

## WYTWARZANIE GRUBOŚCIENNYCH ODLEWÓW ZE STALIWA HADFIELDA

Andrzej MODRZYŃSKI

Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów,  
61-138 Poznań, ul. Piotrowo 3

### 1. Wstęp

W wielu przypadkach odlewy, które powinny być wykonane ze staliwa Hadfielda wykonuje się z materiałów zastępczych (np. L35GSM) o znacznie krótszym okresie eksploatacji. Dla wielu odlewni wykonanie w sposób prawidłowy grubościennych odlewów ze staliwa Hadfielda, o kontrolowanych właściwościach na próbkach przylanych do odlewu, jest bardzo trudne technologicznie. Zakład Odlewnictwa Instytutu Technologii Materiałów PP dla potrzeb jednej z krajowych odlewni opracował technologię produkcji grubościennych odlewów z tego gatunku staliwa, która spełniała bardzo surowe warunki odbioru kontrahenta z Niemiec.

### 2. Główne wyjściowe założenia technologii

Po obszernych studiach literaturowych [1–9, 11–12] do prób wytypowano dwa gatunki staliwa:

- staliwo L120G13T zgodnie z PN-88/H-83160 o zawężonym przedziale zawartości węgla (1,0–1,1%C), krzemu (0,3–0,5%), chromu (maks. 0,5%), tytanu (0,1–0,2%) i fosforu (poniżej 0,07%) oraz stosunku zawartości Mn/C > 10, ostateczne odtlenianie w kadzi aluminium i żelazotytanem,
- staliwo L120G13N2T o składzie i sposobie ostatecznego odtleniania jak wyżej, zawierające dodatkowo od 1,9–2,2% Ni.

Przy doborze składu chemicznego uwzględniono następujące przesłanki [1–12]:

1. zawartość węgla w grubościennych odlewach ( $g > 100$  mm) powinna być możliwie najniższa. Zapobiega to tworzeniu się dużych trudno rozpuszczalnych węglików podczas stygnięcia odlewu w formie oraz wydzielania się węglików na granicach i wewnątrz ziaren austenitu podczas przesycania,
2. zawartość krzemu należy ograniczyć do zawartości 0,3–0,5% ponieważ pierwiastek ten obniża graniczną rozpuszczalność węgla w austenicie stopowym i sprzyja

wydzielaniu się węglików na granicach ziaren, a podczas obróbki cieplnej utrudnia proces ich rozpuszczania,

3. w dużych grubościennych odlewach zawartość fosforu powyżej 0,07% może być przyczyną obniżenia właściwości plastycznych i tworzenie pęknięć „na gorąco”.
4. środkowa część grubościennego odlewu z tego gatunku staliwa, w trakcie chłodzenia w wodzie podczas zabiegu przesycania, stygnie znacznie wolniej niż jego warstwy zewnętrzne. Z tej przyczyny w głęboko położonych warstwach odlewu obserwowany jest proces wydzielania się węglików i zachodzenie przemian dyfuzyjnych prowadzących do pęknięcia odlewów. Dodatek 2-4% Ni w sposób zasadniczy wpływa na stabilizację struktury austenitycznej.

Staliwo wytapiano w zasadowych piecach elektrycznych łukowych o pojemności 1,5 i 3,0 Mg trzema metodami:

- metodą z utlenianiem,
- metodą kombinowaną,
- metodą odzyskową.

Schemat blokowy przebiegu wytopów przedstawiono na rys.1. Szczegółowego omówienia wymaga metoda kombinowana, w której wsad zestawiono ze złomu stali węglowej w taki sposób, aby po roztopieniu i krótkim utlenianiu uzyskać w ciekłym metalu 0,8–0,9%C i ok.0,15–0,20%Mn. Wtedy pojawia się możliwość wprowadzania manganu niskowęglowego o zawartości 0,2–0,3% P. Pozwala to uzyskać końcową zawartość fosforu w staliwie Hadfielda w granicach 0,05–0,07%. Staliwo odtleniano końcowo w kadzi poprzez wprowadzenie:

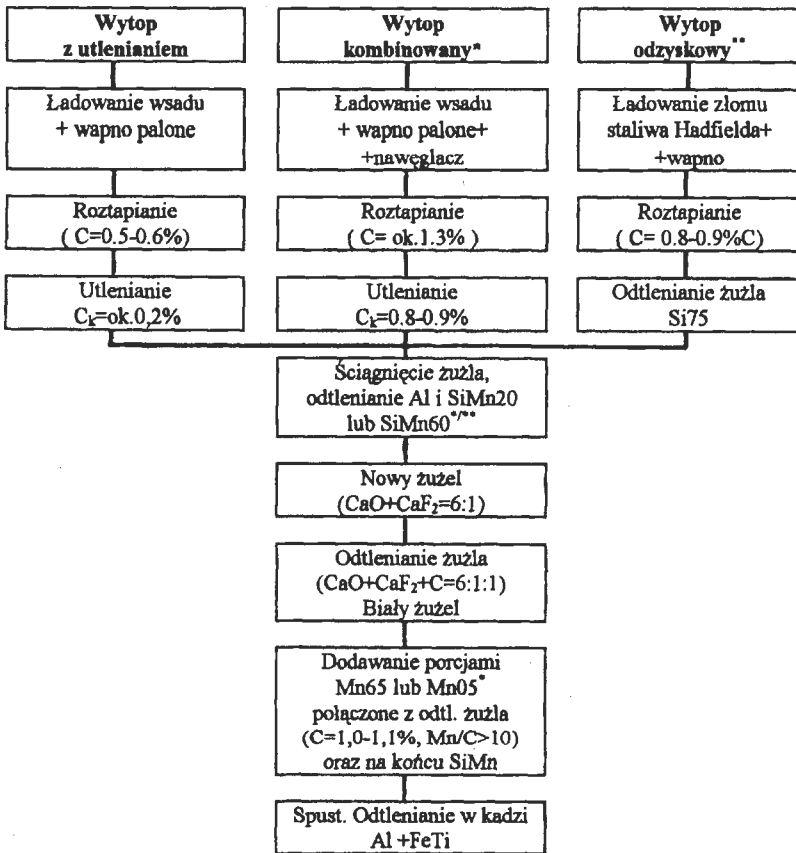
- aluminium hutniczego w ilości 0,4–0,6 kg/Mg (końcowa zawartość - ok.0,02%Al),
- żelazo-tytanu, w ilości 1,5–2,0 kg czystego Ti/Mg (końcowa zawartość - 0,10–0,15%Ti).

Temperatura metalu przed spustem z pieca wahała się w granicach 1560–1580°C, a po spuście w kadzi w granicach 1510–1520°C. Temperatura zalewania form wynosiła od 1420 do 1430°C. Sposób realizacji wytopów przedstawia rysunek 1.

Formy i rdzenie wykonywano z następujących mas:

- ok. 30 mm warstwa przymodelowej masy chromitowej wiązanej szkłem wodnym, utwardzana przez przedmuchiwanie CO<sub>2</sub>,
- masa wypełniająca na osnowie z piasku kwarcowego wiązana szkłem wodnym.

Zaprojektowana technologia gwarantowała 60% uzysk metalu. Sposób realizacji zabiegu przesycania podano w tablicy 1.



Rys. 1. Schemat realizacji wytopów  
 Fig. 1. Melting processes of Hadfield's cast steel

Tablica 1. Parametry zabiegu przesycania  
 Table 1. Parameters of solution heat treatment

Temperatura pieca przed ładowaniem odlewów/ czas wytrzymania	Szybkość nagrzewania do temperatury 650°C	Wytrzymanie w T=650°C	Szybkość nagrzewania do T=1050°C	Wytrzymanie w T=1050°C	Sposób chłodzenia
300°C/ 2 godz.	60°C/godz.	4 godz.	150°C/godz.	8 godz.	woda

### 3. Wyniki badań odlewów próbnych.

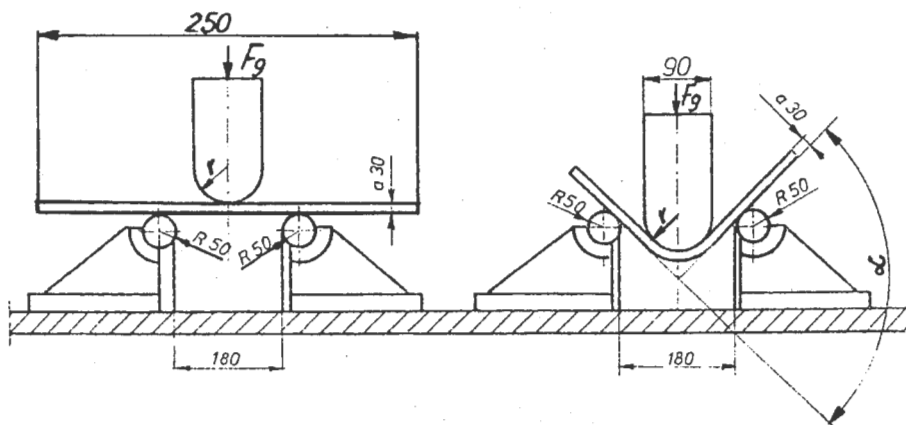
Warunki techniczne odbioru odlewów przewidywały:

- ocenę chropowatości powierzchni i wad zewnętrznych i wewnętrznych,
- odbiorczą próbę gięcia prętów próbnych przyłączonych do każdego odlewu (kąąt zgięcia odlewu próbnego bez pęknięć  $\geq 120^\circ$ ) - patrz rys.2,
- ocenę grubości warstwy odwęglonej,
- kontrolę składu chemicznego staliwa,
- ocenę wielkości ziarna,

Wyniki badań odlewów serii próbnej przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki badań odlewów z serii próbnej  
Table 2. Results of investigation of casts from test serie

Gatunek staliwa	Mn/C	Grubość warstwy odwęglonej, mm	Struktura i wielkość ziarna wg skali C PN-84/H-04507/01		Chropowatość powierzchni, $\mu\text{m}$	Wyniki próby zginania kąąt/ $F_g$ maks. $^\circ$ / kN
			Rodzaj struktury	Wielkość ziarna austenitu		
120G13T	>10	1-4	A	G2-G4	<100	45-60/45-70
120G13N2T	>10	1-2	A	G2-G4	<100	>120/80-125



Rys. 2. Schemat prowadzenia próby gięcia prętów próbnych przyłączonych do odlewów  
Fig. 2. Scheme of bending test on a cast-on test bar

Podczas procesu stygnięcia odlewu w formie i zabiegu przesycaania odlewów obserwowane są istotne zmiany w zawartości węgla i manganu zależne od:

- materiału osnowy formy,
- sposobu realizacji zabiegu przesycaania.

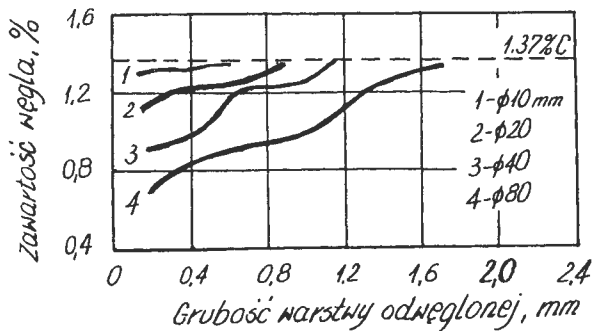
Z literatury [5, 6, 10] wiadomo, że odlewanie staliwa Hadfielda do form kwarcowych prowadzi do istotnej zmiany zawartości węgla w warstwie powierzchniowej (patrz rys. 5). Podczas grzania odlewów w piecu do zabiegu przesycaania występuje dalszy proces odwęglenia powierzchni. W zależności od grubości ścianki odlewu w warstwie powierzchniowej form na osnowie z piasku kwarcowego zawartość węgla może obniżyć się do zawartości poniżej 0,4%, a manganu poniżej 4%. Warstwa powierzchniowa nie posiada wtedy struktury austenitycznej.

Przeprowadzone przez autora niniejszej pracy badania zmian składu chemicznego warstwy wierzchniej grubościennych odlewów ze staliwa Hadfielda zalewnych do form wykonanych z masy na osnowie chromitowej [5, 6] wykazały, że:

- odwęglenie w formie chromitowej w przypadku stosowania specjalnych pokryć ochronnych (P1) zachodzi w niewielkim stopniu (patrz rys.5. - krzywa 1) i brak jest istotnych zmian w zawartości manganu i chromu na powierzchni odlewów,
- długotrwałe żarzenie odlewów w czasie realizacji zabiegu przesycaania, mimo stosowania specjalnie dobranych powłok ochronnych nanoszonych na odlewy, wywołuje istotne zmniejszenie koncentracji węgla na powierzchni odlewu.

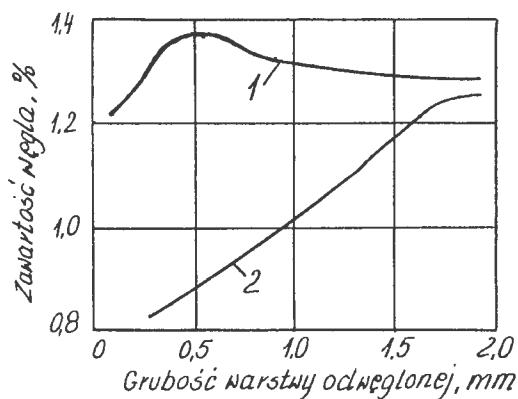
Zawartość węgla na powierzchni odlewu obniża się do 0,25%C (patrz rys. 4 krzywa 2).

Przeprowadzone przez autorów badanie powierzchni odlewów po zabiegu obróbki cieplnej odlewów próbných w atmosferze argonu nie wykazało istotnych zmian zawartości węgla na powierzchni odlewu.



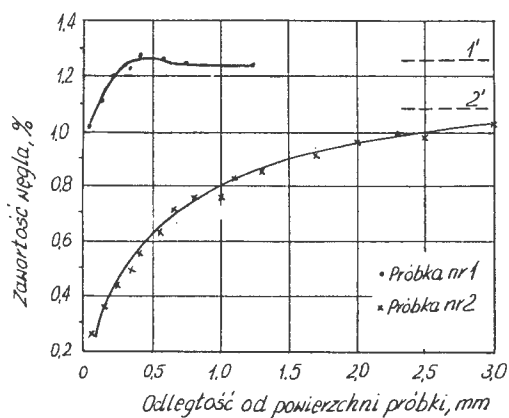
Rys. 3. Odwęglenie powierzchni odlewów w formach wykonanych z masy na osnowie z piasku kwarcowego w zależności od średnicy odlanego pręta próbnego [10]

Fig. 3. Surface decarburizing of casts in a silica moulds at various diameter of test bar [10]



Rys. 4. Zmiana zawartości węgla na powierzchni odlewu w formie na osnowie z piasku kwarcowego [10]: 1 – forma z pokryciem zawierającym węgiel aktywny, 2 – bez pokrycia ochronnego

Fig. 4. Carbon changes on a surface layer of casts in a silica mould [10]: 1 – mould with a protective coating which content an active carbon, 2 – without protective coating



Rys. 5. Zmiana zawartości węgla na powierzchni odlewów wykonanych w masach chromitowych (1' i 2' – zawartość węgla w środku próbki)[5]: a) krzywa 1 – podczas stygnięcia w formie (pokrycie ochronne P1), b) krzywa 2 – podczas zabiegu przesycania (pasta ochronna - P2)

Fig. 5. Changes of carbon on a surface layer of test bar in a chromite sand mould (1' and 2' – carbon content in a centre of test bar) [5]: a) curve 1 - after cooling in the mould (protective coating P1), b) curve 2 – after solution heat treatment (protective paste – P2)

## Wnioski

Podczas projektowania procesu technologicznego wytwarzania odlewów ze staliwa Hadfielda o dużej grubości ścianki ( $g > 100$  mm) należy uwzględnić następujące czynniki:

- skład chemiczny staliwa musi być dostosowany do asortymentu produkowanych odlewów i warunków technicznych w odlewni,
- w grubościennych odlewach zawartość fosforu nie powinna przekraczać 0,07%,
- przy innych ustalonych parametrach procesu o wielkości ziarna decyduje temperatura zalewania i sposób odtleniania końcowego,
- wprowadzenie niklu w ilości 1,8–2,2% pozwala uzyskać stabilizację struktury austenitycznej w całym przekroju ścianki,
- w celu zapobiegania procesowi odwęglenia powierzchni odlewu w formie należy stosować przymodelowe masy formierskie i rdzeniowe na osnowie chromitowej związane szkłem wodnym,
- powierzchnię form i rdzeni pokrywać specjalnie dobranymi pokryciami ochronnymi w celu ochrony przed odwęgleniem powierzchniowym w formie,
- podczas zabiegu przesycania powierzchnię odlewów chronić przed odwęgleniem przy pomocy specjalnie dobranych past ochronnych.

Bardzo często struktura w warstwie powierzchniowej odlewów ze staliwa Hadfielda znacznie różni się od spodziewanej struktury austenitycznej. Główną przyczyną wystąpienia tego rodzaju zjawiska jest:

- zmiana składu chemicznego w warstwie powierzchniowej odlewu wskutek zjawiska powierzchniowego utleniania zachodzącego tak w formie w czasie stygnięcia odlewów jak i w czasie grzania odlewów do zabiegu przesycania,
- znaczna różnica w szybkości stygnięcia powierzchni odlewu i głębiej położonych fragmentów odlewu (możliwość wydzielania się węglików).

Dyskusowanie problemów związanych ze powierzchniowym zużyciem tego gatunku staliwa w warunkach dużych punktowych nacisków dynamicznych bez dokładnej analizy rozkładu składu chemicznego na przekroju próbki, może prowadzić do błędnego wnioskowania. Obecność na powierzchni grubościennych odlewów warstwy odwęglonej o głębokości dochodzącej do 4 mm, w której w związku z istotną zmianą składu chemicznego mamy do czynienia z kruchą (austenitczno-martenzytyczną) strukturą, w sposób istotny obniża walory eksploatacyjne odlewów. Próbki z takiego staliwa wykazują powierzchniowe pęknięcia już po przyłożeniu minimalnej siły gnącej, co świadczy o małej plastyczności tej warstwy. Natomiast te same próbki wyżarzane w piecu z atmosferą ochronną (brak odwęglenia powierzchniowego) można z powodzeniem zginać do  $120^\circ$  i powyżej bez powierzchniowych pęknięć. Właściwości plastyczne warstwy powierzchniowej są wtedy zachowane.

**LITERATURA**

1. Kniaginina G., Austenityczne staliwo manganowe. Prace Komisji Nauk Technicznych PAN – Oddział w Krakowie . Metalurgia 8, Kraków 1968
2. Kniaginina G., Staliwo. Metalurgia i odlewnictwo, Wyd. Śląsk, Katowice 1970.
3. Kremer M.H., Fasonnoje litje iz legirovannyh stalej, Izd. Miedalurgia, Moskwa 1964.
4. Malkiewicz T., Metaloznawstwo stopów żelaza, PWN, Warszawa - Kraków, 1970.
5. Modrzyński A., Soppa A., Archiw. TBM, Wyd. PP, 1992, z.9, s.75–80.
6. Łybacki W., Modrzyński A., Soppa A., Proizvodstvo otlivok iz litoj stali L120G13. Dokł. I Sem. Polsko-Litewskiego, Kowno 1989, s. 50–53, Izd. KPI – Kaunas.
7. Parjasuk P.F., Termiceskaja obrabotka litych detalej iz stali G13L. Miedaloviedenie i termiceskaja obrabotka miedalov, 1968, nr 9.
8. Piwowarsky E., Roes H.L., Uber manganhartstahlguss, Gisserei, 1954, H.14.
9. Roesch K., Zimmermann K., Stahlguss, Verlag Stahleisen M.B.H., Dusseldorf, 1966.
10. Saburov V.P., Gilev B.Ja., Obezuglerodowanie stali 110G13L pri litje i termiceskoj obrabotkie, Lit.Proizv., 1982, nr 2.
11. Chojecki A., Telejko I., Przegląd Odlewnictwa, 4/1992, s. 156–162.
12. Szulte L.H., Elektomiedalurgia stalnovo litja, Izd. Miedalurgia, Moskwa 1979.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Michał Szweycer