

POLSKA AKADEMIA NAUK
KOMITET BUDOWY MASZYN
SEKCJA PODSTAW TECHNOLOGII
AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
W BYDGOSZCZY
WYDZIAŁ MECHANICZNY



*utwardzanie powierzchniowe, żeliwo sferoidalne,
skoncentrowane źródło ciepła*

Krzysztof CIECHACKI*
Andrzej SKIBICKI*
Tadeusz SZYKOWNY*

UTWARDZANIE POWIERZCHNIOWE ŻELIWA SFEROIDALNEGO Z ZASTOSOWANIEM SKONCENTROWANEGO STRUMIENIA CIEPŁA

Spośród metod utwardzania powierzchniowego stopów żelaza z węglem do najbardziej postępowych, energooszczędnych, będących w obszarze zainteresowań licznych ośrodków naukowych należą metody bazujące na technice spawalniczej, w szczególności wykorzystujące skoncentrowane źródła ciepła. W pracy wykorzystano plazmę łuku elektrycznego metody GTAW do powierzchniowego utwardzania żeliwa sferoidalnego.

1. WSTĘP

Wybrane powierzchnie żeliwnych przewodnic ślizgowych lub tocznych, powierzchnie krzywek, popychaczy itp. wymagają wysokiej odporności na zużycie ścierne i kontaktowe. Zwiększenie odporności na zużycie ścierne można uzyskać poprzez utwardzanie powierzchniowe.

Żeliwne przewodnice obrabiarek utwardzone powierzchniowo powinny wykazywać twardość $48 \div 53$ HRC [7]. Żądaną twardość żeliwa można uzyskać stosując metody obróbki cieplnej analogiczne jak dla stali, tj. hartowanie powierzchniowe indukcyjne lub płomieniowe, względnie obróbkę cieplno-chemiczną, np. azotowanie [4].

Alternatywą wobec wymienionych metod w przypadku odlewów żeliwnych jest utwardzanie powierzchniowe z zastosowaniem ochładzalników w formie. Według autorów [2] metoda odlewnicza pozwala uzyskać powierzchnię warstwę zabieloną o grubości 12 mm i twardości $40 \div 50$ HRC.

* Katedra Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy

Dalsze możliwości podwyższenia twardości i poprawy własności trybologicznych powierzchni żeliwa stwarzają nowoczesne metody wykorzystujące skoncentrowany strumień ciepła. Źródłem ciepła może być plazma łuku elektrycznego (metoda GTAW) lub wiązka światła laserowego [1,6].

W zależności od parametrów przetapiania żeliwa sferoidalnego metodą GTAW, warstwa przetopiona wykazuje twardość powierzchniową w granicach 54÷60 HRC i maksymalną grubość 2,5 mm [2].

Badania wpływu natężenia prądu i prędkości skanowania na mikrotwardość $\mu\text{HV}_{0,1}$ obszaru nadtopień wykazały, iż zależnie od parametrów procesu, mieści się ona w granicach 773÷902 μHV . Zużycie ściernie żeliwa silnie koreluje z mikrotwardością. Jest to malejąca zależność liniowa [3].

Podwyższenie twardości żeliwa, a zatem odporności na ścieranie możliwe jest również poprzez obróbkę plastyczną na zimno [5].

W przedstawionej pracy podjęto badania mikrostruktury i twardości warstw przetopionych metodą GTAW przyjmując jako zmienne czynniki: gatunek żeliwa niestopowego (EN-GJS-400-15, EN-GJS-600-03), wartość natężenia prądu i prędkość przesuwu elektrody nietopliwej oraz temperaturę próbki. W związku z tym, iż powierzchnia przetopiona wymaga odpowiedniej jakości, przeprowadzono badania bezpośrednio na powierzchni przetopu, jak i po jej szlifowaniu. Szczególną uwagę zwrócono na występowanie w strefie przetopu makro- i mikro- pęknięć. Ocenę warstw przetopionych oparto o pomiary twardości powierzchni metodą Rockwella, obserwacje mikro- i makroskopowe oraz badania penetracyjne.

Bezpośrednim celem pracy jest uzyskanie za pomocą metody GTAW warstwy przetopionej o możliwie dużej twardości i głębokości, pozbawionej pęknięć.

2. MATERIAŁ, PROGRAM I METODYKA BADAŃ

Do badań przyjęto dwa gatunki niestopowego żeliwa sferoidalnego o składzie chemicznym podanym w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny żeliwa, % mas.

Table 1. The chemical composition of cast iron, % of the mass

Oznaczenie żeliwa	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ti	Mg
F	3,82	3,41	0,19	0,057	0,02	0,04	0,04	0,019	0,05
P	3,76	3,07	0,35	0,070	0,04	0,04	0,48	0,024	0,06

Żeliwo oznaczone literą F w stanie lanym posiada strukturę ferrytyczno-perlityczną (ok. 15% perlitu). Na podstawie próby rozciągania można żeliwo to zakwalifikować do gatunku EN-GJS-40015. Żeliwo oznaczone literą P ma strukturę perlityczno-ferrytyczną (ok. 10% ferrytu) i kwalifikuje się do gatunku EN-GJS-60003. Twardość żeliwa F w stanie lanym wynosi 191 HV30, natomiast żeliwa P – 275 HV30.

Przeprowadzono przetapianie żeliwa F i P na próbkach o temperaturze pokojowej („na zimno”) stosując zmienną wartość prądu oraz żeliwa F wstępnie podgrzanego („na gorąco”), stosując zmienną prędkość przesuwu elektrody przy stałej wartości natężenia prądu.

Przyjęto wartości natężenia prądu od 80 do 200 A i stałą prędkość przesuwu elektrody wynoszącą 200 mm/min w przypadku przetapiania „na zimno” oraz natężenie prądu 160 A i prędkości przesuwu elektrody od 200 do 800 mm/min dla przetapiania „na gorąco”. Temperatura wstępnego nagrzewania żeliwa wynosiła 550°C.

Badania obejmowały przetapianie jednościegowe na próbkach o wymiarach 75×30×16 mm i przetapianie całej powierzchni (skanowanie 10 ściegami) próbki o wymiarach 75×60×16 mm.

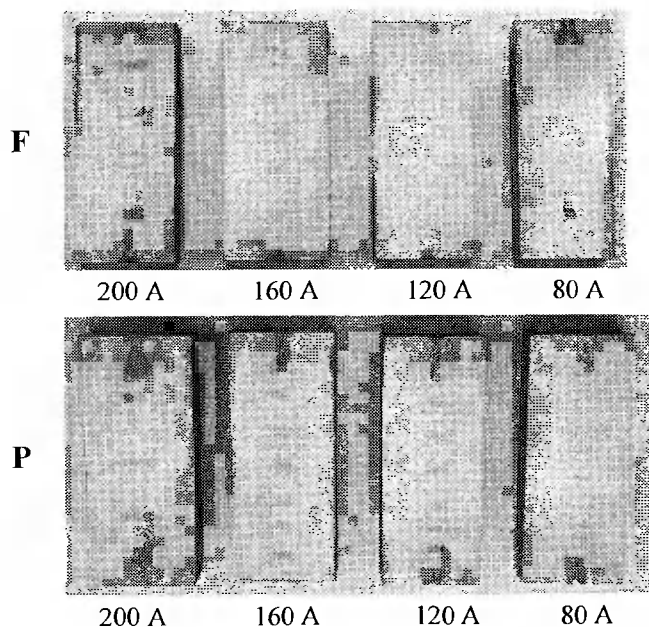
W celu wytworzenia łuku elektrycznego, jako źródła ciepła potrzebnego do przetopienia powierzchni próbek, zastosowano inwertorowe źródło prądu spawania R3000 MP z przystawką TIG300. Stałą odległość elektrody wolframowej o średnicy 2,4 mm, jak i regulowaną prędkość przetapiania i skanowania uzyskano poprzez zamocowanie uchwytu spawalniczego na wózku samojezdnym. W procesie przetapiania jako gaz osłonowy zastosowano argon 4.0. Przetapianie realizowano prądem stałym przy biegunowości ujemnej, krótkim łukiem.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Mikrostrukturę warstwy przetopionej „na zimno” tworzy cementyt pierwotny, cementyt ledeburytyczny i martenzyt. Warstwę przejściową tworzy martenzyt z wydzieleniami grafitu kulkowego. Temperatura w tej warstwie podczas przetapiania była niższa od temperatury likwidus. W warstwie przejściowej (strefa przetopiona – materiał rodzimy) występują mikropęknięcia biegnące po granicach ziaren eutektycznych. Twardość powierzchniowa jest wyjątkowo duża i wynosi 65÷67 HRC, co wynika ze składu strukturalnego warstwy przetopionej. Szlifowanie powierzchni na głębokość 0,22 mm nie zmienia istotnie twardości mierzonych na powierzchni. Twardość żeliwa P nie różni się istotnie od twardości żeliwa F, co potwierdzono testem średnich t-Studenta.

Badania makroskopowe i penetracyjne wykazały obecność makropęknięć usytuowanych prostopadle do kierunku przetapiania. Powstawaniu takich pęknięć sprzyjają wzdłużne pospawalnicze naprężenia własne i zachodząca przemiana martenzytyczna. Intensywność ich występowania wzrasta wraz z natężeniem prądu przetapiania (rys. 1).

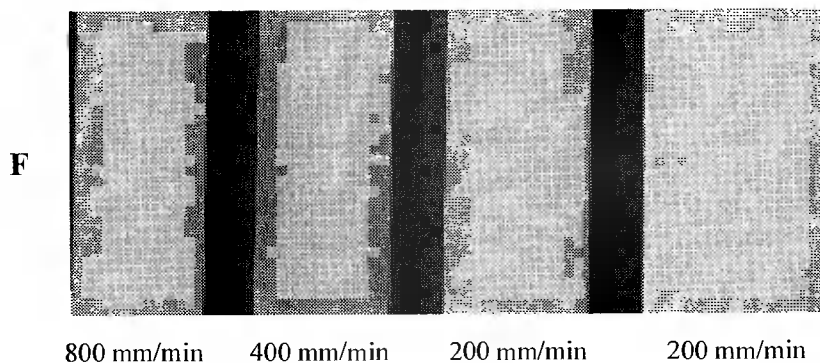
Dla uniknięcia pęknięć wywołanych w głównej mierze przemianą martenzytyczną, żeliwo F poddano wstępnemu nagrzewaniu do temperatury 550°C, nie powodującemu jeszcze zmian w strukturze żeliwa i zabezpieczającemu przed powstawaniem struktur hartowania podczas chłodzenia. Strukturę warstwy przetopionej stanowi cementyt pierwotny i ledeburyt przemieniony. W warstwie przejściowej występuje grafit kulkowy na tle ścisłego perlitu. W niektórych obszarach perlitu obserwuje się cementyt wtórny w postaci siatki.



Rys.1. Makrostruktura żeliwa F i P przetapianego na zimno w zależności od natężenia prądu (badania penetracyjne)

Fig. 1. The macrostructure of remelted F and P type ductile iron without preheating as a function of current intensity (liquid-penetrant inspection)

Twardość mierzona na powierzchni jest o około 8 HRC niższa niż w przypadku przetapiania „na zimno”. Badania mikroskopowe i badania penetracyjne nie wykazały makropęknięć w strefie przetopionej i mikropęknięć w warstwie przejściowej (rys. 2).



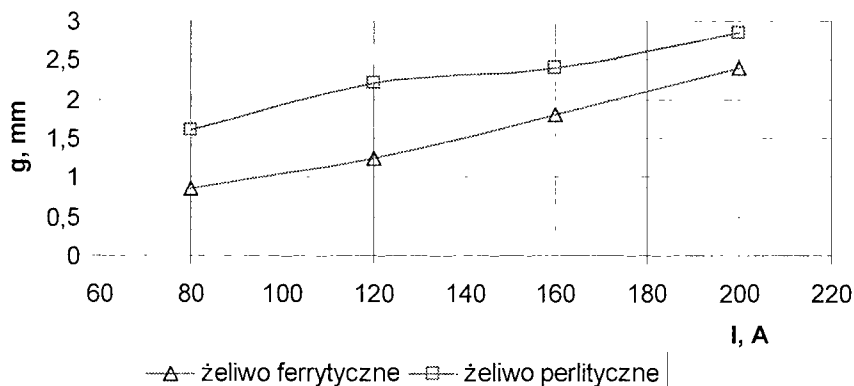
Rys. 2. Makrostruktura żeliwa F podgrzanego do temperatury 550°C w zależności od prędkości przesuwu elektrody (badania penetracyjne)

Fig. 2. The macrostructure of remelted F-type ductile iron preheated to 550°C as a function of electrode feed rate (liquid-penetrant inspection)

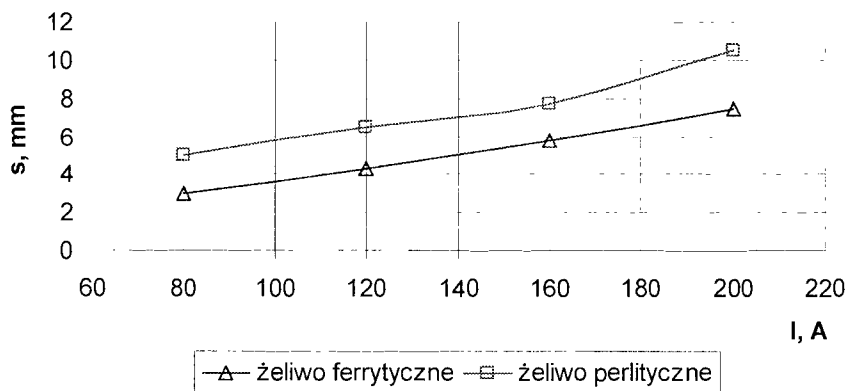
Większa głębokość i szerokość przetopu w żeliwie P wynika stąd, iż w żeliwie o strukturze perlitycznej istnieją dwa źródła nawęglania osnowy metalowej żeliwa, tj. grafit i perlit. W przypadku żeliwa o strukturze ferrytycznej jedynym źródłem węgla jest grafit. Nawęglanie osnowy z grafitu przebiega wolniej aniżeli poprzez przemianę perlitu [4].

Głębokość i szerokość warstwy przetopionej „na zimno” w zależności od natężenia prądu przetapiania przedstawia rysunek 3.

a)



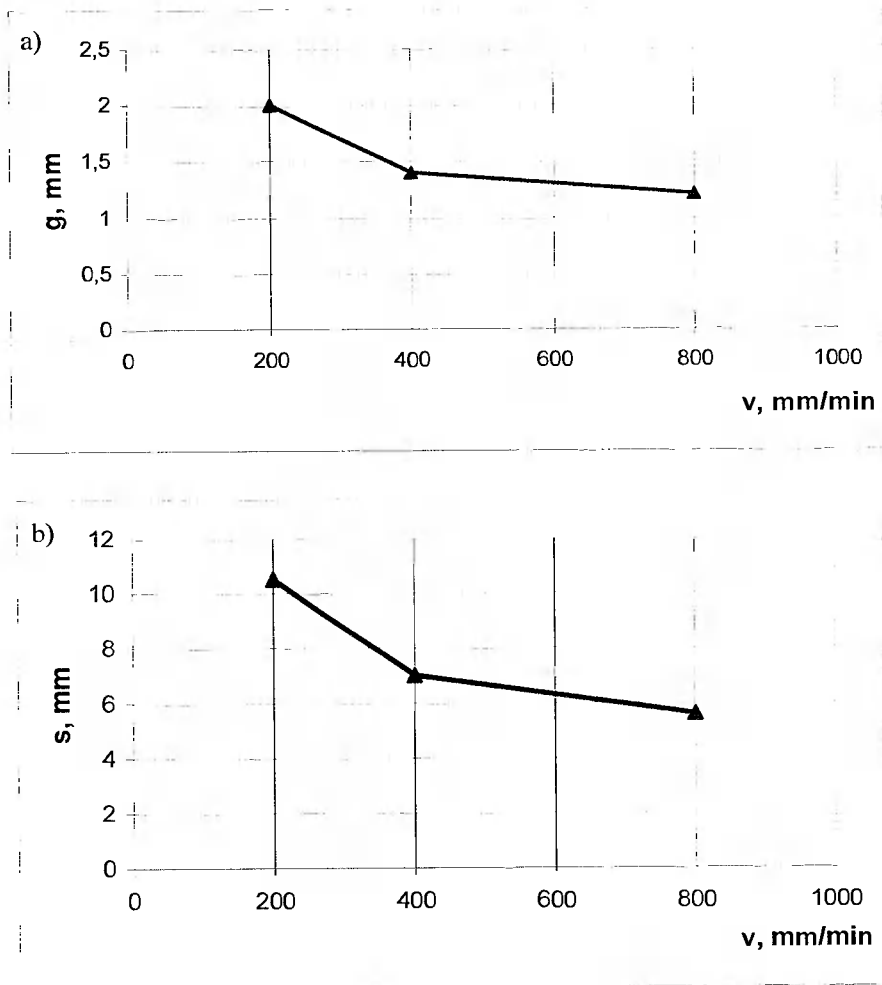
b)



Rys. 3. Głębokość przetopu (a) oraz szerokość przetopu (b) w zależności od natężenia prądu przetapiania żeliwa F i P

Fig. 3. The depth (a) and width (b) of fusion as a function of current intensity of the melted cast iron F and P

Głębokość i szerokość warstwy przetopionej „na gorąco” w zależności od prędkości przesuwu elektrody przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Głębokość przetopu (a) oraz szerokość przetopu (b) w zależności od prędkości przesuwu elektrody po przetapianiu „na gorąco”

Fig. 4. The depth (a) and width (b) of fusion as a function of electrode feed rate in the case of “hot remelting”

4. PODSUMOWANIE

Przetapianie metodą GTAW zdecydowanie podwyższa twardość żeliwa sferoidalnego. Niezwykle wysoka twardość powierzchni żeliwa przetopionego „na zimno” (65÷67 HRC) wynika z cementytowo-martenzytycznej struktury warstwy przetopionej. Wadę stanowi obecność mikro- i makropęknięć, szczególnie nie-

pożądanych w przypadku obciążenia kontaktowego. Szlifowanie powierzchni przetopionej nie zmienia istotnie twardości. Niekorzystną cechą, jaką są pęknięcia w warstwie przetopionej, można wyeliminować poprzez nagrzewanie wstępne żeliwa. Zapobiega to ich występowaniu, ale obniża twardość o około 8 jednostek HRC.

Operowanie parametrami procesu przetapiania metodą GTAW takimi jak np. natężenie prądu, prędkość przesuwu elektrody itp. umożliwia w szerokim zakresie zmianę geometrii utwardzonej warstwy przetopionej.

LITERATURA

- [1] Klimpel A., 2003. Napawanie i natryskiwanie cieplne. Technologie. WNT Warszawa.
- [2] Orłowicz W. i wsp., 1997. Utwardzanie powierzchniowe żeliwa. VIII Międzynarodowa Konferencja N-T „Tendencje rozwojowe w procesach produkcyjnych”, Sekcja III, Politechnika Zielonogórska, 65.
- [3] Orłowicz W., Trytek A., 2002. Eksploatacyjne aspekty szybkiej krystalizacji warstwy wierzchniej odlewów z żeliwa sferoidalnego. Acta Metallurgica Slovaca R8, 301.
- [4] Piaskowski J., Jankowski A., 1974. Żeliwo sferoidalne. WNT Warszawa.
- [5] Szykowny T., Ciechacki K., 2001. Podwyższenie własności żeliwa jako tworzywa narzędziowego poprzez obróbkę plastyczną i cieplną. VII Krajowa Konferencja N-T „Problemy narzędziowe w obróbce plastycznej”, Bydgoszcz-Wenecja, 145.
- [6] Trytek A., 1998. Odlewy z żeliwa sferoidalnego utwardzone powierzchniowo plazmą łuku elektrycznego. Przegląd Odlewnictwa 12, 431.
- [7] Wrotny L., 1973. Podstawy konstrukcji obrabiarek. WNT Warszawa.

Recenzował: Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kaczorowski

THE SURFACE HARDENING OF DUCTILE SPHEROIDAL IRON WITH THE USE OF CONCENTRATED HEAT FLUX

Summary

Amongst many surface hardening methods to the most advanced and energy-saving techniques being in the center of interest many scientific laboratories belong these based on welding technology. These are especially techniques using high concentrated heat sources. In this elaboration the plasma of electric arc of GTAW method was used for surface hardening of ductile iron.