2/9

Archives of Foundry,
Year 2003, Volume 3, № 9
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2003, Rocznik 3, Nr 9
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

ZALEŻNOŚĆ WŁAŚCIWOŚCI ŻELIWA OD MATERIAŁÓW WSADOWYCH

D. BARTOCHA[1], J. GAWROŃSKI[2], K. JANERKA[3]
Katedra Odlewnictwa Politechniki Śląskiej
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

STRESZCZENIE

W artykule opisano wstępne badania wpływu rodzaju materiałów wsadowych i sposobu prowadzenia wytopu na właściwości żeliwa szarego.

Key words: gray cast iron, mechanical properties, melting, pneumatic injection

1. WPROWADZENIE

Ciągły rozwój przemysłu stawia produkowanym materiałom coraz wyższe wymagania eksploatacyjne, przy jednoczesnym dążeniu do obniżenia ich kosztów produkcji. Jedną z metod intensyfikującą procesy metalurgiczne jest nawęglanie ciekłych stopów żelaza poprzez wdmuchiwanie rozdrobnionego grafitu w strumieniu gazu nośnego. Pozwala to na zmniejszenie lub wyeliminowanie drogiej surówki ze wsadu metalowego i zastąpienie jej złomem stalowym. Można w ten sposób uzyskać znaczne obniżenie kosztów wytopu. Powstały w wyniku takiej zmiany deficyt węgla w stopie można szybko korygować poprzez pneumatyczne nawęglanie. Rozdrobnione ziarna grafitu w połączeniu z intensywnym mieszaniem przez strumień nośny powodują powstawanie bardzo dużej strefy kontaktu nawęglacz – ciekły metal, co pozwala na uzyskanie wysokich wartości wskaźników procesu (szybkości i efektywności nawęglania). Dla porównania można przytoczyć fakt, że nawęglanie w piecu łukowym o pojemności 6Mg żeliwa o 0,2% tradycyjną metodą (narzucanie brył grafitu na powierzchnię metalu) może trwać ok. 1 godziny, a przy wdmuchiwaniu ok. 5 min. Pneumatyczne nawęglanie umożliwia korektę węgla nawet o 3,0% w bardzo krótkim

[1] *dr inż., dariusz2@zeus.polsl.gliwice.pl*
[2] *prof. dr inż., sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl*
[3] *dr inż., janerka@zeus.polsl.gliwice.pl*

czasie. Nie jest to możliwe do uzyskania metodami tradycyjnymi. Pojawiają się jednak opinie, że surówka przekazuje stopom pewne cechy dziedziczne, przez co uzyskiwane żeliwo jest lepsze. Dlatego w pracy podjęto próbę porównania żeliwa uzyskanego prowadząc wytop na bazie surówki specjalnej oraz prowadząc wytop z udziałem wyłącznie złomu stalowego i grafitowego. Analiza objęła porównanie wytrzymałości na rozciąganie, udarności, twardości i struktury otrzymanych tymi dwoma drogami stopów. Pozwoli to, chociaż w części potwierdzić lub rozwiać wątpliwości co do znaczenia genetycznego surówki przy produkcji żeliwa.

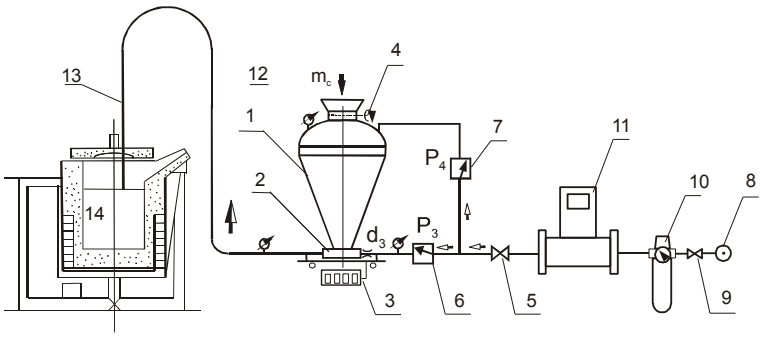
2. BADANIA

Część badawcza pracy obejmowała przygotowanie i przeprowadzenie pięciu wytopów żeliwa szarego o składzie chemicznym gwarantującym uzyskanie żeliwa sferoidalnego 400-15 po późniejszej sferoidyzacji i modyfikacji.

Wytopy przeprowadzano w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości o wyłożeniu obojętnym. Zaplanowano wykonanie dwóch wytopów w sposób „tradycyjny" tzn. materiał wsadowy stanowiła surówka specjalna i złom stalowy. Trzy pozostałe wytopy przeprowadzono metodą przetapiania złomu stalowego ze złomem grafitowym i dowęglania ciekłego metalu do wymaganego poziomu przez pneumatyczne wdmuchiwanie sproszkowanego nawęglacza.
W ramach każdego wytopu wykonano odlewy próbek do badań: wytrzymałości na rozciąganie i udarności. Przeprowadzono także próbę ATD oraz analizę składu chemicznego i badania metalograficzne.

2.1. Wytopy

Wszystkie wytopy przeprowadzono w laboratoryjnym piecu indukcyjnym średniej częstotliwości o pojemności 20 kg. Do realizacji wytopów 3, 4 i 5 (pneumatyczne dowęglanie) zastosowano zestaw pomiarowo nadawcze transportu pneumatycznego. Schemat całego stanowiska badawczego przedstawiony został na rysunku 1.



Rys. 1. Stanowisko badawczo – pomiarowe
Fig. 1. Research stand

Składa się ono z dozownika transportu pneumatycznego wysokociśnieniowego 1 o pojemności 3 dm^3. W dolnej części posiada on zawór obrotowy 2 umożliwiający odcinanie dopływu materiału do rurociągu transportowego. W górnej części z znajduje się lej zasypowy materiału, zamykany przepustnicą 4. Nadciśnienia gazu transportującego i w zbiorniku są regulowane reduktorami 6 i 7. Zmiana tych parametrów pozwala na sterowanie natężeniami przepływu gazu i materiału. Odcięcie dopływu sprężonego powietrza do dozownika umożliwia zawór 5. Urządzenie dozujące zostało posadowione na wadze tensometrycznej 3, która zapewnia pomiar ilości wdmuchiwanego proszku z dokładnością do 1 g. Układ zasilania gazem nośnym składa się ze źródła zasilania 8, zaworu odcinającego 9 i reduktora z filtrem 10. Pomiar natężenia przepływu gazu zapewnia masowy miernik przepływu D50 z wyświetlaczem cyfrowym 11 o zakresie pomiarowym 0 – 500 l/min. Miernik ten umożliwia pomiar natężenia różnych gazów po wprowadzeniu odpowiedniego współczynnika korekcyjnego. Układ odbiorczy wdmuchiwanego proszku to piec indukcyjny 14.

Wytop 1 i 2 stanowiły wytopy „wzorcowe" i zostały przeprowadzone w sposób tradycyjny w oparciu o surówkę specjalną, skład chemiczny użytej surówki przedstawiony został w tabeli 1 oraz złomu stalowego.

Tabela 1. Skład chemiczny surówki
Table 1. Chemical composition of pig iron

Pierwiastek	Si	Mn	C	P	S	Fe
Zawartość [%]	0,81	0,037	4,50	0,049	0,019	reszta

Udział materiałów wsadowych dla poszczególnych wytopów oraz wyniki analizy zawartości węgla przeprowadzonej po roztopieniu wsadu podano w tabeli 2.

Tabela 2. Dane dla wytopu 1 i 2
Table 2. Data for smelting 1 and 2

Rodzaj materiału	Wytop 1	Wytop 2
surówka	13,5 kg	14,6 kg
złom stalowy	1,5 kg	1,8 kg
zawartość C %	3,69	3,90
temp. przegrzania	1530 ^oC	1450^oC

Wytopy 3, 4 i 5 przeprowadzono w następujący sposób roztapiano złom stalowy wraz ze złomem grafitowym (elektrody grafitowe) umieszczonym na dnie pieca udział tych materiałów w poszczególnych wytopach podano w tabeli 3. Po roztopieniu stalowego i grafitowego złomu pobierano próbkę do analizy zawartości węgla. Na podstawie wyników tejże analizy szacowano konieczną ilość wprowadzanego pneumatycznie grafitu (mielone elektrody grafitowe) do dowęglenia kąpieli do odpowiedniego poziomu. Po pneumatycznym wprowadzeniu odważonej porcji grafitu pobierano próbkę ciekłego żeliwa do analizy zawartości węgla. W ten sposób przygotowany ciekły metal rozlewano do form. Wyniki poszczególnych analiz oraz

ilość wprowadzanego pneumatycznie grafitu dla poszczególnych wytopów podano w tabeli 3.

Tabela 3. Dane dla wytopu 3, 4 i 5
Table 3. Data for smelting 3, 4 and 2

Rodzaj materiału	Wytop 3	Wytop 4	Wytop 5
złom grafitowy	0,5 kg	0,25 kg	0,2 kg
złom stalowy	14,8 kg	7,0 + 1,5 kg	8,0 kg
złom żeliwny		8,0 kg	7,0 kg
zawartość C % pom .1	3,20	3,54	3,03
grafit wdmuchiwany	0.15 kg	0,15 + 0,02 kg	0,175 kg
zawartość C % pom. 2	3,84	4,34	3,83
zawartość C % pom. 3		3,74	
zawartość C % pom. 4		3,57	
temp. przegrzania	1450 ^{o}C	1450°C	1450 ^{o}C

2.2. Parametry pneumatycznego wdmuchiwania

Tabela 4. Parametry mierzone wdmuchiwania pneumatycznego
Table 4. Mesuremmed parameters of pneumatic injection

Lp	p3 [kPa]	p4 [kPa]	Mm	Tt	V
Wytop III	300	100	150	3.20	8.21
Wytop IV	300	50	150	5.60	7.68
Wytop V	300	50	175	6.10	8.05

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi pneumatyczne przemieszczanie są: natężenie przepływu gazu - to ilość gazu przepływającego przez dany odcinek na jednostkę czasu. Może być określone jako masowe lub objętościowe.

- masowe m_g wyrażone jest w jednostkach masy kg/s,
- objętościowe V_N jest w jednostkach objętości m^3/s, często sprowadzone do stanu atmosfery normalnej (T_N= 273,15K, p_N=101324,7 Pa, ρ_N= 1,2928) wg wzoru:

$$V_N = \frac{\dot{m}}{\rho_N}$$

Prędkość gazu na wylocie lancy

$$w = \frac{\dot{m}_g}{A\rho}$$

gdzie: A – pole powierzchni wylotu lancy,
ρ – gęstość powietrza na wylocie z lancy.

Natężenie przepływu materiału transportowanego – wydajność

Określa się poprzez stosunek masy transportowanego materiału m_c w czasie t stabilnej pracy instalacji.

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_c}{t}$$

Stężenie masowe mieszaniny

Określone przez stosunek natężenia przepływu materiału do natężenia przepływu gazu w rurociągu.

$$\mu = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_g}$$

W tablicy 5 zestawiono obliczone wartości tych parametrów

Tabela 5.Parametry obliczone wdmuchiwania pneumatycznego
Table 5. Calculated parameters of pneumatic injection

Wyd	Wyd [kg/s]	Mgaz [kg/s]	mi [kg/kg]	w [m/s]	wc [m/s]	E[%]
46.875	0.04688	0.0020457	22.9086	56.3986	45.1188	63.7
26.786	0.02679	0.0019139	13.9997	52.7622	42.2097	80.8
28.689	0.02869	0.002006	14.3	55.3076	44.2447	70.9

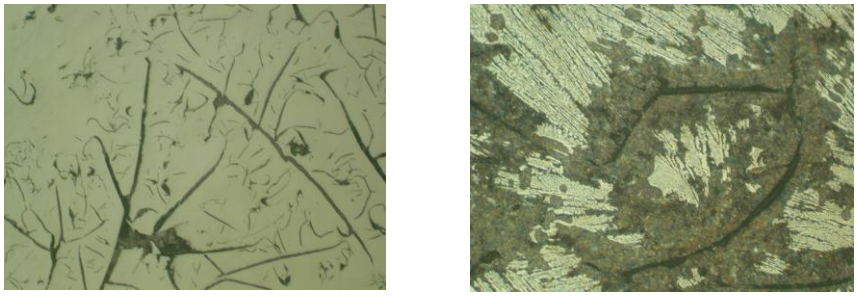
Analizując poszczególne wartości parametrów procesu nawęglania można stwierdzić, że:
- natężenie przepływu gazu zmieniało się w zakresie 0,0019139 – 0,0020457 [kg/s]
- natężenie przepływu materiału wynosiło 0,0268 - 0,0469 [kg/s]
- uzyskano zmianę koncentracji w granicach 13,9997 – 14,3 [kg/kg]
- prędkość gazu na wylocie z lancy wynosiła 52,7622 – 56,3986 [m/s]
- efektywność zmieniała się w zakresie od 42,2097 – 45,1188 [m/s]

Zastosowane parametry pneumatycznego przemieszczania nie odbiegają od wartości urządzeń stosowanych w przemyśle. Należy jednak zaznaczyć, że przy tak małej objętości ciekłego metalu należy obniżyć natężenie przepływu materiału co najmniej o połowę. Spowoduje to rozpuszczenie większości cząstek już w procesie wdmuchiwania i zapobiegnie ich wypływaniu na powierzchnię. Zastosowanie argonu jako gazu nośnego i lekko zanurzonej lancy powodowało, że proces wdmuchiwania przebiega spokojnie (bez znacznych rozprysków metalu).

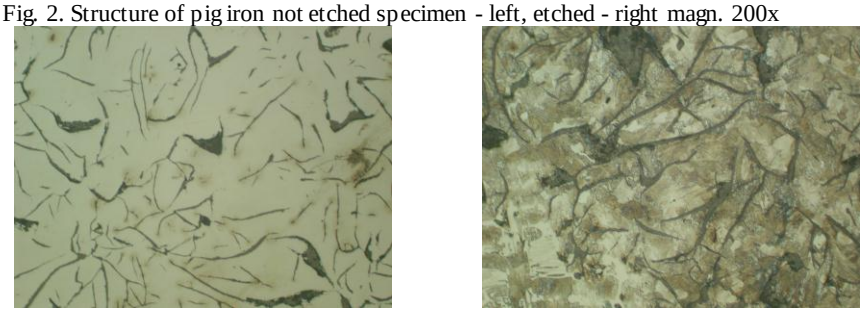
2.3. Własności mechaniczne żeliwa i jego struktura

Kolejnym etapem badań było wykonanie prób statycznego rozciągania w celu wyznaczenia granicznej wytrzymałości na rozciąganie. Zrywano po trzy próbki z

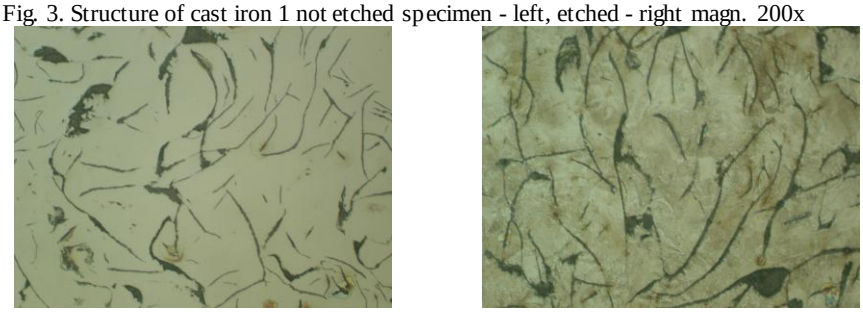
każdego wytopu, o średnicach 8, 13 i 18 mm. R_m jako średnią z trzech pomiarów jak również wyniki badań udarności i twardości zestawiono w tabeli 6.
Kolejnym etapem badań było przeprowadzenie analizy składu chemicznego, średni (z dwóch pomiarów) zawartości wybranych pierwiastków zamieszczono w tabeli 6.
Struktura surówki oraz żeliwa z wytopów 1, 2, 3, 4 i 5 przedstawiona została na rysunkach 2 ÷ 7 jako zdjęcia metalograficzne zgładów nietrawionych i trawionych nitalem 2%.



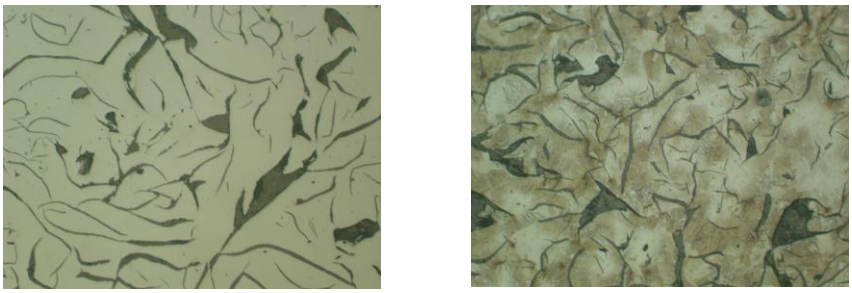
Rys. 2. Struktura surówki zgład nietrawiony - lewa, trawiony - prawa pow. 200x
Fig. 2. Structure of pig iron not etched specimen - left, etched - right magn. 200x



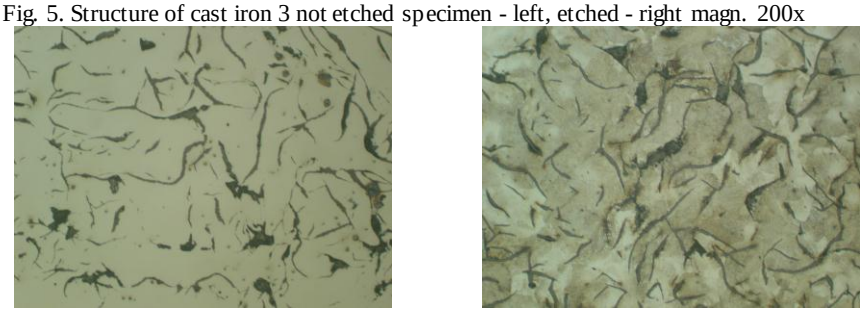
Rys. 3. Struktura żeliwa 1 zgład nietrawiony - lewa, trawiony - prawa pow. 200x
Fig. 3. Structure of cast iron 1 not etched specimen - left, etched - right magn. 200x



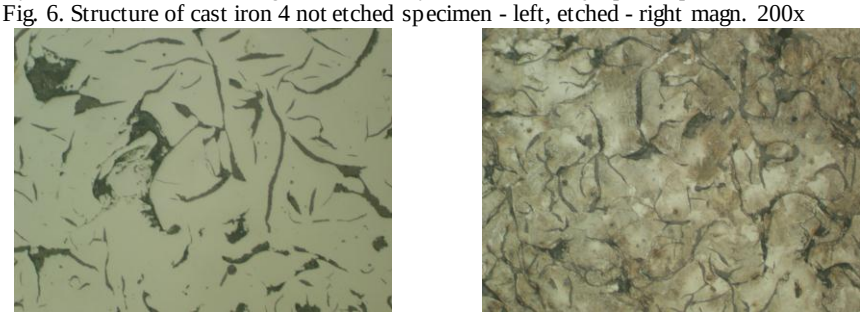
Rys. 4. Struktura żeliwa 2 zgład nietrawiony - lewa, trawiony - prawa pow. 200x
Fig. 4. Structure of cast iron 2 not etched specimen - left, etched - right magn. 200x



Rys. 5. Struktura żeliwa 3 zgład nietrawiony - lewa, trawiony - prawa pow. 200x
Fig. 5. Structure of cast iron 3 not etched specimen - left, etched - right magn. 200x



Rys. 6. Struktura żeliwa 4 zgład nietrawiony - lewa, trawiony - prawa pow. 200x
Fig. 6. Structure of cast iron 4 not etched specimen - left, etched - right magn. 200x



Rys. 7. Struktura żeliwa 5 zgład nietrawiony - lewa, trawiony - prawa pow. 200x
Fig. 7. Structure of cast iron 5 not etched specimen - left, etched - right magn. 200x

3. ANALIZA WYNIKÓW

Wydzielenia grafitu płatkowego we wszystkich żeliwach mają podobny kształt długie i grube płatki z nielicznymi wydzieleniami o nieregularnych kształtach. Powodem takiego ukształtowania grafitu może być zbyt mała zawartość krzemu poniżej 1%. Krzem zwiększa napięcie powierzchniowe, wpływa grafityzująco, dodatek żelazo krzemu działa modyfikująco (rozdrobnienie struktury). Jedynie w żeliwie IV uzyskano drobniejsze i regularniejsze wydzielenia grafitu, powodem jest niższa zawartość węgla

3,56%C i nieco wyższa w stosunku do pozostałych żeliw zawartość Si 0,88%. Przekłada się to na własności mechaniczne żeliwo IV posiada najwyższą wytrzymałość na rozciąganie Rm=277,25[MPa] gdy średnia wszystkich pozostałych żeliw wynosi $Rm_{śr}$ = 219,68 [MPa] Przy porównywalnym składzie chemicznym i warunkach topienia analizowanych żeliw, wystąpiły nieznaczne różnice w charakterze wydzieleń grafitu w poszczególnych odlewach. Istnieje pewne podobieństwo wydzieleń grafitu w żeliwie 1 i 2 rysunek 3 i 4 do wydzieleń grafitu w surówce rysunek 2. Odmienny charakter wydzieleń grafitu można zauważyć w żeliwie z wytopów 3, 4 i 5 co widać w szczególności na zdjęciach zgładów trawionych rysunki 5 - 7. Powodem tego może być brak użycia surówki do wytopu tych żeliw (nawęglanie pneumatyczne) co potwierdziłoby teorię o dziedziczności struktury stopów odlewniczych z materiałów wsadowych szczególnie zaś żeliwa szarego z surówki. Jednak potwierdzenie tych faktów wymagałoby przeprowadzenia analizy ilościowej wydzieleń grafitu oraz większej ilości wytopów.

Powyższe spostrzeżenia znajdują potwierdzenie w wynikach badań własności mechanicznych, mimo zbliżonego składu chemicznego, struktury żeliwa szarego perlityczno – ledeburytycznego (żeliwo nadeutektyczne). Własności mechaniczne żeliw 1 i 2 odbiegają od własności żeliw 3, 4 i 5 na niekorzyść żeliw pochodzących z wytopów wzorcowych.

Tabela 6. Zestawienie wyników badań
Table 6. Statement of research's results

Wytop	**Skład chemiczny**				**Badania mechaniczne**			**Analiza ATD**			
	C %	Si%	Mn%	S%	U [kJ/m2]	HB	Rm [MPa]	C%	Sc	Rm [MPa]	HB
1	3,89	0,703	0,100	0,019	15,1	187	173,66	3,54	0,952	236,0	181,3
2	3,99	0,644	0,065	0,017	16,4	187	133,33	3,56	0,970	248,3	140,3
3	3,95	0,485	0,169	0,058	19,6	207	203,66	3,49	0,951	251,2	158,9
4	3,56	0,875	0,556	0,024	20,0	207	310,33	3,32	0,892	298,7	168,0
5	3,83	0,715	0,455	0,038	19,3	197	212,00	3,51	0,954	233,5	172,4
Wartość średnia	3,844	0,684	0,269	0,0312	18,0	197	206,59	3,48	0,943	253,5	164,18
Odch. Stand.	0,169	0,140	0,222	0,0170	2,2	10	65,67	0,09	0,029	26,3	15,59

4. WNIOSKI

- Można prowadzić wytopy żeliwa w oparciu wyłącznie o złom stalowy. Część nawęglacza dodawana jest do wsadu, a końcową zawartość koryguje się przez pneumatyczne wdmuchiwanie sproszkowanego nawęglacza.
- Zbyt duże natężenie przepływu materiału powoduje, że znaczna część grafitu wypływa na powierzchnię i rozpuszcza się dopiero po podgrzaniu metalu.

- Struktura jak również własności mechaniczne żeliwa I i II (wytopy wzorcowe) odbiegają od pozostałych żeliw (nawęglanie pneumatyczne), co potwierdza wpływ rodzaju materiałów wsadowych na właściwości żeliwa.
- Wyniki badań przemawiają na korzyść żeliwa wtopionego w procesie przetopu złomu stalowego i grafitowego z dowęglaniem pneumatycznym. Należy jednak pamiętać o niskiej zawartości krzemu w badanych żeliwach dodatek żelazo krzemu w prowadzeniu wytopów pominięto ze względu na jego silne działanie modyfikujące, co mogło zagłuszyć wpływ podstawowych materiałów wsadowych na właściwości żeliwa.

LITERATURA

[1] Cz. Podrzucki.: *Żeliwo –struktura, właściwości zastosowanie*. Wyd. STOP, Kraków 1991r.

[2] Stephen I. Karsa'y: *Żeliwo sferoidalne i wytwarzanie.* Wyd. QIT - Feret Witane INC 1992.

[3] K. Janerka, S. Jura, Z. Piątkiewicz, H. Szlumczyk.:*Nawęglanie ciekłego metalu metodą wdmuchiwania grafitu.* XX Konferencja Wydziału Odlewnictwa AGH Kraków 1995.

[4] R. Restogi, D. Kalyanmoy, D. Brahma, R. Boom.: *Genetic adaptive serach model of hot metal desulphurization.* Steel Research 65 1994r.

[5] K. Janerka, S. Jura, Z. Piątkiewicz, H. Szlumczyk.: *Wskaźniki nawęglania ciekłych stopów żelaza w funkcji parametrów strumienia dwufazowego.* Krzepnięcie Metali i Stopów, Nr 24, 1995.

[6] B. I. Krest'yanov, R. Moskwa: *Differential diagnostics of basic tehnological heredity mechanisms at the stage of crystallization.* Liteinoe Proizvodstvo (Russia). Samara State Engineering University.

Badania prowadzone są w ramach projektu badawczego Nr 4 T08B 038 23 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

PROPERTIES OF CAST IRON DEPENDING ON CHARGE MATERIALS

SUMMARY

Preliminaries researches of influent type of charge materials and the way of smelt operating on cast iron's properties have been described.

Recenzował dr hab. Jan Szajnar