

KRYSTALIZACJA ŻELIWA SZAREGO I STOPOWEGO NA WALCE DWUWARSTWOWE

F. BINCZYK¹, J. SITKO², E. CZERWIŃSKI³, E. KRZEMIEN⁴

¹- Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, Politechnika Śląska,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, POLSKA

^{2,4}- Katedra Zarządzania Jakością Procesów i Produktów, Politechnika Śląska,
ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, POLSKA

³- HUTA BUCZEK S A ul. Nowopogońska 1, 41-200 Sosnowiec, POLSKA

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań krystalizacji żeliwa stopowego i szarego stosowanych jako tworzywa na walce dwuwarstwowe. Stwierdzono, że żeliwo stopowe krzepnie w niższej temperaturze niż żeliwo szare. Z punktu widzenia krystalizacji warstwy utwardzonej i uzyskania stałej grubości na wysokości beczki walca jest to niekorzystne. Technologia przelewania wymaga jednak, aby żeliwo użyte do tego celu miało wyższą temperaturę T_L , efektem czego jest wyższa temperatura odlewania w stosunku do temperatury odlewania żeliwa stopowego. Chodzi zwłaszcza o niedopuszczenie do „zamrożenia” kanałów układu wlewowego. Wykazano istotny wpływ Ni i Mo na obniżenie temperatury krystalizacji T_L i T_S żeliwa. Opracowane dotychczas zależności empiryczne na związek pomiędzy tymi temperaturami, a składem chemicznym nie uwzględniają wpływ Ni i Mo.

Key words: crystallisation, grey cast iron, alloy cast iron, sleeved roll, thermal analysis.

¹ dr hab. inż. –prof. Pol. Śl

² -mgr inż.

³ mgr inż

⁴ dr hab. inż. –prof. Pol. Śl.

1. WSTĘP

Walce hutnicze należą do elementów pracujących w wyjątkowo trudnych warunkach. W czasie walcowania materiał walca poddawany jest zmiennym naprężeniom ściskającym, rozciągającym oraz naprężeniom skręcającym powstającym w wyniku przenoszenia momentu obrotowego. Dodatkowo powierzchnia robocza beczki walca poddawana jest silnemu działaniu ścierającemu.

Powierzchniowa część robocza walca winna zatem cechować się znaczną odpornością na zmęczenie cieplne i zużycie ścierane w warunkach zmiennych obciążeń i podwyższonej temperatury. Tworzywo części środkowej (rdzenia) walca, a zwłaszcza czopów winno cechować się dużą udarnością, dobrymi właściwościami ślizgowymi oraz dobrą skrawalnością [1]. W walcach monolitycznych trudno jest spełnić równocześnie stawiane im wymagania. Możliwość taka istnieje w walcach zespolonych (dwuwarstwowych) [1, 2, 3]. Powierzchnia robocza walca wykonana jest z tworzywa o wysokiej twardości i odporności na ścieranie, a rdzeń i czopy z tworzywa o dobrej udarność i obrabialności. Znaczny postęp w produkcji tego typu walców wniosła technologia odlewania odśrodkowego [4, 5, 6]. Podstawowymi tworzywami na walce hutnicze są różnorodnie żeliwa stopowe z manganem, chromem, niklem, molibdenem i miedzią. Dodatki te umożliwiają uzyskanie twardej i odpornej na ścieranie struktury bainityczno-martensytycznej z wydzieleniami cementytu oraz niewielkiej ilości grafitu płatkowego lub kulkowego, podczas stygnięcia w formie odlewniczej [1, 7, 8].

2. PROBLEM BADAWCZY

W Hucie „Buczek” stosuje się znaną od dawna, oryginalną technologię odlewania walców dwuwarstwowych o nieokreślonej grubości warstwy utwardzonej, pracujących w klatkach wykańczających i wygładzających walcowni blach metali kolorowych [9]. Technologia polega na dwuetapowym syfonowym odlewaniu żeliw o różnym składzie chemicznym. W pierwszym etapie do metalowej wlewnicy wlewane jest żeliwo wysokostopowe, do górnej wysokości beczki walca. Żeliwo to krystalizuje od powierzchni formy metalowej tworząc w określonym czasie warstwę zakrzepniętą. Następnie do wlewnicy odlewane jest (z określonymi przerwami) żeliwo niestopowe, które „wypiera” z obszaru środkowego żeliwo stopowe. Nadmiar żeliwa wylewa się poprzez górną część formy specjalną rynną do podstawionej formy metalowej, w której krystalizuje w postaci gąsek (wykorzystywanych jako składnik wsadowy). Szybkość krystalizacji i grubość powierzchniowej warstwy żeliwa stopowego zależy głównie od temperatury odlewania, temperatury T_L oraz zakresu krzepnięcia (T_L-T_S). Nie bez znaczenia jest także temperatura formy i rodzaj stosowanego pokrycia. Żeliwo szare, odtwarzające rdzeń i czopy walca nie powinno ponownie topić utworzonej warstwy. Z tego względu temperatura początku krystalizacji tego żeliwa winna być nieco niższa od temperatury T_L dla żeliwa stopowego. Częściowe nadtopienie jest pożądane w celu utworzenia dobrego połączenia. Z różnych przyczyn dochodzi jednak do zbyt intensywnego topienia warstwy żeliwa stopowego na całej wysokości beczki walca,

bądź tylko w pewnych obszarach na tej wysokości. Między innymi przyczyną tego niekorzystnego zjawiska jest sprzeczność technologiczna związana z procesem „przelewania” formy żeliwem szarym. Wysoka temperatura T_L żeliwa stopowego mogła by doprowadzić do jego krystalizacji w układzie wlewowym, jeszcze przed procesem przelewania. Przelewanie żeliwem o niższej temperaturze T_L nie było by już wtedy możliwe. Mając na uwadze powyższe informacje przeprowadzono badania, których celem było wyznaczenie temperatury początku i zakresu krystalizacji żeliwa stopowego i szarego.. Badania prowadzono w Hucie Buczek, bezpośrednio na stanowisku odlewania walców.

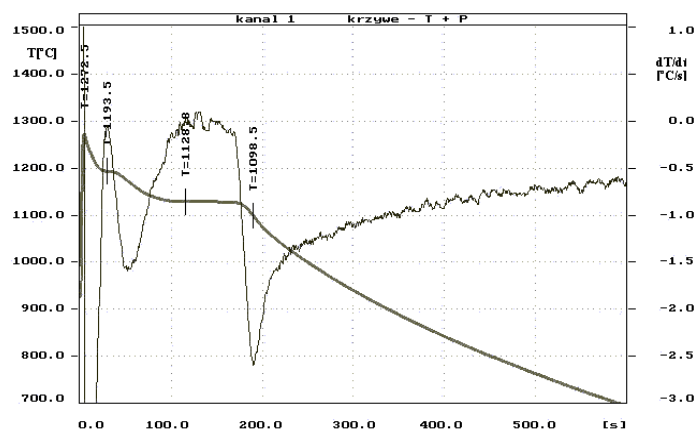
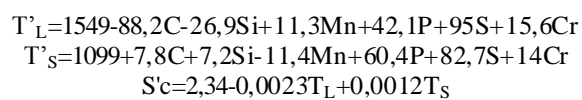
3. WYNIKI BADAŃ

Badania krystalizacji prowadzono metodą analizy termicznej TA i ATD. Żeliwo pobrane z kadzi odlewano do standardowego próbnika firmy Electro-Nite QC4010, z termoelementem typu K w osłonie kwarcowej. Żeliwo pobrane z przelewanej strugi odlewano do próbnika QC4080 z termoelementem bez osłony kwarcowej (zmniejszenie bezwładności odczytu temperatury). Sygnały z termoelementów zapisano na rejestratorze MC201, a następnie przy pomocy programu komputerowego Analtda [10] wykreślono przebiegi krzywych krystalizacji TA i ATD. Przykładowe wykresy analizy termicznej żeliwa stopowego i szarego oraz żeliwa w końcowym etapie przelewania (dla walca nr 2), przedstawiono na rys.1 do rys.3. W tabelicy 1 zamieszczono wyniki analizy składu chemicznego wybranych do badań walców, wyniki pomiarów grubości warstwy utwardzonej i twardości. Z kolei w tabelicy 2 zamieszczono wyniki pomiarów temperatury krystalizacji odczytane z wykresów analizy termicznej oraz wyniki obliczeń stopnia nasycenia eutektycznego Sc [11] oraz S_c i temperatury T'_L i T'_S na podstawie zależności [12]:

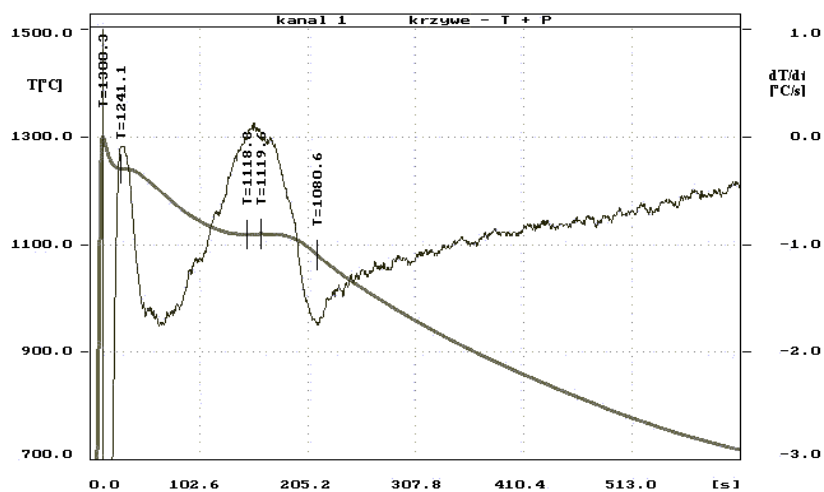
Tabela 1. Wyniki analizy składu chemicznego, grubości warstwy utwardzonej oraz twardości
Table 1. Results of analysis of chemical composition, thickness of layer hardened and hardnesses

| Nr walc | żeliwo | Zawartość, % wagowy | | | | | | | | | Grubość warstwy [mm] | Twardość* |
|---------|---------|---------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|----------------------|-----------|
| | | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | Cu | | |
| 1 | płaszcz | 3,49 | 1,14 | 1,23 | 0,08 | 0,021 | 1,84 | 4,45 | 0,61 | 0,16 | G:75 D:65 | 84 |
| | Rdzeń | 3,00 | 0,60 | 1,73 | 0,08 | 0,019 | 0,25 | 1,29 | 0,40 | 0,14 | | 295/296 |
| 2 | Płaszcz | 3,47 | 1,14 | 1,16 | 0,08 | 0,022 | 1,81 | 4,47 | 0,61 | 0,15 | G:70 D:50 | 82 |
| | Rdzeń | 3,00 | 0,60 | 1,71 | 0,07 | 0,017 | 0,25 | 1,35 | 0,40 | 0,16 | | 282/250 |
| 3 | Płaszcz | 3,50 | 1,12 | 1,20 | 0,07 | 0,022 | 1,80 | 4,42 | 0,61 | 0,16 | G:70 D:50 | 81 |
| | Rdzeń | 3,00 | 0,59 | 1,68 | 0,08 | 0,026 | 0,39 | 1,28 | 0,38 | 0,10 | | 290/258 |
| 4 | Płaszcz | 3,50 | 1,16 | 1,20 | 0,07 | 0,021 | 1,84 | 4,49 | 0,63 | 0,13 | G:65 D:41 | 81 |
| | Rdzeń | 2,97 | 0,59 | 1,72 | 0,07 | 0,015 | 0,17 | 1,42 | 0,47 | 0,30 | | 274/250 |

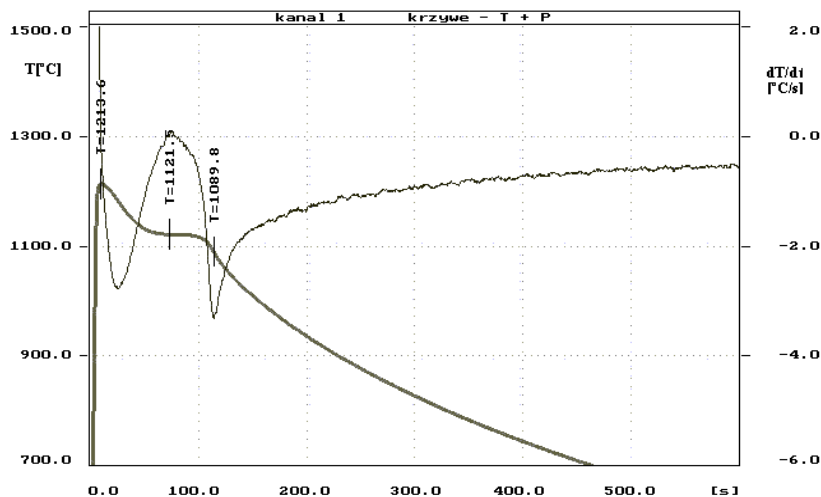
*dla płaszcza, twardość Shore „D”, dla rdzenia, twardość HB (górną, dół).



Rys.1. Wykres analizy termicznej żeliwa stopowego, walca warstwowego nr 2
 Fig.1. Diagram analysis thermal cast irons of alloys, sleeved roll no 2



Rys.2. Wykres analizy termicznej żeliwa szarego, walca warstwowego nr 2
 Fig. 2. Diagram analysis thermal cast irons of grey, sleeved roll no 2



Rys.3. Wykres analizy termicznej żeliwa z końcowego etapu przelewania, walca nr 2
Fig. 3. Diagram analysis thermal cast irons from final stage of pouring, of sleeved roll no 2

Tablica 2. Wyniki analizy termicznej oraz obliczeń Sc , $S'c$, T'_L , T'_s
Table 2. Results of thermal analysis and of calculations Sc , $S'c$, T'_L , T'_s

| Numer walca | żeliwo | T_{max} [°C] | T_L [°C] | T_s [°C] | T_K [°C] | Wyniki obliczeń | | | |
|-------------|----------|----------------|------------|------------|------------|-----------------|-------|-------------|-------------|
| | | | | | | Sc | $S'c$ | T'_L [°C] | T'_s [°C] |
| 1 | Płaszcz | 1360,4 | 1204,8 | 1130,4 | 1090,7 | 0,93 | 0,93 | 1255,0 | 1154,4 |
| | Rdzeń | 1357,9 | 1253,3 | 1124,4 | 1089,8 | 0,82 | 0,81 | 1253,7 | 1137,9 |
| 2 | Płaszcz | 1272,5 | 1193,5 | 1128,8 | 1098,5 | 0,92 | 0,95 | 1258,3 | 1153,4 |
| | Rdzeń | 1300,3 | 1241,1 | 1119,6 | 1080,6 | 0,82 | 0,83 | 1253,6 | 1138,1 |
| | Przel. 1 | 1185,0 | 1185,0 * | 1128,3 | 1098,6 | - | - | - | - |
| | Przel. 2 | 1189,3 | 1189,3 * | 1120,3 | 1077,8 | - | - | - | - |
| | Przel. 3 | 1210,6 | 1210,6 * | 1121,5 | 1089,8 | - | - | - | - |
| 3 | Płaszcz | 1333,5 | 1216,4 | 1133,5 | 1101,7 | 0,92 | 0,90 | 1254,6 | 1153,4 |
| | Rdzeń | 1385,6 | 1253,4 | 1130,2 | 1091,4 | 0,80 | 0,82 | 1256,8 | 1139,4 |
| 4 | Płaszcz | 1261,1 | 1189,3 | 1130,8 | 1086,4 | 0,93 | 0,96 | 1254,7 | 1153,4 |
| | Rdzeń | 1295,5 | 1253,2 | 1128,6 | 1093,9 | 0,81 | 0,81 | 1254,4 | 1133,3 |

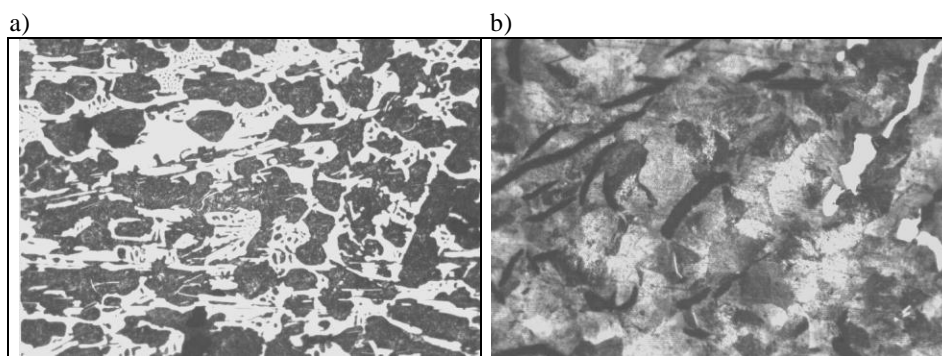
*- wartość prawdopodobna (brak przegrzania żeliwa)

Uzyskane wyniki badań pozwalają sądzić, że autorzy opracowanej technologii odlewania walców dwuwarstwowych większą uwagę skierowali na etap przelewania, w którym wykorzystali żeliwo o znacznie wyższej temperaturze T_L od tej temperatury dla żeliwa stopowego. Różnica pomiędzy tymi temperaturami ponad 50°C niewątpliwie jest przyczyną zróżnicowanej grubości warstwy utwardzonej na wysokości beczki walca. Niewielkie odchylenia od parametrów technologicznych etapu przelewania

(przerwy i czasy przelewania) mają także widoczny wpływ na zróżnicowanie grubości utwardzonej warstwy w górnej i dolnej części walców.

Autorzy niniejszego opracowania proponują obniżyć temperaturę T_L żeliwa szarego o około 30°C , zwiększając zawartość węgla do $\sim 3,18\%$. Niższa w tym przypadku temperatura początku krystalizacji nie wpłynie istotnie na „topienie” wcześniej zakrzepniętej warstwy żeliwa stopowego. Wyniki analizy termicznej kolejnych etapów przelewania wskazują na stopniowe „rozcieńczenie” żeliwa (temperatura T_{liq} rośnie). Rdzeń walca „zbliza” się w składzie chemicznym do przelewanego żeliwa szarego. Ze względu na bardzo niską temperaturę odlewania (prawdopodobnie poniżej T_L) czas krystalizacji do temperatury T_K jest prawie o połowę krótszy od czasu krzepnięcia próbek odlewanych bezpośrednio po spuszczeniu żeliwa.

Wyniki obliczeń wartości stopnia nasycenia eutektycznego S_c i S'_c oraz temperatury T'_L i T'_S (na podstawie składu chemicznego i rzeczywistych wartości temperatury T_L i T_S) upoważniają do stwierdzenia, że dodatki stopowe Ni i Mo istotnie wpływają na parametry krystalizacji żeliwa. Opracowane dotychczas zależności empiryczne nie uwzględniają wpływu tych pierwiastków [12]. Różnice w wartości temperatury T_{liq} (rzeczywistej i obliczonej) żeliwa stopowego, zawierającego ponad $4,5\%$ Ni dochodzą nawet do 60°C . Wynika z tego, że opracowane zależności empiryczne nie mogą być stosowane w przypadku żeliwa zawierającego dodatkowe pierwiastki. Szersze badania w tym kierunku pozwolą autorom niniejszej pracy na wzbogacenie opracowanych zależności empirycznych [12], między innymi o wpływ niklu i molibdenu. Wyniki pomiarów twardości powierzchni roboczej i rdzenia walca (tablica) znajdują potwierdzenie w obrazach strukturalnych, przedstawionych na rys. 4. W strukturze próbki pobranej z powierzchni walca obserwuje się wydzielenia cementytu stopowego w osnowie bainityczno-martensytycznej. W strukturze próbki pobranej z powierzchni czopa widoczne są wydzielenia grafitu płatkowego w osnowie perlitycznej, oraz nieliczne wydzielenia cementytu.



Rys. 4. Struktura żeliwa stopowego (a) i żeliwa szarego (b), pow. 100x

Fig. 4. The structure of the alloy cast iron (a) and gray cast iron (b), magn. 100x

4. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika, że stabilność parametrów technologicznych odlewania walców dwuwarstwowych ma istotny wpływ na ich jakość. Grubość warstwy utwardzonej zmienia się dość znacznie na wysokości walca, co jest wynikiem znacznego gradientu temperatury w górnej i dolnej części formy „przelewanej” żeliwem szarym. Zdaniem autorów opracowania temperatura T_L żeliwa szarego jest zbyt wysoka. Z punktu widzenia procesu krystalizacji powierzchniowej warstwy utwardzonej korzystne warunki byłyby w przypadku, gdyby temperatura T_L żeliwa szarego była wyższa od temperatury T_S żeliwa stopowego, ale niższa od temperatury T_L tego żeliwa. Można to uzyskać korygując skład chemiczny (stopień nasycenia Sc). Podwyższenie zawartości węgla do $\sim 3,18\%$ doprowadzi do podniesienia T_L żeliwa stopowego o $30^\circ C$. Stwierdzono ponadto, że dodatki Ni i Mo istotnie wpływają na obniżenie temperatury początku krystalizacji T_L i krystalizacji eutektyki T_S , w szczególności w przypadku żeliwa stopowego. Dość dobrze, opracowane zależności empiryczne sprawdziły się jedynie dla żeliwa szarego, w którym zawartość tych pierwiastków była znacznie niższa. Wynika z tego że w przypadku obecności w żelwie dodatkowych pierwiastków, zależności [12] nie mogą być stosowane.

Złożone zjawiska jakie przebiegają w trakcie krystalizacji żeliwa stopowego na powierzchni kokili oraz procesy przebiegające podczas przelewania formy żeliwem szarym (topienie warstwy, rozcieńczanie itp.) wymagają prowadzenia dalszych badań w tym kierunku, zwłaszcza badań w układzie modelowym.

LITERATURA

- [1] B. Raczyński, T. Wachelko: *Walce żeliwne*. Wyd. Śląsk, Katowice 1976.
- [2] K. Tylakiewicz, J. Gajda: *Tendencje w produkcji i użytkowaniu walców roboczych odlewanych, stosowanych w walcowaniu wyrobów płaskich na gorąco*. Konferencja Nauk. Techn. „Kierunki rozwoju produkcji walców”, Wisła (2001).
- [3] Zakładowa Norma Huty Buczek SA –ZN-HB-0031; *Walce żeliwne hutnicze* (1999).
- [4] J. Głownia: *Nowe tendencje w produkcji odlewanych walców hutniczych*, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, nr 1 (1988).
- [5] J. Stępień, J. Mączyński, R. Walutek, E. Czerwiński: *Wyznaczanie granicznej wielkości produkcji walców koszulkowych dla uzyskania efektywności ekonomicznej odlewania odśrodkowego tulei*, Konferencja Nauk. Techn. „Kierunki rozwoju produkcji walców”, Wisła (2001).
- [6] P. Pawlas, J. Mączyński: *Przegląd konstrukcji walców składanych*, Konferencja Nauk. Techn. „Kierunki rozwoju produkcji walców”, Wisła (2001).
- [7] E. Guzik: *Żeliwo austenityczne na walce hutnicze*. Konferencja Nauk. Techn. „Kierunki rozwoju produkcji walców”, Wisła (2001).

- [8] Z. Stradomski: *Morfologia warstwy wierzchniej staliwa Hadfielda w warunkach umacniania statycznego i dynamicznego*. „Obróbka Powierzchniowa”- III Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Częstochowa (1996).
- [9] *Walce Hutnicze Odlewane*. Katalog Huty Buczek S. A. (1996).
- [10] P. Podolski: *Program komputerowy ANALDTA*. Pol. Śl.- Katowice (1996).
- [11] Cz. Podrzucki: *Metalurgia i odlewnictwo żeliwa*. Wyd. Śląsk, Katowice 1976.
- [12] St. Jura, J. Sakwa, K. Borek: *Zastosowanie analizy termicznej i różniczkowej dla określenia parametrów składu chemicznego*, Krzepnicie Metali i Stopów nr 2, PAN, Gliwice (1980).

CRYSTALLISATION OF CAST GREY AND ALLOY CAST IRON OF THE SLEEVED ROLL

SUMMARY

In work one represented results of research crystallisation of cast iron alloy and grey practical as materials of the sleeved roll. One ascertained that alloy cast iron coagulates in lower temperature than grey cast iron. From point of view thickness of layer hardened is this unprofitable. Technology of pouring will demand however, so that cast iron used to this of aim had higher temperature T_{liq} , from what results higher temperature of pouring off. Goes about this so that did not "refrigeration" of inlet arrangement. One showed essential influence Ni and Mo on lowering temperatures of crystallisation T_L and T_S of what worked out till now empirical dependencies did not take into account.

Recenzował Prof. Stanisław Jura