

Tadeusz SZYKOWNY, Krzysztof CIECHACKI

e-mail: tadeusz.szykowny@utp.edu.pl

Zakład Inżynierii Materiałowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Poprawa właściwości powierzchniowych żeliwa wielokrotnym przetapianiem

Wprowadzenie

Warunki pracy odlewów żeliwnych wymagają często wysokiej odporności wybranych powierzchni na ścieranie oraz zużycie przez łuszczenie i *pitting*. Typowym przykładem mogą tu być powierzchnie żeliwnych przewodnic ślizgowych lub toczyń, powierzchnie krzywek, popychaczy itp. Wysoką odporność na zużycie ścierne i kontaktowe odlewu można uzyskać poprzez utwardzanie powierzchniowe. Żeliwne przewodnice obrabiarek utwardzone powierzchniowo powinny wykazywać twardość (48÷53) HRC [1].

Żądaną twardość żeliwa można uzyskać stosując metody odlewnicze, obróbki cieplnej, analogiczne jak dla stali, tj. hartowanie powierzchniowe indukcyjne lub płomieniowe, jak również obróbkę cieplno-chemiczną np. azotowanie [2].

Dalsze możliwości podwyższenia twardości i poprawy własności trybologicznych powierzchni żeliwa stwarzają nowoczesne metody wykorzystujące skoncentrowany strumień ciepła (metoda GTAW). Źródłem ciepła może być plazma łuku elektrycznego lub wiązka światła laserowego. Wielokierunkowe i obszerne badania nad tymi obiecującymi metodami przeprowadzili autorzy prac [3–5]. W zależności od parametrów przetapiania metodą GTAW niestopowego żeliwa sferoidalnego, warstwa przetopiona wykazuje twardość powierzchniową w granicach (54÷60) HRC i maksymalną grubość 2,5 mm.

Podwyższenie twardości żeliwa, a zatem odporności na ścieranie możliwe jest również poprzez obróbkę plastyczną na zimno [6].

W pracy [7] wykazano, iż w warstwie przetopionej zależnie od gatunku żeliwa i stosowanych parametrów przetopu występują z różnym natężeniem makro i mikropeknięcia. Ich obecność, szczególnie w przypadku naprężeń kontaktowych, może być przyczyną przyspieszonego zużycia warstwy utwardzonej.

Celem niniejszej pracy jest podwyższenie twardości powierzchni żeliwa przetapianego metodą GTAW oraz eliminacja pęknięć poprzez zastosowanie wstępnego podgrzewania lub wielokrotnego przetapiania.

Materiał, program i metodyka badań

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

Tab. 1. Skład chemiczny żeliwa, %mas.

Ozn.	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	0,07	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 zakwalifikować je do gatunku EN-GJS-400-15. Żeliwo oznaczone literą P ma strukturę perlityczno-ferrytyczną (ok. 10% ferrytu) i kwalifikuje się do gatunku EN-GJS-600-3.

Odlano próbki YII w formach wilgotnych. Z dolnej części klina YII wycięto prostopadłościenne próbki do przetapiania o wymiarach 30×75×16 mm.

Przetapianie powierzchniowe żeliwa przeprowadzono metodą GTAW. Zastosowano elektrodę wolframową o średnicy 2,4 mm. Gaz osłonowy stanowił argon 4.0. Prędkość przesuwu nietopliwej elektrody wynosiła 200 mm/min a natężenie prądu 80; 120; 160 lub 200 A.

Zastosowano trzy sposoby utwardzania powierzchniowego metodą GTAW:

– przetapianie próbek o temperaturze pokojowej (na zimno),

- przetapianie żeliwa wstępnie podgrzanego do temperatury 450°C (na gorąco),
- wielokrotne przetapianie próbek o temperaturze pokojowej przy tych samych parametrach prądowych i prędkości przesuwu elektrody nietopliwej.

Skład fazowy warstwy przetopionej określono za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej. Wykonano pomiary twardości na powierzchni przetopionej metodą *Rockwella* w skali C. Na poprzecznych zglądach metalograficznych trawionych nitałem, dokonano oceny struktury warstw przetopionych. W celu wykrycia makropeknięć wykonano badania penetracyjne z użyciem penetrantu barwnego.

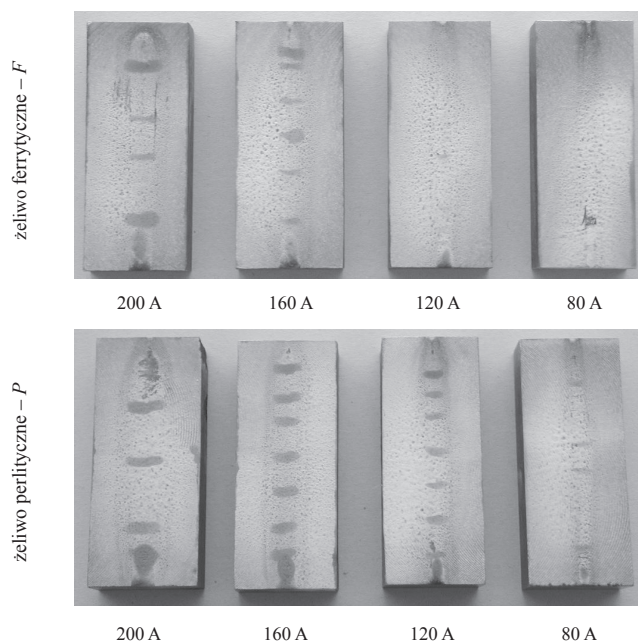
Dyskusja wyników badań

W przypadku pierwszego sposobu przetapiania *na zimno* warstwa przetopiona składa się z dwóch faz: cementytu i martenzytu.

Niezależnie od gatunku żeliwa i parametrów prądowych wykonywania przetopu skład fazowy pozostawał taki sam.

Twardość średnia z dziewięciu pomiarów mierzona na powierzchni przetapianej żeliwa o strukturze ferrytycznej wynosiła 66 HRC, natomiast żeliwa o strukturze perlitycznej 67 HRC.

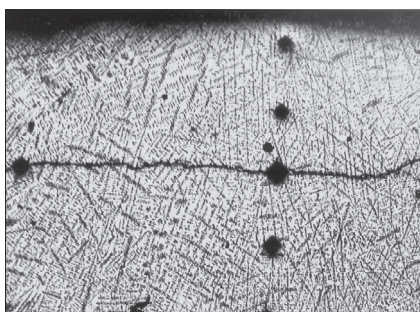
Na rys. 1 przedstawiono wyniki badań penetracyjnych. Wykazały one makropeknięcia usytuowane w poprzek przetopionej warstwy. Wzrost natężenia prądu przetapiania zwiększa ilość pęknięć w obu gatunkach żeliwa. Intensywność ich występowania jest większa w żeliwie o strukturze perlitycznej P.



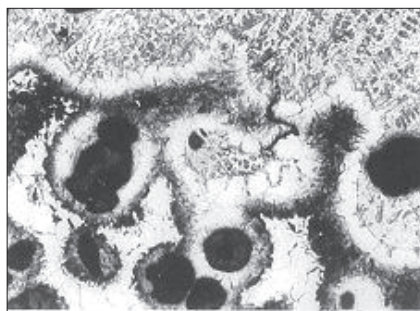
Rys. 1. Makrostruktura próbek żeliwa F i P w zależności od natężenia prądu

Makropeknięcia występują w warstwie przetopionej na skutek naprężeń wywołanych przemianą martenzytyczną. Przykładową strukturę warstwy przetopionej z makropeknięciem przedstawia rys. 2.

Mikropeknięcia usytuowane w warstwie przejściowej, pomiędzy warstwą przetopioną a materiałem rodzimym, przebiegają najczęściej wzdłuż granic ziaren eutektycznych. Ilustrację mikropeknięć przedstawiono na rys. 3.



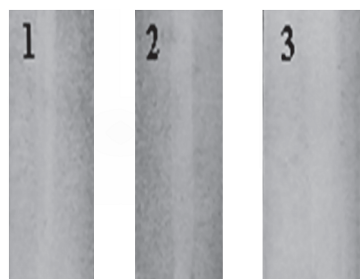
Rys. 2. Makropęknięcie w warstwie przetopionej żeliwa ferrytycznego, natężenie prądu 160 A, pow. mikr. $\times 70$



Rys. 3. Mikrostruktura warstwy przejściowej, warstwa przetopiona-materiał rodzimy, pow. mikr. $\times 175$

W celu eliminacji pęknięć wywołanych przemianą martenzytyczną żeliwo przetapiano *na gorąco*. Skład fazowy warstwy przetopionej stanowi ferryt i cementyt. Niezależnie od warunków przetapiania skład fazowy jest taki sam.

Wstępne nagrzanie wyeliminowało całkowicie mikro i makropęknięcia, jednakże twardość mierzona na powierzchni spadła o 8 jednostek HRC względem przetapiania *na zimno*. Badania penetracyjne żeliwa przetapianego *na gorąco* prądem o natężeniu 160 A i prędkości przesuwu elektrody nietopliwej 200, 400, 800 mm/min świadczące o braku pęknięć ilustruje rys. 4.



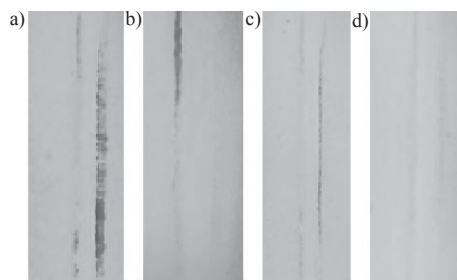
Rys. 4. Makrostruktura warstw przetapianych *na gorąco* ze zmianą prędkości: 1) 200 mm/min; 2) 400 mm/min; 3) 800 mm/min

Wstępne nagrzewanie żeliwa jest operacją, która podraża technologię utwardzania przetopem powierzchniowym i czyni tą obróbkę niekonkurencyjną wobec alternatywnych sposobów obróbki.

W niniejszej pracy zaproponowano utwardzanie powierzchni poprzez wielokrotne przetapianie warstwy metodą GTAW. Wielokrotne przetapianie ma na celu zmniejszenie gradientu temperatury pomiędzy warstwą przetapianą a utwardzonym żeliwem. Założono, że wielokrotne przetapianie zapobiegnie przemianie martenzytycznej będącej źródłem powstawania pęknięć.

Krotność przetopień dla żeliwa ferrytycznego wynosiła maksymalnie 6, natomiast dla żeliwa perlitycznego 10 razy. Po tej liczbie przetopów nie zaobserwowano już makropęknięć. W skład fazowy warstw przetopionych wielokrotnie, w których nie zaobserwowano makropęknięć wchodzi ferryt i cementyt.

Wyniki badań penetracyjnych przedstawiono na rys. 5a–d, gdzie: a – żeliwo perlityczne przetapiane 6-krotnie, b – żeliwo perlityczne



Rys. 5. Badania penetracyjne warstw żeliw wielokrotnie przetapianych

przetapiane 10-krotnie, c – żeliwo ferrytyczne przetapiane 4-krotnie, d – żeliwo ferrytyczne przetapiane 6-krotnie.

Strukturę warstwy przetopionej stanowi ledeburyt przemieniony. Pod warstwą przetopioną występuje strefa normalizacji składająca się ze ścisłego perlitu z cementytem siatkowym.

Twardość żeliwa perlitycznego mierzona na powierzchni warstwy 10-krotnie przetopionej wynosi 57 HRC, natomiast twardość żeliwa ferrytycznego 6-krotnie przetapianego wynosi 60 HRC.

Podsumowanie

Przetapianie metodą GTAW jest efektywnym sposobem podwyższenia twardości powierzchniowej żeliwa sferoidalnego, a zatem jego odporności na ścieranie. Niekorzystnym skutkiem przetapiania, w aspekcie zużycia, szczególnie w warunkach obciążeń kontaktowych, jest występowanie makro i mikropęknięć w warstwie utwardzonej. Intensywność występowania pęknięć zależy od sposobu i parametrów procesu przetapiania oraz struktury żeliwa. Sposobem definitywnie eliminującym pęknięcia w warstwie utwardzonej jest przetapianie żeliwa wstępnie nagrzanego do temperatury wyższej od temperatury przemiany martenzytycznej, gdyż źródła pęknięć należy upatrywać w przemianie martenzytycznej austenitu będącego składową ledeburytu.

Warstwa przetopiona żeliwa wstępnie nagrzanego powyżej temperatury M_s ma strukturę ledeburytu przemienionego i twardość około (8÷10) HRC niższą aniżeli żeliwo przetapiane na zimno. Ze względów techniczno-ekonomicznych wstępne podgrzewanie żeliwa czyni metodę przetapiania powierzchniowego niekonkurencyjną wobec alternatywnych metod utwardzania.

Za pomocą standardowego wyposażenia spawalniczego można wykonać warstwy utwardzone poprzez wielokrotne przetapianie tej samej warstwy. Wielokrotne przetapianie ma na celu zmniejszenie gradientu temperatury i uniknięcie tym samym przemiany martenzytycznej. W wyniku badań otrzymano powierzchnię pozbawioną pęknięć, jednakże w żeliwie perlitycznym pojawiają się pęknięcia wzdłużne i mikropęknięcia w strefie przetop-materiał rodzimy. W żeliwie o strukturze ferrytycznej zastosowana metoda wielokrotnego przetopu eliminuje całkowicie makropęknięcia,

Dalsze badania utwardzania powierzchniowego metodą GTAW należałoby skoncentrować na doborze warunków prądowych, prędkości posuwu nietopliwej elektrody, jak również na sposobie prowadzenia elektrody podczas przetapiania. W przedstawionych badaniach stosowano tylko wzdłużny ruch elektrody. Możliwość zmniejszenia gradientu temperatury pomiędzy warstwą przetapianą a materiałem podstawowym stwarzałyby zastosowanie ruchu poprzecznego elektrody względem kierunku przetapiania.

LITERATURA

- [1] L. Wrotny: Podstawy konstrukcji obrabiarek, WNT, Warszawa 1973.
- [2] J. Piaskowski, A. Jankowski: Żeliwo sferoidalne, WNT, Warszawa 1974.
- [3] W. Orłowicz i in.: VIII Międzynarodowa Konferencja N-T „Tendencje rozwojowe w procesach produkcyjnych”, Sekcja III, s. 65, Zielona Góra, 1997.
- [4] W. Orłowicz, A. Trytek: Acta Metallurgica Slovaca, R8, 301, (2002).
- [5] W. Orłowicz, A. Trytek: Acta Metallurgica Slovaca, R7, 9, (2001).
- [6] T. Szykowny, K. Ciechacki: VII Krajowa Konferencja N-T, Problemy narzędziowe w obróbce plastycznej, Bydgoszcz-Wenecja, 145, (2001).
- [7] T. Szykowny, K. Ciechacki: Archiwum Odlewnictwa, 6, nr 18 (2/2) 195 (2006)..