

# Odlewy bimetale z wysokochromową warstwą roboczą

T. Wróbel<sup>a,\*</sup>, J. Szajnar<sup>a</sup>, M. Cholewa<sup>a</sup>, P. Wróbel<sup>a</sup>, S. Tenerowicz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Polska

<sup>b</sup> Zakład Doświadczalno-Wdrożeniowy Odlewnictwa, ul. Mechaników 9, 44-109 Gliwice, Polska

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: tomasz.wrobel@polsl.pl

Otrzymano 15.08.2012; zaakceptowano do druku 05.09.2012

## Streszczenie

W prac przedstawiono technologię bimetalicznych odlewów warstwowych opartą na odlewniczej metodzie nakładania warstw bezpośrednio w procesie odlewania tzw. metodą preparowania wnętrza formy. Wykonane tą metodą bimetaliczne odlewy warstwowe złożone są z dwóch zasadniczych elementów tj. części nośnej oraz części (warstwy) roboczej. Część nośną odlewu warstwowego stanowiło typowe tworzywo odlewnicze tj. żeliwo szare z grafitem płatkowym, natomiast część roboczą stanowiła stal stopowa ferrytyczna gatunku X6Cr 13 lub martenzytyczna gatunku X39Cr 13. Weryfikację wykonanych bimetalicznych odlewów warstwowych przeprowadzono w oparciu o nieniszczące badania ultradźwiękowe, badania metalograficzne makro- i mikroskopowe.

**Słowa kluczowe:** Bimetaliczny odlew warstwowy, Żeliwo, Stal, Chrom

## 1. Wprowadzenie

Technologia odlewów warstwowych znajduje zastosowanie wówczas gdy kryterium wysokich własności użytkowych dotyczy tylko roboczej warstwy wierzchniej odlewu, którego pozostała część pełni jedynie rolę elementu nośnego nie narażonego na bezpośrednie działanie czynników wywołujących np. zużycie korozyjne lub ścierne.

Podstawową technologią odlewów warstwowych jest tzw. metoda preparowania wnętrza formy, w której element uszlachetniający roboczą warstwę wierzchnią odlewu umieszcza się w formie, w postaci wkładki litej lub ziarnistej bezpośrednio przed zalaniem ciekłym metalem [1÷7].

Technologia ta jest najbardziej ekonomicznym sposobem uszlachetniania powierzchni odlewów, gdyż umożliwia wytwarzanie elementów warstwowych bezpośrednio w procesie ich odlewania. W związku z tym może stanowić istotną konkurencję dla powszechnie stosowanych technologii napawania i natryskiwania cieplnego [8], gdyż oprócz zalet

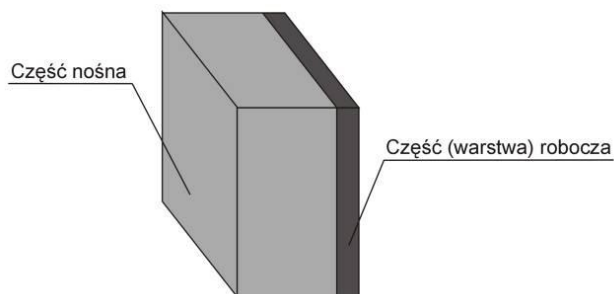
natury ekonomicznej w odróżnieniu od nich nie generuje ona możliwości powstawania pęknięć w strefie wpływu ciepła, która powstaje w rezultacie wykonywania powłoki metodą spawalniczą.

Idea proponowanej w pracy technologii bimetalicznych odlewów warstwowych została zaczerpnięta z istotnej dla przemysłu urobkowego metody wytwarzania stopowych warstw powierzchniowych na bazie wkładek ziarnistych ze stopu Fe-Cr-C [1, 3 i 4], Fe-Cr-C-Mo [2] oraz Ni-Cr-Fe-C [7] umieszczanych w formie bezpośrednio przed zalaniem ciekłym metalem. Uzyskane w ten sposób robocze warstwy wierzchnie charakteryzują się wysoką twardością i odpornością na zużycie ścierne głównie typu metal-minerał.

Ponadto w literaturze znajdują się dane dotyczące odlewów warstwowych wykonywanych na bazie wkładek litych np. ze stali niestopowej zalewanej ciekłym chromowym żelazem stopowym [5 i 6] lub z żeliwa szarego zanurzanego w ciekłym podeutektycznym stopie Al-Si [9÷11].

## 2. Zakres badań

W ramach pracy wykonano bimetaliczne odlewy warstwowe, które złożone są z dwóch zasadniczych elementów tj. części nośnej oraz części (warstwy) roboczej (Rys.1). Część nośną odlewu warstwowego stanowiło typowe tworzywo odlewnicze tj. żeliwo szare perlityczne z grafitem płatkowym, natomiast część roboczą stanowiła blacha ze stali stopowej ferrytycznej gatunku X6Cr 13 lub martenzytycznej gatunku X39Cr 13.



Rys. 1. Schemat bimetalicznego odlewu warstwowego

W celu wykonania próbných bimetalicznych odlewów warstwowych o wymiarach 125 x 105 x 45mm, w formach piaskowych umieszczano nie stosując zabiegu podgrzewania wstępnego blachy ze stali stopowych, które następnie zalano ciekłym żelazem z temperatury 1450°C.

W oparciu o wyniki wcześniejszych badań [12 i 13] zastosowano blachy stalowe o grubości 5mm, których powierzchnie będące w bezpośrednim kontakcie z ciekłym metalem pokryto aktywatorem sprzyjającym powstawaniu trwałego połączenia pomiędzy oboma tworzywami odlewu warstwowego. Uzyskano tym sposobem stosunek grubości części nośnej do części roboczej 8:1 przy module krzepnięcia odlewu 11,45mm.

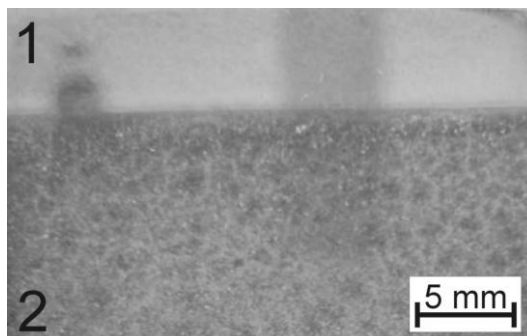
Jakość uzyskanych bimetalicznych odlewów warstwowych oceniano na podstawie nieniszczących badań ultradźwiękowych, wykonanych przy użyciu defektoskopu DIO 562 firmy STARMANS ELEKTRONICS. Następnie wykonano badania metalograficzne makro- i mikroskopowe przy użyciu zarówno mikroskopu świetlnego Nikon jak i elektronowego skaningowego Inspekt F, trawiąc przygotowane zglądy w odczynniku Mi19Fe zawierającym [14]: 3g chlorku żelaza, 10cm<sup>3</sup> kwasu solnego i 90cm<sup>3</sup> alkoholu etylowego.

## 3. Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych nieniszczących badań ultradźwiękowych stwierdzono, że na całej badanej powierzchni próbných bimetalicznych odlewów warstwowych (głowica przyłożona od strony blachy) echo dna było większe od echa strefy przejścia, co wskazuje na uzyskanie trwałego połączenia pomiędzy częścią (warstwą) roboczą a częścią nośną.

Wyniki te potwierdza makroskopowa wizualna ocena jakości połączenia wykonana na wybranych przekrojach próbných

bimetalicznych odlewów warstwowych. Przykładowy przekrój poprzeczny wykonanego w ramach badań bimetalicznego odlewu warstwowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Widok przykładowego przekroju poprzecznego bimetalicznego odlewu warstwowego w konfiguracji: 1 – część (warstwa) robocza z blachy ze stali stopowej X6Cr 13, 2 – część nośna z żeliwa szarego

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono mikrostruktury obszaru połączenia stali stopowych wysokochromowych stanowiących warstwę roboczą odlewu bimetalowego z żeliwną częścią nośną. Na ukształtowanie mikrostruktury obszaru połączenia w tego typu bimetalicznych odlewach warstwowych wpływają przede wszystkim zjawiska dyfuzji węgla w kierunku od części nośnej do warstwy roboczej oraz nagrzania blachy stalowej do wysokiej temperatury, której źródłem jest ciekły metal (żeliwo) wlane do formy. Dla temperatury zalewania żeliwa wynoszącej 1450°C, temperatura styku  $T_s$  na granicy ciekły metal – blacha stalowa wyznaczona w oparciu o zależność [15]:

$$T_s = \frac{\sqrt{\lambda_n \cdot c_n \cdot \rho_n \cdot T_n} + \sqrt{\lambda_r \cdot c_r \cdot \rho_r \cdot T_r}}{\sqrt{\lambda_n \cdot c_n \cdot \rho_n} + \sqrt{\lambda_r \cdot c_r \cdot \rho_r}} \quad (1)$$

gdzie:

$\lambda_n, \lambda_r$  – współczynnik przewodności cieplnej odpowiednio dla ciekłego żeliwa (część nośna odlewu) i blachy stalowej (część robocza odlewu), W/(m·K),

$c_n, c_r$  – ciepło właściwe odpowiednio dla ciekłego żeliwa (część nośna odlewu) i blachy stalowej (część robocza odlewu), J/(kg·K),

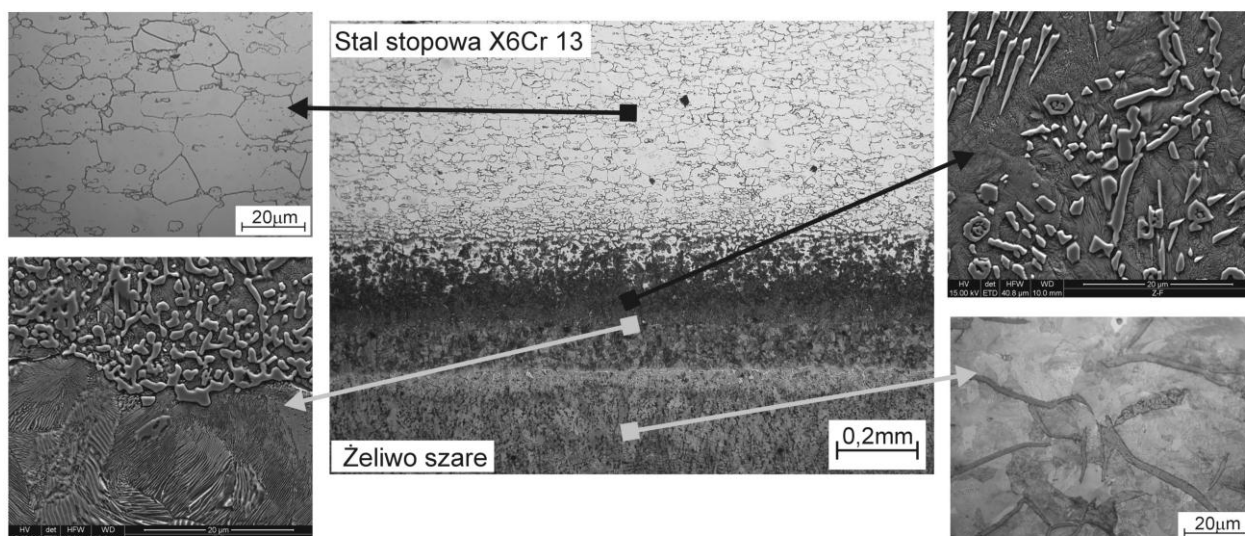
$\rho_n, \rho_r$  – ciężar właściwy odpowiednio dla ciekłego żeliwa (część nośna odlewu) i blachy stalowej (część robocza odlewu), kg/m<sup>3</sup>,

$T_n$  – temperatura ciekłego żeliwa (część nośna odlewu), °C,

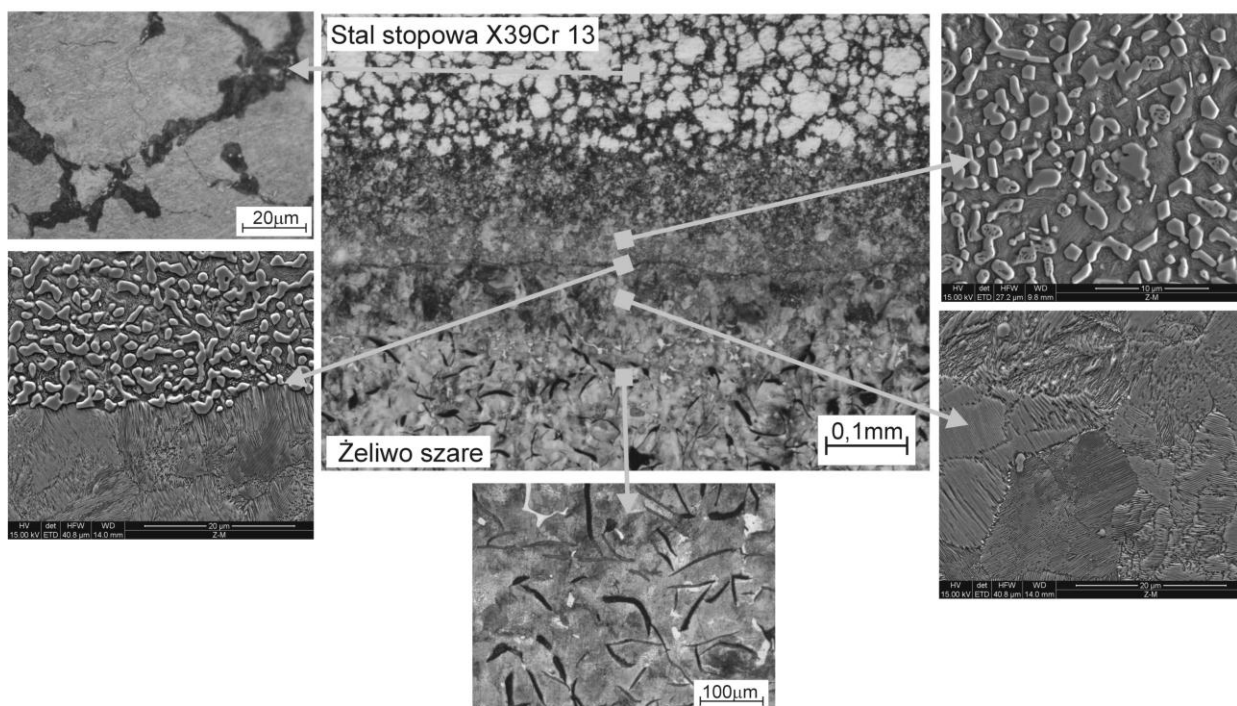
$T_r$  – temperatura blachy stalowej (część robocza odlewu), °C,

wynosi dla blachy ze stali X6Cr 13 i X39Cr 13 około 870°C.

W wyniku tych zjawisk w obszarze połączenia obu tworzyw powstaje od stron stali tzn. strefy nawęglonej mikrostruktura składająca się z węglików Cr i Fe w osnowie perlitycznej. Z kolei od strony żeliwa tzn. strefy odwęglonej ukształtowana zostaje mikrostruktura perlityczna bez grafitu.



Rys. 3. Mikrostruktura bimetalicznego odlewu warstwowego w konfiguracji część (warstwa) robocza z blachy ze stali stopowej X6Cr 13 – część nośna z żeliwa szarego



Rys. 4. Mikrostruktura bimetalicznego odlewu warstwowego w konfiguracji część (warstwa) robocza z blachy ze stali stopowej X39Cr 13 – część nośna z żeliwa szarego

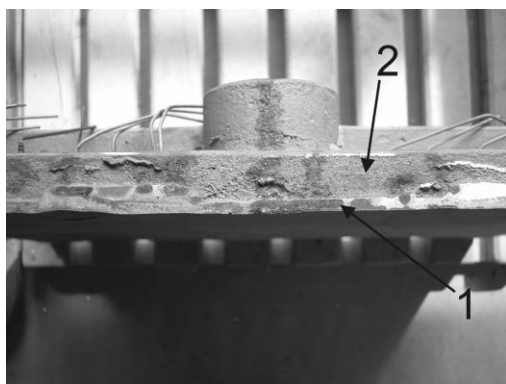
#### 4. Podsumowanie

Technologia odlewnicza oparta na metodzie preparowania wnętrza formy pozwala na otrzymanie bimetalicznych odlewów warstwowych w konfiguracji: część nośna z żeliwa szarego

perlitycznego – część (warstwa) robocza ze stali stopowej wysokochromowej ferrytycznej lub martenzytycznej, wolnych od wad szczególnie w newralgicznym obszarze połączenia obu tworzyw. Uzyskane trwałe połączenie blachy stalowej z żeliwnym podłożem ma charakter dyfuzyjny, o którym decyduje przede wszystkim dyfuzja węgla w kierunku od żeliwa do stali.

Przewiduje się, że wykonane wg opracowanej technologii bimetaliczne odlewy warstwowe mogą pracować w warunkach wymagających od roboczej warstwy wierzchniej elementu, wysokiej żaroodporności i/lub odporności na korozję w środowisku np. wody przemysłowej. Ponadto w przypadku zastosowania na część (warstwę) roboczą stali wysokochromowej martenzytycznej, możliwe jest uzyskanie także wysokiej odporności na zużycie ściernie.

W związku z tym w oparciu o opracowane wytyczne do przedstawionej metody wykonano technologicznie użyteczną bimetaliczną płytę w konfiguracji część (warstwa) robocza ze stali stopowej X39Cr 13 – część nośna z żeliwa szarego staliwa niestopowego (Rys. 5), przeznaczoną do zastosowania jako wyłożenie gaśniczych wozów koksowniczych.



Rys. 5. Widok bimetalicznej płyty w konfiguracji: 1 - część (warstwa) robocza ze stali stopowej X39Cr 13, 2 - część nośna z żeliwa szarego

## Informacja dodatkowa

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010 - 2012 jako projekt badawczy N N508 585039.

## Literatura

[1] Marcinkowska J. & Kuszniar B. (1979). Cast coatings on machine elements. In Scientific Conference Cast Form of Machine Elements, (pp. 1-11). Olsztyn Poland. (in Polish).

- [2] Heijkoop T. & Sare I. (1989). Cast-bonding – a new process for manufacturing composite wear products. *Cast Metals*. 3, 160-168.
- [3] Gawroński J., Szajnar J. & Wróbel P. (2004). Study on theoretical bases of receiving composite alloy layers on surface of cast steel castings. *Journal of Materials Processing Technology*. 157-158, 679-682.
- [4] Szajnar J., Wróbel P. & Wróbel T. (2008). Model castings with composite surface layer – application. *Archives of Foundry Engineering*. 8 (SI3), 105-110.
- [5] Bartocha D., Suchoń J. & Jura S. (1998). Layer castings. *Solidification of Metals and Alloys*. 38, 151-156. (in Polish).
- [6] Cholewa M., Tenerowicz S. & Wróbel T. (2008). Quality of the joint between cast steel and cast iron in bimetallic castings. *Archives of Foundry Engineering*. 8 (3), 37-40.
- [7] Wróbel T. (2011). Ni and Cr base layers in bimetallic castings. In 20<sup>th</sup> Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2011 (pp. 91). Brno Czech Republic.
- [8] Klimpel A. (2000). *Surfacing and thermal spraying. Technologies*. Warszawa: WNT. (in Polish).
- [9] Viala J., Peronnet M., Barbeau F., Bosselet F. & Bouix J. (2002). Interface chemistry in aluminium alloy castings reinforced with iron base inserts. *Composites: Part A*. 33, 1417-1420.
- [10] Pietrowski S. & Szymczak T. (2007). Model of the aluminizing coating crystallization on iron alloys. *Archives of Foundry Engineering*. 7 (3), 123-128.
- [11] Pietrowski S. (2001). Structure of aluminizing layer on the gray cast iron. *Archives of Foundry*. 4 (11), 95-104.
- [12] Cholewa M., Wróbel T. & Tenerowicz S. (2010). Bimetallic layer castings. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 43/1, 385-392.
- [13] Cholewa M., Wróbel T., Tenerowicz S. & Szuter T. (2010). Diffusion phenomena between alloy steel and gray cast iron in layered bimetallic casting. *Archives of Metallurgy and Materials*. 55 (3), 771-777.
- [14] Sękowski K., Piaskowski J. & Wojtowicz Z. (1972). *Atlas of structures of founding alloys*. Warszawa: WNT. (in Polish).
- [15] Taler J. & Duda P. (2006). *Solving direct and inverse heat conduction problems*. Berlin: Springer-Verlag.

# Bimetallic castings with high-chromium working layer

## Abstract

In paper is presented technology of bimetallic layered castings based on founding method of layer coating directly in cast process so-called method of mould cavity preparation. Prepared castings consist two fundamental parts i.e. bearing part and working part (layer). The bearing part of bimetallic layered casting is typical foundry material i.e. grey cast iron with flake graphite, whereas working part is plate of ferritic alloy steel sort X6Cr 13 or martensitic alloy steel sort X39Cr 13. The quality of the joint in bimetallic layered castings was evaluated on the basis of ultrasonic non-destructive testing, metallographic macro and microscopic researches.

**Keywords:** Bimetallic layered casting, Cast iron, Steel, Chromium