ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: HUTNICTWO z. 18 Nr kol. 606

Stanisław TOCHOWICZ
Maria SZULC

Instytut Metalurgii
Politechnika Śląska

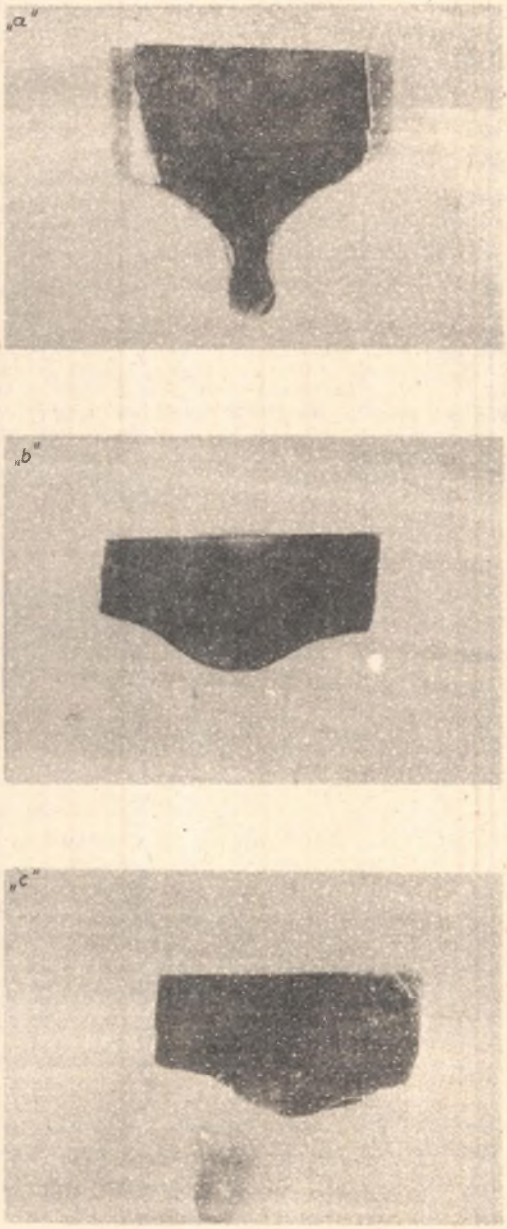
ZMIANY KSZTAŁTU, WIELKOŚCI, RODZAJU I ROZMIESZCZENIA WTRĄCEŃ NIEMETALICZNYCH W CZASIE PROCESU EŻP

Streszczenie. Poddano badaniom zmiany wielkości i kształtu wtrąceń niemetalicznych na drodze: materiał elektrody, tworząca się kropla ciekłego metalu, materiał wlewka w czasie procesu EŻP. Stwierdzono zjawiska rozpadu dużych wtrąceń segregacji wtrąceń w roztapiającym się materiale elektrody i prawdopodobieństwo częściowej dysocjacji i rozpuszczania się składników w ciekłym metalu. Potwierdzono efekt zmniejszenia wielkości i usunięcia dużych wtrąceń w materiale wlewka w stosunku do materiału elektrody.

Wartościową cechę procesu elektrożużlowego przetapiania stali stanowią: zmniejszenie zawartości, zmiana rodzaju, rozkładu i wielkości wtrąceń niemetalicznych. Zmiany te spowodowane są wysoką temperaturą procesu, kroplowym przepływem stali poprzez żużel, warunkami krzepnięcia oraz brakiem kontaktu ciekłej stali ze stałą fazą materiałów ogniotrwałych. Czynniki te powodują około dwukrotne zmniejszenie zawartości wtrąceń tlenkowych [1, 2, 3], cztero- do sześciokrotne obniżenie zawartości wtrąceń siarczkowych [1, 4] oraz zmianę składu chemicznego pozostałych wtrąceń niemetalicznych. O ile źródła wtrąceń niemetalicznych obecnych we wlewku EŻP są znane, to nie istnieje jednoznaczna teoria wyjaśniająca, w jaki sposób w okresie roztapiania, przebywania w zakresie wysokich temperatur oraz kontaktu ciekłego metalu z żużlem zachodzi proces zmiany wtrąceń niemetalicznych w takim stopniu, że wtrącenia niemetaliczne wlewka EŻP nie mogą być utożsamiane z wtrąceniami elektrody. Podawane w literaturze hipotezy wykazują duże rozbieżności w interpretacji procesów zachodzących w błonce ciekłego metalu oraz w formującej się kropli na końcówce przetapianej elektrody.

Hipotezy zakładające obecność w kropli ciekłego metalu opuszczającej elektrodę wtrąceń niemetalicznych, właściwych dla przetapianej elektrody [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 13], sugerują zmiany ich rodzaju i zawartości, wskutek:

- wypływania z ciekłego metalu zgodnie w przybliżeniu z hydrodynamicznym prawem Stokesa,



Rys. 1. Przekrój końcówki elektrody

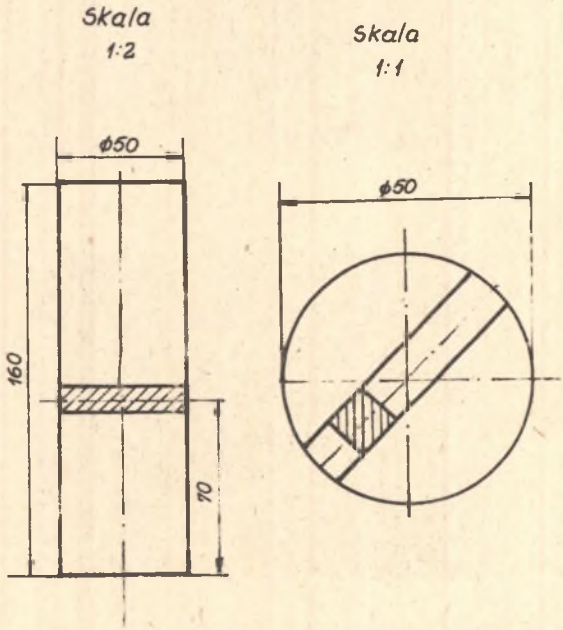
- adsorpcji przez żużel w czasie kontaktu ciekłego metalu z żużlem wobec dużej powierzchni styku obu faz,
- reakcji chemicznej ze składnikami żużla.

W ostatnich latach wysunięto zupełnie odmienną hipotezę [14, 15, 16] zakładającą nieobecność wtrąceń niemetalicznych w metalu opuszczającym elektrodę. Na końcówce topiącej się elektrody wtrącenia niemetaliczne dysocjują, a ich składniki przechodzą do roztworu. W miarę przejścia metalu przez zmienne stadia procesu dochodzi do stanu równowagi pomiędzy fazami metalu i żużla, co powoduje zmianę składu chemicznego metalu. Przy krzepnięciu wobec zmienionego w stosunku do elektrody składu chemicznego metalu następuje wytrącenie z roztworu nowych wtrąceń niemetalicznych. Specyficzne warunki krzepnięcia decydują o ich wielkości i rozkładzie.

Celem niniejszej pracy było zweryfikowanie poglądów na fizykochemiczne przemiany strąceń niemetalicznych, zachodzące na drodze elektroda-wlewek EŻP poprzez zbadanie:

- procesów zachodzących na końcówce przetapianej elektrody,
- oraz zmian w rozkładzie wielkości wtrąceń niemetalicznych.

Materiał do przetopu uzyskano przeprowadzając wytopy w piecu indukcyjnym otwartym o wyłożeniu kwaśnym (SiO_2) i pojemności znamionowej 15 kg.



Rys. 2. Schemat pobierania prób z wlewka EŻP

Rys. 3. Wtrącenia niemetaliczne obserwowane na zgładach prób pobranych z elektrody

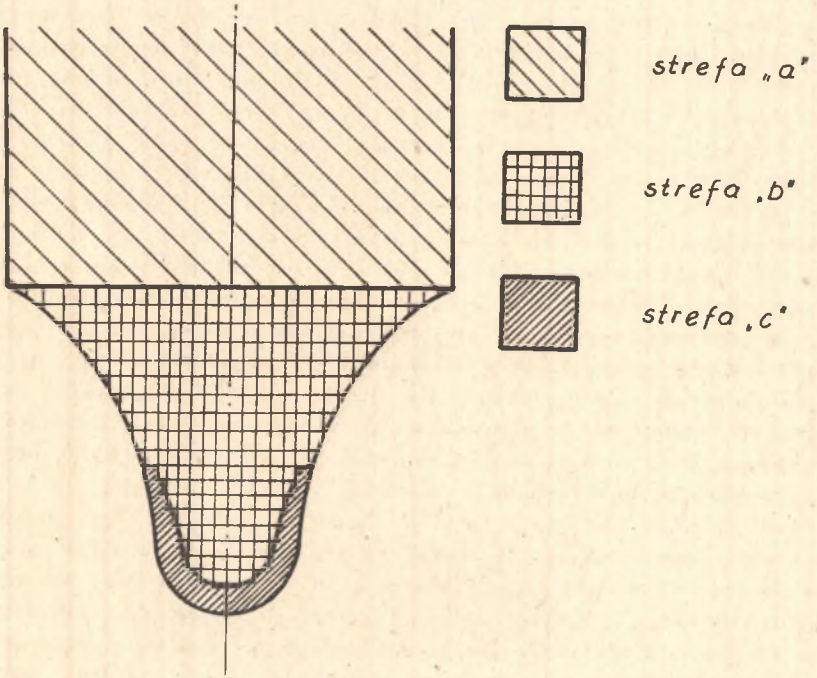
Wsad stanowiło żelazo Armco odtlenione na pięć minut przed spustem krzemem w ilości 0,009 kg Si/kg wsadu. Uzyskane wlewki poddano przekuciu na elektrody o Ø 30 mm. Po odcięciu prób do badań, elektrody przetapiano w laboratoryjnym piecu EŻP zasilanym prądem zmiennym, z krystalizatorem okrągłym o średnicy Ø 50 mm. Przetopy wykonano z zastosowaniem żużla typu CaF_2 - CaO - Al_2O_3 (63% CaF_2 - 12% CaO, 20% Al_2O_3). Badaniami objęto próby pobrane z przekutych elektrod (stopień przekucia 2), z końcówek przeciętych wzdłuż osi elektrod (rys. 1) oraz z wlewków EŻP (rys. 2).

Metody badań dobrano pod kątem uzyskania danych odnośnie kształtu, zawartości oraz rozkładu wielkości wtrąceń niemetalicznych, przy przejściu od elektrody do wlewka.

W tym celu zastosowano:

- metalograficzną analizę jakościową (mikroskop f-my Reichert MeF-2),
- metalograficzną analizę ilościową (mikroskop telewizyjny Quantimet 720 firmy Cambridge Metals Research).

Badając zgłady prób pobranych z elektrod wyjściowych stwierdzono przede wszystkim obecność dużych często szklistych wtrąceń niemetalicznych o kształcie globularnym (rys. 3). Dla prześledzenia procesów zachodzących w trakcie przetapiania pobrano próby z końcówki przetopionej elektrody



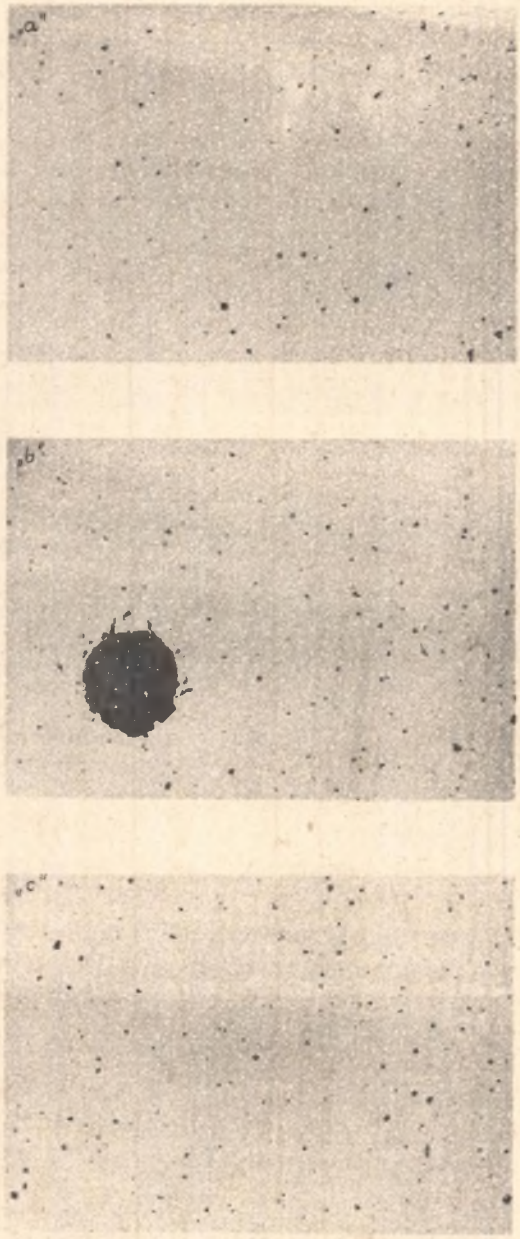
Rys. 4. Badane strefy na przekroju końcówki elektrody

(rys.1), a wzdłużny jej przekrój podzielono na odpowiednie strefy (rys.4). W ustalaniu rozmieszczenia poszczególnych stref podanych na rys.4 kierowano się różnicami w wyglądzie wtrąceń niemetalicznych w poszczególnych częściach zgładu (rys. 1), dostrzeżonymi w czasie obserwacji mikroskopowych. W strefie "a", znajdującej się w czasie przetapiania w obrębie zasięgu wysokich temperatur, zaobserwowano oprócz niezmienionych wtrąceń globularnych wtrącenia wyraźnie zmieniające swój kształt (rys. 5).Rysunek 5b przedstawia w sposób obrazowy początkowy etap powstawania ubytków w "stanie posiadania" pojedynczego wtrącenia. Przy przejściu ze strefy "a" do strefy "b" obserwowano gwałtowny wzrost ilości wtrąceń niemetalicznych oraz wyraźne zmniejszenie ich wielkości Świadczy to o daleko posuniętym rozpadzie dużych wtrąceń globularnych (rys. 6a). Najbardziej charakterystyczny obraz wtrąceń niemetalicznych tej strefy przedstawiają rysunki 6b i 6c. Obserwacje mikroskopowe strefy "c" w uformowanej na końcówce elektrody kropli wykazują, że rozpadowi dużych wtrąceń niemetalicznych w strefie "b" towarzyszy równocześnie zachodzący proces segregacji wtrąceń,przy czym większe wtrącenia globularne przemieszczają się w kierunku powierzchni międzyfazowej żużel-metal (rys. 7). Uważna obserwacja warstwy metalu przy powierzchni międzyfazowej wskazuje na mniejszą, od obserwowanej w strefie "b", ilość drobnych wtrąceń niemetalicznych.

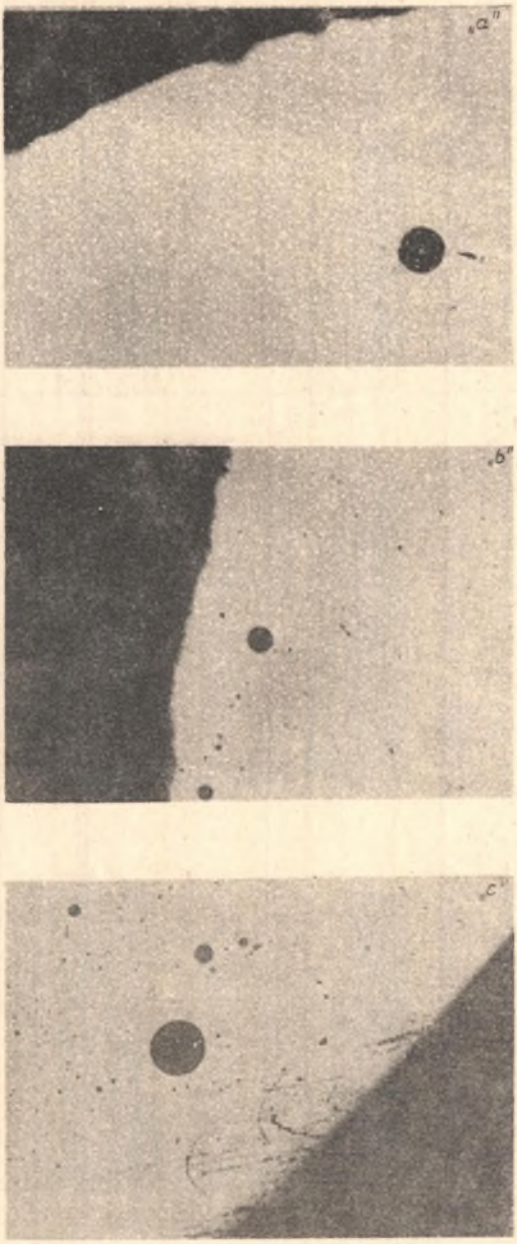
Oprócz jakościowych badań metalograficznych wykonano ilościowe badania na zgładach prób pochodzących z elektrod przed przetopem, z końcówki przetopionej elektrody dla strefy "a" i strefy "b + c" oraz w wlewków EŻP. Uzyskane wyniki zestawiono w tablicy 1 oraz na rysunkach 8 i 9. Wskazują one na stopniowe zmniejszanie zawartości wtrąceń niemetalicznych na drodze elektroda przed przetopem - strefa "a" końcówki przetapianej elektrody - strefa "b + c" końcówki przetapianej elektrody - wlewke EŻP (rys.8). Obniżenie zawartości wtrąceń niemetalicznych w strefie "a" i w strefie "b + c" pozwala przypuszczać, że w strefie tej zachodzi również, choć w małym stopniu, rozpuszczanie wtrąceń niemetalicznych. Porównanie ilości wtrąceń niemetalicznych w kolejnych etapach procesu elektrożużlowego przetapiania stali wykazuje, że ich maksimum przypada na etap formowania się kropli na końcówce przetapianej elektrody (rys. 8). Wskazuje to na daleko posunięty proces rozpadu dużych wtrąceń w tej strefie. O rozpadzie dużych wtrąceń w kropli formującej się na końcówce elektrody świadczy również obliczona średnia powierzchnia wtrąceń tej strefy (tablica 1).

Ilość wtrąceń niemetalicznych we wlewku EŻP jest większa od ich ilości w wyjściowej elektrodzie. Rozmiary ich jednak są tak małe (około 90% posiada powierzchnię nie przekraczającą 10 μm^2), że łączna ich zawartość jest kilkakrotnie niższa od zawartości wtrąceń niemetalicznych stwierdzonych w materiale elektrody (tablica 1). Rozkłady wielkości wtrąceń niemetalicznych przedstawione na rysunku 9 świadczą o tym, że stal odtleniona krzemem wykazuje po przetopieniu elektrożużlowym zmniejszenie ilości wtrąceń w klasach obejmujących wtrącenia niemetaliczne, większe od 30 μm^2.

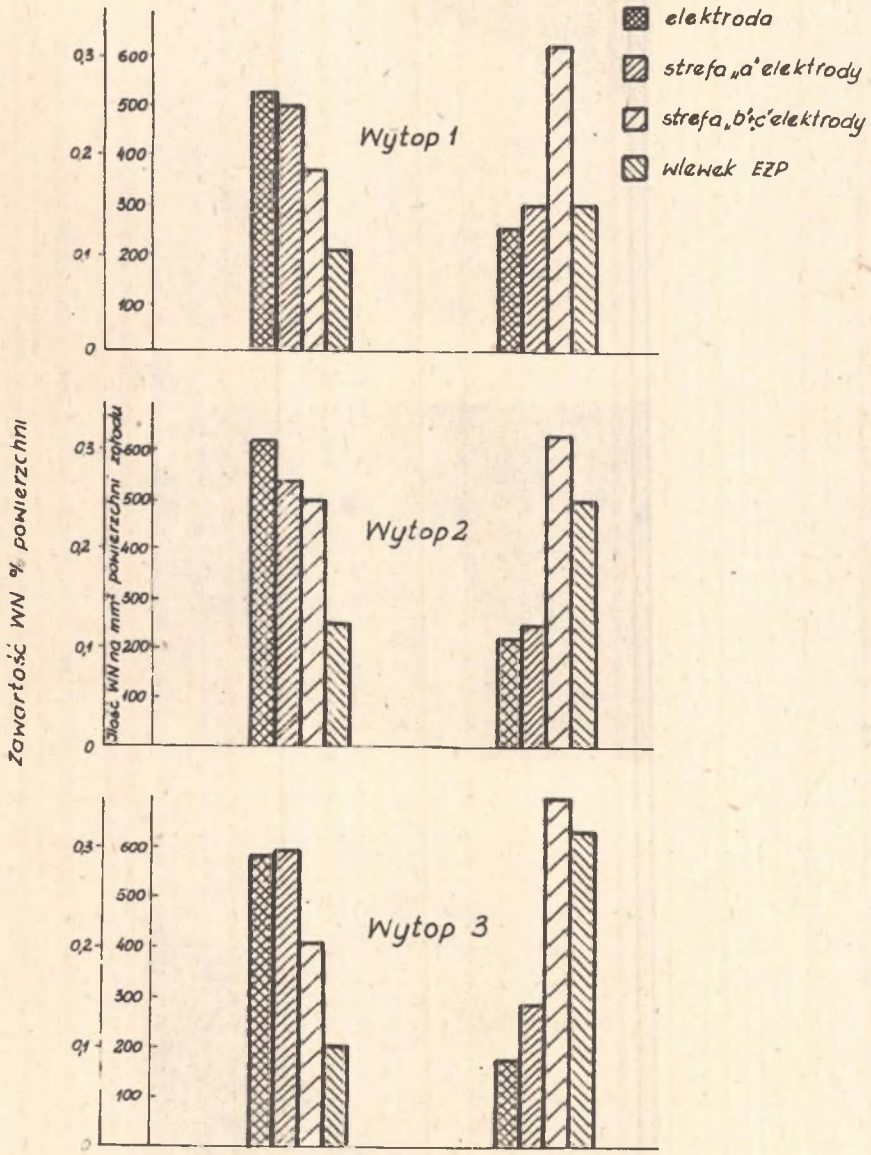
Rys. 5. Wtrącenia niemetaliczne obserwowane w strefie "a" końcówki przetopionej elektrody



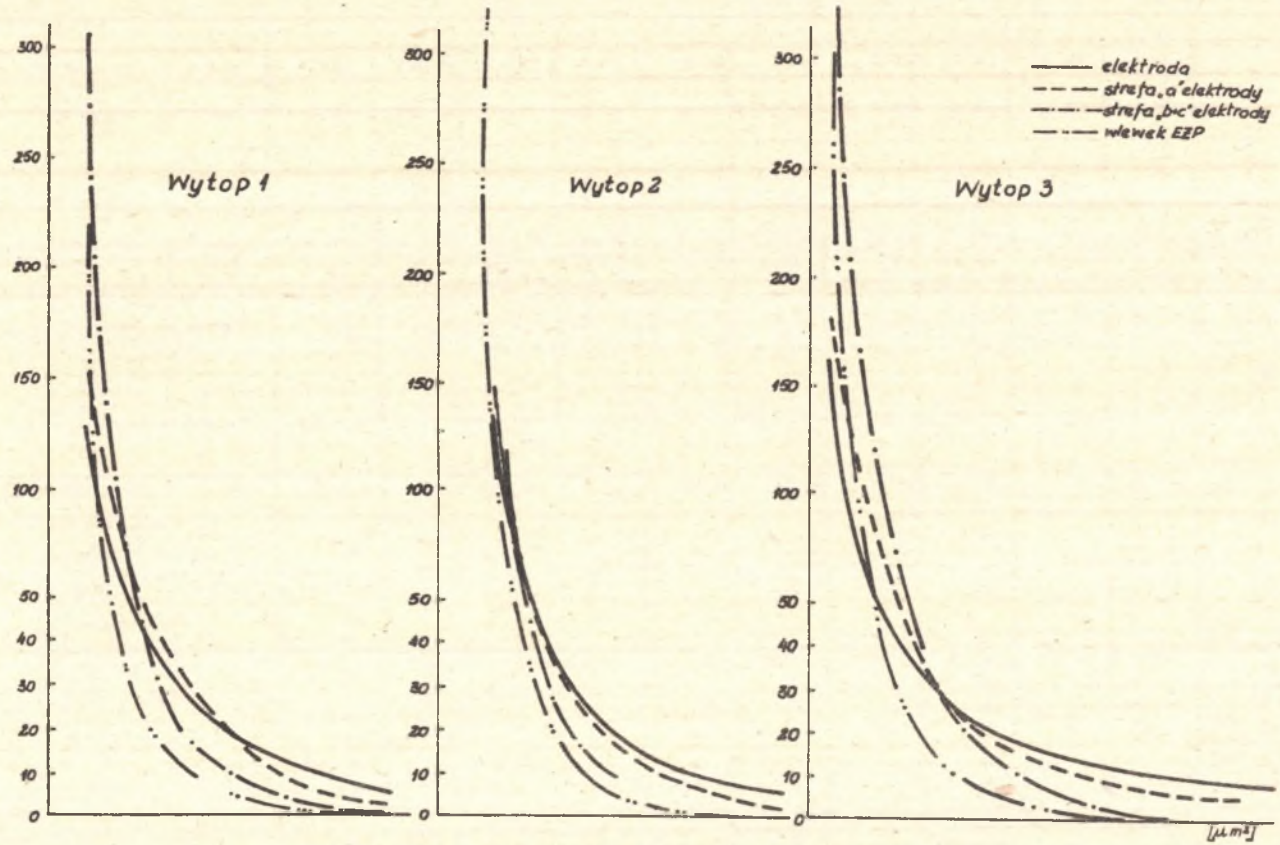
Rys. 6. Wtrącenia niemetaliczne obserwowane w strefie "b" końcówki przetopionej elektrody



Rys. 7. Wtrącenia niemetaliczne obserwowane w strefie "c" końcówki przetopionej elektrody



Rys. 8. . iany zawartośc i ilości wtrąceń niemetalicznych w procesie EŻP stali odtlenionej krzemem



Rys. 9. Zmiana komulacyjnego rozkładu wielkości wtrąceń niemetalicznych w procesie EŻP stali odtlenionej krzemem

Tablica 1

Zmiany w ilości i wielkości wtrąceń niemetalicznych
w procesie przetapiania elektrozużlowego stali odtlenionej krzemem

Numer wytopu	Miejsce pobrania próby	Powierzchnia P		Ilość wtrąceń niemetalicznych na mm^2 powierzchni zgładu									Powierzchn. największych wtrąceń obecnych w badanej próbce [μm^2]
		% wtrąceń niemet.	P/l cechę [μm^2]	Całkowita	$>2\ \mu m^2$	$>10\ \mu m^2$	$>20\ \mu m^2$	$>30\ \mu m^2$	$>40\ \mu m^2$	$>50\ \mu m^2$	$>60\ \mu m^2$	$>70\ \mu m^2$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Elektroda	0,267	10,44	255,53	125,98	46,42	30,57	21,07	16,07	10,70	8,00	5,05	700 1150
	Końcówka elektrody strefa "a"	0,248	8,27	300,07	150,32	56,21	34,8	23,02	12,38	5,72	4,71	3,98	200 216
	Końcówka elektrody strefa "b+c"	0,186	3,00	620,01	321,02	63,43	21,82	10,73	7,02	3,21	2,71	1,11	786 199
	Wlewek EŻP	0,108	3,26	306,91	201,66	28,02	13,06	6,25	3,48	1,46	1,30	0,18	100
2	Elektroda	0,308	12,60	226,02	163,40	52,31	30,17	22,34	11,67	10,81	8,71	6,42	1350 760
	Końcówka elektrody strefa "a"	0,278	10,55	240,52	170,66	60,00	28,86	17,08	10,00	9,02	5,31	3,31	300 105
	Końcówka elektrody strefa "b+c"	0,254	3,74	630,00	301,02	70,30	15,61	14,31	7,82	2,05	1,69	0,72	180 690
	Wlewek EŻP	0,126	2,60	497	323,32	40,73	15,42	10,01	3,02	1,33	0,18	-	-
	Elektroda	0,289	16,91	171,21	160,39	42,26	25,09	18,45	13,50	11,09	9,25	7,32	2018 680
	Końcówka elektrody strefa "a"	0,290	9,56	280,31	180,20	60,32	24,47	16,15	10,37	8,23	6,09	5,34	100 153
	Końcówka elektrody strefa "b+c"	0,200	2,68	692	331,2	71,82	20,21	10,30	3,21	2,47	1,02	0,56	199 673
	Wlewek EŻP	0,104	2,80	335,35	313,53	29,02	9,75	4,78	2,02	1,30	0,61	-	-

Szczególnie korzystnie kształtuje się powierzchnia największych wtrąceń, obecnych we wlewku EŻP, która nie przekracza na ogół 70 μm^2. Maksymalna powierzchnia sporadycznie spotykanych wtrąceń (jedno na pięćdziesiąt ocenianych pól) wynosi 100 μm^2, podczas gdy w materiale elektrody wyjściowej obserwowano wtrącenia o wielkości 1150 μm^2, 1350 μm^2, 2018 μm^2 (tablica 1).

Rys. 9 podaje również krzywe rozkładu wielkości wtrąceń w strefie "a" i w strefie "b + c" przetopionej elektrody. Rozkład wielkości wtrąceń w strefie "a" jest zbliżony do rozkładu wielkości wtrąceń w wyjściowej elektrodzie. Zaczynający się w tej strefie proces rozpadu wyraża się niewielkim wzrostem ilości wtrąceń o wymiarach mniejszych od 20 μm^2 i zmniejszeniem ilości wtrąceń o wymiarach większych od 20 μm^2. Procesy te potęgują się w strefie formowania kropli na końcówce przetapianej elektrody (strefa "b + c"). Postępujące w tych strefach, tj. przy przejściu do wysokotemperaturowej strefy "a" oraz przy przejściu od strefy "a" do strefy "b+ +c" zmniejszenie zawartości wtrąceń pozwala przypuszczać, że proces rozpuszczania odgrywa pewną rolę w mechanizmie usuwania wtrąceń w czasie przetapiania elektrożużlowego. Otwartym zagadnieniem pozostaje odpowiedź na pytanie, jakim procesom ulegają w dalszych stadiach procesu EŻP wtrącenia zaobserwowane w strefie "c" końcówki elektrody. Należy przypuszczać, że w tej strefie silne oddziaływanie między ciekłym metalem a żużlem przejawia się:

- w przejściu do żużla tych wtrąceń niemetalicznych, które znajdą się na powierzchni międzyfazowej ciekły metal-żużel,
- w procesach wymiany tlenu i pierwiastków odtleniających przez powierzchnię międzyfazową żużel-metal.

Wyżej wymienionym procesom sprzyja rozwinięcie powierzchni zetknięcia ciekłego metalu z żużlem w procesach elektrożużlowego przetapiania stali.

Przeprowadzone badania wtrąceń niemetalicznych dla różnych etapów elektrożużlowego przetapiania stali pozwalają wysnuć następujące wnioski:

1. Spośród badanych efektów przetapiania stali w procesie elektrożużlowym najlepsze wyniki uzyskuje się w zakresie usunięcia dużych wtrąceń niemetalicznych.

2. Wtrącenia niemetaliczne we wlewku EŻP nie mogą być utożsamione z wtrąceniami niemetalicznymi elektrody.

3. W strefie najwyższych temperatur, tj. w strefie tworzenia się kropli metalu na czole elektrody, występuje prawdopodobnie dysocjacja i rozpuszczenie części wtrąceń niemetalicznych.

4. Obserwowane przejście dużych wtrąceń niemetalicznych do powierzchni międzyfazowej końcówka przetapianej elektrody - żużel odgrywa z pewnością ważną rolę w procesie usuwania wtrąceń niemetalicznych w procesie elektrożużlowego przetapiania stali.

5. Stwierdzono wyraźnie rozpad dużych wtrąceń niemetalicznych w końcówce przetapianej elektrody.

LITERATURA

[1] Scharf G.: Neue Hütte + 20, 1975, nr 7, ss. 393-397.
[2] Czerniawskaja: Metałłurg. Gornorudn. Prom. 1972, nr 5, ss. 37-38.
[3] Czerniawskaja: Metałłurg. Gornorudn. Prom. 1973, nr 3, ss. 85-87.
[4] Zimmerman E.: Radex Randsch. 1971, nr 5, ss. 563-576.
[5] Mitchell A.: Ironmoking and Steelmaking. 1974, nr 3, ss.1972-1979.
[6] Powołockij D.: Izw. Wys. Uczeb. Zaw. G. Miet. 1975, nr 4.
[7] Medowar B., Łatasz: Elektroszłakowyj pieriepław Naucz.Dum Kijów 1965.
[8] Ludemna K.: Frieberger Forschungsh 122, 1966, 181.
[9] Powołockij D.: Izw. Wys. Uczeb. Zaw. Cz. Miet. 1976, nr 6, ss. 57-60.
[10] Klujew M.: Stal.1969, nr 2, ss. 168-171.
[11] Klujew M.: Stal. 1967, nr 6, ss. 480-483.
[12] Klujew M.: Mietałłurgia elektroszłakowogo pieriepława.Izd.Mietałłurgia, Moskwa 1969.
[13] Jodkowski S.: Mietałły. 1968, nr 2, ss. 115-121.
[14] Liddle J.F.: Chemical metalurgy of iron and steel.Symposium Sheffield.
[15] Keu A.: Specialnaja elektrometałłurgia cz. 2. Symposium, Kijów 1972.
[16] Paton B.: Elektroszłakowyj pieriepław - Materiały z V Międzynarodowego Sympozjum cz. 4. Kijów 1977.

ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ, ВЕЛИЧИНЫ, РОДА И РАЗМЕЩЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ПРОЦЕССА EŻP

Р е з ю м е

Подвергались исследованиям изменения величин и формы неметалических включений на пути: материал электрода, образование капли жидкого металла, материал слитка во время процесса EŻP. Обнаружеио явление распада больших включений сегрегации включений в расплавляющимся материале электрода и правдоподобие частичной дисоциации и растворение реагентов в жидком металле.

Подтверждается эффект уменьшения величины и устранения больших включений в материале слитка в соотношении к материалу электрода.

THE CHANGES IN FORM, MAGNITUDE AND KIND, AND POSITION OF NON-METALLIC INCLUSIONS DURING THE ELECTRO-SLAG MELTING (ESM) PROCESS

S u m m a r y

The changes in form, magnitude, kind, and position of non-metallic inclusions on the way of: the electrode material, the drop of liquid metal in creation, the ingot material during the ESM process have been exami-

ned. The phenomena of big inclusions disintegration have been stated, as well as the segregation of inclusions in the melting material of the electrode, and the probability of the partial dissociation and dissolution of components in the liquid metal.

The effect of decreasing the big inclusions in magnitude, and removing the big inclusions in the ingot material in the comparison to electrode material was confirmed.