

WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE I PLASTYCZNE POŁĄCZEŃ TYPU ŻELIWO + MIEDŹ (85,0% CU) OTRZYMANYCH Z ZASTOSOWANIEM ZGRZEWANIA TARCIOWEGO

Grzegorz CISZEWSKI
Kraków – Polska

1. Wstęp

Otrzymanie połączenia żeliwa z miedzią o wysokich właściwościach wytrzymałościowych i plastycznych jest niewątpliwie wyzwaniem wobec koncepcji teoretyczno-eksperymentalnych, dotyczących technologii spawalniczych. Są to bowiem materiały o wyjątkowo zróżnicowanych właściwościach fizycznych. Najogólniej mówiąc, żeliwo jest stopem na bazie żelaza, a miedź należy do grupy metali nieżelaznych. Przykładem tego zróżnicowania może być temperatura topnienia, która dla żelaza wynosi 1536°C, dla miedzi 1083°C [1].

Technologie spawania tych materiałów, a szczególnie elektrody i pręty stosowane do spawania żeliwa oraz druty, przeznaczone do spawania miedzi w osłonach gazów ochronnych mają zdecydowanie różny skład chemiczny.

Do spawania żeliwa są stosowane materiały spawalnicze o składzie chemicznym zbliżonym do żeliwa (spawanie gazowe) lub materiały spawalnicze zawierające nikiel (spawanie łukowe). Miedź jest natomiast łączona z zastosowaniem materiałów spawalniczych, skład chemiczny których jest zbliżony do tego stopu [1]. Dlatego opracowanie elektrody lub drutu o takiej uniwersalności zastosowania, żeby z ich pomocą można było połączyć żeliwo z miedzią – uwzględniając otrzymanie wysokich właściwości wytrzymałościowych i plastycznych takiego połączenia – jest zadaniem niezwykle skomplikowanym.

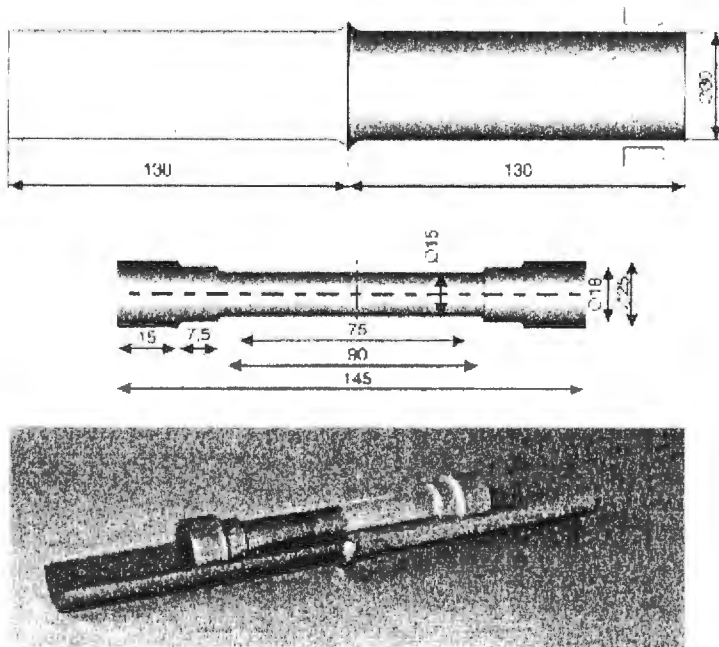
Rozwiązaniem powyższego dylematu może być zastosowanie technologii nie wymagającej użycia materiałów dodatkowych, którą jest na przykład zgrzewanie tarciove. W takim przypadku pojawi się jednak inny problem, a mianowicie ten, że otrzymanie jakościowego połączenia zgrzewanego tarciowo typu: żeliwo + miedź jest praktycznie niemożliwe. Zgrzewanie tarciove jest natomiast stosowane w praktyce przemysłowej do otrzymywania połączeń typu: miedź + miedź.

Oznacza to, że gdyby podczas zgrzewania tarciowego żeliwa z miedzią pośredniczyła warstwa miedzi, wówczas takie połączenie byłoby możliwe do wykonania.

Niniejszy artykuł uzasadnia powyższą tezę, prezentując jednocześnie nową koncepcję eksperymentalną, która pozwala na użycie zgrzewania tarcowego do otrzymywania połączeń żeliwa z miedzią możliwych do zastosowania w praktyce przemysłowej.

2. Metal podstawowy stosowany podczas realizacji badań

Do badań wybrano żeliwo perlityczne z grafitem sferoidalnym o wytrzymałości na rozciąganie (R_m) wynoszącej 721 N/mm^2 , granicy plastyczności ($R_{0,2}$) wynoszącej 474 N/mm^2 i wydłużeniu (A_5) równym $5,7\%$.



Rys. 1 Sposób określania właściwości wytrzymałościowych i plastycznych połączeń :

- wymiary próbek i schemat ich zamocowania w zgrzewarce,
- wymiary próbki wytrzymałościowej,
- model prezentujący wykonanie próbki wytrzymałościowej z połączonych próbek metalu podstawowego.

Fig. 1: Method of determining the mechanical and plastic properties of welded joints:

- dimensions of specimens and the technique of fixing them in a welding machine,
- dimensions of specimen tested for mechanical properties
- model presenting the specimens tested for mechanical properties produced from the joined specimens of base metal

Próbki miedziane wykonywano ze stopu, zawierającego 83,0-88,0% Cu; 9,5-11,0% Al, 1,0-2,0% Mn; 2,0-4,0% Fe. Wytrzymałość na rozciąganie tego stopu wynosi 668,0 N/mm², granica plastyczności osiąga poziom 287,5 N/mm², a wydłużenie jest równe 17,9%.

Z żeliwa perlitycznego z grafitem sferoidalnym oraz miedzi wykonywano wałki o średnicy 30 mm i długości 130 mm. Następnie wykonywano zaplanowane połączenia umieszczając zawsze we wrzecionie zgrzewarki wałek z żeliwa lub miedzi (rys. 1a). Do badań właściwości wytrzymałościowych i plastycznych stosowano próbki wytrzymałościowe, przedstawione na rys. 1b, wykonywane zgodnie z modelem, przedstawionym na rys. 1c. Wyniki badań wytrzymałościowych są w każdym przypadku wielkościami średnimi, wyliczonymi z 3 do 5 pomiarów.

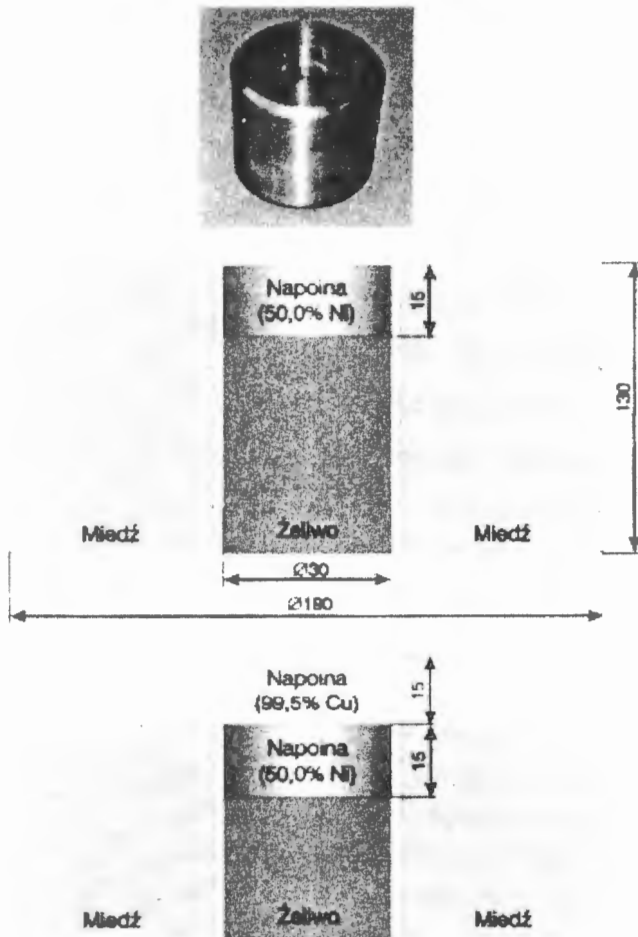
3. Sposób przygotowania wałków żeliwnych wykorzystywanych podczas zgrzewania tarcowego

Zgodnie z przytoczoną we wstępie tezą, w procesie zgrzewania tarcowego żeliwa z miedzią powinna pośredniczyć warstwa miedzi. Należy jednak podkreślić, że gdyby tą warstwą była napoina o składzie chemicznym miedzi, wykonana bezpośrednio na powierzchni czołowej wałka żeliwnego, to może ona w konsekwencji zaniżyć właściwości wytrzymałościowe i plastyczne połączenia. Napoina o składzie chemicznym miedzi posiada bowiem niską przyczepność do żeliwa z grafitem sferoidalnym. Wielkość ta, określana przez przyrząd siły niezbędnej do oderwania tej napoiny wynosi 143,4 N/mm² [2]. Zdecydowanie większą przyczepność do żeliwa z grafitem sferoidalnym posiada napoina zawierająca około 50,0% Ni, ponieważ siła niezbędna do jej oderwania wynosi 264,5 N/mm² [2].

Przedstawione wyniki pozwalają sposób przygotowania wałków żeliwnych podzielić na dwa etapy. W pierwszym z nich na powierzchniach czołowych wałków żeliwnych należy wykonać napoiny, zawierające około 50,0% Ni. Następnie na tych napoinach należy wykonać napoiny, zawierające miedź.

Każda z napoin posiadała średnicę 30 mm i grubość 15 mm. Dla osiągnięcia stałości tych wymiarów stosowano element miedziany o średnicy 190 mm, wysokości 130 mm, posiadający otwór o średnicy 33 mm (rys. 2a). Do otworu tego elementu wkładano wałek żeliwny o długości 115 mm, podgrzany do temperatury 800°C (rys. 2b). Powierzchnia wałka, na której układano napoinę znajdowała się 15 mm poniżej płaszczyzny miedzianego elementu. Tę różnicę w wysokości wałka i miedzianego elementu wypełniała napoina, wykonana ręcznie elektrodami prętowymi o przekroju 5 x 5 mm, zawierającymi około 50,0% Ni (prąd spawania - 200 A; „+” podłączony do elektrody prętowej).

Po wykonaniu napoin wałki wkładano do pieca, gdzie przebywały przez 2 godz. w temperaturze 800°C i stygły razem z piecem. Następnie długość wałka zmniejszono o 15 mm od strony przeciwnej wobec tej, na której wykonano napoinę i powtórnie wkładano do otworu elementu miedzianego (rys. 2c).



Rys. 2 Sposób przygotowania międzywarstw na wałkach żeliwnych:

- element miedziany,
- przekrój elementu miedzianego zawierający wałek żeliwny, na którym wykonano międzywarstwę w postaci napoiny, zawierającej 50,0% Ni,
- przekrój elementu miedzianego zawierający wałek żeliwny, na którym wykonano drugą międzywarstwę w postaci napoiny, zawierającej 99,5% Cu

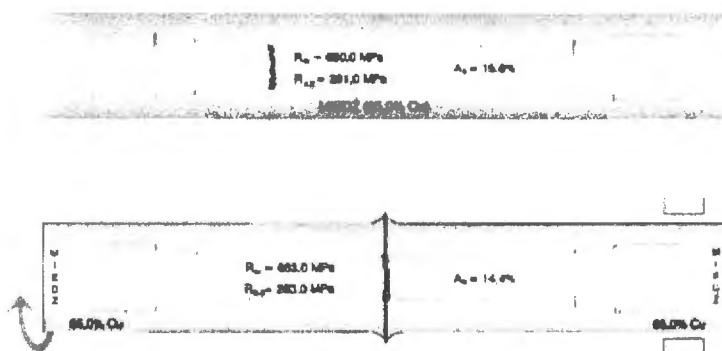
Fig. 2: Deposition of interlayers on cast iron rods

- copper element
- cross-section of copper element holding cast iron rod on which the first interlayer in the form of weld overlay containing 50.0% Ni was deposited,
- cross-section of copper element holding cast iron rod on which the second interlayer in the form of weld overlay containing 99.5% Cu was deposited

Na napoinach, zawierających 50,0% Ni wykonywano napoiny zawierające 99,5% Cu bez wstępnego podgrzania wałka (rys. 2 c). Napoiny wykonywano w osłonie argonu (TIG) stosując materiał spawalniczy w postaci drutu o średnicy 3,25 mm, zawierającego 99,0% Cu; 0,1-0,3% Si; 0,1-0,3% Mn (prąd stały, wynoszący 120-150 A).

4. Połączenia typu: miedź (85,0% Cu) + miedź (85,0% Cu)

Połączenia typu: miedź (85,0% Cu) + miedź (85,0% Cu) wykonywano przy następujących parametrach procesu zgrzewania: czas tarcia - 5 sek; jednostkowy docisk tarcia - 35,5 N/mm²; czas spęczania - 5 sek; jednostkowy docisk spęczania - 85,0 N/mm². Na rys. 3b przedstawiono wytrzymałość na rozciąganie połączenia, która wynosi 663,0 N/mm² i jest zbliżona do analogicznej wielkości metalu podstawowego, wynoszącej 680,0 N/mm² (rys. 3a). Podobnie granica plastyczności połączenia wynosi 283,0 N/mm² (rys. 3b) i jest zbliżona do granicy plastyczności metalu podstawowego, wynoszącej 291,0 N/mm² (rys. 3a). Wydłużenie połączenia wynosi 14,4% i jest mniejsze o 5,2% od wydłużenia metalu podstawowego, które wynosi 19,6% (rys. 3a).



Rys. 3 Właściwości wytrzymałościowe i plastyczne:

- metal podstawowego, zawierającego 85,0% Cu,
- połączenia typu: miedź (85,0% Cu) + miedź (85,0% Cu)

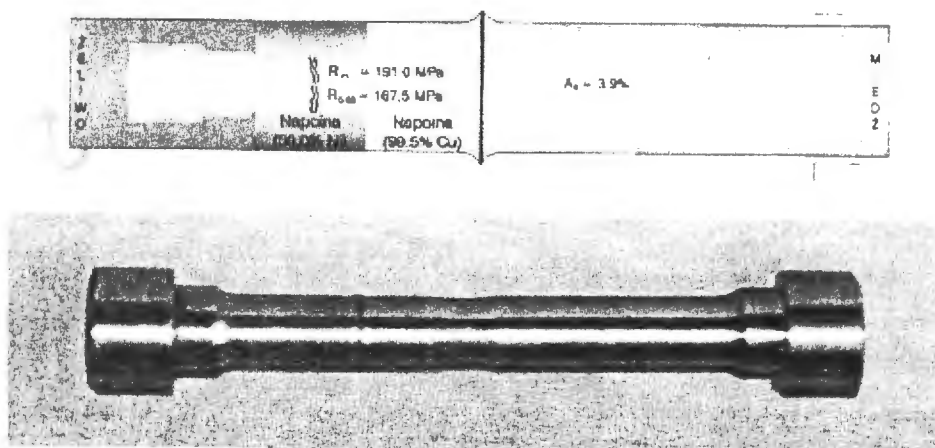
Fig. 3: Mechanical and plastic properties of:

- base metal containing 85.0% Cu
- welded joint of the type: (85.0% Cu) copper + (85.0% Cu) copper.

5. Połączenia typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina Cu) + miedź (85,0% Cu)

Połączenia typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina Cu) + miedź (85,0% Cu) wykonywano przy parametrach identycznych jak parametry dla połączeń typu: miedź (85,0% Cu) + miedź (85,0% Cu).

Wytrzymałość na rozciąganie połączenia wynosi 191,0 N/mm², granica sprężystości 167,5 N/mm², a wydłużenie 3,9% (rys. 4a). Miejsce pęknięcia większości próbek wytrzymałościowych, bez względu na typ połączeń, z których zostały wykonane, znajdowało się w płaszczyźnie zgrzewania (rys. 4b). W tym natomiast przypadku można było wyodrębnić próbki wytrzymałościowe, które pękały w strefie przejściowej pomiędzy żeliwem i napoiną, zawierającą około 50,0% Ni (rys. 4b).



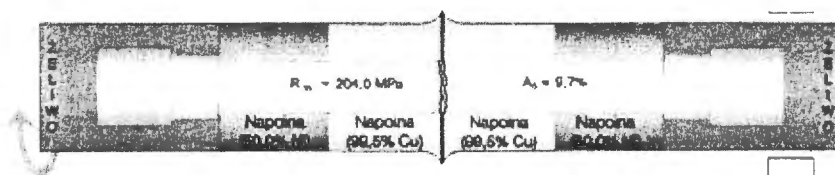
Rys. 4 Właściwości wytrzymałościowe i plastyczne połączenia typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina 99,5% Cu) + miedź (85,0% Cu) (a) oraz próbka wytrzymałościowa po jej rozerwaniu, wykonana z tego połączenia (b)

Fig. 4: Mechanical and plastic properties of a joint of the type: cast iron (50.0% Ni weld overlay + 99.5% Cu weld overlay) + copper (85,0% Cu) (a) and the fractured specimen made of this welded joint tested for mechanical properties (b).

6. Połączenia typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina Cu) + (napoina Cu + napoina 50,0% Ni) żeliwo

Połączenia typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina Cu) + (napoina Cu + napoina 50,0% Ni) żeliwo wykonywano przy parametrach identycznych jak parametry dla połączeń typu : miedź + miedź.

Wytrzymałość na rozciąganie wynosi $204,0 \text{ N/mm}^2$ (rys. 5) i jest największa spośród wytrzymałości na rozciąganie połączeń, w kształtowaniu się których pośredniczy warstwa miedzi. Wielkość ta przewyższa bowiem wytrzymałość na rozciąganie połączenia typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina Cu) + miedź o $13,0 \text{ N/mm}^2$ (rys. 4a).



Rys. 5 Właściwości wytrzymałościowe i plastyczne połączenia typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina 99,5% Cu) + (napoina 99,5% Cu + napoina 50,0% Ni) żeliwo.

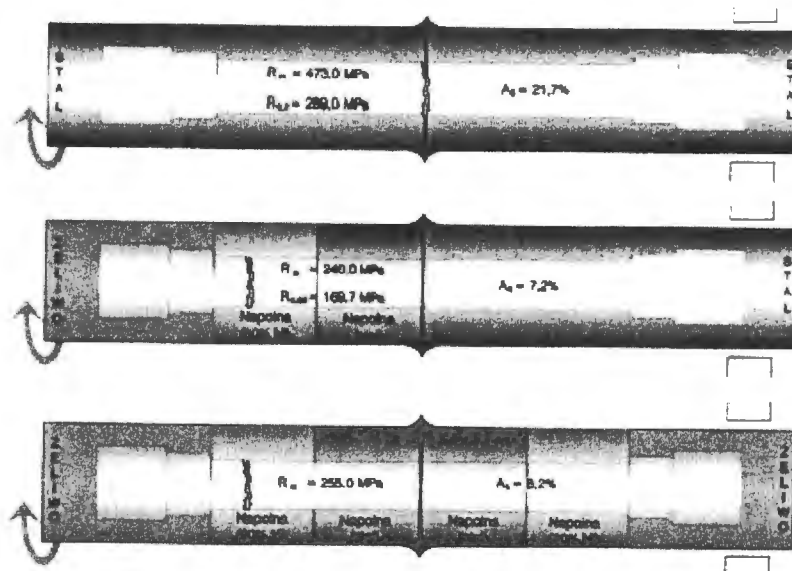
Fig. 5: Mechanical and plastic properties of a joint of the type: cast iron (50.0% Ni weld overlay + 99.5% Cu weld overlay) + (99.5% Cu weld overlay + 50.0% Ni weld overlay) cast iron.

Wydłużenie badanego połączenia wynosi 9,7% i również przewyższa analogiczną wielkość połączeń, w kształtowaniu się których pośredniczy warstwa miedzi o 5,8% (rys. 4a).

Interesująco przedstawia się porównanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia badanego połączenia do analogicznych charakterystyk połączenia typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina ze stali niestopowej) + (napoina ze stali niestopowej + napoina 50,0% Ni) żeliwo [3]. Wytrzymałość na rozciąganie dla pierwszego wariantu połączenia wynosi $204,0 \text{ N/mm}^2$ (rys. 5), a dla drugiego $255,0 \text{ N/mm}^2$ (rys. 6c), czyli jest mniejsza o $51,0 \text{ N/mm}^2$. Wydłużenie dla pierwszego wariantu połączenia wynosi 9,7% (rys. 5), a dla drugiego 8,2% (rys. 6c), czyli jest większe o 1,7%.

10. Wnioski

Połączenia otrzymywane z zastosowaniem zgrzewania tarcowego może charakteryzować znaczna różnorodność metalu podstawowego, podlegającego łączeniu. Pozwalają na to międzywarstwy, wykonane z zastosowaniem różnych technologii spawalniczych na powierzchniach, podlegających łączeniu. Zadaniem tych międzywarstw jest pośredniczenie w kształtowaniu się połączenia. Dzięki takim zabiegom można połączyć materiały, które na podstawie wstępnej oceny wydają się niemożliwe do połączenia, na przykład żeliwo i miedź.



Rys. 6: Wytrzymałość na rozciąganie (R_m), granica sprężystości ($R_{0,02}$), granica plastyczności ($R_{0,2}$) i wydłużenie (A_5) połączeń typu:

- stal + stal;
- żeliwo (napoina 50% Ni + napoina ze stali niestopowej) + stal;
- żeliwo (napoina 50% Ni + napoina ze stali niestopowej) + (napoina ze stali niestopowej + napoina 50% Ni) żeliwo.

Fig. 6: Tensile strength (R_m), proof stress ($R_{0,02}$), proof stress ($R_{0,2}$) and elongation (A_5) in welded joints of the type:

- steel + steel;
- cast iron (50% Ni weld overlay + unalloyed steel weld overlay) + steel;
- cast iron (50% Ni weld overlay + unalloyed steel weld overlay) + (unalloyed steel weld overlay + 50% Ni weld overlay) cast iron.

Na podstawie analizy wyników przyczepności napoin do żeliwa z grafitem sferoidalnym przyjęto, że otrzymanie jakościowych połączeń żeliwa z miedzią (85,0% Cu) wymaga wykonania dwóch międzywarstw na próbkach żeliwnych. Pierwsza z nich przedstawiała sobą napoinę zawierającą 50,0% Ni, którą wykonano łukowo ręcznie. Następnie na tej napoinie wykonano drugą warstwę, zawierającą około 99,5% Cu, stosując napawanie TIG w osłonie argonu. W wyniku takich zabiegów, w kształtowaniu się połączeń żeliwa z miedzią (85,0% Cu) pośredniczyła warstwa miedzi.

Wytrzymałość na rozciąganie połączeń typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina Cu) + miedź (85,0% Cu) wynosi 191,0 N/mm². Największą wytrzymałość na rozciąganie posiadało połączenie typu: żeliwo (napoina 50,0% Ni + napoina Cu) + (napoina Cu + napoina 50,0% Ni) żeliwo, ponieważ wielkość ta wynosiła 204,0 N/mm².

Wydłużenie połączeń żeliwa (napoina 50,0% Ni + napoina Cu) z miedzią (85,0% Cu) są równe 3,9%. Podobnie jak w przypadku wytrzymałości na rozciąganie, największe wydłużenie, wynoszące 9,7%, posiada połączenie żeliwa z żeliwem, w kształtowaniu się którego pośredniczą międzywarstwy w postaci napoin, zawierających 50,0% Ni oraz 99,5% Cu.

Otrzymane wyniki uzasadniają dalszy rozwój badań dotyczących międzywarstw pośredniczących w kształtowaniu się połączeń. Wyniki te pozwalają również rozpatrywać warianty połączeń żeliwa z miedzią (85,0% Cu) jako możliwe do zastosowania w praktyce przemysłowej.

Literatura

1. Ruge, I.: Handbuch der Schweisstechnik. Springer-Verlag, Berlin 1980.
2. Ciszewski, G.: Bindung zwischen Auftragschicht und Grundwerkstoff beim Kaltschweissen von Gusseisen - Theorie der Grafitperrschicht. Schweissen und Schneiden, 38 (1986), H. 3, s. 132/135.
3. Ciszewski G.: Nowa koncepcja eksperymentalna otrzymywania połączeń typu: żeliwo + żeliwo i żeliwo + stal z zastosowaniem zgrzewania tarcowego oraz właściwości wytrzymałościowe i plastyczne tych połączeń. Biuletyn Instytutu Odlewnictwa, 1999, t. 2, nr 2, s. 19.

Recenzował: dr hab. inż. Andrzej Ambroziak