

**KRYSTALIZACJA W WARUNKACH CIŚNIENIA
ODŚRODKOWEGO DROGĄ DO POPRAWIENIA
JAKOŚCI ODLEWÓW Z INTERMETALI Fe-Al**

J. GRABIAN¹, W. PRZETAKIEWICZ²
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nauk Podstawowych Technicznych
Zakład Inżynierii Materiałów Okrętowych
ul. Podgórna 51/53, 70-205 Szczecin

STRESZCZENIE

W pracy oceniona została jakość odlewów wykonanych z intermetali typu Fe-Al pod kątem występowania wad odlewniczych związanych ze skurczem metalu. Wskazano na możliwość poprawy jakości tych odlewów drogą przeprowadzenia krystalizacji metalu pod ciśnieniem odśrodkowym. Zamysł ten zrealizowano poprzez wirowanie form odlewniczych i zalewanie ich ciekłym metalem. Wykonane w tych warunkach odlewy wykazały spoistość materiału na poziomie mikroskopowym. Przeprowadzono badania porównawcze odlewów zalewanych grawitacyjnie oraz odlewów wykonanych ww. sposobem w zakresie wybranej właściwości eksploatacyjnej – odporności na erozję kawitacyjną.

Key words: intermetallics, casts, centrifugal casting, cavitation

WSTĘP

Stopy na osnowie faz międzymetalicznych – intermetale, są najczęściej połączeniem pierwiastków metalicznych lub, co występuje rzadziej, pierwiastka metalicznego z niemetalicznym. Ich właściwości takie jak wysokie: wytrzymałość, moduł sprężystości, temperatura topnienia, żaroodporność i żarowytrzymałość spowodowały rozwój

¹ *dr hab. inż., prof. AM*

² *prof. dr hab. inż.*

maszyn ciepłych, silników odrzutowych, turbin spalinowych itp. Szerokie zastosowanie znalazły tu stopy niklu z aluminium oraz tytanu z aluminium [1, 2]. Intermetale pozwalają również na zwiększenie żywotności innych elementów maszyn pracujących w szczególnie trudnych warunkach wymagających od zastosowanego materiału dużej odporności na zużycie ścierne w określonych uwarunkowaniach czy też odporności na erozję kawitacyjną. Wspomniane elementy maszyn to zwłaszcza części specjalnych podajników transportowych, urządzeń do obróbki cieplnej, urządzeń przemysłu chemicznego, także palniki w kotłach energetycznych zasilane pyłem węglowym itp. Zwrócić tu należy uwagę na charakteryzujące się niskimi kosztami wytwarzania intermetale z układu Fe-Al [3]. Ich kolejne zalety to bardzo dobra odporność na ścieranie, stosunkowo mała gęstość, wysoka wytrzymałość, dobra odporność na korozję chemiczną oraz doskonała odporność na utlenianie w podwyższonej temperaturze. Przeprowadzone wstępne próby wykonywania odlewów kształtowych wykazały stosunkowo dużą skłonność intermetali typu Fe-Al do tworzenia nieciągłości o charakterze skurczowym.

1. JAKOŚĆ ODLEWÓW ZE STOPU Fe-Al ODLEWANYCH GRAWITACYJNIE

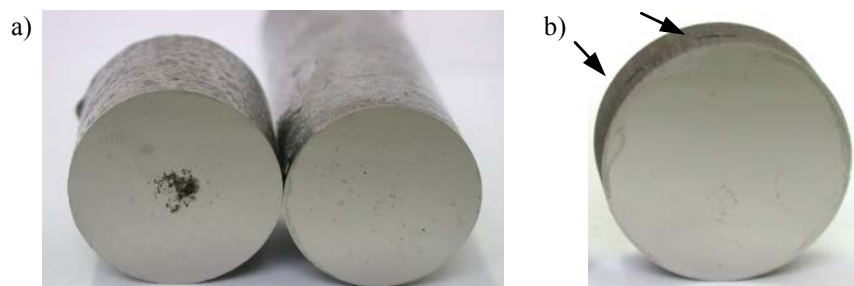
Wykonane w formach piaskowych oraz grafitowych odlewy ze stopu Fe-Al zalewane grawitacyjnie wykazują na poziomie makroskopowym wewnętrzne nieciągłości o charakterze skurczowym powstające podczas krystalizacji odlewu. Badano możliwość występowania tego rodzaju wad w odlewach typu „wałek” o średnicy ϕ 30 mm oraz ϕ 27 mm zalewanych w pozycji pionowej oraz w odlewach typu „płyta” również zalewanych w pozycji pionowej.

W odlewach typu „wałek” występuje charakterystyczna lokalizacja wad właściwa dla strefy dolnej oraz górnej odlewu. W odlewach typu „płyta” o grubości 10 mm również stwierdzono występowanie wad wewnętrznych o charakterze skurczowym zlokalizowanych w płaszczyźnie równoległej do płaskich ścian płyty w odległości mniej więcej równej od przeciwległych ścian płyty (porowatość osiowa).

Na rysunku 1 przedstawiono wady typu skurczowego, skupione lub rozproszone, występujące w odlewach typu „wałek”, oraz wady uwidocznione na krawędzi cylindrycznej próbki wyciętej z odlewu typu „płyta” zalewanego pionowo. Wady te występują dla różnych prędkości odbioru ciepła z formy odlewniczej (różne rodzaje form odlewniczych).

2. CIŚNIENIE ODŚRODKOWE W PROCESIE KRZEPNIĘCIA STOPU Fe-Al

Wpływ ciśnienia na przebieg procesów kształtowania się struktury w odlewie jest dwojaki: jako niezależny czynnik termodynamiczny ciśnienie jest zdolne wpływać na parametry procesu krystalizacji oraz jako czynnik siłowy wpływa pośrednio na procesy wymiany ciepła w układzie odlew – forma.



Rys. 1. Wady odlewnicze zlokalizowane w odlewach: a) typu „wałek”, b) typu „płyta”
 Fig. 1. Casting defects in castings: a) ‘roll’ type, b) ‘plate’ type

Skutkami działania ciśnienia na ciekły metal mogą być: zmiany ilości zarodków krystalizacji, zmiany układu równowagi stopu i wynikające z nich zmiany przechłodzenia stopu i rozpuszczalności składników, zmiany prędkości odprowadzania ciepła wskutek zwiększenia powierzchni kontaktu metalu z formą lub likwidacji szczeliny powietrznej, zmiany jakościowe i ilościowe mikrostruktur, zwiększenie gęstości metalu przez zmniejszenie porowatości gazowej i skurczowej podczas krystalizacji.

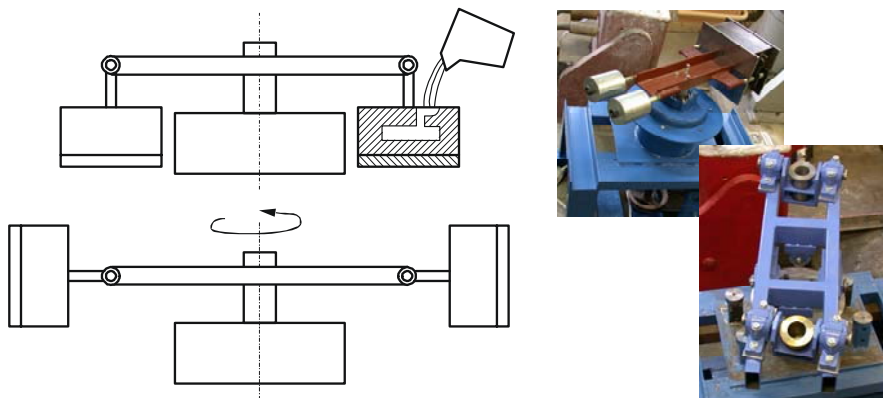
Rozpatrując zalety i wady znanych i praktykowanych w odlewnictwie metod wykorzystujących działania ciśnienia na ciekły metal, tj. odlewanie z zasysaniem próżniowym, odlewanie z przeciwcisnieniem, odlewanie autoklawowe, odlewanie niskociśnieniowe, odlewanie ciśnieniowe, compocasting, prasowanie w stanie ciekłym (squeeze casting), odlewanie pod ciśnieniem pola elektromagnetycznego, odlewanie w formach wirujących (odśrodkowe, półodśrodkowe, pod ciśnieniem odśrodkowym) przyjęto zmodyfikowaną metodę odlewania w formach wirujących pod ciśnieniem odśrodkowym.

W wykonanym urządzeniu odlewniczym uwzględniono możliwość realizacji żądanej wartości ciśnienia w metalu w ciągu całego procesu krystalizacji w całej objętości metalu, możliwość stosowania form odlewniczych piaskowych oraz trwałych, prostotę budowy i obsługi. Urządzenie pozwalające realizować powyższe założenia przedstawiono na rysunku 2 [4].

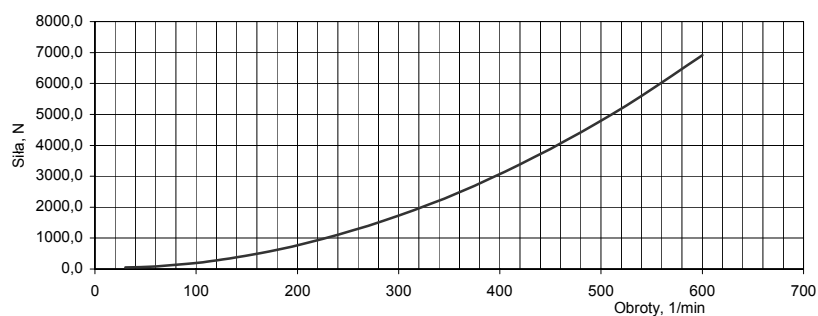
Urządzenie realizuje swoje funkcje poprzez odpowiedni ruch formy odlewniczej wypełnionej ciekłym metalem. Ciśnienie występujące w ciekłym metalu zależne jest od promienia okręgu, po którym porusza się forma odlewnicza, gęstości ciekłego metalu oraz od prędkości obrotowej. W urządzeniu przyjęto promień okręgu równy 0,35 m. Na rysunku 3 przedstawiono zależność siły odśrodkowej od prędkości obrotowej ramienia z formą odlewniczą, wyznaczoną dla gęstości stopu Fe-Al.

Konstrukcja urządzenia umożliwia stosowanie zarówno form piaskowych oraz trwałych (grafitowych).

Przedstawioną metodą wykonano odlewy kształtowe o masie do 4 kg łącznie z układem wlewowym dla ciśnienia panującego w ciekłym metalu równego 5 MPa. Działanie ciśnienia (wirowanie ramienia z formą odlewniczą) utrzymywano co najmniej do zakończenia procesu krystalizacji.



Rys. 2. Urządzenie do odlewania pod ciśnieniem odśrodkowym
Fig. 2. Centrifugal pressure casting equipment



Rys. 3. Zależność siły odśrodkowej od obrotów ramienia
Fig. 3. Relationship between centrifugal force and arm rotation

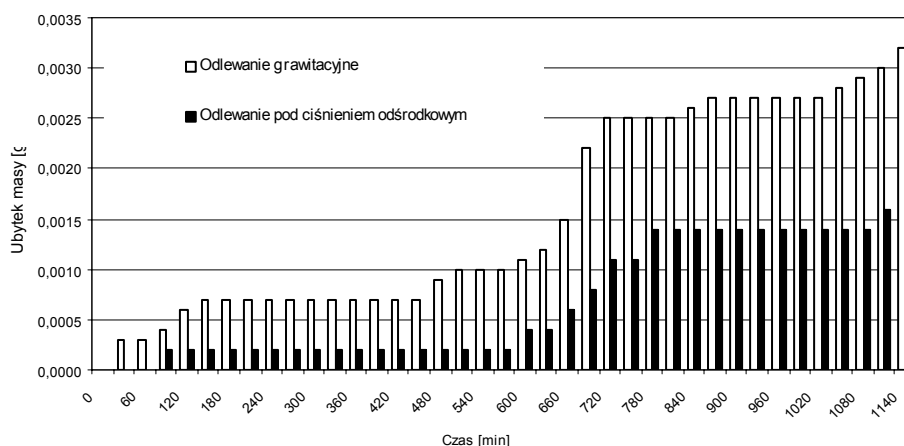
Na rysunku 4 przedstawiono elementy kształtowe ze stopu Fe-Al wykonane opisanym sposobem. Elementy typu „wałek” wykonano w formie piaskowej, natomiast pozostałe, „tarcza” oraz „ruszt”, w formach grafitowych. Odlewy te nie wykazały nieciągłości typu skurczowego.



Rys. 4. Elementy kształtowe odlane pod ciśnieniem odśrodkowym ze stopu Fe-Al
Fig. 4. Centrifugal casting of Fe-Al fixtures

3. WPLYW SPOSOBU ODLEWANIA (TYPU KRYSTALIZACJI) NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWE STOPU FE-AL

Próbki wycięte z elementów typu „tarcza” wykonanych ze stopu Fe-Al34 drogą odlewania grawitacyjnego oraz odlewania pod ciśnieniem odśrodkowym 5 MPa przebadano pod kątem odporności na erozję kawitacyjną. Badanie przeprowadzono na stanowisku do symulowania zjawiska kawitacji, w którym płaska powierzchnia próbki o wymiarze $\phi 20 \times 6$ mm uderza o strumień wody wypływający z dyszy o średnicy 10 mm [5, 6]. W ten sposób imitowany jest proces gwałtownego zamykania się pęcherzyków kawitacyjnych (implozji) na powierzchni badanej próbki. Próbki wycięte z odlewu zalewanego grawitacyjnie oraz odlewu poddanego ciśnieniu odśrodkowemu mocowano w przeciwległych gniazdach wirującego ramienia stanowiska i poddawano działaniu strumienia wody w cyklu półgodzinnym. Wyniki badań w postaci narastającej sumy ubytków wagowych przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Odporność na erozję kawitacyjną stopu Fe-Al34
Fig. 5. Cavitation erosion resistance for Fe-Al34

Porównanie wyników badań odporności na erozję kawitacyjną stopu Fe-Al34 (górną wykres słupkowy obrazuje przyrost ubytków wagowych próbki wyciętej z odlewu zalewanego grawitacyjnie; dolny z odlewu krystalizującego pod ciśnieniem 5 MPa) wykazuje przeszło dwukrotne zwiększenie odporności na zużycie kawitacyjne w przypadku krystalizacji tego stopu pod ciśnieniem odśrodkowym.

WNIOSKI

1. Odlewy z intermetali Fe-Al zalewane grawitacyjnie wykazują znaczną skłonność do tworzenia nieciągłości o charakterze skurczowym.

2. Wykonywanie odlewów z intermetali Fe-Al w warunkach ciśnienia odśrodkowego o dostatecznie dużej wartości redukuje występowanie wad odlewniczych typu skurczowego.

3. Odlewy wykonywane w warunkach ciśnienia odśrodkowego wykazują istotny wzrost odporności na erozję kawitacyjną w odniesieniu do odlewów zalewanych grawitacyjnie.

LITERATURA

- [1] Bystrzycki J., Bojar Z., Przetakiewicz W., Varin R.: *Intermetale – nowa generacja stopów żarowytrzymałych*. Wojskowy Przegląd Techniczny, 6(1993)15.
- [2] Wojtkun F., Sołucew J. P.: *Materiały specjalnego przeznaczenia*. Monografia nr 36, Politechnika Radomska, Radom 1999.
- [3] Barcik J., Cebulski J.: *Stop na osnowie związku międzymetalicznego FeAl – struktura i właściwości technologiczne*. Inżynieria Materiałowa, 1(1997)23.
- [4] Raport ze zlecenia nr 1519/INPT/03: *Dobór parametrów oraz wykonanie elementów kształtowych metodą odlewania ciśnieniowego ze stopu Fe-Al*. Akademia Morska, Szczecin 2004 (nie publikowany).
- [5] Jasionowski R.: *Badania odporności materiałów na erozję kawitacyjną. Cz. I. Urządzenia*. Zeszyty Naukowe Nr 72, Wyższa Szkoła Morska, Szczecin 2003.
- [6] Steller K., Krzysztofowicz T.: *Metody testowania materiałów narażonych na działanie kawitacji*. Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 152/1072/82, Gdańsk 1982.

CRYSTALLISATION UNDER CENTRIFUGAL PRESSURE AS A METHOD FOR IMPROVING QUALITY OF CASTINGS MADE OF Fe-Al INTERMETALS

SUMMARY

The paper evaluates the quality of castings made of Fe-Al intermetals, focusing on casting defects related to metal shrinking. The paper indicates possibilities of improving the quality of the castings by crystallising metal under centrifugal pressure. The solution has been implemented by rotation of moulds and filling them with liquid metal. The castings show the cohesiveness of material at the microscopic level. Comparative testing was provided involving gravitation castings and castings manufactured according to the method mentioned above as regards a selected property, namely resistance to cavitation erosion.

Recenzował: Prof. Jerzy Kubicki