

O MECHANIZMIE WYPEŁNIANIA FORMY ODLEWNICZEJ CIEKŁYM METALEM

BYDAŁEK Andrzej

Wydział Mechaniczny, Politechnika Zielonogórska, ul. Szafrana 2,
65-016 Zielona Góra

STRESZCZENIE

Dokonano próby wyjaśnienia mechanizmu wypełniania form odlewniczych. Brak monotonicznej charakterystyki przepływów wiązano z oddziaływaniem sił powierzchniowych, którym towarzyszyła krystalizacja w postaci okresowo nadtapianego korka w okolicy czołówki strugi. Z udziału ciepła krystalizującego w takich warunkach stopu wykazano możliwości sterowania kształtowaniem się struktury pierwotnej w odlewie.

1. WPROWADZENIE

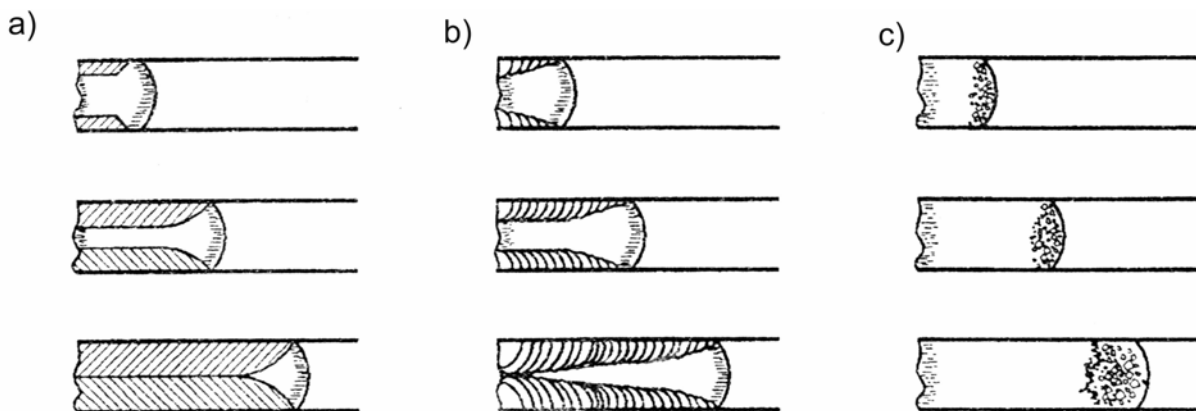
Nierozerwalnie z rozwojem odlewnictwa wiążą się wysiłki nad poznaniem mechanizmu kształtowania się odlewu we wnęce formy. Ponieważ problem wywodzi się z pogranicza mechaniki płynów i krystalizacji w odbiegających od statyki warunkach, rozwiązanie wymaga uwzględnienia obu wymienionych czynników. W opracowaniu wytyczone zostało zadanie ustalenia charakterystyki przepływu i krzepnięcia metalu w trakcie wypełniania wnęki formy.

Przeważająca ilość dotychczasowych opracowań skoncentrowana została wokół krzepnięcia odlewów w warunkach statycznych i rzadziej krystalizacji w warunkach dynamicznych. Opierając się głównie na klasycznych próbach lejności, już w latach 30-tych pojawiły się obszernie opracowania [1] ujmujące nawet zdolność płynięcia od uzależnionej od składu chemicznego krystalizacji, jako długo obowiązujące prawa. Późniejsze jednak badania laboratoryjne [3-10] podważyły ich wartość, zaś próby modelowania rzeczywistych warunków wypełniania wnęki formy [11-16] wykazały ograniczone znaczenie tylko do zakresu dużych prędkości ruchu burzliwego, głównie w kanałach układu wlewowego. Niezgodności z wcześniej sformułowanymi regułami dla innych warunków [1] próbował P. Bastien wytłumaczyć odstępstwami od równowagowych układów bardzo intensywnie chłodzonej czołówki strugi. Nie usiłował jednak zbliżyć układu pomiarowego do warunków panujących w samej wnęce formy.

Dokonał tego dopiero J.Mutwil [14,33,34], ustalając dla wielu stopów lekkich dokładne wartości obniżonych temperatur krzepnięcia oraz istotny ich wpływ na nieregularności wydzielania się składników fazy stałej. W celu szerszego udokumentowania przedsiębrane były również próby analizowania mechanizmu krzepnięcia poprzez wylanie resztek z pomiarowego kanału formy.

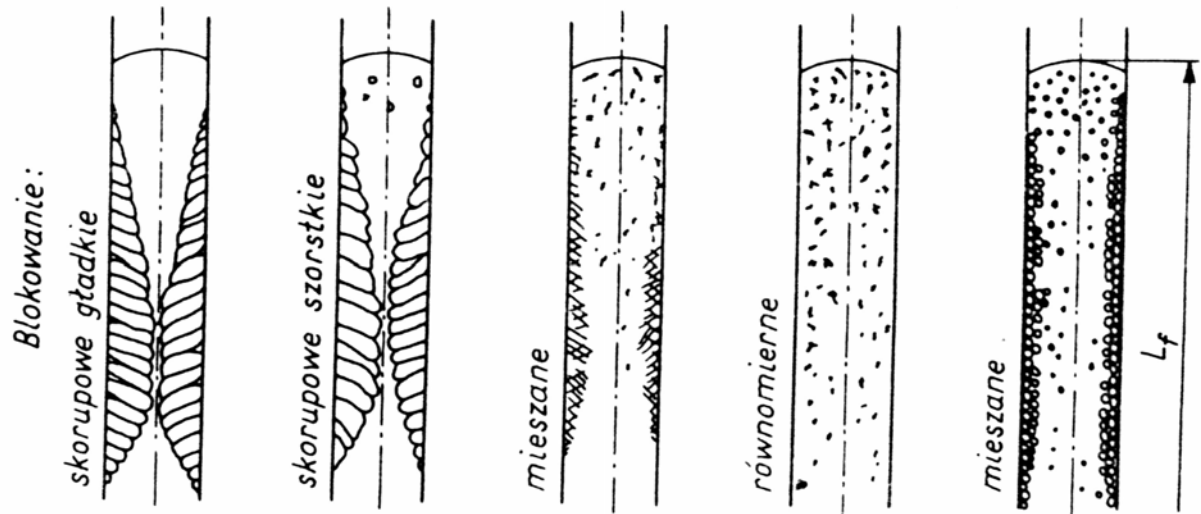
Dla klasycznej próby lejności opracowano schemat krzepnięcia strugi metalu bez przegrzania z zatrzymaniem przepływu jak na rys.1 [9, 10], zaś dla warunków przepływu z przegrzaniem wg. rys.2 [18.] Podobnymi cechami charakteryzował się przedstawiony przez Kumanina [19] mechanizm przepływu z kształtowaniem się ruchomego przewężenia w pobliżu czoła strugi (rys.3.).

Pewną odrębność wykazał, B.Arsov [20], zakładając krzepnięcie strugi zawsze od ścianek formy. Opracowany przezeń schemat (rys.4.) różnił się wyraźnie od obu poprzednich schematów.



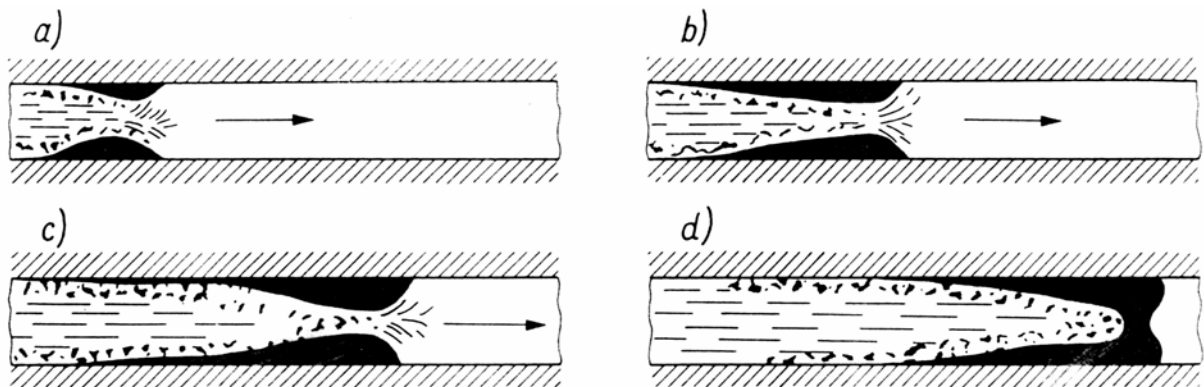
Rys.1. Krzepnięcie strugi nieprzegrzanego metalu w wąskim kanale formy według M.C.Flemingasa [9, 10], a) czysty metal, b) stop niskoprocentowy i eutektyczny, c) stop wysokoprocentowy

Fig.1. Solidification of an unsuperheated metal in a narrow form channel according to: a) pure metal, b) low percentage and eutectic alloy, c) high percentage alloy



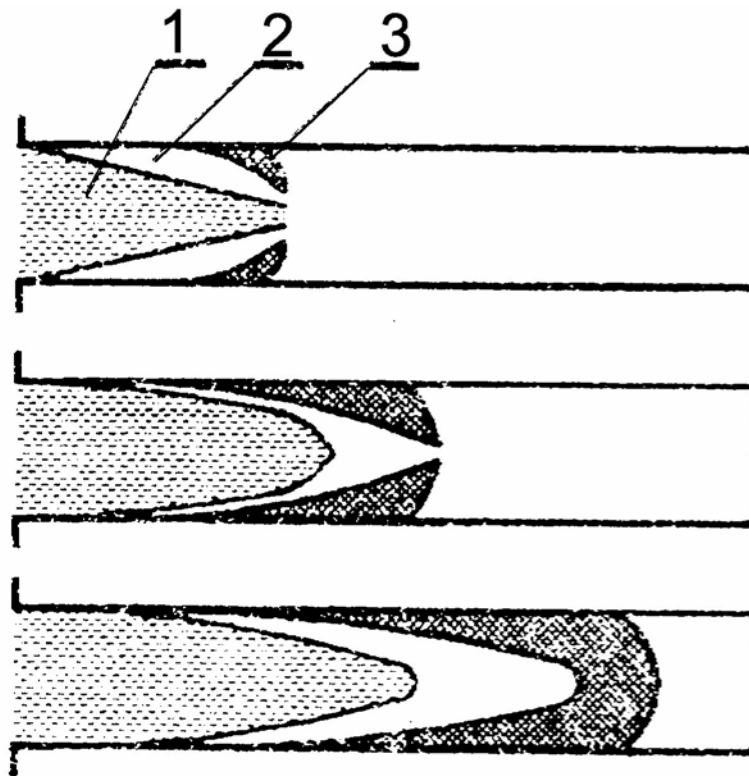
Rys.2. Mechanizm blokowania (wstrzymania) płynięcia stopu odlewniczego w kanale formy [18]

Fig. 2. Block mechanism of casting alloy flow in a form channel.



Rys.3. Schemat mechanizmu wstrzymania ruchu metalu w kanale [19]

Fig. 3. Diagram of mechanism of motion restraining in a channel.

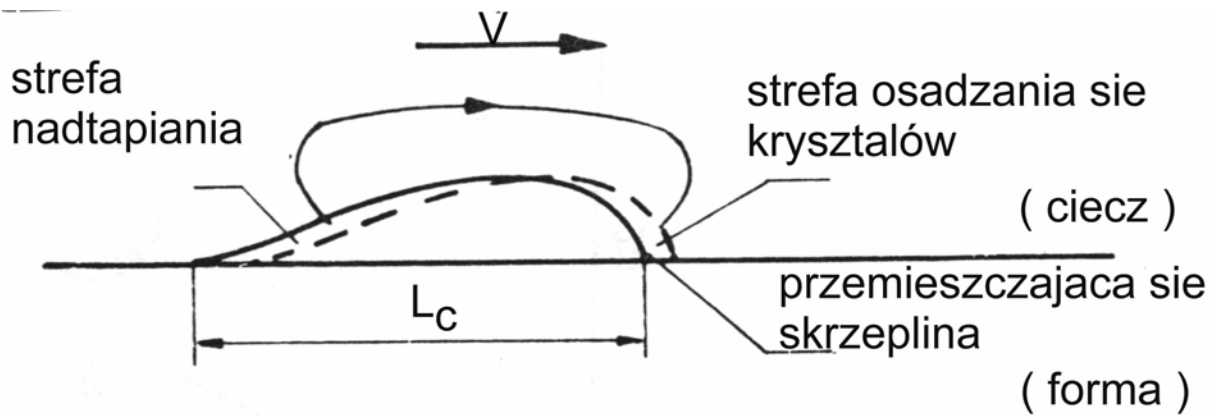


Rys.4. Schemat krzepnięcia przegrzanej strugi metalu według B.Arsova [20] 1 - faza ciepla, 2 - faza przejsciowa, 3 - faza stała

Fig. 4. Solidification scheme of superheated metal on B. Arsov [20]: 1 – liquid, 2 – liquid – solid, 3 – solid.

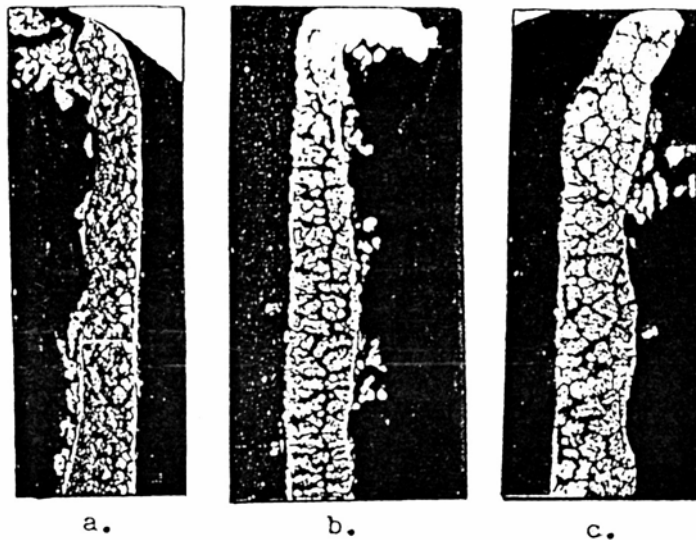
2. OPRACOWANIE ZAGADNIENIA

Prowadzone w tym czasie przez autora i współpracowników badania przy mniejszych prędkościach przepływu [21-23] doprowadziły do zaobserwowania przypadków wyłącznie b i e wg. rys.2. tak u stopów lekkich, stopów miedzi jak i żelaza. Na tej podstawie sformułowano wniosek, że krzepnięcie normalnych stopów przemysłowych w trakcie wypełniania cienkościennych przestrzeni we wnęce formy odbywa się z dostateczną intensywnością chłodzenia końcówki strugi do zapewnienia zawsze ukierunkowanego charakteru krystalizacji. Do analizy matematycznej przyjęty został [23] model wędrującej masy namrożonej na ściankach kanału o zmniejszającym się przekroju prześwitu, gdzie równocześnie następowało nadtapianie się skrzepliny od strony wlotu kanału i osadzania nowych kryształów od strony czołowej. Występującą też obecność swobodnie płynących w strudze kryształów potwierdziły metalograficzne badania szybko ochładzanej [16] a nawet mrożonej w ciekłym azocie [24] czołowej jej części (rys.6.).



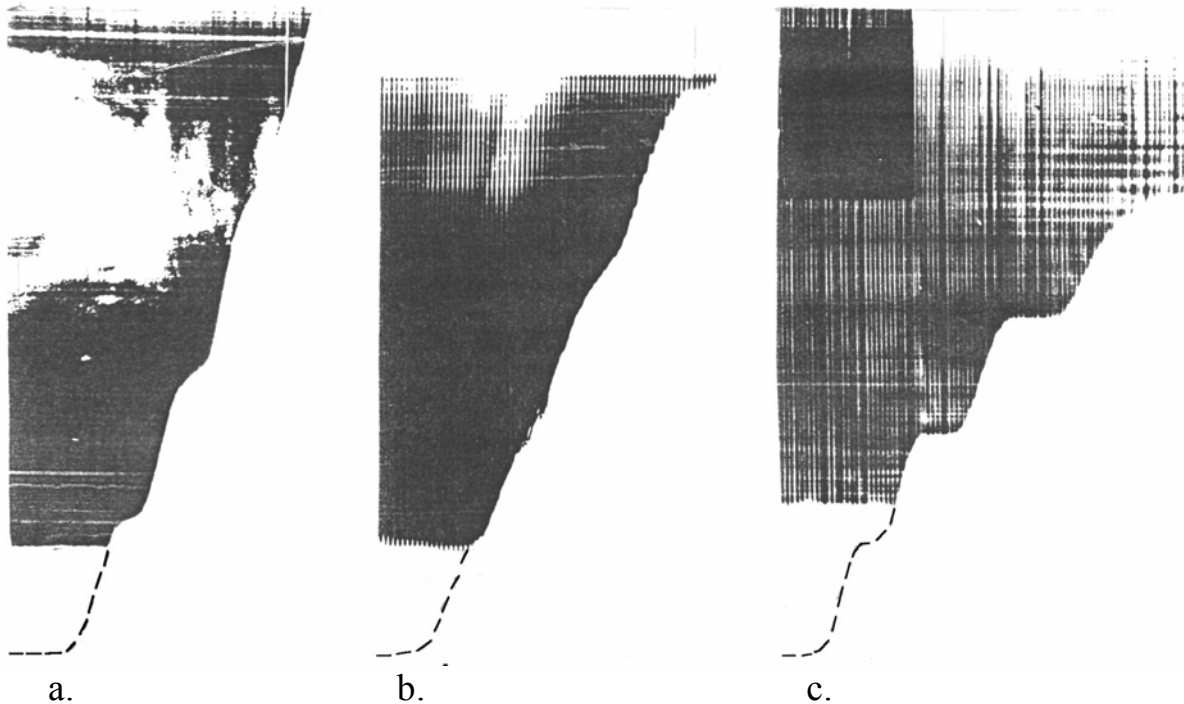
Rys.5. Schemat przemieszczającej się skrzepliny [23]

Fig.5. Diagram of a skull displacement [23]



Rys.6. Makrostruktura warstwy zakrzepłej siluminu [24]. Pow. 15×

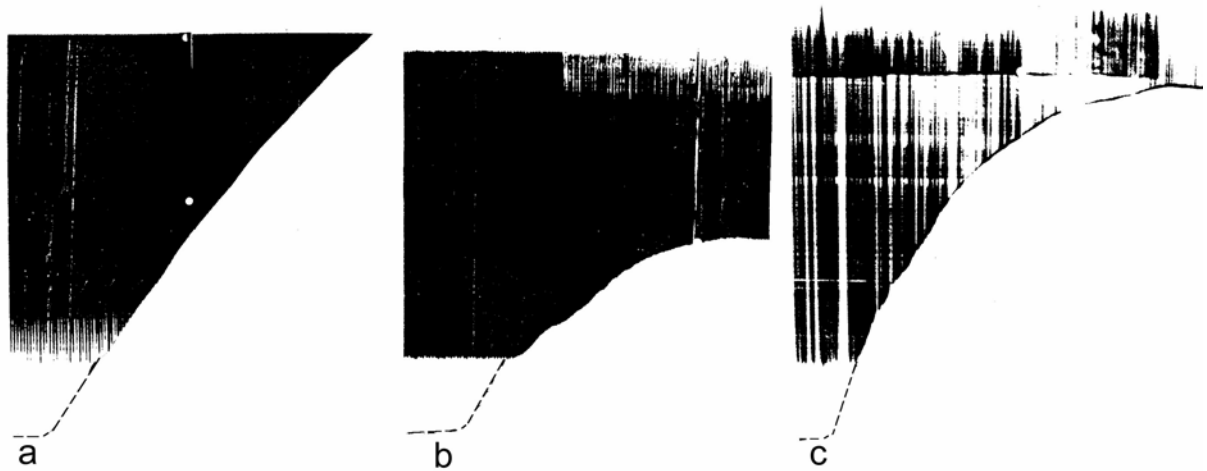
Fig.6. Macrostructure of a solidified skull [24]. Enlarged 15×



Rys.7. Obraz przemieszczania się czoła strugi stopu AlCu9 we wnęce formy
 Fig.7. Picture of Al.-Cu9 alloy stream ending displaced in the from channel

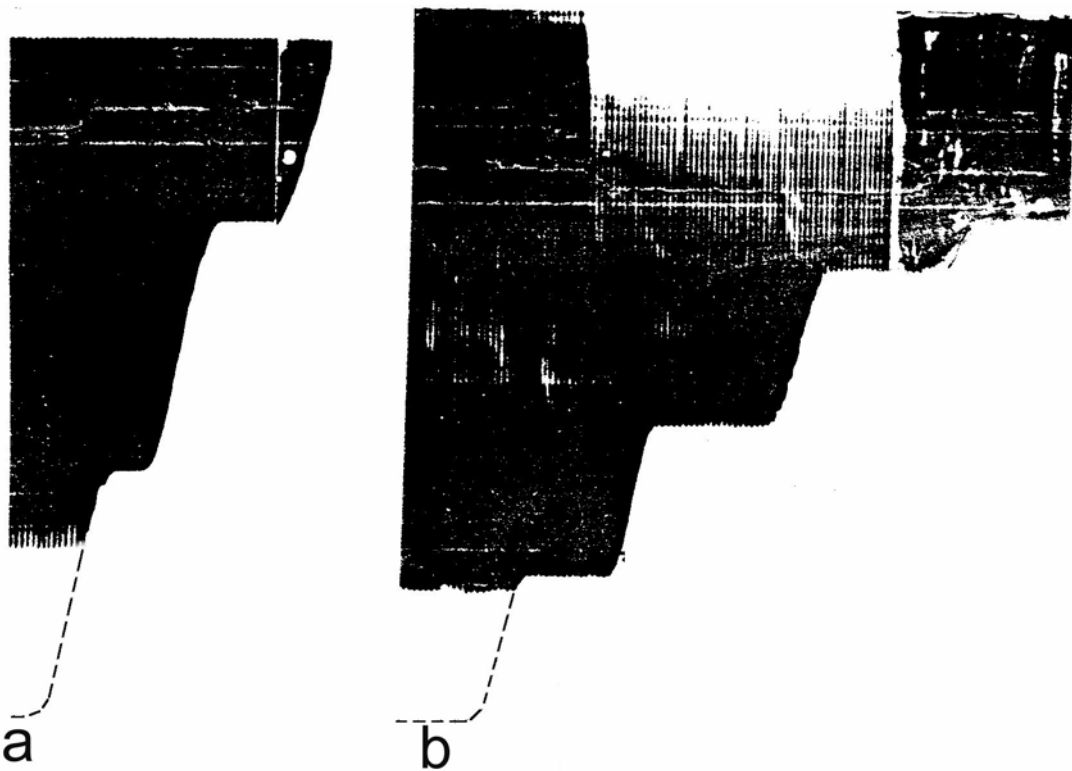
Odrębną grupę badań przedstawiały próby ustalania charakterystyk wypełniania form poprzez śledzenie przemieszczania się czołówki strugi. Jedne z pierwszych i do dzisiaj najbardziej dokładne [11], polegały na wykorzystaniu zasady fotograficznej, przy użyciu specjalnej kamery. Zaobserwowane u stopów lekkich występowanie harmonicznym ruchów drgających słupa metalu o zanikającej z upływem czasu tendencji (rys.7.a) przypisano wpływowi głównie napięcia błonowego na wlocie do kanału, na co wskazywały zmniejszone efekty po zastosowaniu topnika (rys.7b). Obniżenie stopnia przegrzania ze 100 °C do 30 °C spowodowało natomiast efekt odwrotny w postaci pogłębiania się skokowego charakteru przepływu (rys.7c), co już przypisano towarzyszącym w okresach kolejnych przestojów wpływom krzepnięcia. Główną przyczynę skokowego charakteru przepływu zdawały się potwierdzać też podobne badania rtęci oraz cynku i cyny (rys.8) o mniejszej skłonności do wytwarzania związanej warstwy tlenkowej.

W późniejszych badaniach kinetyki za pomocą przemieszczającego się penetratora przed czołem strugi [Z5, Z6] charakterystyki przepływów również żeliwa i stopów miedzi przedstawiały się podobnie. W porównaniu do omawianej grupy doświadczeń interesująco wyglądały jednak charakterystyki wypełniania próbnym form przez aluminium po modyfikacji sodem (rys.9a) lub stopu AlCu9 po modyfikacji wapniem (rys.9b). W obu przypadkach



Rys.8. Charakterystyka przemieszczania się czoła strugi: a) rtęci, b) cynku, c) cyny

Fig.8. Characteristics of displacement of a stream ending: a) mercury, b) zinc, c) tin



Rys.9. Skutki obróbki w stanie ciekłym na charakterystykę przepływów a) Al po modyfikacji sodem, b) stopu AlCu9 modyfikowanego wapniem

Fig.9. Influence of the improvement in the melting conduction on the stream characteristic: a) aluminum after sodium modification, b) Al.-Cu9 alloy after calcium addition

dostrzeżono wyraźnie zarysowaną tendencję do zwiększającego się wydłużania kolejnych przestojów w skokowym wypełnianiu kanału pomiarowego. Na tle opisanych badań należałoby więc uznać mechanizm wypełniania formy za bardziej złożony, niż wynikał z opisanych wcześniej schematów. Potwierdzone metodą dekantacji zjawisko [23] mogło mieć przebieg wg. schematu przedstawionego na rysunku 5 tylko w okresach przepływów. W momentach kolejnych przestojów następowało zmniejszanie się szybkości odprowadzania ciepła od strugi metalu, nie hamowany zaś dopływ ciepła od strony wlotu do kanału powodował nadtapianie namrożonej warstwy, co umożliwiało przepływ na kolejnym odcinku aż do momentu ostatecznego wstrzymania, z reguły na kolejnym przestoju. W świetle tego powinno budzić zdziwienie, że opisane przez autora w 1963 r. [11] zjawisko, potwierdzone również stosunkowo wcześniej (1979 r.) przez Chudokormowa przy większych niż we wnękach form prędkościach przepływów [27], nie znalazło wykorzystania w znacznie nawet późniejszych opracowaniach, uporczywie sprowadzających krzepnięcie metali w trakcie wypełniania formy do jedynie monotonicznej charakterystyki. Przedstawiony opis zjawiska można też wykorzystać do wyjaśnienia przyczyny stosunkowo dużych rozrzutów pomiaru zdolności do wypełniania form nawet najbardziej precyzyjnymi metodami [12, 16].

Niezależnie od wcześniejszych, na znaczne niezgodności poglądów natrafiono w ustalaniu koncentracji fazy stałej do momentu wstrzymania przepływu. Dla przypadku występowania zwartej warstwy kryształów wg. pierwszego przykładu na rysunku 2 przyjmowano początkowo [1] 100% ich zawartości. Następni [28], uzależniając to od związanego za składem chemicznym stopu charakteru krystalizacji, określili krytyczną zawartość kryształów na $70 \div 100\%$ - tym większą, im wyższe było ciśnienie metalostatyczne we wlewie próby lejności. M.C. Flemings z współautorami [29-31] ustalili doświadczalnie, że stop PbSn5 tracił zdolność do płynięcia w próbie lejności przy 25%, zaś stop AlCu4,5 zależnie od ciśnienia metalu we wlewie w przedziale $5 \div 30\%$ kryształów. Uwzględniając dłuższe czasy zalewania specjalnych prób lejności, obliczyli R.Mai i G.Drossel [32] udział fazy stałej dla eutektycznego siluminium na 10-26%. Taki sam stop był przedmiotem badań autora w dużym obszarze zmienności parametrów zalewania [11]. W zależności od zmian prędkości podwyższania się poziomu metalu w formie od $0 \div 14$ cm/s i stopnia przegrzania ponad likwidus określono krytyczną koncentrację kryształów przy najwyższych prędkościach tylko na 12%, zaś przy bardzo małych, rzędu pojedynczych cm/s, aż na 65%. Uderzającą zbieżność zasady stykających się kul Kołomogorowa z tą liczbą uznano za nie przypadkową i uzasadnioną logicznie. Potwierdzone doświadczalnie wyniki [22] wskazywały jednak na odwrotne powiązania prędkości przepływów z udziałem kryształów w momencie wstrzymania przepływu, niż w większości poprzednio cytowanych opracowaniach. Z porównań przytoczonych badań wynikały duże możliwości wykorzystywania ciepła do zamiany na drogę przepływu tylko przy małych prędkościach podnoszenia się poziomu metalu we wnęce formy. Dla tak pojmowanych warunków mały również błędy z zakładania w obliczeniach równowagowych temperatur krzepnięcia, co pozwalało na uzyskiwanie dużych przybliżeń do stanów rzeczywistych. Na podstawie opisanych wyników ustalono, że poprzez regulację prędkości i temperatury zalewania można wpływać na kształtowanie się struktury odlewu, wraz z wpływem na efekty skurczowe. Przedstawiona idea znalazła potwierdzenie również w najnowszych próbach formowania odlewów metalami w stanie ciekło - stałym (Rheugiessen).

3. WNIOSKI

Przedstawione opisy pozwoliły wnioskować, że wypełnianie formy odlewniczej ciekłymi stopami nie przebiega monotonicznie. Towarzyszące tam ruchy pulsacyjne przypisano wpływom głównie sił powierzchniowych, zaś roztapianie okresowo narosty kryształów uznano jako towarzyszące im zjawisko wtórne. Pulsacyjny przepływ odbywał się do momentu kolejnego przestoju, w którym narosty były już niemożliwe do roztopienia strumieniem dopływającego ciepła przegrzania. Z analizy ilości ciepła krystalizującego w tak przedstawionych warunkach stopu wynikały duże możliwości wykorzystania parametrów zalewania do sterowania kształtowaniem się struktury i zjawisk skurczowych w odlewie.

LITERATURA

- [1] Portevin A., Bestien P.: J.Inst.Met.,tom 54, 1934, s.45.
- [2] Patterson W., Kummerle R.: Giesserei, nr 5, 1959, s.897.
- [3] Cooksey J. i in.: Brit. Foundr., nr 52, 1959, s.381.
- [4] Shiri M.: Giesserei TWB, nr 2, 1961, s.109.
- [5] Korolkov A.M.: Litejnyje svoistva metallov i splavov, Izd. AN SSSR, Moskva 1960.
- [6] Evance E.R.: Journal of Research and Developments, B.C.J.R.A., vol.5, 1953, s.18.
- [7] Bocvar A.A.: Mitaloviedeniye, Moskwa, Metallurgizdat, 1956.
- [8] Morita S.: 27 Int.Foun.Congr., Zurich, 1960.
- [9] Flemmings M.C.: Brit.Foundr., nr 6, 1964, s.312.
- [10] Niesse J.E., Fleming M.C.: Trans. AFS, 1959, nr 67, s.685.
- [11] Bydałek A. Prz.Odlew. nr 5, 1963, s.135.
- [12] Bydałek A.: Giesserei TWB, nr 2, 1966, s.105.
- [13] Bydałek A.: Giesserei Forschung, 1969, z.2, s.1.
- [14] Mutwil J.: Praca dokt. Polit. Wrocław. Wrocław, 1983.
- [15] Bydałek A.: Z.N. Politechniki Wrocławskiej, Mechanika XVII, nr123
- [16] Mutwil J.: Ocena zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących podczas wypełniania metalem formy odlewniczej. Wyd. WSI, Zielona Góra, 1992.
- [17] Bastien P., Armbruster J.C.: Modern Casting, nr6, 1962, s.72.
- [18] Engler S.: Giesserei Forschung, 1978, z3, s.107.
- [19] Kumanin I.B.:Lit. Proizv. nr2, 1980, s.3.
- [20] Arsov S.: Stalnyje otlivki. Moskva, 1970.
- [21] Bydałek A., Wantoła L.: Prace Naukowe IITBNI Pol. Wrocławskiej, nr 37, 1988, s.17.
- [22] Bydałek A., Lipnicki Z.: Krzepnięcie metali i stopów, tom. 15, 1990, s.77.
- [23] Lipnicki Z.: Kom. TBM PAN, Poznań, z.9, 1992, s.6.
- [24] Bydałek A.W.: Krzepnięcie metali i stopów, z.19, 1994, s.87.
- [25] Mutwil J, Bydałek A.: Mat. Konf. TBM PAN, WSI w Zielonej Górze, 1987, s.10.
- [26] Bydałek A., Mutwil J.: Kom. TBM PAN, Poznań, z.5, 1984, s.39.
- [27] Chudokormow D.W.: Lit. Proizv. nr 1, 1979, s.5.
- [28] Niechendzi J.A., Samarin A.M.: Trudy CNII MTM, 1946.
- [29] Niesse J.E., Flemings M.C., Taylor H.F.: Mod. Cast. nr 5, 1959, s.685.
- [30] Flemings M.C.: Brit. Found. nr6, 1964, s.312.

- [31] Flemings M.C., Nijjama E., Taylor M.F.: Mod. Cast. nr6., 1961, s.75.
- [32] Mai R., Drossel T.: Giessereitechnik nr 3, 1981, s.78.
- [33] Mutwil J.: Arch. TM i A, KBM PAN w Poznaniu, z. 17, 1997, 109
- [34] Mutwil J.: Prace IIPiM Politechniki Zielonogorskiej, 1998, s 73.

ABOUT MECHANISM OF FILLING A CASTING MOULD WITH A LIQUID METAL

SUMMARY

An effort was made to explain the mechanism of filling casting moulds. A lock of monotonic characteristics of flows was connected to the interaction of surfaces, which were accompanied by cristalization in the form of periodically melted plug in the region of the ending of the stream. The possibilities of controlling the formation of original in the cast were shown.