

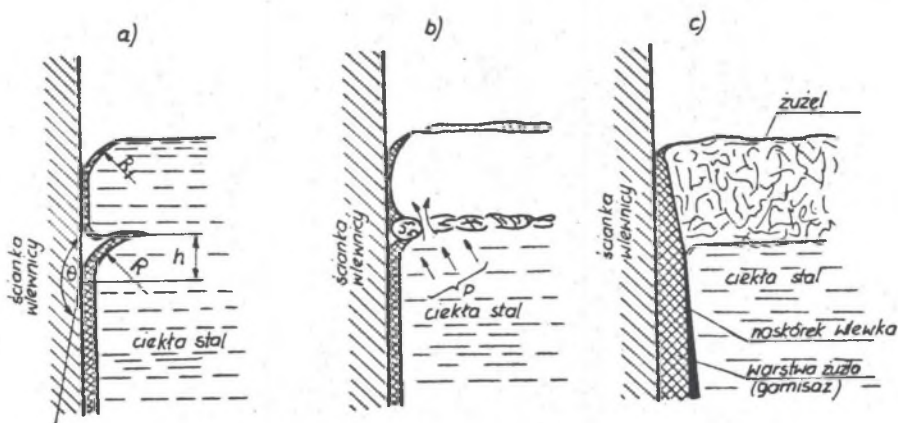
Zdzisław KUDLIŃSKI

Instytut Metalurgii
Politechniki ŚląskiejROLA ZASYPKI W PROCESIE ODLEWANIA
WLEWKÓW STALOWYCH

Streszczenie. Rola zasypek w procesie odlewania stali do wlewnic. Podział zasypek w zależności od ich przeznaczenia. Wymagania w zakresie własności fizycznych. Zjawiska fizyko-chemiczne na granicach podziału ciekła stal - żużel zasypkowy oraz ciekła stal - ścianka wlewnicy. Mechanizm tworzenia się wad powierzchniowych wlewków stali uspokojonej. Wyniki badań lepkości dynamicznej i granicznego kąta zwilżania zasypek izolacyjno-smarujących przeznaczonych do odlewania stali sposobem syfonowym oraz zasypek ochronnych, przeznaczonych do odlewania stali sposobem z góry. Ocena wyników badań i jakości wytwarzanych zasypek. Próby przemysłowe odlewania stali sposobem z góry we wlewkę o masie 12,2 t z zastosowaniem zasypki ochronnej. Ocena jakości powierzchni wlewków, stopnia zanieczyszczenia stali wtrąceniami niemetalicznymi oraz własności mechaniczno-wytrzymałościowych stali. Stwierdzono pozytywny wpływ stosowania zasypek ochronnych w procesie odlewania stali szynowej w gatunku St90PA sposobem z góry na jakość wlewków i własności stali. Uzyskano zmniejszenie wybraku stali z tytułu łuski na drodze kęsisko-szyna oraz wyeliminowano wybrak szyn z powodu negatywnej próby Baummana.

1. Wstęp

Proces odlewania wlewków stalowych charakteryzuje się znacznymi stratami stali. Dotyczy to szczególnie stali uspokojonej. Tworząca się we wlewkach stali uspokojonej pierwotna jama skurczowa jest powodem dużego odpadu stali podczas wstępnej przeróbki plastycznej wlewków, natomiast wady powierzchni wlewków: łuska, zafałdowania i zawijaki są przyczyną wybraku półwyrobów, a nawet gotowych wyrobów hutniczych. Jednym z racjonalnych sposobów poprawy jakości wlewków stali uspokojonej, bez względu na sposób napełniania wlewnicy-syfonowo lub z góry, jest stosowanie w procesie odlewania odpowiednich zasypek, które zmieniają warunki tworzenia się warstwy przypowierzchniowej wlewka (naskórka) podczas krzepnięcia i eliminują wady powierzchni roboczej ścianki wlewnicy. Osiągnięcie powyższego celu jest możliwe tylko w przypadku stosowania zasypek o wymaganych własnościach fizycznych i chemicznych, zgodnych z ich przeznaczeniem.



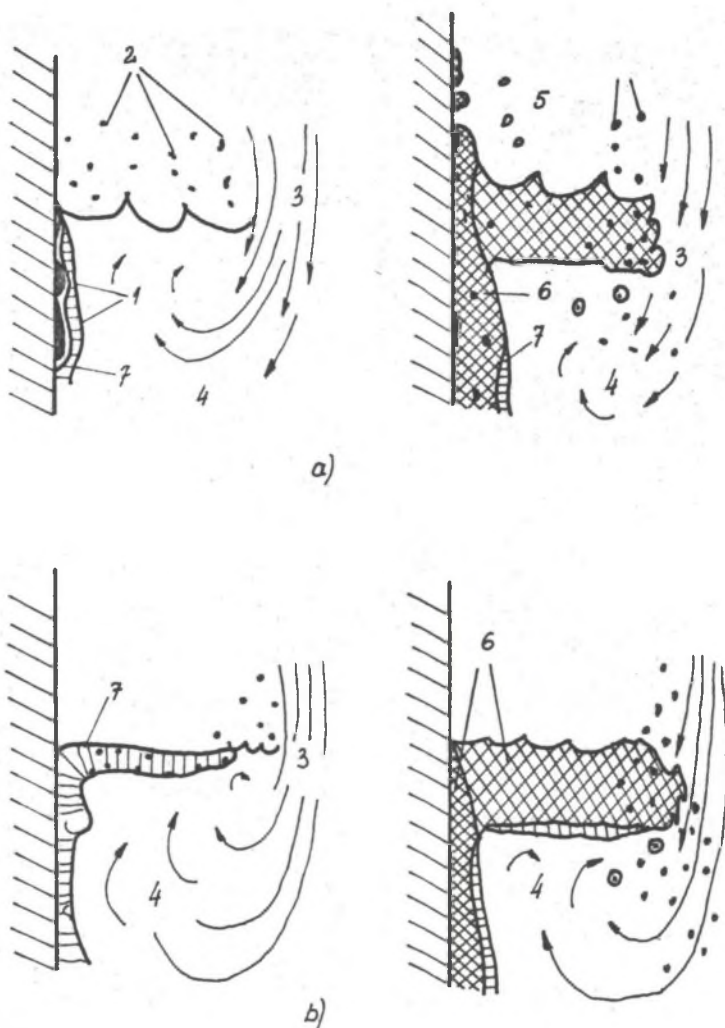
Rys. 1 Schemat wzajemnego oddziaływania stali i ścianki wlewnicy w czasie syfonowego odlewania stali

2. Klasyfikacja zasypek

Stosowane w procesie tradycyjnego odlewania stali uspokojonych zasypki można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- zasypki izolacyjno-smarujące, przeznaczone do syfonowego odlewania stali,
- zasypki ochronne i ochronno-rafinacyjne używane przy odlewaniu stali do wlewnic sposobem z góry,
- zasypki ocieplające (tzw. lunkieryty), przeznaczone do ocieplania lustra stali w nadlewie bez względu na sposób odlewania wlewków.

Podczas syfonowego odlewania stali zasypka izolacyjno-smarująca chroni lustro stali we wlewnicy przed nadmiernym wypromieniowaniem ciepła i utleniającym oddziaływaniem atmosfery. Utworzona z zasypki, będącej w bezpośrednim kontakcie z ciekłą stalą, warstwa ciekłego żużla spełnia rolę czynnika smarującego roboczej powierzchni ścianki wlewnicy, efektem czego pomiędzy powierzchnią wlewka i ścianką wlewnicy powstaje żużlowy garnisaz - rys. 1. Garnisaz, wypełniając pory i nierówności roboczej powierzchni ścianki wlewnicy, zabezpiecza naskórek wlewka przed hamowanym skurczeniem, a powierzchnię wlewka przed wadami powierzchni ścianki wlewnicy.



a)

b)

Rys.2 Schemat współdziałania stali, żużla i ścianki wlewnicy przy odlewaniu stali sposobem z góry: a) likwidacja rozprysków stali, b) likwidacja zawijaków, 1 - żuska, 2 - rozpryski stali, 3 - strumień stali, 4 - cyrkulująca stal we wlewnicy, 5 - rozpryski stali i żużla, 6 - warstwa żużla na powierzchni stali, 7 - naskórek wlewnka

Przy odlewaniu stali sposobem z góry rola zasypki ochronnej lub ochronno-rafinacyjnej jest taka sama jak zasypki izolacyjno-smarującej. W czasie napełniania wlewnicy stalą, powstały z zasypki żużel tkumi energię kinetyczną strumienia w obszarze wejścia do stali wlewnka oraz ogranicza falowanie lustra stali we wlewnicy.

Część żuźla zasypki, razem ze strumieniem stali, wprowadzana jest do wnętrza ciekłego wlewka, który po chwili wypływa na powierzchnię w wyniku cyrkulacji stali i odpowiednich własności powierzchniowych. Przy doborze właściwego składu chemicznego zasypki powstały z niej żużel może posiadać również zdolności rafinacyjne - rys.2.

Zasypka ocieplająca pokrywa lustro stali w nadlewie wlewka w czasie krzepnięcia. Przeważająca część ciepła reakcji egzotermicznej spalania zasypki przechodzi do nadlewu, co zwiększa wskaźnik pracy cieplnej nadlewu. Efektem dobrej pracy cieplnej nadlewu jest korzystna, z metalurgicznego punktu widzenia, makrostruktura nadlewowej części wlewka - pierwotna jama skurczowa posiada kształt czaszy i małą głębokość zalegania [1].

3. Zjawiska fizyko-chemiczne na granicy podziału żużel zasypki - ciekła stal

Bezpośredni kontakt ciekłej stali z powierzchnią ścianki wlewnicy związany jest z tworzeniem się menisku wypukłego o określonym promieniu R i wysokości h - rys. 1a. Wielkość wymienionych parametrów menisku zależy od własności fizykochemicznych stali i parametrów technologicznych procesu odlewania, z których za najważniejsze uważa się [2,3]:

- temperaturę i szybkość odlewania stali,
- skład chemiczny stali,
- intensywność chłodzenia lustra stali we wlewnicy.

Promień menisku jest funkcją zwilżalności ścianki wlewnicy przez ciekłą stal. Jednak w warunkach procesu odlewania stali do wlewnic kąt zwilżania ulegać będzie zmianom w takim stopniu, w jakim zmieniają się własności fizyczne i chemiczne stali podczas odlewania. Według Jefimowa [4] promień menisku można określić wzorem:

$$R = \sqrt{\frac{2 \sigma_s}{\rho g}} \quad (1)$$

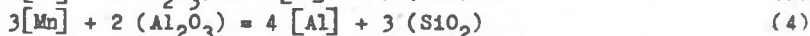
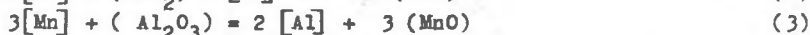
gdzie: σ_s - napięcie powierzchniowe stali,
 ρ - gęstość stali,
 g - przyspieszenie ziemskie.

Przy napięciu powierzchniowym stali $\sigma_s = 1800$ dyn/cm, w temperaturze 1810 K, promień menisku będzie wynosił $R = 0,72$ cm. Wraz ze wzrostem temperatury stali promień menisku będzie malał. Podobny wpływ na zmianę promienia menisku wywierają pierwiastki powierzchniowo aktywne, takie jak siarka, mangan, miedź itp. Przy $R \rightarrow 0$ tworzy się gładka i równa powierzchnia wlewka. W czasie odlewania stali warunki tworzenia się menisku ulegają zmianie. Pod naporem podnoszącego się słupa stali promień i wysokość menisku zwiększają się, co może doprowadzić do przerwania naskórka menisku i zalania jego górnej powierzchni stalą - rys. 1b.

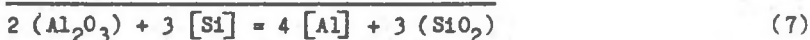
Jest to jeden z przykładów mechanizmu powstawania wad powierzchniowych wlewków, określonych nazwą zawijaków. Istnienie ciekłej warstwy żużła na powierzchni stali, pochodzącej ze stopionej zasypki, zmienia warunki zwilżalności na granicy wlewnica-stal; zmniejsza się wypukłość menisku i wielkość naprężeń mechaniczno-termicznych w warstwie naskórkowej wlewka. Stan cieplny lustra stali utrzymywany jest prawie na jednakowym poziomie [6]

Żużlowa warstwa zasypki, pokrywająca lustro stali we wlewnicy, oczyszcza jego powierzchnię z wtrąceń niemetalicznych - produktów wtórnego utleniania stali - drogą asymilacji. Szczegółowe wyjaśnienie tego zjawiska wymaga przeprowadzenia obliczeń wielkości siły potrzebnej do pokonania sił napięcia powierzchniowego stali przy przejściu wtrącenia przez granicę podziału ciekła stal - ciekła warstwa zasypki. Podstawą tego zjawiska jest fakt zmniejszania napięcia międzyfazowego na granicy stal-zasypka przez warstwę ciekłej zasypki.

Wzajemne oddziaływanie żużła zasypki i stali może posiadać charakter procesu rafinacyjnego. Szczególnie korzystne warunki do przebiegu tego typu procesu, pod warunkiem doboru odpowiedniego składu chemicznego zasypki, są przy odlewaniu stali sposobem z góry. Pomiedzy składnikami stali (np. Mn, Si, Al, Ti) i żużła zasypkowego (np. SiO₂, CaO, Al₂O₃) możliwy jest przebieg następujących reakcji utleniająco-redukcyjnych [7]:



Każdą z przedstawionych reakcji można zapisać w postaci sumy elementarnych reakcji dysocjacji tlenków i utleniania składników stali, np.:



Przekształcając równania stałych równowagi reakcji (5) i (6), można określić zmiany zawartości danego składnika stali w zależności od składu chemicznego zasypki i temperatury przebiegu reakcji. Przykładowo, równowagowa z żużłem zasypkowym zawartość aluminium w stali wynosi:

$$\lg[\text{Al}] = \frac{1}{2} \lg K_{\text{Al}} + \frac{1}{2} \lg a_{\text{Al}_2\text{O}_3} + \frac{4}{3} \lg K_{\text{Si}} + \frac{4}{3} \lg \frac{[\text{Si}]}{a_{\text{SiO}_2}} \quad (8)$$

Korzystając z przedstawionego układu równań, można określić warunki, przy których odlewanie stali z udziałem zasypki (zwłaszcza sposobem z góry) nie spowoduje zmiany składu chemicznego stali.

4. Wyniki badań własności zasypek

Badaniami objęto trzy rodzaje zasypek izolacyjno-smarujących, o nazwie handlowej Syntex, PM-1, IW-1 oraz zasypkę ochronną o symbolu ZOP, przeznaczoną do odlewania stali sposobem z góry. Zakres badań obejmował wykonanie:

- analizy składu chemicznego zasypek,
- pomiarów temperatur początku i końca topienia,
- pomiarów lepkości dynamicznej,
- pomiarów granicznego kąta zwilżania
- pomiarów zdolności izolacyjnej metodą Carbitec.

Otrzymane wyniki badań zestawiono w tablicy 1.

Własności chemiczne zasypek izolacyjno-smarujących typu Syntex i IW-1, poza zawartością węgla, są bardzo zbliżone: zasadowość zasypek, mierzona stosunkiem CaO/SiO_2 , kształtuje się w granicach 0,328-0,330. Udział składników upłynniających ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaF}_2$) w zasypkach wynosi: Syntex - 7,74%, IW-1 - 6,10%. Zasypka izolacyjno-smarująca typu PM-1 charakteryzuje się zdecydowanie najwyższą zawartością węgla - 15,74%. Stąd wynika jej przeznaczenie do odlewania stali węglowych. Zawartość składników upłynniających ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) jest bardzo mała i wynosi 2,27% przy zasadowości zasypki 0,340.

Zasypka ochronna ZOP posiada w swoim składzie chemicznym 12,0% sproszkowanego aluminium, w celu obniżenia do minimum strat cieplnych odlewanej stali związanych z roztopianiem zasypki we wlewnicy. Zasadowość zasypki ochronnej jest duża i wynosi 1,09% przy zawartości składników upłynniających 7,85%.

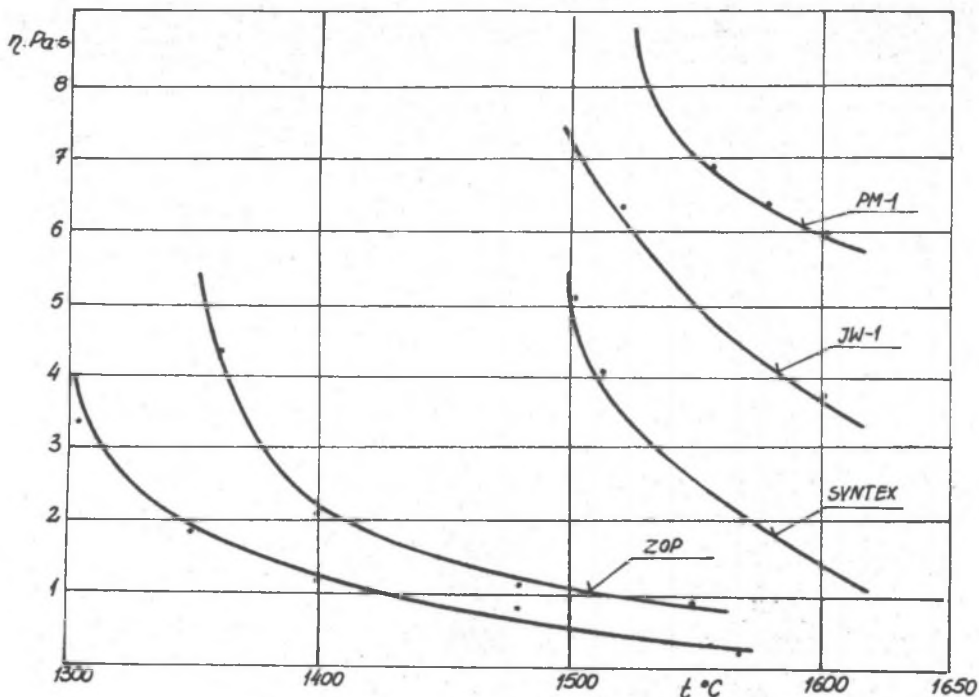
Lepkość dynamiczną zasypek w przedziale temperatur odlewania stali obrazuje rys.3. Zasypki izolacyjno-smarujące: Syntex, IW-1, PM-1 charakteryzują się dużą lepkością w temperaturach odlewania stali, przy czym zasypka PM-1 w sposób zdecydowany różni się swoją charakterystyką η - temp. od pozostałych zasypek izolacyjno-smarujących. Duża lepkość dynamiczna badanych zasypek izolacyjno-smarujących, szczególnie zasypek IW-1 i PM-1, oraz duży jej wzrost wraz ze zmniejszeniem temperatury wyklucza ich zdolność smarującą. Lepkość dynamiczna zasypki ochronnej ZOP w zakresie temperatur odlewania stali jest mniejsza od 1,0 Pa · s. Z przebiegu krzywej zależności η od temperatury widać dużą stabilność lepkości żużla zasypki w przedziale stosowanych temperatur odlewania stali. Z porównania wyników badań lepkości dynamicznej zasypek i temperatur końca topienia zasypek, zawartych w tablicy 1, wynika dość ściśle zależność tych wielkości, np. w odniesieniu do zasypki PM-1.

Graniczne kąty zwilżania zasypek określono przy zastosowaniu metody leżącej kropli z wykorzystaniem równania aproksymującego typu:

Tablica 1

Wyniki badań własności chemicznych i fizycznych zasypek

Ip.	Symbol zasypki	Skład chemiczny, %									Straty prażenia %	Temperatura topnienia		Lepkość dynamiczna Fa.s,			Graniczny kąt zwilżania przy temp. 1400°C	Końcowa izolacyjna wartość kW/m ²
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaF ₂	C		po- czą- tku °C	kon- ca °C	w temp. 1550°C	w temp. 1500°C	w temp. 1450°C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Syntex	48,84	8,92	1,85	16,0	2,92	1,84	5,90	-	5,42	13,12	1110	1220	2,35	5,10	-	33°34	20,6
2	FM-1	33,34	16,85	5,73	11,3	5,50	1,87	0,40	-	15,74	22,12	1060	1330	7,10	10,30	-	> 90°	18,3
3	IW-1	44,40	10,48	3,01	14,6	2,25	1,70	4,40	-	2,38	21,02	1100	1260	5,00	7,02	-	37°58	19,9
4	ZOP	24,42	22,65	16,43	26,6	3,92	0,24	3,10	4,51	-	-	1200	1260	0,73	1,00	1,43	4°46	-



Rys.3 Lepkość dynamiczna zasypek w zależności od temperatury

$$\sin (1,4 \cdot \theta) = 2,8 \frac{Z_0}{2 X_0} \quad (9)$$

gdzie: X_0 i Z_0 - parametry kształtu kropli.

Próbki zasypek o wymiarach 3x3x3 mm roztopiano w mikroskopie wysokotemperaturowym firmy Leitz na podłożu wykonanym z żelaza Armco. Na podstawie obrazów kropli stopionych zasypek dokonano pomiarów charakterystycznych parametrów kształtu kropli, a następnie za pomocą wzoru (9) obliczono wielkości granicznych kątów zwilżania. Zasyпки Syntex i JW-1 zwilżają podłoże próbki, przy czym ich stopień zwilżalności jest różny. Zasyпка PM-1 charakteryzuje się brakiem zwilżalności - kąt θ jest większy od 90° . Zasyпка ochronna ZOP całkowicie zwilża podłoże wykonane z żelaza Armco - kąt θ jest bliski zera.

Końcowa Izolacyjna Wartość zasypek izolacyjno-smarujących, mierzona wskaźnikiem KIW kW/m^2 wynosi w granicach 18,3 - 20,6 kW/m^2 . Niewielka różnica w izolacyjności tych zasypek jest wynikiem większej zawartości węgla (zasyпка PM-1) i zróżnicowanej granulacji (zasyпка Syntex posiada większy udział ziarn powyżej 0,25 mm). Oceniając badane zasyпки, należy stwierdzić, że ich zdolność izolacyjna należy do średnich wartości.

5. Wyniki prób przemysłowych odlewania stali sposobem z góry z zastosowaniem zasypki ochronnej ZOP

Próby przemysłowe odlewania stali z zastosowaniem zasypki ochronnej typu ZOP wykonano na wytopach stali szynowej w gatunku St90PA. Odlewano wlewki o masie 12,2 tony przy zużyciu zasypki 45 kg/t stali. Po zakrzepnięciu wlewków rozbrojeniu zestawów odlewniczych na powierzchniach wlewków stwierdzono istnienie cienkiej warstwy żużła zasypkowego w formie granisażu. Wlewki te porównywano z wlewkami odlanymi bez zasypki ochronnej. W wyniku przeprowadzonej obserwacji powierzchni wlewków stwierdzono ich lepszą jakość w porównaniu z wlewkami odlanymi bez zasypki. Podczas wstępnej przeróbki plastycznej wlewków nie stwierdzono wybraku z tytułu pęknięć, natomiast w dalszym przerobie plastycznym kęsisk zmniejszeniu uległ wybrak z powodu łuski z 1,87 % do 0,54 %, a wybrak z tytułu negatywnej próby Baummana został całkowicie wyeliminowany. Ogólny wybrak stali na drodze kęsisko-szyna zmniejszył się z 2,40 % do 1.08 %.

Wyniki badań czystości stali szynowej, odlewanej z zastosowaniem zasypki ZOP ilustrują dane zawarte w tabelicy 2, kol.14-15. Sumaryczna zawartość wtrąceń niemetalicznych w szynach pochodzących z wytopów doświadczalnych wynosi średnio 0,199% i jest porównywalna z zawartością wtrąceń niemetalicznych w szynach dotychczas produkowanych. Szczegółowa analiza rozkładu wtrąceń w strefie przypowierzchniowej główki szyn wykazała istotne zmiany w długości tzw. łańcuszków tlenkowych: w klasie długości do 3,0 mm i więcej nastąpił duży spadek ilości łańcuszków tlenkowych z 13,8 % dla wytopów porównawczych do 4,9 % dla wytopów doświadczalnych.

Wyniki badań własności mechaniczno-wytrzymałościowych szyn, pochodzących z wytopów doświadczalnych i porównawczych zestawiono w tabelicy 2, kol.9-13. Otrzymane wyniki spełniają wymagania normy PM - 84/H - 93421 dla stali w gatunku St90PA. Wytrzymałość na rozciąganie R_m dla próbek podłużnych (licznik) jest średnio o 10% większa od wytrzymałości szyn z wytopów porównawczych (odlanych bez zasypki ochronnej). Wskaźniki anizotropii własności R_m i A_5 są również korzystniejsze dla szyn z wytopów doświadczalnych. Nieznaczną poprawę własności mechaniczno-wytrzymałościowych szyn ze stali odlanej z zastosowaniem zasypki ochronnej typu ZOP należy łączyć z rafinacyjnym oddziaływaniem zasypki i modyfikacją wtrąceń tlenkowych - mimo wzrostu ich zawartości.

6 Wnioski

Na podstawie wykonanych badań własności fizykochemicznych oraz przeprowadzonych prób odlewania stali w warunkach przemysłowych należy stwierdzić, że:

Tablica 2

Wyniki badań własności mechaniczno-wytrzymałościowych i stopnia zanieczyszczenia stali szynowej szyn odlanej sposobem z góry z zastosowaniem zasypki ochronnej

Lp.	Nr wytopy	Skład chemiczny, %						Własności mechaniczne			Wskaźnik anizotropii własności		Średnia zawartość wtrąceń niemetalicznych	
		C	Mn	Si	P	S	H ₂ ppm	R _m MPa	A ₅ %	Z %	R _m	A ₅	tlenko- wych %	siar- czkowych %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	W1	0,75	1,05	0,24	0,026	0,012	1,7	$\frac{1019}{-}$	10,0	-	-	-		
2	W2	0,74	0,96	0,27	0,027	0,012	1,8	$\frac{990}{972}$	11,4	21,9	0,98	0,97	0,046	0,153
3	W3	0,72	0,99	0,24	0,026	0,011	1,2	$\frac{988}{975}$	11,5	19,0	0,99	0,93		
4	W4	0,75	0,96	0,25	0,029	0,015	1,7	$\frac{1003}{971}$	11,7	18,0	0,97	0,86		
5	Wytopy porówn.	0,70	1,05	0,25	0,028	0,015	1,8	$\frac{984}{1002}$	11,7	22,7	0,98	0,91	0,024	0,157

- a) badane zasypki izolacyjno-smarujące, stosowane w procesie syfonowego odlewania stali nie spełniają odpowiednich wymagań w zakresie lepkości dynamicznej, zwilżalności i zdolności izolacyjnej w warunkach termicznych procesu odlewania stali, szczególnie zasypka PM-1,
- b) wpływ badanych zasypek izolacyjno-smarujących na poprawę jakości powierzchni wlewków stali uspokojonej jest niewielki, zasypki nie tworzą garnisażu żużlowego pomiędzy wlewkiem i ścianką wlewnicy, zdolność izolacyjna (KIW) kształtuje się na średnim poziomie 18 - 20 kW/m²,
- c) badana zasypka ochronna typu ZOP spełnia wymagania w zakresie własności fizycznych (lepkość i zwilżalność) stawiane zasypkom przeznaczonym do odlewania stali uspokojonej sposobem z góry; w warunkach przemysłowych stwierdzono poprawę jakości wlewków stalowych - powierzchni i mikrostruktury,
- d) stosowanie zasypek w procesie tradycyjnego odlewania stali uspokojonych, bez względu na sposób napełniania wlewnic, może stanowić bardzo ważny czynnik w kształtowaniu jakości wlewków i zwiększenia uzysku stali z wlewka pod warunkiem prawidłowego doboru własności fizykochemicznych zasypek.

LITERATURA

- [1] Kudliński Z.: Hutnik, 1979, nr 1, s. 1-9.
- [2] Prochorienko K.K.: Rafinировanie stali, Izd. Tiechnika, Kijów 1975.
- [3] Kitajew Je.M.: Zatwierdzenie Stalnych slitkow, Izd. Miedalurgia, Moskwa 1982,
- [4] Jefimow W.A.: Razliwaka i krystalizacja stali, Izd. Miedalurgia, Moskwa 1976.
- [5] Benesch R., Janowski J., Mamro K.: Metalurgia zelaza. Podstawy fizykochemiczne procesow, Wyd. Śląsk, Katowice 1979.
- [6] Dutko D.A. i inni: Kompleksnoje uczaszienie kacziestwa stalnych slitkow, Izd. Tiechnika, Kijów 1969.
- [7] Prochorienka K.K.: Szlakowije wkljuczienia w stalnom slitki, Izd. Tiechnika, Kijów 1967.

SIGNIFICANCE OF CASTING POWDER IN CASTING PROCERS OF STEEL INGOTE

Summary

Importance of coating powder in the process of steel casting into ingot moulds. Division of coating powders according to thier application. Physical property demands. Psysico-chemical phenomena at boundary devision lignid steel - coating powder slag and lignid steel - ingot mould walls. Sueface failure formation mechanisms in killed steel ingots. Experimental results for dinamic viscosity andboundary wetting angle of insulating, lubricating coating powders used for syphory steel casting and procoetive coating powders used for top steel casting. Evaluation of experimental results and quality of produced coating powders.

Industrial experiments of top steel casting into ingot moulds of 12,2 t with coating powder application. Ingot mould surface quality evaluation, degree of steel impurities by non-metallic inclusions and mechanical strength steel properties. Protective coating powder application is highly desirable in rail steel top casting process of St90PA type and it gives good quality of ingot moulds and steel properties. Decrease of steel scraps as for teeming lap is concerned in slab - rail connection has been obtained and rail scrap has been suppressed due to the negative Baumman's test. Results.

РОЛЬ СМЕСИ В ПРОЦЕССЕ РАЗЛИВКИ СТАЛИ В ИЗЛОЖНИЦЫ

Резюме

Классификация смеси в зависимости от их предназначения. Физическо-химические явления на границах раздела жидкая сталь-шлак и жидкая сталь-стенка изложницы. Механизм возникновения поверхностных дефектов спокойной стали. Итоги исследований динамической вязкости и граничного угла смачивания теплоизолирующих и смазывающих смесей предназначенных для разлива стали сифоном и защищающих смеси для разлива стали способом сверху. Оценка результатов исследований и качества производимых смесей, промышленные пробы разлива стали сверху в слитки массой 12,2 т. с применением защищающей смеси. Оценка качества поверхности слитков, степени загрязнения стали неметаллическими включениями и механических свойств рельсовой стали. Подтверждено положительное влияние применения защищающих смесей в процессе разлива рельсовой стали St90PA способом сверху на качество слитков и свойства стали. Приобретено уменьшение брака заготовок стали из-за пленки и ликвидировано брак рельсов из-за отрицательной пробы Баумана /серного отпечатка/.