ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Hutnictwo z. 6 Nr kol. 440

Mencel Andrzej
Instytut Metalurgii

"WPŁYW STOSOWANYCH MATERIAŁÓW NADSTAWKOWYCH NA KSZTAŁTOWANIE SIĘ JAMY USADOWEJ WE WLEWKACH STALI WĘGLOWEJ"

Streszczenie: Analiza pracy cieplnej nadlewu wlewka pozwala ocenić wpływ rodzaju zastosowanej wykładziny nadstawkowej oraz mieszanek egzotermicznych na kształtowanie się jamy usadowej w nadlewach wlewków BN 100 i BN 135.

1. Wstęp

Jednym z istotnych problemów, jaki występuje podczas odlewania i krzepnięcia uspokojonych stali węglowych jest objętość, geometria i usytuowanie jamy usadowej w nadlewie wlewka stalowego. Na wielkość i usytuowanie jamy usadowej ma wpływ duża ilość czynników: skład chemiczny stali, temperatura i szybkość odlewania, profil wlewnicy, kształt nadstawki, rodzaj materiału nadstawkowego.

W chwili obecnej uważa się, że rozwiązanie tego problemu można osiągnąć przez stosowanie odpowiednich materiałów nadstawkowych, które spełniłyby stawiane im wymagania i jednocześnie pozwoliłyby zmniejszyć koszty produkcji stali.

W dalszym ciągu rozważań starano się przeprowadzić ocenę skuteczności działania stosowanych materiałów nadstawkowych.

2. Przepływ ciepła w nadstawce

Masa nadlewu stanowi podstawowy czynnik w ustalaniu uzysku z wlewka. Masa stali krzepnącej w nadstawce zależy bezpośrednio od ściśle określonego niestałego zjawiska przenoszenia ciepła. Nadlew posiada trzy zasadnicze powierzchnie graniczne. Od dołu łączy się z krzepnącym korpusem wlewka, z boków istnieją pionowe lub nachylone powierzchnie ograniczone materiałem ogniotrwałym nadstawki, górną zaś powierzchnię stanowi ciekły lub zestalony metal, który może zmieniać swój kształt w miarę upływu czasu.

Jak podaje F.C. Langenberg (1) straty ciepła w nadstawce mogą rozkładać się następująco:

8% - ciepło przekazane do korpusu wlewka,
5% - strata ciepła przez górną powierzchnię,
87% - strata ciepła do materiałów ogniotrwałych (w tym 75% ciepło zatrzymane w materiale).

Powyższe straty ciepła przez poszczególne powierzchnie mierzono przy szamotowym wyłożeniu nadstawki o porowatości 25%. G. Fenton (2) podał następujący rozkład strat ciepła:

75% - ciepło przechodzące do wyłożenia nadstawki (w tym 60% - ciepło pozostające w materiale 15% - ciepło przewodzone przez wyłożenie nadstawki na zewnątrz),
25% - ciepło uchodzące przez górną powierzchnię.

Wynika z tego, że pojemność cieplna materiału ogniotrwałego jest bardziej istotna od przewodnictwa cieplnego tego materiału. Potwierdzają to także wyniki badań porównawczych różnych materiałów wykładzinowych w nadstawkach z kształtkami szamotowymi o porowatości 30% do 60% (tablica 1).

Tablica 1

Straty cieplne w nadlewie wlewka stalowego w zależności od zastosowanej wykładziny nadstawkowej

Rodzaj strat cieplnych	Straty cieplne w %	
	szamot o porowatości 25-30%	materiał izolacyjny o porowatości 65%
Pojemność cieplna nadstawki	75	54
Ciepło oddane przez zewnętrzne powierzchnie nadstawki	12	12
Ciepło odprowadzone przez górną powierzchnię	5	10
Ciepło odprowadzone do korpusu wlewka	8	24

Przy zasypywaniu zwierciadła metalu lunkierytem straty ciepła przez górną powierzchnię są minimalne w porównaniu ze stratami przez ścianki boczne.

Polepszenie własności izolacyjnych materiałów nadstawkowych pozwala przy racjonalnie dobranym kształcie zmniejszyć jej objętość z 15% do 8-10% objętości wlewka.

Własności izolacji cieplnej nadstawek można ulepszyć różnymi drogami, najistotniejszą jest zmiana wyłożenia szamotowego na wyłożenie egzotermiczne (zawierające np. sproszkowany koksik, aluminium itp.).

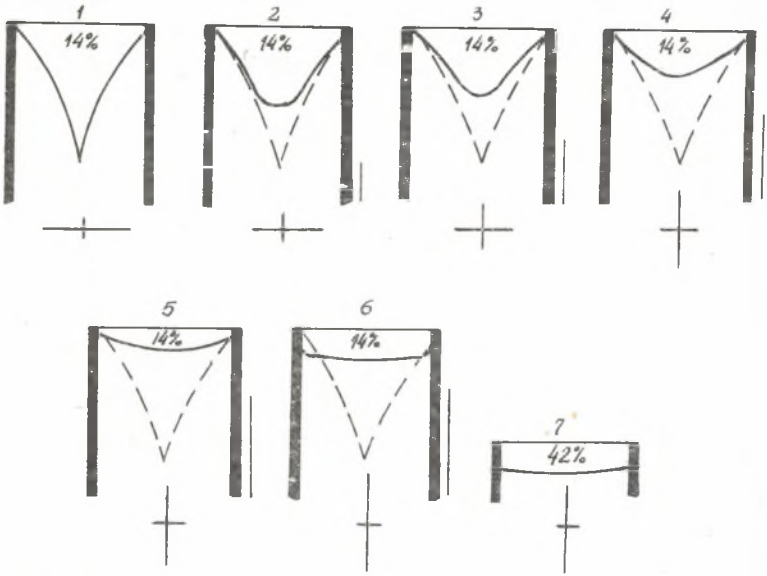
Aby ocenić izolujący wpływ materiału nadstawki należy uwzględnić przepływ ciepła jako miarę zdolności usuwania ciepła z ciała stałego, określoną przez F.C. Langenberga i Mc Cauley'a (1)

$$I = \sqrt{k \cdot \gamma \cdot c_p}, \qquad (1)$$

gdzie:

- k - współczynnik przewodności cieplnej,
- γ - gęstość materiału nadstawki,
- c_p - pojemność cieplna.

W praktyce większość szamotowych materiałów nadstawkowych posiada pojemność cieplną i przewodnictwo cieplne tego samego rzędu. Jednak zwykle materiały o niskiej gęstości posiadają odpowiednio niższe przewodności. Wszystkie metody zmniejszania pojemności cieplnej lub gęstości materiału ogniotrwałego przylegające do powierzchni nadstawki będą miały duży wpływ na zwiększenie uzysku z wlewka.



Rys. 1. Kształtowanie się jamy usadowej w zależności od kierunku odprowadzenia ciepła

Na rys. 1 zestawiono teoretyczne zarysy jamy usadowej w nadlewach (H:D = 1,5).

W przypadku 1 pokazano jamę usadową o objętości 14%. Kontury jamy odpowiadają paraboli, która w przypadku 2 i 3 posiada punkt załamania, powstały na skutek zmiany warunków odprowadzenia ciepła przez górną i boczną powierzchnię. Punkt przegięcia krzywej w przypadku 3 przesunął się już do połowy jamy usadowej, a w przypadku 4 leży już poza ścianką nadlewu. Nadlewy przy takiej samej objętości jamy usadowej 1 jednakowym współczynniku rezerwy można skrócić odpowiednio do długości odcinków narysowanych po prawej stronie każdego przypadku na rys. 1. Przecięte linie u spodu każdego nadlewu oznaczają stosunek poziomego i pionowego odpływu ciepła. Stosunek ten daje najkorzystniejszy efekt w przypadku 6, gdy nadlew jest chłodzony od ścianki nadstawki tylko w nieznacznym stopniu. W tym też przypadku osiąga się największą możliwość zmniejszenia wysokości nadstawki, co pokazano w przypadku 7, gdzie objętość całego nadlewu stanowi tylko 42% poprzedniej objętości.

Zastosowanie dostępnych materiałów nadstawkowych wymaga zwrócenia uwagi na szereg ich własności i parametrów. Dokonanie właściwej ich oceny jest utrudnione przez jednoczesne oddziaływanie wielu czynników metalurgicznych i konstrukcyjnych na kształtowanie się zarysu jamy usadowej w nadlewie wlewka. Poza tym zastosowanie danego rodzaju materiału podyktowane jest względami ekonomicznymi, a efekty działania niektórych materiałów nie we wszystkich przypadkach będą w sumie opłacalne dla stalowni.

Badane powierzchnie nadlewu chronione były wymurówką szamotową o porowatości 30%, ze względu na to, że ten rodzaj wykładziny nadstawkowej wykazuje dobrą odporność na trudne warunki mechaniczne, ruchowe oraz działanie żużla.

3. Ocena mieszanek egzotermicznych

Zastosowane w badaniach mieszanki egzotermiczne zasypywane na powierzchnię ciekłego metalu w nadstawce, przedstawiono w tablicy 2.

Z danych J.M. Lewitasowa (3) wynika, że w hutach radzieckich najlepsze wyniki osiągnięto przy zastosowaniu mieszanki o składzie podanym w tablicy 3.

Bardzo dobre wyniki osiągnięto w hutach czeskich (4), gdzie zastosowano mieszanki egzotermiczne oparte o żelazokrzem (75%) i wapniokrzem (15%). Jako nośnika tlenu używano rudy żelaza, zgorzeliny, $NaNO_3$.

Według przeprowadzonych doświadczeń ruda jest stosunkowo mało aktywna, lepsze wyniki daje zgorzelina lub azotany sodowy, potasowy, wapniowy. Azotan wapnia jest jednak silnie higroskopijny, poza tym azotany bardzo silnie wydzielają dym w czasie reakcji spalania; ogranicza się wobec tego ich ilości do 20%. Ostatecznie do produkcji wprowadzono mieszankę egzotermiczną o składzie podanym w tablicy 4. Zużycie tej mieszanki wynosiło 2-3 kg/t wlewka.

Tablica 2

Nr mieszanki	Nazwa mieszanki wg norm branżowych BN-66/4022-02	Udział procentowy składników
Mieszanka I	lunkieryt "S"	80% - koksik odpadowy 17% - aluminium metaliczne
Mieszanka II	egzolunk I (A)	42% - żwirek filtracyjny 20% - wióry Al 20% - ruda Fe 10% - wióry Mg 5% - KNO_3
Mieszanka III	mieszanka egzotermiczna	25% - Fe-Si 35% - Ca-Si 8% - KNO_3 32% - zendra

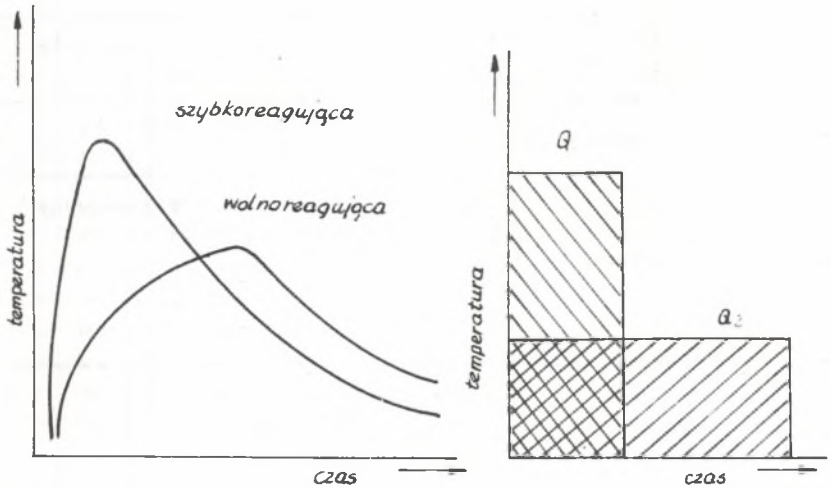
Tablica 3

Al	Fe-Si	koksik	szamot	boksyt
12	10	32	30	16

Tablica 4

Fe-Si 75%	Ca-Si	zgorzelina	$NaNO_3$
35	15	35	15

Zastosowanie określonego rodzaju mieszanki na górną powierzchnię nadlewu jest współzależne z zastosowanym bocznym wyłożeniem nadstawki. Przy wyłożeniu materiałem izolacyjnym (rys. 2 krzywa 2) ciekła stal w ciągu 20-30 min. oddaje wyłożeniu 26 000 kcal/m^2, w tym okresie krzepnie około 25% nadlewu. Natomiast przy wyłożeniu egzotermicznym nadstawki (rys. 2 krzywa 1) w ciągu pierwszych 10-15 min. wydziela się 38 000 kcal/m^2. Z wytworzonych ilości ciepła Q_1 i Q_2 (rys. 2) wynika, że wyłożenie izolacyjne stosuje się przy wlewkach dużych, gdzie czas krzepnięcia ciekłego metalu we wlewnicy jest długi i wymaga dłuższego czasu zasilania ciekłym metalem z nadlewu; stosuje się też w tym przypadku dłużej działające mieszanki egzotermiczne.



Rys. 2. Wytworzone ilości ciepła Q_1 i Q_2 podczas spalania się mieszanek egzotermicznych

Jak wykazały doświadczenia stalowni Imatra w Finlandii (6), duży wpływ na skuteczność działania mieszanek na moment ich naprowadzenia na powierzchnię głowy wlewka. W stalowni tej ustalono czas przetrzymania po zalaniu nadstawki ciekłym metalem:

$$t = 0,8 \cdot x^2, \tag{2}$$

gdzie:

x - najmniejszy wymiar przekroju poprzecznego na wysokości głowy wlewka z wyłączeniem nadstawki w cm.

Czas ten pozwalał na korzystny rozkład przepływu ciepła i zmniejszeniu strat poprzez absorbcję ciepła do wyłożenia nadstawek oraz zastosowanych mieszanek.

Mieszanka oparta była na bazie proszku aluminium (22,3%) oraz rudy Fe(77,7%). Szybkość spalania regulowana była ilością skały płonej w rudzie żelaza (wapno palone).

4. Badania własne

Część badawcza przeprowadzona została w jednej z hut krajowych, gdzie odlano po 2 wlewki ze stlali St3S do wlewnic formatu BN 100 oraz BN 135.

Na wlewnicach ustawiono nadstawki o wysokości 600 mm wyłożone kształtką szamotową. Po napełnieniu nadstawki metalem, na powierzchnię naprowadzono warstwę mieszanki I (tablica 2) w ilości 2 kg/t. Z jednego z wlewków odcięto nadlew i przecięto wzdłuż dłuższej osi. Po oszlifowaniu z powierzchni nadlewu została wykonana odbitka Baumanna. W środku i po prawej stronie przekroju widać było skrzepnięte "mosty", które są wynikiem niezbyt dobrego pokrycia górnej powierzchni nadlewu mieszanką. Siarczki na odbitce Baumanna skupiły się w środkowej części nadlewu, sięgają jednak też do wnętrza przekroju wlewka, świadczy to o przewadze poziomego frontu krzepnięcia. Powierzchnia przekroju po wykonaniu głębokiego trawienia jest wolna od porowatości i wtrąceń.

Pozostałe 3 wlewki z zestawu poddano walcowaniu na blachy, które przebadano defektoskopem ultradźwiękowym Df-22. Linia zasięgu jamy usadowej wykreślona wg wskazań defektoskopu ultradźwiękowego ma kształt litery "U" i wskazuje na płaski zarys jamy usadowej w nadlewie. Jednak nie we wszystkich przypadkach uzyskano tak dobre wyniki; w innych wytopach stali St3S, gdzie dodano na powierzchnię nadlewu około 1,3 kg/t mieszanki I, po przewalcowaniu 10-tonowych wlewków wraz z nadlewami, badanie ultradźwiękowe wykazało, że zarys jamy usadowej ma kształt litery "V" i sięga poniżej zawalcowanej linii podstawy nadlewu.

Z następnego wytopu odlano ze stali St3S 2 wlewki formatu BN 100 i 2 wlewki formatu BN 135. Nadstawki o wysokości 600 mm wyłożono kształtkami szamotowymi. Na powierzchni rozprowadzono mieszankę II w ilości 3 kg/t. Dalsze czynności wykonano analogicznie jak powyżej. Zarys jamy usadowej po badaniu ultradźwiękowym ma kształt litery "V" i w jednym przypadku sięga poniżej zawalcowanej linii nadlewu, w pozostałych sięga 70% wysokości. Odbitka Baumanna wykazała większą ilość skupisk siarczkowych umieszczonych w środkowej części nadlewu. Zarys jamy usadowej był podobny jak w poprzednim wariancie, chociaż w nadlewie gdzie zastosowano mieszankę II wypłynięcie większej liczby siarczków i umiejscowienie się ich w górnej części nadlewu świadczy o dłuższym utrzymaniu głowy wlewka w stanie płynnym.

Jeśli chodzi o funkcję jaką powinien spełniać nadlew, czyli zasilać wlewek ciekłym metalem podczas jego krzepnięcia, to na odbitkach Baumanna widać stosunkowo cienką warstwę zdrowego metalu w dolnej części nadlewu, aby można było myśleć o jego skróceniu.

Zbyt duża ilość metalu zakrzepłego w narożach nadstawki, przy jej bocznych powierzchniach, świadczy o niezbyt dobrych własnościa izolacyjnych wyłożenia nadstawek. Za zastosowaniem wyłożenia szamotowego przemawiają dobre własności mechaniczne i wytrzymałościowe co pozwala na wielokrotne używanie nadstawek.

Przy następnym wytopie badano działanie mieszanki III. Wytop ze stali St3S odlano do wlewnic formatu BN 100. Po osiągnięciu przez metal górnej powierzchni nadstawki zasypywano mieszankę III w ilości 1,2 kg/t. Mieszanka spala się spokojnie i równomiernie w okresie 10 min. Następnie na powierzchnię metalu dosypuje się około 1,2 kg/t masy grafitowej, która w dalszej fazie krzepnięcia spełnia rolę izolatora tej powierzchni nadlewu.

Po odcięciu nadlewu przecięto je wzdłuż dłuższej osi. Na przekroju jama usadowa ma bardzo nierówną, poszarpaną powierzchnię, po prawej stronie przekroju widać było skrzepy metalu w górnej części nadlewu, co świadczy o przedostaniu się metalu poprzez warstwę mieszanki, ale wynika to z niedokładnego sposobu zasypania powierzchni mieszanką. Na odbitce Baumanna siarczki rozłożyły się bardzo równomiernie na całym przekroju, wypłynięcie bardzo dużych skupisk siarczków i wtrąceń pod powierzchnią jamy usadowej świadczy o dobrym działaniu mieszanki III. Ogólny zarys jamy usadowej jest w kształcie spłaszczonej litery "U". Zbyt duża ilość zakrzepłego metalu przy bocznych powierzchniach nadlewu wynika z niezbyt dobrych parametrów szamotowego wyłożenia nadstawki.

Na odciętych nadlewach przeprowadzono także badania rozkładu segregacji dla C, Si, Mn, P i S. Próby pobierano z 10 punktów wszystkich czterech przeciętych nadlewów.

Analizując rozkłady stopni segregacji pierwiastków stwierdzono, że we wszystkich przypadkach w warstwach bocznych nadlewów występują zawsze zerowe oraz niskie stopnie segregacji dla C i S natomiast dla Mn, P i Si niskie dodatnie.

W części osiowej stwierdzono w większości przypadków (dla C, Mn, Si, P i S) segregację dodatnią, przy czym wartości segregacji są znacznie wyższe niż w warstwach bocznych. W punktach przy podstawie nadlewu stopnie segregacji pierwiastków są niższe od wartości segregacji w górnych powierzchniach nadlewu. Na podstawie uzyskanych w ten sposób danych można stwierdzić, że najkorzystniejszy rozkład segregacji uzyskano dla nadlewu, którego górną powierzchnię zasypano mieszanką egzotermiczną nr III.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na ocenę niektórych czynników mających istotny wpływ na kształtowanie się jamy usadowej:

1. Nie ulega wątpliwości, że rodzaj materiału stosowanego na wykładzinę nadstawkową wpływa w bardzo dużym stopniu na objętość nadlewu, o czym świadczą stosunkowo duże ilości metalu skrzepniętego przy bocznych powierzchniach nadstawek.
2. Pozytywne efekty stwierdzono przy stosowaniu mieszanki egzotermicznej nr III (tablica 2) na co wskazuje uzyskany płaski zarys jamy usadowej we wlewkach BN 100.
3. Wydaje się, że należałoby stosować w praktyce pewien okres odczekania od momentu osiągnięcia przez metal górnego poziomu w nadstawce, po którym zasypywałoby się powierzchnię głowy, wlewka mieszanką egzotermiczną, poprawiając w ten sposób rozkład przepływu ciepła w nadstawce.

4. Zwiększenie uzysku z wlewka poprzez zmniejszenie objętości jamy usadowej do około 9% w warunkach stalowni, w której prowadzono badania, udałoby się uzyskać jedynie po przeprowadzeniu dalszych prób z zastosowaniem lepszych materiałów na wyłożenie nadstawek we wlewkach BN 100 oraz BN 135.

LITERATURA

[1] Langenberg F.C., Mc Cauley: Krzepnięcie stali, współczesna teoria krzepnięcia a praktyczne możliwości stalowni. J. Metals. t. 15, 1963, nr 4, s. 311.

[2] Fenton G.: Przepływ ciepła w nadstawce. Iron Steel Instytut t. 18[illegible], 1957, nr 4, s. 396.

[3] Lewitasow J.M.: Obniżenie odpadu od strony głowy wlewka stali uspokojonej. Metałłurg t. 4, 1959. nr 6, s. 59.

[4] Krauskopf W.: Wpływ stosowania mas egzotermicznych i izolacyjnych na powstawanie jamy skurczowej. Giesserei 1970, nr 21. s. 681.

[5] Jefomof Ł.M.: Izolacja cieplna i ogrzewanie nadlewu. Stal t. 19, 1959 nr 8 s. 706.

[6] Aitken A.I.: Proces ogrzewania nadlewu wlewków termitem w Imatrze. Iron Steel Instytut t. 190, 1958, nr 4, s. 387.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ УТЕПЛЯЮЩИХ ПРИБЫЛЬНЫХ НАДСТАВОК НА КОНФИГУРАЦИЮ УСАДОЧНОЙ РАКОВИНЫ В СЛИТКЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Р е з ю м е

Анализ тепловой работы прибыльной части слитка позволяет определить влияние рода применяемых утепляющих прибыльных надставок и разогревающих порошков на конфигурацию усадочной раковины в прибыльной части слитков.

THE INFLUENCE OF HOT TOP MATERIALS ON THE SHAPE OF CONTRACTION CAVITY IN CARBON STEEL INGOTS

S u m m a r y

The analysis of thermal work of ingot top nob makes it possible to estimate the influence of different hot top lining used and exothermic blends on the shape of contraction cavity in top nobs of BN 100 and BN 135 ingots.