

Jerzy POGORZALEK, Mariusz BORECKI, Piotr RÓŻAŃSKI

Instytut Metalurgii Żelaza

BADANIA NAD WYKORZYSTANIEM KRAJOWEJ BIOMASY W PRODUKCJI ZASYPEK ODLEWNICZYCH

Przedstawiono przebieg i wyniki prac badawczych mających na celu opracowanie technologii wytwarzania zasypek odlewniczych dla stalownictwa z wykorzystaniem krajowej biomasy. Przeprowadzono badania właściwości fizyko-chemicznych wybranych odpadów z przemysłu rolno-spożywczego celem porównania z właściwościami szeroko stosowanej obecnie łuski ryżowej. Wykonano analizy chemiczne, analizy termiczne TG-DSC w atmosferze obojętnej i utleniającej oraz laboratoryjne badania procesu termicznego rozkładu otrąb, plew i innych odpadów z przetwórstwa krajowych zbóż. Skuteczność opracowanych składów zasypek izolacyjnych i izolacyjno-egzotermicznych z wykorzystaniem w/w biomas oraz odpadów mineralnych w postaci żużli stalowniczych określono w warunkach laboratoryjnych. Stwierdzono możliwość zastąpienia importowanej łuski ryżowej krajowymi odpadami przemysłu zbożowego w zasypkach odlewniczych.

Słowa kluczowe: biomasa, zasypki odlewnicze, właściwości fizyko-chemiczne, rozkład termiczny

STUDIES ON THE USE OF DOMESTIC BIOMASS IN PRODUCTION OF CASTING POWDERS

The paper presents the course and results of the research works aimed at developing technology for manufacturing casting powders for steelmaking using the domestic biomass. The tests of physical and chemical characteristics of selected waste from the food processing industry were carried out to compare them to those of the rice husk which is widely used at present. Chemical analyses, TG-DSC thermal analyses in inert gas atmosphere and in oxidizing atmosphere conditions and laboratory tests of thermal decomposition of bran, chaffs and other wastes from domestic cereals treatment processes were done. Insulation efficiency of developed casting powders (insulating and exothermic-insulating types) based on the above-mentioned biomasses and mineral wastes (steelmaking slags) was determined in laboratory scale. It was concluded that domestic biomasses (wastes from the food processing industry) could replace the imported rice husk in casting powders.

Keywords: biomass, casting powders, physical and chemical characteristics, thermal distribution

1. WPROWADZENIE

Od zarania dziejów człowiek wykorzystywał biomasę jako źródło energii. Z czasem biomasę stopniowo zastępowały paliwa kopalne. Stanowi ona trzecie, co do wielkości na świecie naturalne źródło energii. Obecnie coraz powszechniejsze jest wykorzystywanie paliw pochodzenia biomasowego w energetyce. Obok bloków stosujących mieszaniny paliw pochodzenia biomasowego i paliw kopalnych powstają tak zwane bloki dedykowane opalane wyłącznie biomasą. W istotnym stopniu przyczyniło się do tego ustawodawstwo, uznając biomasę za odnawialne źródło energii i nakazujące stosowanie tego typu paliw.

Spalanie biomasy powoduje mniejsze emisje do powietrza w postaci szkodliwych związków NO_x i SO_x i mniejsze ilości odpadów stałych w postaci żużli oraz nie przyczynia się do wzrostu efektu cieplarnianego, gdyż bilans CO_2 w cyklu jej energetycznego przetwarzania jest zerowy. W procesie fotosyntezy rośliny wiążą tyle samo CO_2 , ile uwalniane jest podczas jej spalania.

Wzrost udziału biomasy stałej (pochodzącej z produktów leśnych, rolniczych, a także z ich odpadów), jako paliwa w elektrowniach i elektrociepłowniach

uległ znacznemu przyspieszeniu (od 13% do około 25%) w latach 2004–2005 [1]. Według Komisji Europejskiej intensywny rozwój wykorzystania biomasy stałej jest ograniczany bardziej przez bariery infrastrukturalne niż ekonomiczne. Tym niemniej należy uznać, że stosowanie odnawialnych źródeł energii wymusza na elektrowniach i elektrociepłowniach polityka środowiska UE i stosowane w wielu krajach dotacje (np. Niemcy), a nie korzyści technologiczne czy ekonomiczne. Dla poparcia tej tezy należy przytoczyć fakt, że w Holandii stosowano znaczące ilości biomasy w energetyce do momentu cofnięcia przez miejscowy rząd systemu wsparcia finansowego energii elektrycznej wytwarzanej tym sposobem.

Prawie połowa krajów UE dopuszcza wspólne spalanie biomasy stałej z paliwami kopalnymi w elektrowniach konwencjonalnych.

Przepisy obowiązujące w poszczególnych krajach członkowskich UE w różny sposób regulują kwestie udziału energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym wolumenie sprzedaży energii do odbiorcy. Liderami w wytwarzaniu energii elektrycznej z wykorzystaniem biomasy są kraje skandynawskie ze względu na zasoby i rozwinięty przemysł drzewny.

W Polsce początkowo prawo nakładało obowiązek zakupu (lub wytworzenia) energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych, a obecnie obowiązek pozyskania i umorzenia świadectw pochodzenia energii elektrycznej lub uiszczenia opłaty zastępczej. Ponadto w Polsce obowiązuje przepis nakazujący zachowanie pewnych proporcji między spalaną biomasą pochodzącą z gospodarki leśnej i przemysłów z nią związanych (biomasa „leśna”) a biomasą pochodzącą z upraw plantacji (biomasa „pozaleśna” lub inaczej „agro”) [1].

Biomasa jest materią organiczną pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, bardzo zróżnicowaną pod względem stanu skupienia i składu chemicznego. Często nie nadaje się do bezpośredniego wykorzystania energetycznego i wymaga przetworzenia do postaci biopaliwa.

Korzyści środowiskowe ze spalania biopaliw, polegające na ograniczeniu emisji gazowo-pyłowych oraz ograniczeniu ilości powstających żużli, nie łączą się jednakże z korzyściami technologicznymi. Podstawową wadą biomasy jest jej niska wartość opałowa. Popioły – żużle powstające w wyniku spalania biomasy mają charakter kwaśny i w przypadku współspalania z węglami kopalnymi, obniżają temperatury topliwości wynikowych żużli i powodują zarastanie rusztów palenisk. Znaczne rozproszenie biomasy i niewielki ciężar właściwy utrudnia jej transport, magazynowanie i przetwarzanie.

Wzrasta także zainteresowanie wykorzystaniem biomasy przez metalurgię żelaza i stali. Wykorzystanie biomasy lub wyrobów z biomasy ma na celu zastąpienie materiałów kopalnych (koks, węgla kamiennego, antracytu, itp.).

W metalurgii materiały węglonośne (koks, węgiel) wykorzystywane są głównie jako czynniki energetyczne, reduktory i nawęglacze. Ponadto są one stosowane do spieniania żużli, jako składniki zasypki odlewniczych, a także wykorzystywane są w obróbce termochemicznej. Biomasa a raczej produkty powolnej pirolizy są potencjalnymi zamiennikami, jeśli nie w całości, to w części węgla kopalnych i kokсів w wyżej wymienionych zastosowaniach. Ich użycie może przyczynić się do obniżenia obciążenia środowiskowego przez hutę, poprzez poprawę globalnego bilansu CO₂.

Biomasa może podlegać konwersji na czynnik redukcyjny lub energetyczny w postaci stałej, gazowej lub ciekłej. Węgiel drzewny uzyskiwany jest w wyniku powolnej pirolizy. Szybka piroliza biomasy pozwala uzyskać bio-oleje, a w wyniku procesu gazyfikacji można otrzymać gazy redukcyjne: H₂, CO.

W Brazylii istnieją wielkie piece pracujące wyłącznie na węglu drzewnym. Proces ten stosowany jest w mniejszych jednostkach. Znane są technologie wdmuchiwanie węgla drzewnego do wielkich pieców w charakterze dodatkowego paliwa. Biomasa, stanowiąc część mieszanki koksowniczej, przerabiana jest na tak zwane bio-koksy. Badano także stosowanie dodatków biomasy do mieszanki spiekalniczej, jako paliwa [2].

Dodatek trocin stosowany jest także przy produkcji żelazokrzemu.

Badania nad wykorzystaniem biomasy i produktów z biomasy w metalurgii żelaza i stali prowadzone są między innymi w Finlandii [3], Czechach [4] i Australii [5].

Tematem wykorzystania biomasy w metalurgii żelaza i stali zainteresowano się także w Instytucie Metalur-

gii Żelaza w Gliwicach w ramach badań statutowych i badań finansowanych ze środków własnych. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki niektórych ze zrealizowanych dotychczas prac badawczych z tego zakresu.

2. BADANIA WŁASNE

W Instytucie Metalurgii Żelaza dotychczas przeprowadzono badania właściwości fizyko-chemicznych i technologicznych odpadów przerobu zbóż krajowych (otręby, plewy) i roślin oleistych (Rys. 1) pod kątem określenia możliwości zastąpienia nimi szeroko wykorzystywanej łuski ryżowej w zasypkach stosowanych w kadziach pośrednich urządzeń do ciągłego odlewania stali jak i tak zwanego konwencjonalnego odlewania stali [6, 7].

W trakcie realizacji jest praca badawcza nad wykorzystaniem biomasy pochodzenia roślinnego (wy różnia się także biomasę pochodzenia zwierzęcego) w charakterze paliwa w procesie wywarzania spieku wielkopieczowego. Pod uwagę brane są biomasy „leśne” (stanowiące najczęściej zrębki drzewne; kora, gałęzie, trociny, liście, ściółka) jak i biomasy „agro” (uprawne rośliny energetyczne, jak wierzba energetyczna, odpady przemysłu rolno-spożywczego: otręby, plewy, łuski orzechów, słoma, pestki owoców, paździerz, wytloki, strąki, nacie itd.) pochodzenia krajowego i zagranicznego (np. kora, łupiny orzechów palm, rozdrobnione pestki owocu olejowca gwinejskiego itp.).

Program badań obejmował między innymi:

- analizy składu chemicznego,
- analizy termiczne poszczególnych rodzajów biomasy,
- badania procesu powolnej pirolizy,
- próby technologiczne, jak:
 - ocena wielkości jamy skurczowej wlewka stalowego odlanego przy użyciu konwencjonalnych ociepleń głowy jak i ociepleń wykonanych z wykorzystaniem odpowiednio przygotowanej biomasy,
 - próby spiekania z dodatkiem biomasy w charakterze paliwa.

Obecnie dominującą technologią odlewania stali jest metoda ciągła (COS – ciągłe odlewanie stali). Tym sposobem odlewa się około 95% produkowanej w świecie stali. Pozostałe około 5% odlewa się do wlewnic żeliwnych sposobem „syfonowym” lub z „góry”. W technologiach tych do izolacji przed stratami ciepła z powierzchni stali w kadzi pośredniej, czy nadlewu wlewka stosowane są zasypki izolacyjne. W kraju jak i w krajach UE wykorzystuje się mieszanki zawierające biomasę w postaci odpowiednio spreparowanej łuski ryżowej, lub też sama łuskę ryżową (obrobione termicznie plewy ryżowe). W Polsce nie uprawia się ryżu, dlatego krajowe zapotrzebowanie na łuskę ryżową pokrywane jest z importu.

W krajowym przemyśle rolno-spożywczym (przetwórstwa zbóż) powstają znaczne ilości różnego rodzaju odpadów biomasy, której część jest zagospodarowywana na pasze, na ściółkę dla zwierząt a reszta może być wykorzystywana jako paliwo.

Możliwość zastosowania wyrobów wytwarzanych z udziałem odpadów z przetwórstwa zbóż wymaga poznania ich charakterystyk chemiczno-fizycznych oraz właściwości technologicznych.

2.1. OZNACZENIE SKŁADU CHEMICZNEGO RÓŻNYCH ODPADÓW Z PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO

Podstawową cechą materiału jest jego skład chemiczny. Istotna jest znajomość zawartości głównych składników w tym pierwiastków pożądaných, jak i ewentualnej zawartości pierwiastków uważanych za szkodliwe w procesach metalurgicznych (zanieczyszczeń), do których zaliczamy głównie siarkę i fosfor.

Przed przystąpieniem do analizy składu chemicznego każdy materiał badawczy musi zostać odpowiednio przygotowany. Istotą przygotowania do analizy składu chemicznego jest uzyskanie reprezentatywnej i homogenicznej dla badanego materiału próbki analitycznej.

W tym celu opracowano odpowiednie procedury sporządzenia próbek do oznaczenia składu z materiału pierwotnego jak i po wylewaniu (niskotemperaturowe odgazowanie) oraz przygotowania roztworów kalibracyjnych dla spektrometru ICP OES, jak i do wykonania samej analizy składu biomasy.

Oznaczanie zawartości SiO_2 wykonano metodą wagową i dotapiania próbki. Analizy zawartości węgla całkowitego (C), wolnego ($C_{\text{wol.}}$) i siarki (S) przeprowadzono metodą kulometryczną

Składy chemiczne odpadów zbożowych w postaci pierwotnej podano w tabeli 1, a po ich wylewaniu w tabeli 2 [8].

Stosowana w krajowym hutnictwie, jako zasypka izolująca, odpowiednio spreparowana łuska ryżowa (obra-



Rys. 1. Odpady przemysłu spożywczego (plewy i otręby wybranych zbóż i roślin oleistych) poddane obróbce termicznej w temp. 800°C

Fig. 1. Wastes from the food processing industry (bran, chaffs of selected cereals and oil plants) subjected to heat treatment at 800°C

Tabela 1. Skład chemiczny wybranych odpadów zbożowych, [8]

Table 1. Chemical composition of selected cereal wastes, [8]

Lp.	Odpad	Zawartość pierwiastka, % mas.							
		Al_2O_3	CaO	SiO_2	MgO	P_2O_5	S	$C_{\text{całk.}}$	K_2O
1	Plewy jęczmienne	0,038	0,31	2,83	0,12	0,21	0,11	39,4	0,58
2	Otręby jęczmienne	0,039	0,17	1,77	0,40	1,13	0,12	38,9	0,93
3	Otręby pszenne	0,011	0,17	5,28	0,86	2,79	0,14	35,5	1,41
4	Otręby żytnie	0,015	0,14	3,95	0,28	1,05	0,11	62,8	1,05

Tabela 2. Skład chemiczny wybranych odpadów zbożowych po procesie wylewania [8]

Table 2. Chemical composition of selected cereal wastes after low temperature carbonization process, [8]

Lp.	Odpad	Zawartość pierwiastka, % mas.								
		Al_2O_3	CaO	SiO_2	MgO	P_2O_5	S	$C_{\text{całk.}}$	C_{wolny}	K_2O
1	Plewy jęczmienne	0,076	1,15	9,74	0,40	0,85	0,20	70,1	68,3	2,20
2	Otręby jęczmienne	0,076	0,54	6,27	1,22	3,89	0,29	65,20	61,7	2,95
3	Otręby pszenne	0,038	0,50	18,18	2,48	8,52	0,23	64,4	61,4	4,20
4	Otręby żytnie	0,038	0,48	11,09	0,83	2,83	0,33	62,8	61,3	2,26

biana termicznie) oferowana pod handlową nazwą „palona łuska ryżowa” posiada następujący skład:

Al_2O_3 – 0,038%, CaO – 0,38%, SiO_2 – 87,62%,

MgO – 0,23%, P_2O_5 – 0,94%, S – 0,23%,

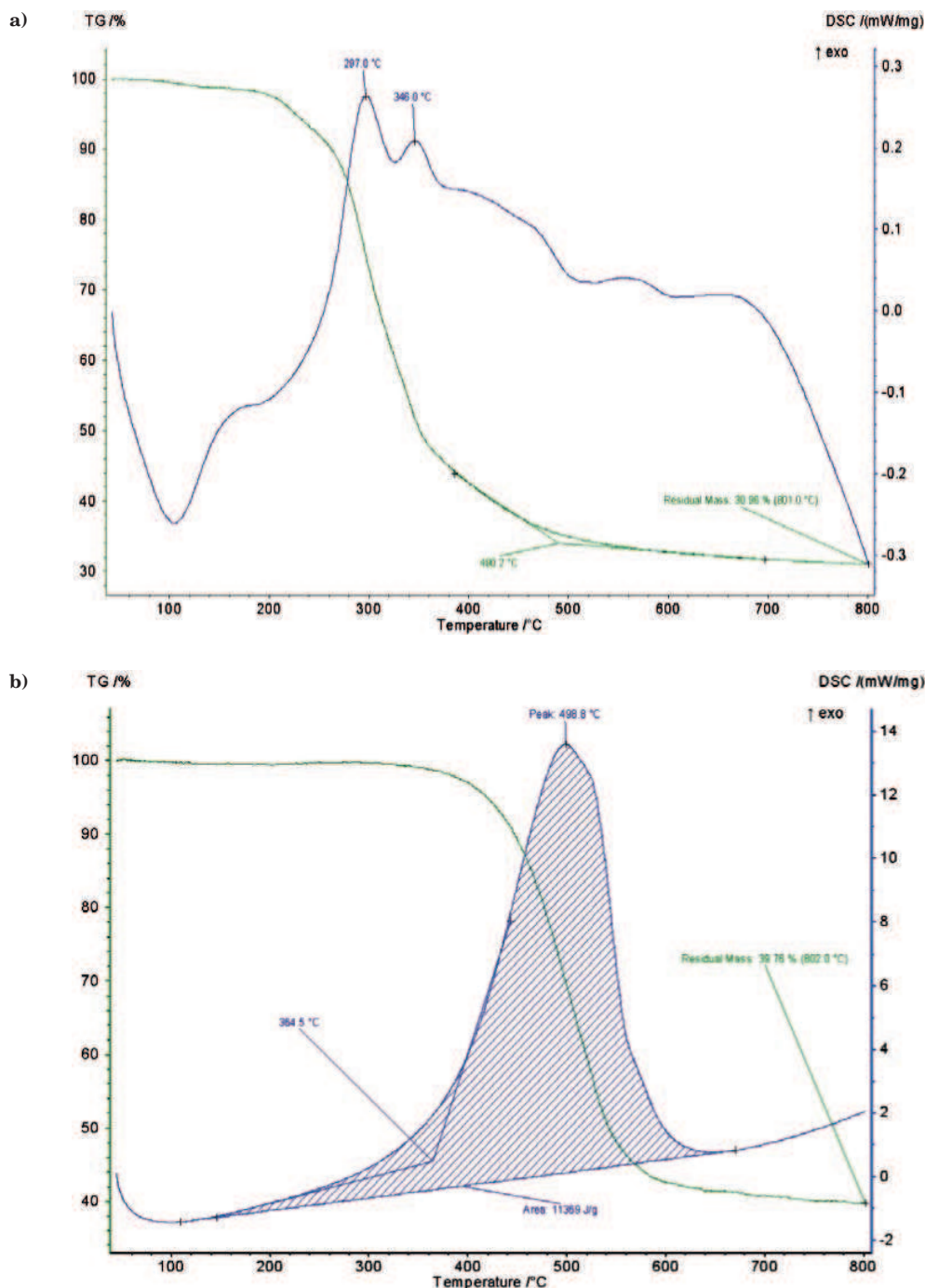
$\text{C}_{\text{całk.}}$ – 2,7%, $\text{C}_{\text{vol.}}$ – 2,2%.

Z porównania składów chemicznych odpadów zbożowych podanych w tabeli 2 ze składem chemicznym łuski ryżowej wynika, że dominującym składnikiem łuski ryżowej jest SiO_2 . Ponadto łuska ryżowa zawiera znacznie mniej węgla w porównaniu do odpadów zbożowych. Zawartość jest węgla niewielka, ale znacząca, i świadczy, że łuska poddawana jest procesowi niepełnego spalania. Wykonane w IMŻ badania surowej

i „palonej” łuski ryżowej oraz krajowych odpadów spożywczych miały za zadanie określić różnice pomiędzy poszczególnymi produktami i przydatność poszczególnych krajowych odpadów spożywczych, jako zamiennik łuski ryżowej.

2.2. WYNIKI ANALIZY TERMICZNEJ

Analizę termiczną (TG/DSC) przeprowadzono na stanowisku, w którego skład wchodzi analizator firmy NETZSCH model STA 449 F3 Jupiter i sprzężony z nim kwadrupolowy spektrometr masowy NETZSCH QMS 403 Aëolos.



Rys. 2. Zmiana masy (TG) i strumienia ciepłego (DSC) w funkcji temperatury dla próbki otrębów jęczmiennych w atmosferze obojętnej (a) i utleniającej (b) [6, 7]

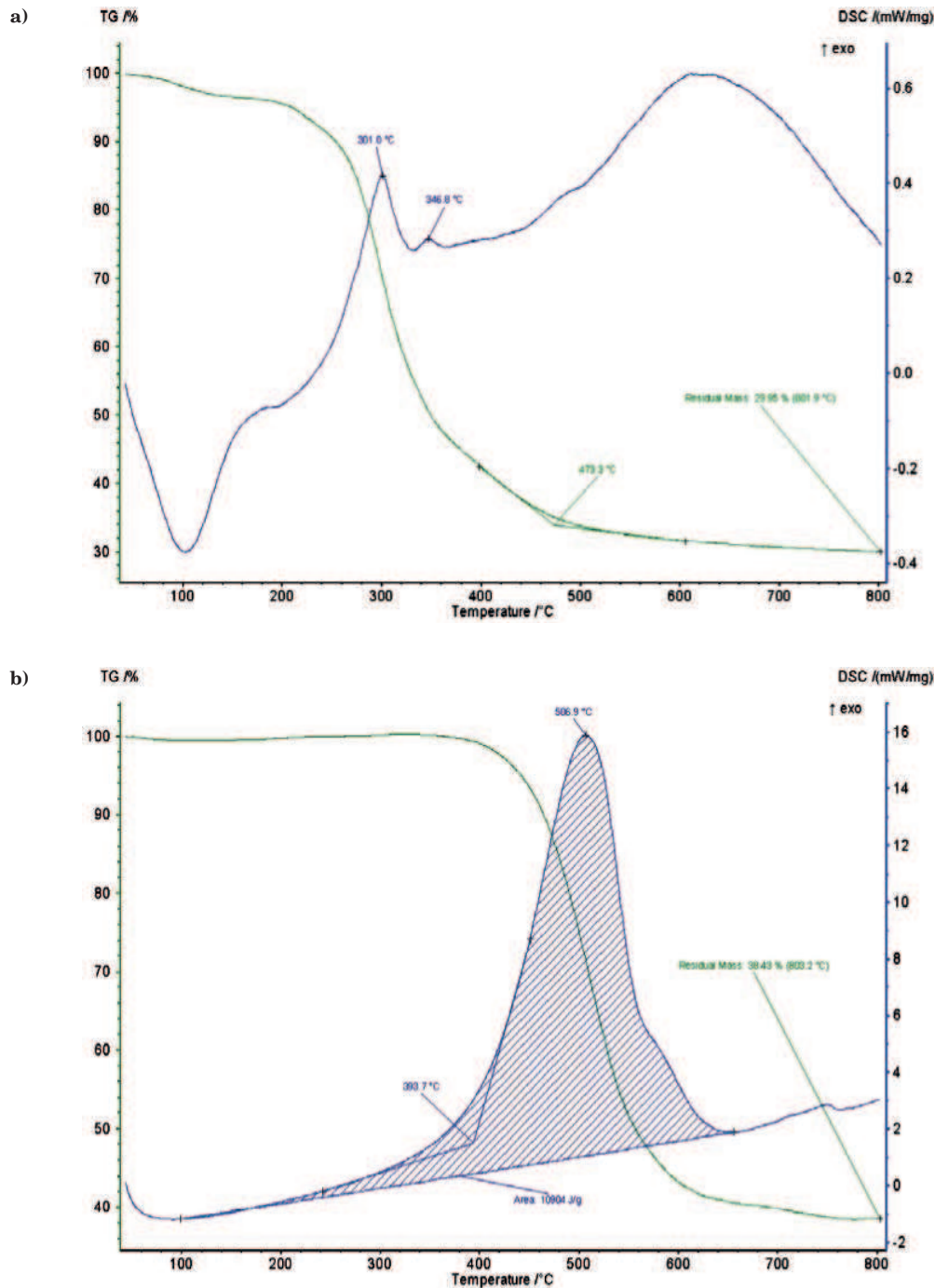
Fig. 2. Changes in mass (TG) and heat flux (DSC) as a function of temperature for barley bran under inert gas atmosphere (a) and oxidation atmosphere (b) [6, 7]

Każdy z badanych odpadów w pierwszym etapie został poddany analizie termicznej w atmosferze argonu [7, 8]. Próbkę biomasy podczas analizy nagrzewano z prędkością $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ od temperatury otoczenia (ok. 20°C) do temperatury końcowej równej 800°C . Po zakończeniu próby następowało chłodzenie badanych materiałów w atmosferze argonu tak, aby produkt nie uległ utlenieniu podczas tej operacji.

Ten etap badań biomasy odzwierciedla, w jaki sposób przygotowana jest łuska ryżowa przed jej zastosowaniem i w jaki sposób należy obrobić termicznie odpady zbożowe przed ich użyciem, jako składników zasyпки ocieplająco-izolującej.

Bezpośrednio po zakończeniu tego etapu analizy (bez wyjmowania próbki z analizatora) przystępowano do drugiego etapu, w którym odpady zbożowe poddawane były analizie termicznej w atmosferze powietrza syntetycznego. Ten etap badań symulował docelową pracę materiału powstałego w wyniku suchej destylacji, czyli nagrzewanie się w atmosferze powietrza i w konsekwencji utlenianie zawartego w nim węgla. Podobnie jak w poprzednim etapie prędkość nagrzewania wynosiła $10^{\circ}\text{K}/\text{min}$, a temperaturę końcową ustalono na 800°C .

Na rysunkach od 2 do 5 przedstawiono zapisy zmian masy i strumienia ciepłego w funkcji temperatury dla



Rys. 3. Zmiana masy (TG) i strumienia ciepłego (DSC) w funkcji temperatury dla próbki otrębów psennych w atmosferze obojętnej (a) i utleniającej (b) [6,7]

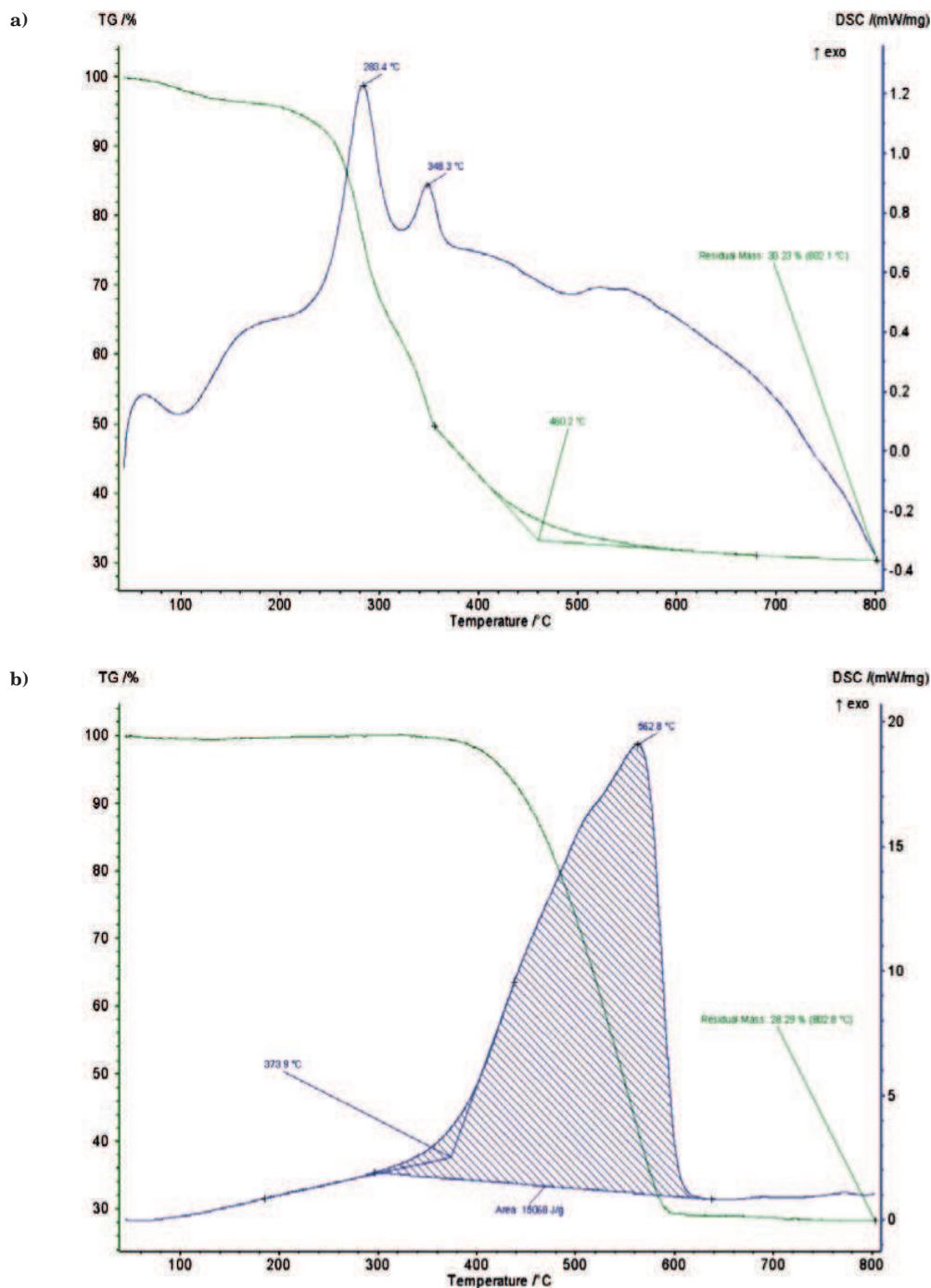
Fig. 3. Change in mass (TG) and heat flux (DSC) as a function of temperature for wheat bran under inert gas atmosphere (a) and oxidation atmosphere (b) [6,7]

niektórych odpadów zbożowych, natomiast w tabeli 3 podano zbiorcze zestawienie wyników analizy termicznej dla badanych odpadów biomasy.

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 3 przebadane materiały mają podobne właściwości jak łuska ryżowa, przy czym część z nich ma pewne parametry o wyższej wartości, a część o niższej. Stwarza to dogodne warunki do swobodnego komponowania zasypek o szerokim zakresie parametrów użytkowych poprzez mieszanie różnych odpadów zbożowych. Zwraca uwagę zdecydowanie niższa (o rząd wielkości) ilość energii powstającej w wyniku spalania łuski ryżowej i krajo-

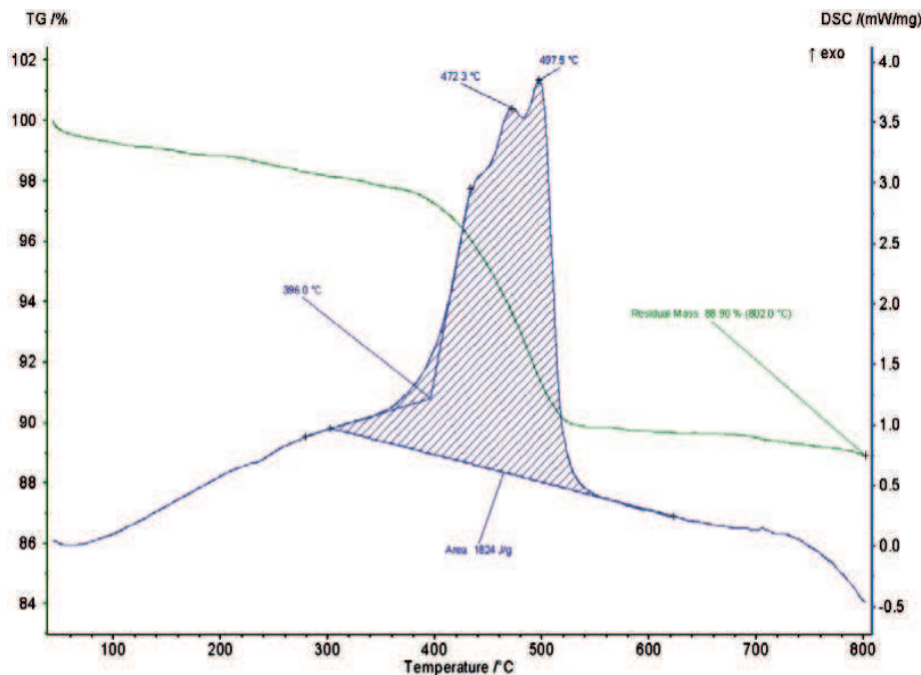
wych odpadów zbożowych, co zdecydowanie przemawia za stosowaniem tych drugich do wytwarzania zasypek izolująco-ocieplających. Niewielkiemu zyskowi energetycznemu towarzyszy zdecydowanie najniższy spadek masy w wyniku spalania łuski ryżowej wynoszący zaledwie ok. 11% [7], co wiąże się z niską zawartością węgla, który jest głównym składnikiem energetycznym, a zarazem powodującym ubytek masy w wyniku przechodzenia do CO_2 w procesie spalania.

Wyniki analizy termicznej wskazują wyraźnie, że wobec wysokiego ubytku masy odpadów z krajowych zbóż sięgającego od ok. 58% do blisko 80% konieczne może



Rys. 4. Zmiana masy (TG) i strumienia cieplnego (DSC) w funkcji temperatury dla próbki otrębów kukurydzy w atmosferze obojętnej (a) i w utleniającej (b) [6, 7]

Fig. 4. Changes in mass (TG) and heat flux (DSC) as a function of temperature for corn bran under inert gas atmosphere (a) and oxidation atmosphere (b) [6, 7]



Rys. 5. Zmiana masy (TG) i strumienia ciepłego (DSC) w funkcji temperatury dla próbki łuski ryżu w atmosferze utleniającej [7]

Fig. 5. Change in mass (TG) and heat flux (DSC) as a function of temperature for rice husk under oxidation atmosphere [6, 7]

Tabela 3. Zbiorcze zestawienie wyników analizy termicznej dla odpadowej biomasy w warunkach utleniających [6, 7]

Table 3. Summary of thermal analysis results for waste biomass under oxidizing conditions [6, 7]

Rodzaj odpadu zbożowego	Temp. końca destylacji °C	Ubytek masy podczas destylacji %	Początek procesów egzotermicznych °C	Maksimum procesów egzotermicznych °C	Energia reakcji egzotermicznych J/g	Ubytek masy podczas spalania %
Otręby jęczmienne	490,2	69,04	364,5	498,8	11369	60,24
Otręby żytnie	487,5	69,32	377,3	510,2	10848	57,92
Otręby pszenne	473,3	70,05	393,7	506,9	10904	61,57
Otręby owsiane	456,0	71,79	420,5	539,8	10106	64,05
Otręby kukurydziane	460,2	69,77	373,9	562,8	15068	71,71
Łuska gryki	378,1	64,23	349,9	508,0	18722	79,88
Łuska prosa	475,9	59,41	379,2	539,9	12254	58,10
Łuska orzecha ziemnego	482,0	73,32	331,1	459,1	19670	78,30
Łuska słonecznika	352,3	67,61	418,6	535,9	15568	70,50
Łuska ryżowa	-	-	396,0	497,5	1824	11,10

być uzupełnienie ich składu materiałem ceramicznym nieulegającym destrukcji w wysokiej temperaturze tak, aby zapobiec zbyt znacznemu spadkowi masy zasypki, co mogłoby w konsekwencji prowadzić do ograniczenia jej funkcji izolacji termicznej [7].

2.3. OBRÓBKA TERMICZNA ODPADÓW ZBOŻOWYCH W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Celem ograniczenia dymienia surowej biomasy znajdującej się w składzie zasypki ocieplająco-smarującej, konieczna jest wstępna obróbka termiczna przypominająca proces suchej destylacji. Proces ten prowadzono

w szczelnie zamkniętym naczyniu (retorcie) w atmosferze azotu do osiągnięcia temperatury 800°C. Wyniki tych prób zebrano w tabeli 4.

Przykładowe produkty uzyskane w wyniku przedstawiono na rys. 6.

W celu porównawczym wykonano również identyczne doświadczenie z surową łuską ryżową pozyskaną z upraw we Włoszech (stosowana w hutnictwie łuska pochodzi głównie z dalekiego wschodu). Wyniki badania składu chemicznego zamieszczono w tabeli 5, a produktu na rys. 7. Badania te wykazały, że łuska poddana obróbce termicznej bez dostępu powietrza daje produkt zawierający ok. 51% węgla, a więc wartości porównywalne do biomasy krajowej.

Tabela 4. Wyniki pirolizy odpadów przemysłu spożywczego w temp 800°C w atmosferze azotu
Table 4. Results of pyrolysis of food industry wastes at 800°C under a nitrogen atmosphere

Parametr	Jęczmień	Gryka	Proso	Owies	Żyto	Pszenica	Słonecznik	Orzech ziemny	Kukurydza
Masa początkowa, g	100	50	50	100	50	100	50	50	100
Masa końcowa, g	28,0	16,6	18,6	24,8	12,5	27,8	12,8	12,5	28,7
Ubytek masy, %	72,0	66,8	62,8	75,2	75,0	72,2	69,3	75,2	71,3
Atmosfera	azot	azot	azot	azot	azot	azot	azot	azot	azot
Temp. końcowa, °C	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Czas wygrzewania w temp. końcowej, min	30	10	20	20	30	30	20	30	30



Rys. 6. Wyniki obróbki termicznej w temp. 800°C wybranych odpadów z przemysłu spożywczego
Fig. 6. Results of heat treatment at 800°C for selected wastes from the food processing industry

Tabela 5. Wyniki analizy chemicznej łuski ryżowej poddanej w IMŻ obróbce termicznej w atmosferze obojętnej – temperatura końcowa 800°C

Table 5. Results of chemical analysis of rice husk subjected to heat treatment in an inert gas atmosphere – final temperature 800°C

Składnik	Zawartość, % mas.
Al ₂ O ₃	0,14
CaO	1,26
Fe ₂ O ₃	0,11
K ₂ O	1,01
MgO	0,29
N	0,23
Na ₂ O	0,04
P ₂ O ₅	0,28
S	0,08
SiO ₂	40,6
C	51,3
inne	4,66



Rys. 7. Łuska ryżowa poddana obróbce termicznej w Instytucie Metalurgii Żelaza

Fig. 7. Rice husk heat treated in the Instytut Metalurgii Żelaza

2.4. TESTY WPŁYWU OPRACOWANYCH ZASYPEK IZOLACYJNYCH NA BAZIE KRAJOWEJ BIOMASY NA GŁĘBOKOŚĆ ZALEGANIA JAMY SKURCZOWEJ WLEWKA

W ramach realizowanych prac [6, 7, 9 i 10] opracowano szereg receptur zasypek i wkładek do izolacji cieplnej nadlewów wlewków z wykorzystaniem różnych rodzajów krajowej biomasy.

Najlepszym sposobem oceny zasypek pod względem skuteczności izolowania ciekłej stali w nadlewie wlewka przed stratami ciepła jest wykonanie próby z wykorzystaniem danej zasypki do odlewania wlewków.

O skuteczności izolacji cieplnej zasypki w wyniku jej kontaktu z ciekłą stalą w nadlewie, świadczy obraz powstałej jamy skurczowej. Jeżeli powstała jama skurczowa jest płytka i zlokalizowana w objętości nadlewu, oznacza to, że zasypka skutecznie izoluje lustro stali w nadstawce przed nadmiernymi stratami ciepła.

W tym celu wykonano w warunkach laboratoryjnych, w indukcyjnym piecu z tygłem spinelowym o pojemności do 30 kg, wotypty stali o następującym składzie: 0,12% C; 0,55% Mn; 0,20% Si; 0,01% S; 0,01% P i 0,01% Al. Stal odlewano do wlewnicy o przekroju okrągłym, zbieżnej ku dołowi z nadstawką z izolacją boczną wykonaną z masy WIM 400 o okrągłym przekroju nadlewu. Temperatura odlewanej stali wynosiła 1550°C.

Wotypty testujące zasypki wykonywano w ten sposób, że po odtlenieniu stali w piecu z pomocą Al i FeSi,



Rys. 8. Głowa wlewka pokryta zasypką izolacyjną opracowaną na bazie krajowych odpadów zbożowych

Fig. 8. Ingot head covered with insulating casting powder developed on the basis of domestic cereal wastes

uzupełnieniu składu chemicznego i wyregulowaniu temperatury kąpielii do wymaganej do odlewania, stal odlewano do wlewnicy i po napełnieniu nadstawki, lustro stali zasypywano daną zasypką, zawsze tą samą objętością danej zasypki – wynoszącą 400 cm³, co pozwalało uzyskać grubość warstwy zasypki wynoszącą około 20 mm, bez względu na jej skład (rodzaj).

Powierzchnię zasypanego lustra stali w nadstawce jedną z opracowanych zasypek pokazano na rys. 8.

Ocenę jakości opracowanej receptury danej zasypki wykonywano dokonując pomiaru odległości od dna jamy skurczowej do linii podziału nadlew – korpus wlewka. Im ta odległość była większa, tym zasypka skuteczniej hamowała straty ciepła przez lustro stali w nadlewie. Kształt jamy skurczowej, jaki uzyskano przy użyciu jednej z testowanych zasypek przedstawiono na rys. 9.

Odległość od linii podziału nadlew – korpus wlewka wyniosła 48 mm.

Dla porównania odlano wlewk z takiej samej stali jak dla wszystkich wytopów, testujących zasypki, w którym jako zasypkę izolującą zastosowano łuskę ryżową, obraz uzyskanej jamy skurczowej pokazano na rys. 10.

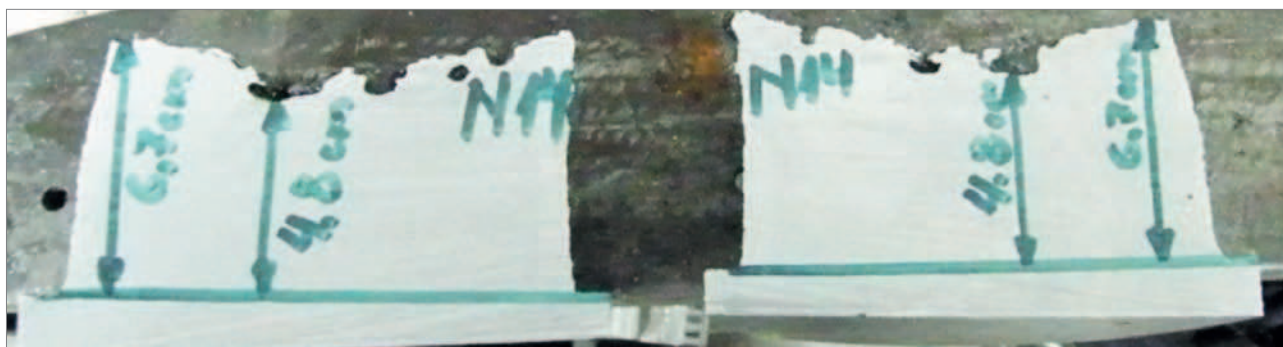
Z przedstawionych rysunków 9 i 10 wynika, że możliwe jest opracowanie zasypki z udziałem krajowych odpadów zbożowych, która z powodzeniem zastąpi importowaną łuskę ryżową. Warto podkreślić, że zasypka oprócz krajowej biomasy zawierała wypełniacz bazujący na materiałach odpadowych i tym samym była wytworzona bez sięgania po jakiegokolwiek surowce nieodnawialne.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W Instytucie Metalurgii Żelaza podobnie jak w wielu krajach świata prowadzone są badania nad wykorzystaniem biomasy w procesach metalurgii żelaza i stali.

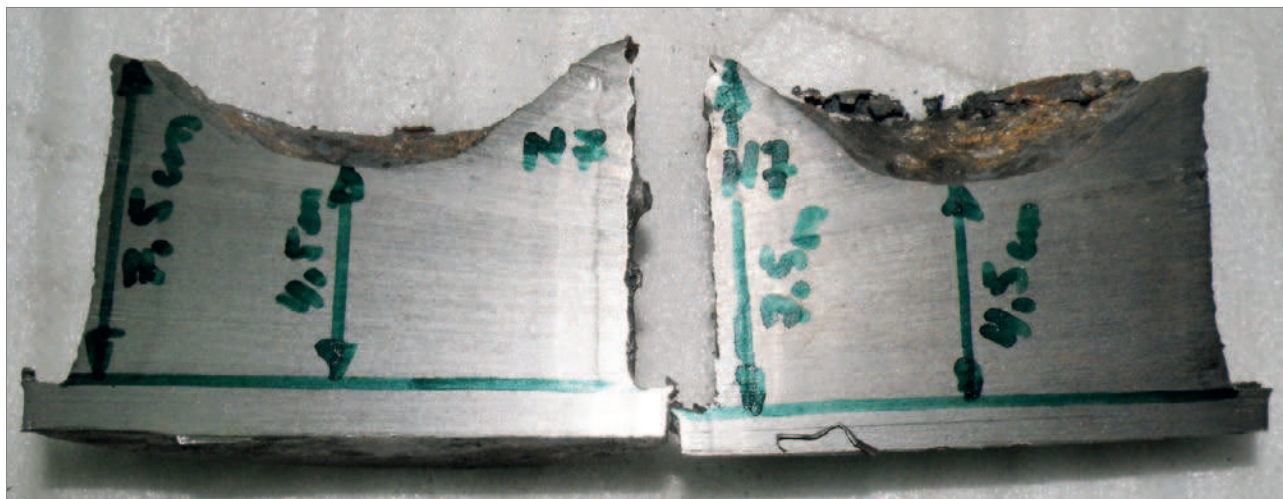
Jak dotąd przeprowadzone badania dotyczyły oznaczenia charakterystyk fizyczno-chemicznych i właściwości technologicznych wybranych biomas pochodzenia roślinnego.

Opracowane receptury zasypek z zastosowaniem odpadów zbożowych testowano w warunkach laboratoryjnych w trakcie odlewania stali, uzyskując korzystny obraz jamy skurczowej wlewka, porównywalny z rezultatem zastosowania łuski ryżowej.



Rys. 9. Kształt jamy skurczowej wlewka, którego nadlew zaizolowano zasypką do, której zastosowano krajowe odpady zbożowe

Fig. 9. Shape of contraction cavity of ingot whose riser head was isolated with casting powder from domestic cereal wastes



Rys. 10. Kształt jamy skurczowej wlewka, którego nadlew zaizolowano łuską ryżową

Fig. 10. Shape of contraction cavity of ingot whose riser head was isolated with rice husk

Z zakończonych do dziś badań wynika, że krajowe odpady zbożowe z powodzeniem mogą zastąpić importowaną łuskę ryżową w zastosowaniu do ocieplania nadlewów wlewków konwencjonalnych. Ich znaczna ilość i zróżnicowanie pod względem zawartości węgla i innych właściwości chemiczno-fizycznych pozwoli na projektowanie dedykowanych zasypek izolacyjno-egzotermicznych (lunkierytów), precyzyjnie dopasowanych do konkretnych wymagań. Z dużym prawdopodobieństwem

można założyć, że także będzie można je wykorzystywać do komponowania zasypek izolacyjno-ocieplających ciekłą stal w kadziach pośrednich w procesie COS.

Badania nad wykorzystaniem biomasy w procesach metalurgii żelaza i stali są kontynuowane w Instytucie Metalurgii Żelaza. Trwają badania zastosowania dodatku biomasy do mieszanki spiekalniczej.

LITERATURA

1. Krawczyński M., Mrozek P., Rzewnicki B.: Biomasa w energetyce – szanse i zagrożenia, Materiały XXV Konferencji z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Surowce – Energia – Efektywność. Zakopane, 9-12 października 2011 r. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 83-92. ISBN 978-83-60195-94-9
2. Chean Ooi T., Thompson D., Anderson D.R., Fisher R., Fray T., Zandi M.: The effect of charcoal combustion on iron-ore sintering performance and emission of persistent organic pollutants, *Combustion and Flame*, 158, 2011, 979-987
3. https://ciweb.chydenius.fi/project_files/.../Hannu%20Suopajarvi.pdf
4. www.interreg.iff.fraunhofer.de/media/pdf/varga.pdf
5. <http://asdi.curtin.edu.au/csrp/projects/4c1.html>
6. Pogorzałek J., Bulkowski L., Galisz U., Różański P., Stecko J.: Zbadanie możliwości wykorzystania odpadów z przetwórstwa zbóż w technologiach stalowniczych; Sprawozdanie IMŻ nr S0 0818/BS/2012, Gliwice 2012, niepublikowane
7. Pogorzałek J., Borecki M., Bulkowski L., Różański P.: Alternatywne materiały do izolacji cieplnej nadlewu wlewka stalowego, Sprawozdanie IMŻ nr S0-0776/BS Gliwice 2011 – niepublikowane
8. Knapik P., Spiewok W: Opracowanie metodyki i wykonanie oznaczeń składu chemicznego materiałów odpadowych z przemysłu zbożowego, Sprawozdanie IMŻ nr BW-0005/BC, Gliwice 2011, niepublikowane
9. Borecki M., Stecko J., Pogorzałek J., Szypuła I., Bulkowski L., Różański P., Wittchen W.: Określenie warunków i sposobów przygotowania krajowych odpadów zbożowych do wytwarzania zasypki izolująco-ocieplającej powierzchnię ciekłej stali; Sprawozdanie IMŻ nr SW-016/BS/2012, niepublikowane
10. Pogorzałek J., Borecki M., Bulkowski L., Stecko J., Różański P.: Zbadanie możliwości wykorzystania stałych produktów spalania węgla brunatnego w metalurgii, Sprawozdanie IMŻ nr SW-0031/BS, Gliwice 2012, niepublikowane