38/10

Archives of Foundry,
Year 2003, Volume 3, № 10
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2003, Rocznik 3, Nr 10
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

PROSZKOWE NAPAWANIE PLAZMOWE ŻELIWA SFEROIDALNEGO JAKO SPOSÓB NAPRAWY WAD ODLEWNICZYCH

T. WRÓBEL[1], P. WRÓBEL[2], J. GAWROŃSKI[3]
Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska,
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań prowadzonych w celu dokonania oceny przydatności technologii ręcznego napawania plazmowego na zimno proszkiem na bazie niklu, do naprawy odlewów z żeliwa sferoidalnego. Naprawę elementów żeliwnych przeprowadza się w związku z koniecznością eliminowania wad odlewniczych obniżających stopień przydatności odlewów do zastosowań konstrukcyjnych oraz w celu ograniczenia kosztów wynikających z konieczności zastąpienia odlewu wadliwego odlewem nowym wolnym od wad. Technologia napawania plazmowego proszkowego pozwala przeprowadzić naprawę odlewu poprzez ułożenie w miejscach wystąpienia wad napoin o wysokiej jakości.

Key words: plasma-arc powder surfacing, ductile cast iron, casting defect

1. WPROWADZENIE

Żeliwo sferoidalne jest jednym z najpopularniejszych tworzyw konstrukcyjnych, charakteryzującym się dobrymi własnościami mechanicznymi, ciągliwością, łatwością nadawania kształtu przez odlewanie, odpornością na ścieranie oraz dobrą obrabialnością. Wymienione własności wynikają ze struktury żeliwa sferoidalnego, na którą składają się kulkowe wydzielenia grafitu oraz osnowa ferrytyczna, ferrytyczno-perlityczna, perlityczna, bainityczna lub martenzytyczna. Z

[1] *mgr inż., tomek_wrobel@gazeta.pl*
[2] *inż., sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl*
[3] *prof. zw. dr inż., sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl*

żeliwa sferoidalnego wykonuje się przede wszystkim odlewy dla przemysłu motoryzacyjnego, przemysłu maszyn rolniczych i innych, rury i kształtki oraz odlewy hutnicze [1, 2, 8, 9].

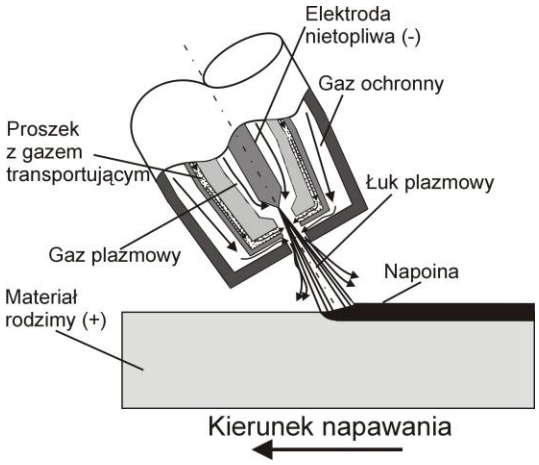
W końcowym etapie produkcji elementów żeliwnych występuje często konieczność stosowania technologii spawalniczych, między innymi procesu napawania, w celu usunięcia powierzchniowych wad odlewu obniżających jego stopień przydatności do zastosowań konstrukcyjnych. Aby ograniczyć koszty związane z koniecznością zastąpienia odlewu wadliwego odlewem nowym, proponuje się zastosowanie ręcznego procesu napawania plazmowego proszkowego na zimno (tj. bez podgrzewania wstępnego napawanego odlewu) do naprawy uszkodzonych odlewów z żeliwa sferoidalnego. Zysk z tytułu napawania naprawczego może być bardzo duży, a w przypadku elementów jednostkowych lub unikatowych wprost nieoceniony [5, 6].

Napawanie plazmowe polega na stapianiu w łuku plazmowym materiału dodatkowego w postaci proszku, pręta lub drutu, który wraz z nadtopionym metalem podłoża tworzy napoinę. Uzyskana napoina musi posiadać własności zapewniające trwałość w przewidywanych warunkach pracy o czym decyduje skład chemiczny oraz kształt, o którym decydują parametry procesu oraz technika napawania. Napawanie plazmowe może być prowadzone w sposób ręczny, półautomatyczny, automatyczny lub zrobotyzowany i charakteryzuje się bardzo wysoką koncentracją energii oraz dużą wydajnością i oszczędnym zużyciem materiału dodatkowego. Koncentracja energii na niewielkim obszarze zmniejsza także skutki cieplnego oddziaływania procesu na własności materiału rodzimego. Napawanie tą metodą umożliwia otrzymywanie powłok gładkich, zmniejszających koszty związane z zastosowaniem obróbki skrawaniem. Technologia napawania plazmowego znajduje zastosowanie przede wszystkim do nakładania na elementy maszyn warstw o szczególnych własnościach np. wysokiej twardości, odporności na ścieranie, erozję oraz korozję w warunkach atmosferycznych lub aktywnych chemicznie [3,4].

Najczęściej spotykaną techniką jest napawanie plazmowe proszkowe (rys.1), prowadzone prądem stałym stabilnym lub pulsującym. Zastosowanie układu wielkiej częstotliwości lub impulsu prądu stałego pozwala na zajarzenie w początkowym etapie procesu łuku plazmowego wewnętrznego, między wolframową elektrodą nietopliwą, spełniającą funkcję katody a anodą, której rolę pełni dysza plazmowa wykonana z materiału o dużej przewodności cieplnej, chłodzona intensywnie wodą. Łuk wewnętrzny jonizuje gaz plazmowy i umożliwia następnie zajarzenie zasilanego z innego źródła prądu łuku plazmowego głównego, który jarzy się między elektrodą wolframową a materiałem rodzimym, który pełni rolę anody. Po ustabilizowaniu się łuku plazmowego głównego, łuk wewnętrzny może być wygaszony lub w celu zwiększenia wydajności procesu utrzymywany przez cały czas napawania [1]. Materiał dodatkowy podawany jest w postaci proszku metalicznego, ceramicznego lub różnego rodzaju mieszanin proszków metalicznych i ceramicznych. W tej metodzie wykorzystuje się palniki plazmowe o łuku zależnym. Proszek może być zsypywany z zewnętrznego podajnika przed strumieniem łuku plazmowego, wdmuchiwany przy użyciu gazu transportującego w przestrzeń strumienia plazmy kanałami znajdującymi

się na zewnątrz dyszy plazmowej lub kanałem znajdującym się wewnątrz elektrody nietopliwej również przy użyciu gazu transportującego [3,6,7].

Gazem plazmowym może być argon, hel lub mieszanina argonu i helu – zalecana wówczas, gdy konieczne jest uzyskanie dużej energii łuku. Natomiast gazem ochronnym oraz gazem transportującym proszek może być czysty argon lub w celu zwiększenia mocy łuku plazmowego mieszanina argonu i 3÷15% wodoru.



Rys. 1. Schemat napawania plazmowego proszkowego łukiem zależnym
Fig. 1. Plasma-arc powder surfacing with dependent arc

Podstawowymi parametrami procesu napawania plazmowego proszkowego są: natężenie prądu łuku plazmowego, rodzaj i natężenie przepływu gazu plazmowego i ochronnego, prędkość napawania, szybkość podawania proszku oraz parametry wahadłowego ruchu palnika [3,7].

Celem badań jest dokonanie oceny przydatności technologii ręcznego napawania plazmowo proszkowego do naprawy wadliwych odlewów z żeliwa sferoidalnego.

2. BADANIA WŁASNE

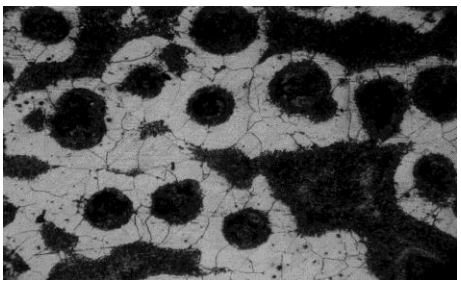
2.1. Materiał do badań

Badania przeprowadzono na odlewie z żeliwa sferoidalnego EN-GJS-500-7 o strukturze ferrytyczno-perlitycznej z grafitem sferoidalnym (rys.2). Skład chemiczny żeliwa podano w tablicy 1. Materiałem dodatkowym zastosowanym do napawania był

proszek EuTroLoy 16223 firmy Castolin zapewniający uzyskanie stopiwa o twardości 31÷34 HRC. Skład chemiczny proszku podano w tablicy 2.

Tablica 1. Skład chemiczny żeliwa sferoidalnego EN-GJS-500-7
Table 1. Chemical constitution of ductile cast iron EN-GJS-500-7

Skład chemiczny, % wag.							
C	**Mn**	**Si**	**P**	**S**	**Cr**	**Cu**	**Mg**
3,6	0,29	2,3	0,045	0,015	0,02	0,03	0,05



Rys. 2. Struktura ferrytyczno-perlityczna z grafitem sferoidalnym – pow.100x, traw.: nital
Fig. 2. Ferrite-pearlite structure with modular graphite

Tablica 2. Skład chemiczny proszku EuTroLoy 16223
Table 2. Chemical constitution of EuTroLoy 16223 powder

Skład chemiczny, % wag.					
C	**Cr**	**B**	**Si**	**Fe**	**Ni**
0,3	7	1,3	3,1	< 3	reszta

2.2. Metodyka badań

W ramach przygotowań do badań wykonano w odlewie przy użyciu obróbki skrawaniem otwory o średnicach 5, 10, 15, 20 i 30 mm i głębokości około 4 mm oraz rowki o wymiarach 50x5x2 mm i 30x30x7 mm (długość x szerokość x głębokość), symulujące wady odlewnicze. Proces napawania plazmowego proszkowego przeprowadzono przy użyciu urządzenia Eutronic Gap 200 firmy Castolin, z zastosowaniem argonu jako gazu plazmowego oraz mieszaniny argonu i 5% wodoru jako gazu ochronnego.

Przeprowadzone badania wstępne pozwoliły określić wpływ podstawowych parametrów procesu na kształt i jakość napoiny oraz ustalić optymalne parametry napawania wad. Natężenie prądu łuku plazmowego zmieniano w zakresie 40÷80A. Prędkość napawania zmieniano w zakresie 0,2÷1,1cm/s, natomiast szybkość podawania proszku w zakresie 0,1÷0,3kg/h.

Pomiary twardości uzyskanych napoin oraz materiału rodzimego wykonano stosując metodę Vickersa z zastosowaniem ultradźwiękowego twardościomierza MIC2 firmy „Krautkramer-Branson" przy obciążeniu 49 N.

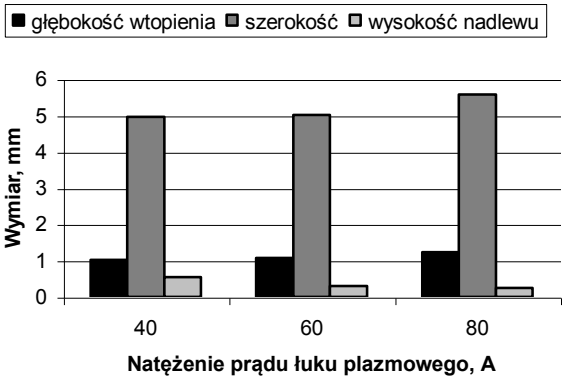
W celu określenia szerokości SWC w zależności od parametrów napawania, wyznaczono rozkład twardości na przekroju poprzecznym trawionych zgładów metalograficznych. Pomiary wykonano metoda Vickersa z zastosowaniem mirkrotwardościomierza D32 firmy „VEB Carl Zeiss Jena" przy obciążeniu 0,3924 N.

Badania metalograficzne wykonano na powierzchniach zgładów poprzecznych, trawionych nitalem w celu ujawnienia struktury SWC (strefa wpływu ciepła) i materiału rodzimego oraz trawionych $FeCl_3$ w celu ujawnienia struktury napoiny. Obserwacje metalograficzne prowadzono na mikroskopie świetlnym. Badanie struktury napoiny rozszerzono o rentgenowską analizę fazową jakościową.

Badania trybologiczne wykonano na maszynie typu Skoda-Savine i obejmowały pomiary zużycia przy tarciu ślizgowym granicznym - półsuchym wykonanych napoin oraz żeliwa sferoidalnego. Określenie zużycia przy tarciu półsuchym dokonano na podstawie wyliczonej średniej z trzech pomiarów długości oraz głębokości wytarcia w próbce, powstałego na skutek ruchu obrotowego przeciwpróbki w postaci krążka z węglików spiekanych o średnicy 30 mm i grubości 2,5 mm, dociskanego do próbki siłą 150 N. Czas pomiaru odpowiadał wykonaniu przez przeciwpróbkę 5000 obrotów.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Przeprowadzone badania wstępne pozwoliły stwierdzić, że wraz ze wzrostem natężenia prądu łuku plazmowego zwiększały się: głębokość wtopienia, szerokość napoiny oraz procentowy udział metalu podłoża w napoinie, natomiast zmniejszała się szerokość nadlewu napoiny (rys.3). Natomiast wraz ze wzrostem prędkości napawania zmniejszały się: głębokość wtopienia oraz szerokość napoiny. Duża prędkość podawania proszku przy stałych pozostałych parametrach, powodowała zwiększenie wysokości nadlewu napoiny. Optymalne parametry napawania wad ustalone na podstawie wyników badań wstępnych wynosiły: natężenie prądu łuku plazmowego 60A, natężenie przepływu gazu plazmowego 1,5 l/min, prędkość napawania około 1cm/s (dla wad o kształcie prostokątnym) oraz szybkość podawania proszku 0,3 kg/h.

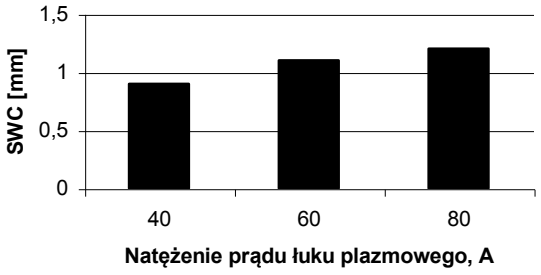


Rys. 3. Wpływ natężenia prądu łuku plazmowego na parametry geometryczne napoiny
Fig. 3. Influence of plasma-arc current intensity on padding weld geometry

Wpływ parametrów napawania na szerokość SWC przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Największa szerokość SWC wystąpiła przy napawaniu natężeniu prądu łuku plazmowego wynoszącym 80A. Przy natężeniu prądu łuku plazmowego 60A, największa szerokość SWC wystąpiła przy napawaniu z prędkością wynoszącą 0,2 cm/s

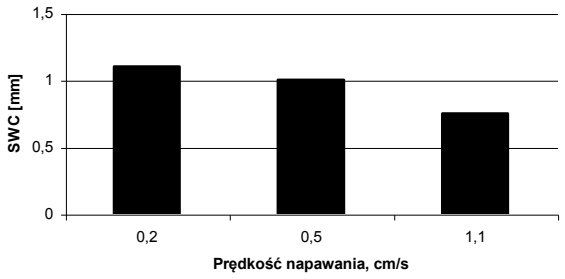
Tablica 3. Wyniki pomiarów twardości
Table 3. Results of Vickers hardness

Wymiary wady	**Twardość HV5**		
	Napoina	SWC	Materiał rodzimy
ϕ5	482	399	208
ϕ10	451	385	251
ϕ15	424	327	219
ϕ20	486	402	243
ϕ30	450	403	252
50x5x2	480	371	274
30x30x7	617	537	299

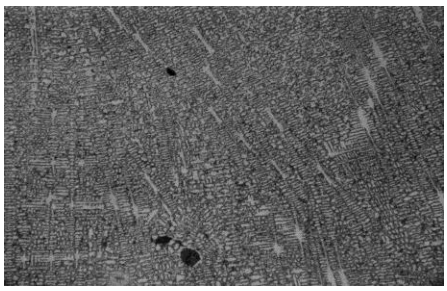


Rys. 4. Wpływ natężenia prądu łuku plazmowego na szerokość SWC
Fig. 4. Influence of plasma-arc current intensity on HAZ width

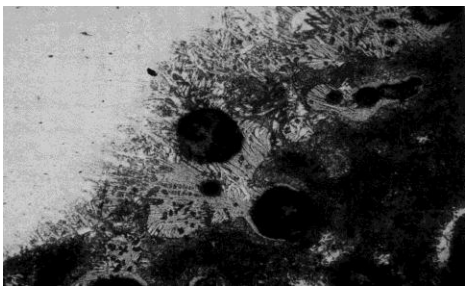
Na podstawie badań metalograficznych oraz badań twardości stwierdzono, że w napoinie wystąpiła austenityczna struktura dendrytyczna charakterystyczna dla stopów lanych z wydzieleniami węglików chromu i boru powodującymi uzyskanie twardości napoiny znacznie przewyższającej twardość materiału rodzimego (rys.6). Z kolei w obszarze linii wtopienia zaobserwowano wokół wydzieleń grafitu wystąpienie otoczki o strukturze zbliżonej do struktury żeliwa białego powodującej uzyskanie w tym obszarze największej twardości (rys.7). W SWC zaobserwowano utratę regularnego kształtu przez grafit oraz zwiększoną w stosunku do materiału rodzimego ilość perlitu i bainitu, powodujących zwiększenie twardości w stosunku do materiału rodzimego (rys.8). Największa twardość napoiny oraz SWC wystąpiła w przypadku wady o wymiarach 30x30x7 charakteryzującej się największą objętością, powodującą konieczność zastosowania napawania wielowarstwowego.



Rys. 5. Wpływ prędkości napawania na szerokość SWC
Fig. 5. Influence of surfacing speed on HAZ width

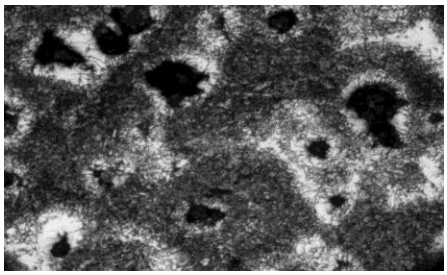


Rys. 6. Struktura dendrytyczna napoiny - pow.100x, traw. $FeCl_3$
Fig. 6. Dendritic structure of padding weld

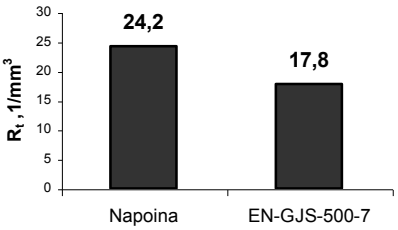


Rys. 7. Struktura obszaru wtopienia – utrata regularnego kształtu przez grafit, strefa zabielona o strukturze zbliżonej „do struktury żeliwa białego – pow.100x, traw. nital
Fig. 7. Structure of fusion area – irregular form of graphite, „white" structure in fusion line

Analiza wyników przeprowadzonych badań trybologicznych pozwala stwierdzić, że uzyskana technologią napawania plazmowego proszkiem na bazie niklu napoina posiada większą odporność na zużycie ścierne w stosunku do materiału rodzimego, którym było żeliwo sferoidalne (rys.9).



Rys. 8. Struktura hartowania w SWC – utrata regularnego kształtu przez grafit, zwiększona ilość perlitu w stosunku do struktury materiału rodzimego – pow.100x, traw. nital
Fig. 8. Hardening structure in HAZ – large quantity of pearlite



Rys. 9. Odporność na zużycie ścierne napoiny i żeliwa sferoidalnego EN-GJS-500-7
Fig. 9. Wear resistant of padding weld and ductile cast iron EN-GJS-500-7

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ręczne napawanie plazmowe z zastosowaniem jako materiału dodatkowego proszku na bazie niklu, pozwala skutecznie eliminować wady występujące w odlewach z żeliwa sferoidalnego, przywracając im odpowiedni stopień przydatności do zastosowań konstrukcyjnych. Napoiny ułożone w miejscach występowania wad charakteryzują się większą w stosunku do materiału rodzimego twardością oraz odpornością na zużycie ścierne. Ponadto przeprowadzone badania wykazały, że niedokładne oczyszczenie miejsca wycięcia wady może powodować występowanie w napoinie niezgodności spawalniczej typu pustka gazowa oraz że proces wycinania wad do „zdrowego" materiału powinien być prowadzony w taki sposób aby uniknąć tworzenia pionowych ścian bocznych wycięcia, utrudniających odpowiednie ich nadtopienie i w konsekwencji uzyskanie wadliwych napoin. Parametrem wywierającym największy wpływ na przebieg procesu jest natężenie prądu łuku plazmowego, którego wartość należy dobierać odpowiednio do pojemności cieplnej naprawianego odlewu. Zasadniczym problemem przy napawaniu wad o stosunkowo dużej objętości jest skłonność napoin do powstawania pęknięć. W celu uniknięcia powstawania pęknięć w napoinie należy wady o dużych objętościach napawać wielowarstwowo z odpowiednio długimi przerwami pomiędzy układaniem kolejnych warstw przeznaczonymi na ostygnięcie odlewu lub zastosować proszek tworzący stopiwo o mniejszej twardości.

Pomimo występowania tych trudności, metoda ręcznego napawania plazmowego proszkowego zastosowana do naprawy odlewów z żeliwa sferoidalnego jest opłacalna, gdyż pozwala znacznie ograniczyć koszty związane z koniecznością zastąpienia odlewu wadliwego odlewem nowym, a ułożone w miejscach wystąpienia wad napoiny charakteryzują się wysoka jakością.

LITERATURA

[1] Guzik E.: *Procesy uszlachetniania żeliwa - wybrane zagadnienia*, monografia, Wyd. PAN, Katowice 2001.

[2] Karsay S.: *Żeliwo sferoidalne - wytwarzanie*, QIT - Fer et Titane Inc. 1992.

[3] Klimpel A.: *Napawanie i natryskiwanie cieplne*, WNT, Warszawa 2000.

[4] Pilarczyk J., Pilarczyk J.: *Spawanie i napawanie elektryczne metali*, Wyd. Śląsk, Katowice 1996.

[5] Weroński A., Gardyński L.: *Nakładanie powłok metodą plazmową na części samochodowe*, Przegląd Spawalnictwa, 1-2, 1996, s.14-16.

[6] Laugsceider E., Langer G.: *Plasma-arc powder surfacing - comparsion of standard and high-productivity processes*, Schweissen&Schneiden, 2, 1998, s.E28-E31.

[7] Dilthey U., Kabatnik L.: *Central powder feed in the plasma-arc powder surfacing process*, 12, 1998, s.E230-E232.

[8] Ignaszak Z.: *Żeliwa sferoidalne i wermikularne – tworzywa konstrukcyjne XXI wieku*, Prace naukowo-badawcze Pol. Pozn., (nie publ.), 1996.

[9] Beckermann C.: *Modeling of macrosegregation: past, present and future*, Proceeding of The Flemings Symposium, Boston, MA, June 2000.

PLASMA-ARC POWDER SURFACING - METHOD OF REPAIR DUCTILE CAST IRON WITH CASTING DEFECTS

SUMMARY

The paper presents research results of use the plasma-arc surfacing with nickel base powder to repair ductile cast iron. Repair of ductile cast iron elements realize in order to cut out a castings defects. Casting defects decrease a usability of cast to constructional application and increase a manufacturing costs. Repair of defective casts consists in: on casting defects put a high quality padding weld at use the technology of plasma-arc powder surfacing.

Recenzował dr hab. Jan Szajnar