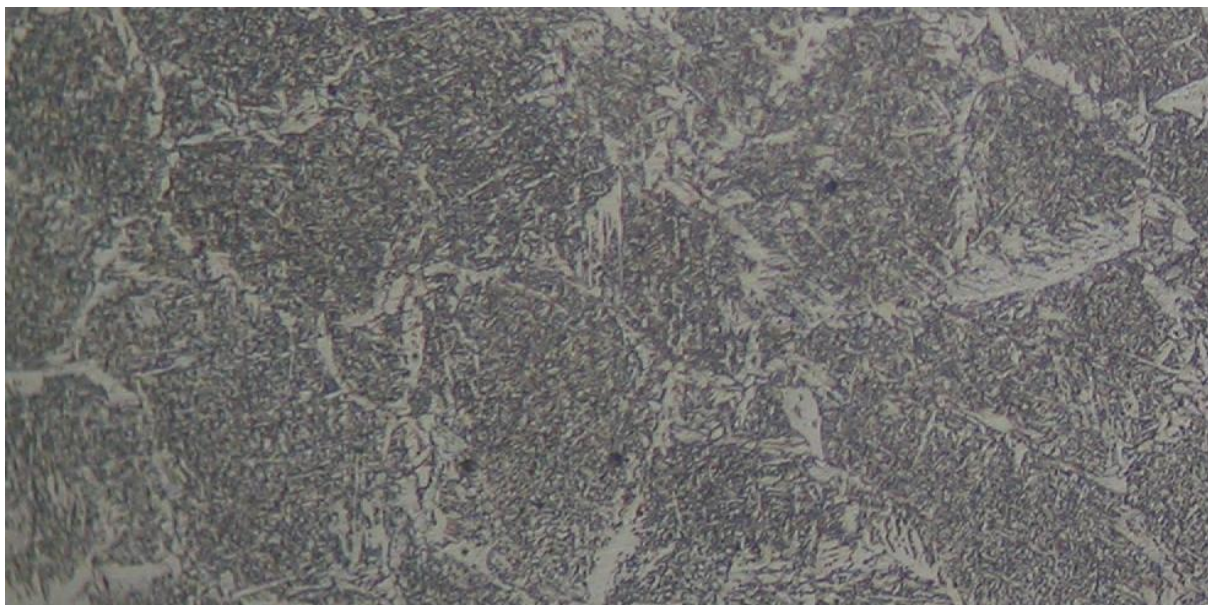
| Elektroda służąca do wykonania stopiwa | AF, % | GBF, % | SPF, % | Pozostałe fazy, głównie fazy MAC (martenzyt, austenit szczątkowy, węgliki), % |
|--|-------|--------|--------|---|
| EB 1.50                                | 55    | 30     | 10     | 5   |
| EB z dodatkiem molibdenu               | 60    | 20     | 15     | 5   |

Przykładowe struktury metalograficzne stopiw wykonanych elektrodą zasadową oraz elektrodą zasadową z dodatkiem molibdenu przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Struktura metalograficzna stopiwa wykonanego elektrodą EB 1.50. temp. łamania  $-40^{\circ}\text{C}$ , pow.  $\times 200$

Fig. 4. Metallographic structure of metal weld deposit made with basic coated electrode EB 1.50, temperature of Charpy test  $-40^{\circ}\text{C}$ , mag.  $\times 200$



Rys. 5. Struktura metalograficzna stopiwa wykonanego elektrodą z dodatkiem molibdenu, temp. łamania  $-40^{\circ}\text{C}$ , pow.  $\times 200$

Fig. 5. Metallographic structure of metal weld deposit made with basic coated electrode with addition of molybdenum, temperature of Charpy test  $-40^{\circ}\text{C}$ , mag.  $\times 200$

### 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Badania ukazały, iż dodatek molibdenu w stopiwie elektrod spowodował zwiększenie się ilości drobnoziarnistego ferrytu AF i SPF (rys. 5). Spowodowało to zdecydowanie lepszą udurowość w niskiej temperaturze. Ustalono również, że obecność i charakter odkształceń złącza ma wpływ na jego udurowość po przeprowadzonej naprawie, polegającej na prostowaniu. W każdym z analizowanych przypadków największą udurowością charakteryzowały się stopiwa nieodkształcane wstępnie.

Właściwości plastyczne spoin ram powypadkowych pojazdów wpływają silnie na poziom bezpieczeństwa biernego samochodów. Należy zatem poczynić wszelkie starania, aby zapewnić poprawne wykonanie tych spoin zarówno jeśli chodzi o dobór metody spawania, materiałów dodatkowych, jak i wykwalifikowanego personelu. Szczególnie ważne jest to podczas napraw i modyfikacji odpowiedzialnych elementów nośnych ramy pojazdu ciężarowego. Prawidłowo przeprowadzone prace spawalnicze w obrębie ramy są jednym z gwarantów bezpiecznego użytkowania pojazdu i odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa biernego.

#### 4. WNIOSKI

1. Charakter obciążenia, powodujący odkształcenie złącza spawanego znajdującego się w ramie pojazdu ciężarowego, ma wpływ na udarność złącza naprawionego poprzez statyczne prostowanie.
2. Największy spadek energii łamania zaobserwowano w przypadku badania stopiw odkształconych statycznie. Spadek energii łamania wynosił około 15%.
3. Większą udarnością od próbek odkształconych statycznie charakteryzowały się próbki odkształcone dynamicznie. W przypadku tych złączy udarność była mniejsza o około 5% w stosunku do złączy nieodkształconych.
4. Prawidłowo przeprowadzone prace spawalnicze w obrębie ramy są jednym z gwarantów odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa biernego.
5. W celu uzyskania lepszej udarności spawanego złącza w niskich temperaturach zaleca się wprowadzać ok. 0,5% Mo do stopiwa elektrod otulonych.

#### Bibliografia

1. Jacenko N.: Drgania, wytrzymałość i przyspieszone badania samochodów ciężarowych, WKiŁ, Warszawa 1975.
2. Dokument MAN: Truck technology Generation A (TG-A), pobrany z [http://www.manted.de/manted/aufbaurichtlinien/pdf/tga\\_pl.pdf](http://www.manted.de/manted/aufbaurichtlinien/pdf/tga_pl.pdf).
3. Dokument MAN: Modyfikacje podwozi, pobrany z [http://www.manted.de/manted/aufbaurichtlinien/pdf/modyfikacje\\_pl.pdf](http://www.manted.de/manted/aufbaurichtlinien/pdf/modyfikacje_pl.pdf).
4. Bańczak E.: Naprawa samochodów Nysa, WKiŁ, Warszawa 1969.
5. Informacje z dnia 12.06.2008 zawarte na stronie internetowej: [www.bgw.com.pl/content.php?mod=gal\\_show&page=0&lang=pl&dzial=1](http://www.bgw.com.pl/content.php?mod=gal_show&page=0&lang=pl&dzial=1).
6. Węgrzyn T., Hadryś D., Miros M.: Połączenia spawane wykonywane podczas napraw powypadkowych pojazdów samochodowych, Przegląd Spawalnictwa, nr 2/2008.
7. Węgrzyn T., Miros M.: Spawanie stalowych ram samochodów ciężarowych elektrodami otulonymi, Przegląd Spawalnictwa, nr 11/2007.
8. Miros M., Hadryś D.: Naprawa powypadkowych części samochodów osobowych i ciężarowych z wykorzystaniem metod spawalniczych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 61, Gliwice 2007.
9. Węgrzyn T., Miros M.: Inclusions In Steel Coated Electrodes Welds Of Car Body, Problemy Transportu, Tom 2, Zeszyt 4.
10. Węgrzyn T.: Classification of welding methods in terms of oxygen and nitrogen, Document of International Welding Institute, Portuguese Delegation, IIW-Commission XII: Arc Welding, Sub-Commission XII-1750-03, 2003.

11. Evans G. M.: The effect of micro-alloying elements on the microstructure and properties of ferritic all-weld metal deposits, IIW Doc II-A-855-92.
12. Węgrzyn T.: Tlen i azot w stalowym stopiwie wykonanym metodami łukowymi, Politechnika Warszawska 1999.

Recenzent: Dr hab. inż. Ryszard Walentyński, prof. nzw. w Pol. Śl.

*Praca wykonana w ramach BK-295/RT1/2008*