

**Odlewnia Żeliwa „DRAWSKI” Spółka Akcyjna
Program Finansowany z Funduszy Europejskich:
Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014 – 2020
Działanie 1.1.**

**Poddziałanie 1.1.1. - Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane
przez przedsiębiorstwa.**

Umowa Nr: POIR.01.01.01.-00-0958/18

„Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze przy dynamicznych obciążeniach wraz z ulepszoną metodą wykonywania odlewów do takich warunków pracy.”

Raport.

„Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze przy dynamicznych obciążeniach wraz z ulepszoną metodą wykonywania odlewów do takich warunków pracy.”

ETAP 1. BADANIA PRZEMYSŁOWE

I. Wstęp

I. 1. Cel projektu

Celem projektu jest opracowanie nowej technologii produkcji żeliwa sferoidalnego dedykowanego do pracy w niskich temperaturach charakteryzującego się wysoką plastycznością i uduźnością w porównaniu do norm: EN-GJS-350–22–LT oraz EN-GJS-400–18–LT. Pomimo, że odlewy z tego rodzaju żeliwa funkcjonują już na rynku od wielu lat, to nadal wiele odlewni napotyka spore trudności w ich produkcji. Z uwagi na fakt, że detale wykonywane z tego rodzaju metalu znajdują zastosowanie jako elementy maszyn i urządzeń o znaczeniu krytycznym dla ich funkcjonowania, a także z uwagi na fakt, że systematycznie rośnie na nie zapotrzebowanie wydaje się zasadnym poszukiwanie nowych metod produkcji - metod które pozwolą podnieść jakość wytwarzanych odlewów, a także umożliwią osiągnięcie większej powtarzalności produkcji. Obecnie powtarzalność wytopów uzyskiwanych tradycyjnymi metodami nie przekracza 50%, realizacja niniejszego projektu stawia sobie za cel dokonanie postępu w tym aspekcie i uzyskanie powtarzalności uzyskiwania poprawnych odlewów na poziomie 85%.

I.2 Uzasadnienie biznesowe

Na skutek analizy rynku i oczekiwań przyszłych klientów, Odlewnia DRAWSKI przygotowała agendę prac B+R zmierzającą do opracowania nowej technologii produkcji żeliwa sferoidalnego, która będzie odpowiedzią na potrzeby przyszłych użytkowników tego rodzaju odlewów.

- Potrzeba osiągnięcia powtarzalności procesu produkcyjnego żeliwa sferoidalnego dedykowanego do pracy w niskich temperaturach. Jedną z kluczowych kwestii, zarówno dla producentów żeliwa jak i potencjalnych odbiorców, jest opracowanie takiej technologii, w której odsetek wadliwych wytopów będzie jak niższy. W obecnie stosowanych technologiach, jest to bardzo trudne, pomimo stosowania pieców indukcyjnych, które zapewniają coraz lepszą kontrolę nad procesem topienia. Mimo to, występują istotne trudności w osiągnięciu optymalnych warunków dla całego wsadu, przez co powstaje wiele wadliwych odlewów, które nie będą spełniały przewidzianych prawem norm. Odlewnie, nie chcąc ryzykować utraty reputacji w oczach klientów, a także nie chcąc się narażać na roszczenia odszkodowawcze lub gwarancyjne ze strony kontrahentów, nie mogą pozwolić sobie na sprzedaż wadliwych wyrobów. Należy mieć świadomość, że żeliwo takiego rodzaju wykorzystywane jest do produkcji elementów, od których często zależy życie lub zdrowie ludzi. Odlewy z żeliwa sferoidalnego wysokiej jakości stosuje się jako obudowy do układów hamulcowych w wagonach i lokomotywach kolejowych, czy też w postaci zaworów, kolanek, złącz pokryw, w zakładach przemysłowych, kopalniach, rafineriach czy stoczniach. Ekstremalne warunki w jakich pracują tego typu odlewy, a także fakt, że instalowane są często w miejscach krytycznych, gdzie awaria zaworu lub układu hamulcowego może stanowić zagrożenie dla przebywających w danym miejscu ludzi sprawia, że od tego typu asortymentu wymaga się najwyższej jakości. W związku z powyższym opracowanie technologii umożliwiającej produkcję żeliwa sferoidalnego dedykowanego do pracy w niskich temperaturach w sposób stabilny i powtarzalny będzie korzystne nie tylko dla jego producentów, z uwagi na zminimalizowanie start wynikających z wadliwych wytopów, ale również dla potencjalnych klientów, którzy będą mogli odlewy tego typu nabywać po niższej cenie niż dotychczas.

- Potrzeba opracowania technologii produkcji umożliwiająca wytwarzanie skomplikowanych cienkościennych odlewów wykonywanych z żeliwa sferoidalnego. Obecnie producenci różnego typu maszyn i urządzeń dążą do ich miniaturyzacji, a także do zmniejszenia ich masy. Cel ten można osiągnąć przez stosowanie coraz nowszych materiałów, które

pozwalają na zachowanie takiej samej wytrzymałości lub nawet większej, przy jednoczesnej redukcji masy danego elementu. Trend ten jest również zauważalny na rynku odlewów, gdzie od producentów oczekuje się wytwarzania cienkościennych detali, które muszą się charakteryzować odpornością na niskie temperatury. Ponadto, cienkościenne odlewy z żeliwa sferoidalnego w najbliższym czasie mogą stanowić realną konkurencję dla odlewów wykonanych z aluminium. Badania wykonane na AGH w Krakowie wykazały, że detale wykonane z żeliwa sferoidalnego charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi i niższą masą, w porównaniu do elementów wykonanych z aluminium. Korzystnym zatem z punktu widzenia potencjalnych odbiorców jest opracowanie technologii, która umożliwiłaby dokonanie postępu w produkcji tego typu odlewów.

- Zapewnienie terminowości dostaw odlewów z żeliwa sferoidalnego. Skomplikowana produkcja detali z tego surowca wiąże się z trudnościami w zapewnieniu terminowości dostaw przez odlewnie podejmujące się tego typu zleceń produkcyjnych. Wiąże się to z faktem, że w przypadku zleceń produkcyjnych, gdzie klient wymaga dużej ilości detali w krótkim okresie czasu, wiele odlewni nie jest w stanie sprostać zrealizowaniu tego typu zleceń. Kontrahenci, zdając sobie sprawę z faktu, że proces produkcji detali z żeliwa sferoidalnego jest obarczony ryzykiem, przez co termin dostawy może być niedotrzymany, kierują zamówienie na dane detale do dwóch różnych odlewni, aby minimalizować ryzyko niedostarczenia zamówionych odlewów w określonym czasie. Opracowanie nowej technologii, w której oczekiwana powtarzalność procesu będzie kształtować się na poziomie około 80% sprawi, że problem sztucznego dzielenia zamówień zostanie wyeliminowany, przez co dany klient będzie mógł zamawiać odlewy tylko od jednego producenta.

- Potrzeba wytwarzania odlewów z żeliwa sferoidalnego charakteryzujących się jak najwyższą stabilnością w zakresie udarności i plastyczności. Obecnie wytwarzane wyroby z żeliwa sferoidalnego mogą cechować się dość znaczną rozpiętością parametrów w zakresie udarności. Np. dla żeliwa opisanego przez normę EN- GJS-400-18-LT, gdzie udarność została określona jako 12J/cm² dla średniej z trzech prób, lub 9J/cm² przy wykonaniu tylko jednego testu, co oznacza, że wynik 9J/cm² w przypadku pojedynczego badania może być mniejszy o 25% w porównaniu do średniej z trzech prób. Zatem żeby uzyskać średnią 12J/cm² z trzech prób pozostałe wyniki muszą być odpowiednio wyższe, przykładowo jeśli drugi wynik wyniósłby 10J/cm² to trzeci musiałby mieć wartość 17J/cm². Uzyskanie odlewów o bardziej stabilnej strukturze w zakresie wymienionych wyżej parametrów przyczyni się do poprawy ich jakości, co nie jest bez znaczenia jeżeli weźmiemy pod uwagę fakt, że detale wykonywane z tego rodzaju metalu decydują o bezpieczeństwie ludzi lub prawidłowym funkcjonowaniu maszyn i urządzeń. W związku z czym istnieje realna potrzeba zmniejszenia rozrzutu wskazanych wyżej parametrów. Przewiduje się, że w wyniku opracowania nowej technologii możliwa będzie produkcja odlewów, gdzie dla testu z trzech prób wyniki będą mieściły się w zakresie udarności na poziomie od 10 do 14J/cm².

- Potrzeba wprowadzenia na rynek odlewów charakteryzujących się łatwiejszą obróbką. W wyniku opracowanej technologii nowe odlewy będą charakteryzowały się mniejszą porowatością skurczowo-gazową. Zjawisko to najczęściej występuje w grubszych częściach odlewów i jest spowodowane zagazowaniem metalu na etapie wlewania go do form odlewniczych. W wyniku opracowanej technologii będą prowadzone prace zmierzające do wyeliminowania tego zjawiska na każdym z etapów produkcji, zarówno podczas topienia metalu w piecu jak i zalewania form. Żeliwo pozbawione zagazowań staje się zwarte, posiada podwyższoną gęstość i jest zdolne do przenoszenia dynamicznych obciążeń. Zwiększa się zatem wskaźnik jakości żeliwa (tzw. Index Quality) definiowany jako stosunek R_m/HB . Jego

jednolita struktura sprawia również, że jest ono bardziej przewidywalne w obróbce, co jest szczególnie pożądaną cechą w przedsiębiorstwach, które na odlewach żeliwnych dokonują operacji związanych z wykonaniem gwintów czy otworów.

I.3 Zarządzanie projektem

Powołanie zespołu badawczego i przydział zadań

Etap 1 projektu realizował zespół badawczy w składzie:

Prof. dr hab. inż. Nauk Technicznych. Zenon Ignaszak – kierownik prac badawczych

Dr inż. Jan Mocek- Z-ca kierownika prac badawczych, ekspert ds. technologii odlewnictwa metali

Inż. Krzysztof Dymek – członek zespołu badawczego, specjalista ds. technologii chemicznej

Inż. Adam Pankowski – członek zespołu badawczego, specjalista ds. kontroli jakości

Inż. Bartosz Heft – członek zespołu, technolog

Inż. Artur Orzechowski- członek zespołu, ekspert ds. technologii

Inż. Łukasz Andrzejkowicz – członek zespołu, ekspert ds. urządzeń technicznych

Strategicznym zarządzaniem projektu zajmuje się Komitet sterujący w składzie:

Przewodniczący Komitetu Sterującego: Ryszard Kielczyk

Członkowie:

Tadeusz Jurga (interes odlewni)

Mariusz Rylewicz (interes odbiorców))

Nadzorem nad projektem zajmuje się zespół, który pełni jednocześnie funkcje obsługi zmian:

Józef Bojanowski - kierownik organizacyjny projektu

Katarzyna Tymek – kierownik finansowy projektu

II. Przebieg i wyniki prac badawczych 1 etapu

II.1. Założenia badawcze , przebieg prac i wyniki dla 1 etapu

II.1.1 Wstępne założenia technologiczne (ZT1) – faza wstępna. Wykonawca : Odlewnia Żeliwa „DRAWSKI” S.A.

Wpływ zanieczyszczeń i nieodpowiedniego sposobu topienia na jakość żeliwa. Uzyskiwanie niedoskonałości w zakresie kulkowych wydzielen grafitu najczęściej związane jest ze zbyt długim przegrzewaniem w piecu żeliwa (często powyżej 1500°C) w celu odgazowania kąpieli metalowej, homogenizacji składu i wypłynięcia do żużla różnego rodzaju wtrąceń niemetalicznych. Ubocznym skutkiem tego procesu jest zniszczenie dużej części homogenicznych zarodków żeliwa, co wyraźnie pogarsza zdolność do grafityzacji żeliwa, ogranicza liczbę wydzielen grafitu kulkowego, a ostatecznie obniża plastyczność i udurowienie żeliwa, szczególnie w niskiej temperaturze. Analiza stanu techniki pokazuje, że istnieją techniczne możliwości wprowadzenia w technologii topienia żeliwa dodatkowej operacji, jaką jest rafinacja gazowa. Piece indukcyjne najnowszej generacji są przystosowane konstrukcyjnie do prowadzenia rafinacji gazowej stopów żelaza. Obecnie proces ten stosowany jest najczęściej podczas wytapiania stali i staliwa. Do produkcji żeliwa o standardowych właściwościach nie jest ona niezbędna, jednak chcąc uzyskać produkt o wysokiej udurowieniu i plastyczności konieczne jest wyeliminowanie podczas jego produkcji wszelkich zanieczyszczeń. Rafinacja gazowa w przyspiesza proces wypływania wtrąceń niemetalicznych, żużla, gazów z ciekłego metalu, (w tym przypadku O₂). Jej wprowadzenie do procesu topienia żeliwa przeznaczonego do pracy warunkach niskiej temperatury może pozwolić skrócić czas oczyszczania metalu oraz przetrzymywania w najwyższej temperaturze. Istnieje duże prawdopodobieństwo, iż proces

„oczyszczania” żeliwa można prowadzić w niższej temperaturze (1470-1480°C), a nie w temp. powyżej 1500°C, co uchroniłoby metal przed niszczeniem homogenicznych zarodków grafitu.

II.1.2 Przebieg i wyniki fazy wstępnej

Żeliwo dedykowane do pracy w niskich temperaturach musi charakteryzować się wysoką udarnością i plastycznością. Cechy te można uzyskać dzięki wyeliminowaniu w procesie produkcyjnym zanieczyszczeń niemetalicznych i zagazowań. Pierwsza zadanie badawcze dotyczyło sprawdzenia jaki wpływ na jakość produkowanego żeliwa mają wyżej wymienione zanieczyszczenia. W tym celu w Odlewni Żeliwa Drawski wykonane zostały 3 serie próbne wytopów. Pierwszy z nich wykonany został w dotychczas stosowanej przez Wnioskodawcę technologii, natomiast do przygotowania drugiego zwiększony został udział surówki odlewniczej, a także użyto złomu pozbawionego zanieczyszczeń. W trzeciej serii pozostawiono skład wsadu jak dla serii drugiej, jednak dodatkowo kąpiel metalu została poddana uproszczonej rafinacji z wykorzystaniem lancy wprowadzonej do kadzi. Zmianie uległ także proces topienia - wykorzystano dostępny piec indukcyjny sieciowej częstotliwości o pojemności 3 ton. Proces zachodził szybko i bez przegrzewania. W wytopach zostały przeprowadzone zabiegi korekcyjne celem osiągnięcia identycznej zawartości C, Si, Mn, P i S. Dodatkowo w wytopie trzecim, do produkcji którego użyto złomu o wysokiej czystości, po przeprowadzeniu sferoidyzacji dokonano procesu rafinacji z użyciem lancy do wdmuchiwania gazu do kąpeli. Wyniki tego eksperymentu stanowią odpowiedź na ZT 1.1 i ZT 1.2, a jednocześnie są weryfikacją przyjętej koncepcji nowej technologii produkcji żeliwa polegającej na zastosowaniu metody rafinacji do jego oczyszczania. Weryfikacja ta była możliwa poprzez zastosowanie metody pozwalającej nie tylko ocenić czystość wytworzonego metalu, ale również jego zdolność do krystalizacji struktury metalowej z dużą ilością sferoidalnych, drobnych wydzielen grafitu. Dla tych trzech wytopów zostały przeprowadzone badania struktury, które koncentrowały wokół oceny wydzielen grafitu zarówno pod kątem jego kształtu jak i wielkości. Zbadane zostały również właściwości mechaniczne takie jak: granica plastyczności, wytrzymałość, twardość, gęstość właściwa (która jest miarą stopnia zagazowania i zanieczyszczenia metalu), udarność.

Przewidziane do wykonania prace w ramach w ZT1.1 prace polegały na przeprowadzeniu trzech wytopów w odlewni, oceny, cech i parametrów uzyskanego żeliwa. W tym celu dokonano następujących wytopów:

Wytop 1 - wytop żeliwa w stosowanej obecnie technologii.

Wytop 2 - wytop żeliwa przy zwiększonym udziale surówki LS i zastosowaniu złomu wsadowego bez zanieczyszczeń.

Wytop 3 - wytop żeliwa przy zwiększonym udziale surówki LS i zastosowaniu złomu wsadowego bez zanieczyszczeń, z rafinacją żeliwa w kadzi po zabiegu sferoidyzacji.

Do przygotowania żeliwa w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości JATŻEL o pojemności 3000 kg, użyto w kolejnych wytopach materiałów wsadowych i dodatków wg zestawienia podanego w tabeli 1:

Tabela 1. Zestawy wsadów metalowych w kolejnych wytopach

<i>Material wsadowy</i>	<i>Udział procentowy [%]</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>	<i>Uwagi</i>
--------------------------------	---	--------------------------------------	---------------------

	<i>Wytop 1</i>	<i>Wytop 2</i>	<i>Wytop 3</i>	<i>Wytop 1</i>	<i>Wytop 2</i>	<i>Wytop 3</i>	
Surówka LS	30	50	50	900	1500	1500	
Złom Żeliwny	35	25	25	1050	750	750	
Złom stalowy	35	25	25	1050	750	750	
Żelazokrzem Fe Si 75	0,3	0,3	0,3	9	9	9	
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	0,5	0,5	0,5	15	15	15	
Nawęglacz Desulco	0,12	0,12	0,12	3,6	3,6	3,6	
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	2,9	2,96	2,93	87	89	88	

W wytopach 2 i 3 celowo zwiększano udział surówki po to, aby żeliwo charakteryzowało się większą zdolnością do grafityzacji, która jest konieczna dla uzyskania żeliwa ferrytycznego. Surówka jest naturalnym donorem zarodków krystalizacji grafitu w żeliwie, szczególnie w żeliwie sferoidalnym. Aby otrzymać dobre żeliwo sferoidalne, surówka specjalna powinna zawierać: wysoki C = 3,8-4,5%; niski: Si - max 0,5% (1%); Mn - max 0,05%; P - max 0,06%, S- max 0,010%; Cr - max 0,02%; Ti - max 0,04%.

W trzecim wytopie wdrożono technologię rafinacji gazowej w piecu i w kadzi zabiegowej. Obserwowano przebieg wypływaną żużla i wtrąceń niemetalowych na powierzchnię kąpieli metalowej. Badania miału również na celu wstępne wyznaczenie parametrów dozowania gazu (azotu), w tym ciśnienia, wydajności, czasu rafinacji.

W kolejnych wytopach uzyskano składy chemiczne zestawione w tabeli 2. Podano zawartość podstawowych składników. W dalszych badaniach koniecznym będzie kontrolowania zawartości również innych pierwiastków (obok Mn i Cr), które sprzyjają polityzacji osnowy. Do tej grupy należą: Cu, Sn, V, Ni.

Proces obróbki pozapiecowej żeliwa (sferoidyzacji i modyfikacji) prowadzi do zmiany składu, głównie do zwiększenia zawartości krzemu (Si) o blisko 1,0%, oraz zawartości magnezu (do Mg ~ 0,040 ÷ 0,55%). We wszystkich wytopach uzyskano składy chemiczne zbliżone do zalecanych, w których oczekuje się kolejno zawartości: C > 3,80), Si = 2,40÷2,60%, Mn < 0,15%, P < 0,035%.

Tabela 2. Skład chemiczne żeliwa uzyskane w kolejnych wytopach

Skład chemiczny żeliwa wyjściowego w piecu indukcyjnym										Skład chemiczny żeliwa po sferoidyzacji							
Nr wytopu	C %	Si %	S %	P %	Mn %	Cr %	Mg %	Cu %	Ni %	Al %	Cr %	V %	Sn %	Pb %	Ti %	Bi %	B %
Wytop 1 6.11.19	3,63	1,59	0,037	0,048	0,32	0,037		0,039	0,052	0,0048	0,039	0,0053	0,045	<0,003	0,0098	<0,0015	0,0003
	3,72	2,34	0,016	0,045	0,32	0,027	0,040	0,039	0,052	0,0098	0,039	0,0053	0,045	<0,003	0,0098	<0,0015	0,0003

Wytop 2	4,05	1,49	0,044	0,048	0,28	0,025		0,031	0,048	0,0035	0,032	0,0044	0,036	<0,003	0,0098	<0,0015	0,0003
20.11.19	3,91	2,38	0,018	0,051	0,28	0,026	0,058	0,031	0,048	0,0089	0,032	0,0044	0,036	<0,003	0,0098	<0,0015	0,0003
Wytop 3	3,97	1,52	0,042	0,051	0,15	0,031		0,030	0,043	0,0042	0,026	0,0036	0,038	<0,003	0,0096	<0,0015	0,0003
25.11.19	3,90	2,42	0,015	0,051	0,15	0,031	0,058	0,030	0,043	0,0096	0,026	0,0036	0,038	<0,003	0,0096	<0,0015	0,0003

Próbki poddano badaniom metalograficznym, nieniszczącym i badaniom właściwości mechanicznych.

Badania metalograficzne wykonywano w laboratorium zakładowym, które wyposażone jest w mikroskop optyczny Nikon MA 100, rys.10. Badania metalograficzne realizowano zgodnie z PN – EN 945 – 1.

Badania nieniszczące wykonywano w celu weryfikacji kształtu grafitu i wykryciu potencjalnych wad ukrytych w odlewach przyrządem typu Echograf KarlDeutch1077

Badania właściwości mechanicznych zostały przeprowadzone zgodnie z normą PN EN 6892 - 1 na więc na próbkach wyciętych z wlewków próbnych zgodnie z normą PN EN 1563, stosowanych w badaniach żeliwa sferoidalnego. Próbę rozciągania (zrywania) realizowano na maszynie wytrzymałościowej typu ZD – 20 200k

Uzyskane wyniki z poszczególnych wytopów zestawiono w poniższej tabeli.

Tabela 4. Wyniki badań.

Nr Wytopu	Twardość [HB]			Wytrzymałość [MPa]			Wydłużenie A5 [%]			Granica plastyczności Rp 0,2 [MPa]			Ocena metalograficzna PN EN 945-1 (uśredniona z trzech prób)	Rodzaj osnowy (ferryt/perlit) [%]	Stopień sferoidyzacji [%]			Prędkość przepływu fal echografu [m/s]		
1	195	190	187	485	470	478	11	10	12	310	311	306	90%VIA5+10%VA5	60/40	92	91	92	5600	5610	5625
2	177	175	180	465	450	464	12	15	14	280	295	287	95%VIA5+5%VA5	80/20	93	94	93	5620	5625	5630

3	15	16	16	44	43	42	1	1	22	25	24	23	95%VIA6+5% VIA5	95/5	96	9	95	565	565	565
	5	5	6	0	1	5	8	9		0	0	5				6		0	0	5

Analiza wyników.

W wytopie 1 uzyskano osnowę zawierającą stosunkowo wysoką zawartość perlitu ok. 40%, z wielkością wydzielen grafitu głównie na poziomie 5. Zarówno niskie wydłużenie na poziomie 10-12% oraz wytrzymałość w kierunku gatunku GJS 500-7 jest efektem wysokiego udziału perlitu w osnowie żeliwa. Stopień sferoidyzacji na poziomie 91-92%, spełnia wymogi normatywne PN EN 1563 co do definicji żeliwa sferoidalnego, jednak można wysnuć wniosek, że proces sferoidyzacji był w pewnym stopniu zakłócony z uwagi na wyższą zawartość pierwiastków oddziaływujących na prawidłowy proces sferoidyzacji. W efekcie liczba wydzielen grafitu nie jest wysoka, a ich kulistość jest w wielu przypadkach zaburzona.

W wytopie 2, w którym zastosowano większy udział surówki LS zauważalna jest poprawa wyników. Uzyskano osnowę zawierającą większą ilość ferrytu, perlit na poziomie ok. 20%. Osnowa w przewodzie ferrytyczna, pozwoliła na poprawę parametrów plastycznych, uzyskano wydłużenie na poziomie 12-15%.

Z przeprowadzonych badań wynika że najlepsze wyniki uzyskano w wytopie trzecim (z rafinacją). W tym wytopie uzyskano najwyższą ilość ferrytu w osnowie ok. 95% z jednoczesną najwyższą liczbą drobnych wydzielen grafitu o wielkości 6. Uzyskane wydłużenie zawiera się w przedziale 18-22% a więc cechy plastyczne materiału są w tym wytopie najwyższe. Ten wytop charakteryzuje się również najwyższym stopniem sferoidyzacji, co wskazuje na to że proces sferoidyzacji żeliwa był w tym wytopie najmniej zaburzony.

Dalsze badania będą ukierunkowane na optymalizację parametrów rafinacji oraz optymalizację procesu wielostopniowej modyfikacji. Modyfikacja decyduje o zdolności do grafityzacji żeliwa, liczbie wydzielen grafitu. Im krótszy czas pomiędzy modyfikacją a krzepnięciem stopu, tym więcej zarodków grafitu i więcej jego wydzielen. Udarność żeliwa i jego wydłużenie zależą od rodzaju osnowy, ale też od liczby wydzielen grafitu. W kolejnych testach należy dążyć do uzyskiwania osnowy ferrytycznej przy umiarkowanej zawartości Si, przy $Si < 2,5 \%$. Przy wyższych zawartościach rośnie tendencja do umacniania się ferrytu, co skutkuje ograniczeniem jego plastyczności. Przy obniżonej zawartości Si, dla uzyskania ferrytycznej osnowy konieczna jest wieloetapowa modyfikacja, Stąd w dalszych pracach położony zostanie nacisk na proces modyfikacji.

Podsumowanie wyników zadania 1.1.

Celem realizacja zadania było przeprowadzenie w odlewni trzech wytopów próbnych w ramach zadania Z 1.1. W tym celu wykonano trzy próbne wytopy żeliwa:

- wytop żeliwa w obecnie stosowanej technologii
- wytop żeliwa w piecu indukcyjnym przy zwiększonym udziale surówki LS, ze złomu wsadowego o wyższej czystości,
- wytop żeliwa w piecu indukcyjnym przy zwiększonym udziale surówki LS, ze złomu wsadowego o wyższej czystości, oraz rafinacją w kadzi po zabiegu sferoidyzacji

Z powyższych wytopów wykonano próby do oceny i badań uzyskanego żeliwa pod kątem:

- analiza struktury – ocena wydzielen grafitu w zakresie kształtu i wielkości
- analiza osnowy metalowej,

- parametry wytrzymałościowe tj: granica plastyczności, wydłużenie, wytrzymałość na rozciąganie, twardość
- stopień sferoidyzacji żeliwa
- badania nieniszczące struktury żeliwa

Z przeprowadzonych badań wynika, że najlepsze parametry pod kątem uzyskiwania gatunków żeliwa charakteryzujących się wysoką plastycznością, uzyskano w wytopie z rafinacją żeliwa w kadzi po zabiegu sferoidyzacji – wytop 3.

W tym wytopie uzyskano osnowę bliską ferrytycznej, co przełożyło się na uzyskanie najwyższych wartości wydłużenia materiału. W wytopie trzecim uzyskano również najwyższy stopień sferoidyzacji żeliwa wynoszącym średnio 95%, a więc wydzieleń grafitu o najwyższej kulistości, co jest efektem uzyskania żeliwa z najmniejszą ilością wtrąceń i zanieczyszczeń, a to jest zasługą rafinacji żeliwa, z jednoczesnym uzyskaniem mniejszych w stosunku do wytopów 1 i 2 wielkości wydzieleń grafitu na poziomie 6 wg PN EN ISO 945.

Przeprowadzone wytopy potwierdzają zasadność kierunku realizowanych badań opartych o rafinację żeliwa. W dalszych etapach prac, należy podejmować działania mające na celu uzyskanie w wytopach żeliwa o jeszcze wyższych parametrach plastycznych, osnowy ferrytycznej z drobnymi wydzieleniami grafitu o wysokim współczynniku sferoidyzacji (kulistość).

Szczegółowe opis przeprowadzonych prac zawiera Raport z fazy wstępnej przeprowadzonej przez Odlewnię Żeliwa „DRAWSKI” S.A. w Drawskim Młynie

II.2. Założenia, przebieg prac i wyniki dla ZT 2- i ZT3. Wykonawca: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Wydział Odlewnictwa.

Z wykonawcą usługi zewnętrznej zawarto w dniu 05 listopada 2018 roku warunkową umowę o usługę badawczą nr 5.72.170.667. W związku z zawarciem umowy o dofinansowanie nr POIR.01.01.01-00-0958/18-00 w dniu 04 czerwca 2019 roku umowa weszła w stan realizacji. W dniu 15 listopada został zawarty aneks nr 1 wydłużający okres realizacji z dnia 31.12.2020 na dzień 07.01.2020 r w związku z potrzebą wykonania dodatkowych badań.

II.2.1. Zagadnienia technologiczne w ramach usługi badawczej.

ZT 1.2. Wpływ zanieczyszczeń niemetalicznych na jakość produkowanego żeliwa i sposoby ich eliminacji poprzez zastosowanie rafinacji gazowej.

Wytwarzanie żeliwa sferoidalnego jest procesem dwuetapowym, w tzw. pozapiecowej obróbce metalu (po jego wytopieniu) prowadzona jest sferoidyzacja (wprowadzanie Mg do żeliwa) i modyfikacja żeliwa. Zabiegi te prowadzą do „zanieczyszczenia” żeliwa różnego rodzaju wtrąceniami niemetalicznymi, tlenkami, siarczkami oraz nasycenia metalu gazami (składnikami powietrza), które wynikają do żeliwa podczas burzliwego charakteru procesu. Zanieczyszczenia te, na skutek mniejszej gęstości wypływają do żużla. Przydatność technologiczna żeliwa po wprowadzeniu Mg jest ograniczona, a jego jakość obniża się, z uwagi na parowanie Mg i spadki temperatury. Warunki te nie sprzyjają „samooczyszczeniu” się metalu. Jeśli wymagania co do plastyczności i udarności żeliwa sferoidalnego nie są wysokie, żeliwo wytwarzane w konwencjonalnej technologii nie wymaga intensyfikacji wypływania z niego niemetalicznych wtrąceń i zagazowań. Jeśli dąży się do uzyskania wysokich parametrów w zakresie plastyczności i udarności, konieczne staje się wdrożenie procesu rafinacji. Kadzie zabiegowe, w których prowadzi się proces sferoidyzacji powinny zostać tak przystosowane

konstrukcyjnie, aby możliwe było włączenie procesu rafinacji żeliwa już podczas sferoidyzacji lub bezpośrednio po niej. Skrócenie czasu oczyszczania żeliwa, osiągane dzięki rafinacji gazowej pozwoli utrzymać jego wysoką zdolność do grafityzacji, ograniczy ubytki Mg, co w efekcie końcowym pozwoli uzyskać wysokie właściwości niezbędne do pracy w niskiej temperaturze. Największą zdolność do tzw. zarodkowania posiada żeliwo bezpośrednio po sferoidyzacji, w tym krótkim okresie czasu możliwe jest uzyskiwanie w strukturze dużej ilości wydzieleń kulek grafitu. Taka struktura jest najbardziej pożądana, jeśli dąży się do osiągnięcia wysokiej plastyczności i wysokiej udarności żeliwa. Tym umotywowane jest dążenie do skracania czasu pomiędzy zabiegiem wprowadzania Mg do ciekłego metalu a jego zalewaniem do form odlewniczych.

Opracowanie i demonstracja niestosowanej dotychczas dwustopniowej rafinacji w produkcji żeliwa jest możliwa do realizacji, ponieważ w zastosowaniach przemysłowych pojawiają się piece do topienia stopów Fe wyposażane w układ rafinacji gazowej i nie stanowi ona problemu technicznego.

ZT 1.3 Uzyskanie powtarzalności procesu produkcji żeliwa na poziomie minimum 80%

W praktyce odlewniczej wytwarzanie żeliwa sferoidalnego o wysokiej czystości jest możliwe, jednak wytwarzanie go w sposób powtarzalny, jest przy stosowaniu aktualnych technologii (bez dwustopniowej rafinacji) trudne i mało prawdopodobne. Aby w sposób powtarzalny w tradycyjnej technologii wytwarzać żeliwa o wysokiej plastyczności i udarności, należałoby za każdym razem zapewniać utrzymanie w wąskim polu zmienności takie parametry i elementy procesu jak: stosowanie czystego wsadu metalowego do pieca z dominującym udziałem drogiej surówki (np. Sorelmetal), która pozwala utrzymywać wysoką zdolność do grafityzacji żeliwa, prowadzić wytopy bez przegrzewania metalu, bardzo ograniczać udział własnego (kupnego) złomu, prowadzić obróbkę pozapiecową (sferoidyzację) metodami, w których powstaje stosunkowo mało wtrąceń niemetalicznych, kontrolować zawartość tlenu w żeliwie i ograniczać składniki wsadu, które mogą go wprowadzać. Zagwarantowanie zachowania wszystkich korzystnych warunków równocześnie (równolegle) w każdym procesie metalurgicznym (w każdym wytopie) jest bardzo trudne, dlatego ryzyko nieuzyskania żeliwa o najwyższych parametrach jest w tradycyjnych technologiach bardzo wysokie.

Zastosowanie rafinacji gazowej na dwóch kluczowych etapach procesu technologicznego przygotowania żeliwa, a więc podczas topienia metalu w piecu i podczas sferoidyzacji/modyfikacji, stworzy możliwość skrócenia czasu wypływanego wtrąceń i rozpuszczonych, szkodliwych gazów, zwiększy skokowo intensywność i ilość wypływania (usuwania z kąpeli metalowej) szkodliwych wtrąceń, co przeniesie się na uzyskanie wysokiej stabilizacji w produkcji żeliwa. Rafinujący gaz ułatwia wypływanie zanieczyszczeń występujących w postaci drobnych cząstek, które są wchłaniane lub „przyklejane” do pęcherzyków gazu rafinującego i unoszone razem z nim do góry kąpeli – do warstwy żużła pływającego po powierzchni metalu. Istnieje również bardzo wysokie prawdopodobieństwo, iż szkodliwy dla całego procesu tlen występujący w ciekłym metalu zostanie w znacznym stopniu usunięty z kąpeli, podobnie jak wtrącenia niemetaliczne. Gazy rozpuszczone w ciekłym metalu w procesie rafinacji gazowej są wchłaniane do dużo większych pęcherzy obojętnego gazu rafinującego, co ułatwia ich wypływanie z kąpeli metalowej. Tlen w żeliwie przeszkadza w procesie sferoidyzacji gdy wchodzi w reakcję z Mg, neutralizując jego sferoidyzujące działania. Powstające tlenki MgO obniżają plastyczność i udarność żeliwa. Jeśli w procesie rafinacji neutralnym gazem (N) udało się wyraźnie obniżyć zawartość tlenu, to korzyść byłaby niejako podwójna: mniejsze zużycie Mg do procesu i redukcja powstawania MgO, który jak wcześniej zauważono utrudnia uzyskiwanie wysokiej udarności.

II. 2.2 Przebieg i wyniki prac

Dokładniejsze badania nad określeniem właściwości fizycznych i mechanicznych otrzymanego żeliwa zostały przeprowadzone w laboratorium Wydziału Odlewnictwa AGH, gdzie zostały oznaczone takie parametry jak gęstość właściwa, RM R02, A5, U. Wyniki te stanowiły nie tylko ponowne potwierdzenie przyjętej koncepcji nowej technologii produkcji, ale również pozwoliły rozpocząć prace zmierzające do zdefiniowania w warunkach laboratoryjnych procesu produkcji żeliwa przy udziale podwójnej rafinacji, zarówno bezpośrednio w piecu topialnym jak i w kadzi do sferoidyzacji. Prace nad technologią wymagały budowy nowych (niestandardowych) instalacji do rafinacji metalu gazem bezpośrednio w piecu topialnym jak i instalacji do rafinacji w kadzi do sferoidyzacji. Z uwagi na nie przeprowadzanie takiego eksperymentu nigdy wcześniej i brak danych co do parametrów procesu rafinacji żeliwa (szczególnie rafinacji I stopnia – w piecu), wykonano szereg kontrolowanych wytopów (testów), w których była testowana skuteczność procesu przy różnych parametrach rafinacji takich jak: czas rafinacji, rodzaj i ilość użytego gazu, intensywność jego dozowania, itp. w powiązaniu z uzyskiwanymi parametrami wytworzonego żeliwa, szczególnie jego udurowieniem i plastycznością w niskiej temperaturze. Z punktu widzenia skuteczności oczyszczania metalu z wtrąceń, im dłużej prowadzona jest rafinacja tym lepiej. Jednak należy wziąć pod uwagę, iż jest to żeliwo sferoidalne, w którym po wykonaniu sferoidyzacji konieczne jest skracanie czasu do zalewania form. Zatem opracowanie procesu rafinacji musi uwzględnić istnienie tych uwarunkowań. Należało poszukiwać najkrótszego (ale skutecznego) czasu rafinacji w drugim jej stopniu (etapie). Ponadto, wydłużanie czasu rafinacji wiąże się ze spadkami temperatury metalu. Ten czynnik również został uwzględniony w badaniach, dostosowując ilości gazu, jego ciśnienie, itp.

Przedmiot zlecenia został podzielony na 5 zadań obejmujących:

Zadanie 1.

- a/ Weryfikacja założeń i koncepcji technologii wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze w warunkach dynamicznych obciążeń opracowanej w Odlewni Drawski.
- b/ Zbudowanie laboratoryjnych stanowisk do dwustopniowej rafinacji żeliwa sferoidalnego metodą PE i metodą w kadzi szczelnie zakrytej typu Tundish.

Zadanie 2

- a/ Wykonanie serii wytopów w odlewni doświadczalnej dla wyznaczenia zakresów parametrów procesu rafinacji.
- b/ Wykonanie badania właściwości mechanicznych żeliwa w niskich temperaturach, dla uzyskania parametrów porównawczych do weryfikacji założeń opracowanej technologii.

Zadanie 3.

- a/ Wykonanie partii odlewów funkcjonalnych z użyciem żeliwa wytwarzanego w ulepszonym procesie - walidacja przyjętych założeń – ocena struktury w odlewie i cech użytkowych (praca w niskiej temperaturze) wytworzonego żeliwa.
- b/ Optymalizacja parametrów procesu technologicznego produkcji żeliwa do pracy w niskiej temperaturze, obejmująca:
- c/ Optymalizację w zakresie skład chemiczny żeliwa bazowego przeznaczonego do obróbki pozapiecowej – w technologii przewodu elastycznego oraz optymalizację w zakresie rodzaju sferoidyzującego przewodu elastycznego do prowadzenia pozapiecowej obróbki (określenie optymalnej zawartości magnezu w zaprawie, rodzaju zaprawy, grubości przewodu, itp.),

Zadanie 4

- a) Wybór rodzaj gazu rafinującego, określenie korzystnego czasu rafinacji, ciśnienia gazu, ilości gazu na 1kg żeliwa,

- b) Określenie właściwości technologicznych żeliwa wytwarzanego w nowej technologii, kinetyki skurczu odlewniczego, wielkości skurczu objętościowego, skłonności do zabieleń, wrażliwości na szybkość stygnięcia,
- c) Określenie właściwości użytkowych żeliwa uzyskiwanego w nowej technologii, obejmujące: pomiar gęstości właściwej, właściwości mechaniczne w niskiej temp (Rm, R02, A5, HB, Uv i Uu, wytrzymałości zmęczeniowej, niskocyklowej).

Zadanie 5

Opracowanie wytycznych (na podstawie doświadczeń w skali laboratoryjnej i walidacji) do Instrukcji wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze i dynamicznych obciążeniach dla warunków technologicznych Odlewni Drawski (przeskalowanie do warunków rzeczywistego funkcjonowania).

Przebieg badań

Zbudowanie laboratoryjnych stanowisk do dwustopniowej rafinacji żeliwa sferoidalnego metodą PE i metodą w kadzi szczelnej Tundish obejmowało:

- a) przygotowanie pieca indukcyjnego
- b) przygotowanie lancy do rafinacji żeliwa w piecu indukcyjnym
- c) przygotowania kadzi do rafinacji żeliwa po sferoidyzacji
 - metodą Tundish
 - metodą PE
- d) wytypy testujące zbudowane stanowisko badawcze
 - przygotowanie i topienie oraz obróbka ciekłego metalu
 - odlewanie próbek do badań

- e) pilotażowe wyniki wstępnych prób

Szczegółowy opis zawiera Raport z Badań Wykonawcy. Zadanie nr 1

Wykonanie serii wytopów w odlewni doświadczalnej AGH dla wyznaczenia zakresów parametrów (czasu rafinacji, ilości gazu na 1 kg metalu, ciśnienia gazu podczas rafinacji) procesu rafinacji pierwotnej i wtórnej. Zadanie 2 realizowane w ramach umowy o wykonanie usługi badawczej obejmowało dwie części:

a/ Wykonanie serii wytopów w odlewni doświadczalnej dla wyznaczenia zakresów parametrów procesu rafinacji.

b/ Wykonanie badania właściwości mechanicznych żeliwa w niskich temperaturach, dla uzyskania parametrów porównawczych do weryfikacji założeń opracowanej technologii.

Aparatura i urządzenia wykorzystane do realizacji zadania 1 i 2 zostały opisane w raporcie zadania 1 i obejmują one:

- a) Indukcyjny piec średniej częstotliwości wykorzystywany do topienia żeliwa, pojemność pieca do 35 kg metalu,
- b) Kadź zabiegowa smukła ze szczelną pokrywą do realizacji sferoidyzacji żeliwa metodą Tundish, przystosowana do rafinacji żeliwa przez wkładkę gazo przepuszczalną umieszczoną w dnie kadzi
- c) Stanowisko do sferoidyzacji żeliwa metodą PE ze sterowaną szybkością wprowadzania przewodu elastycznego do metalu w kadzi przystosowanej do rafinacji metalu przez gazo przepuszczalną wkładkę umieszczoną w dnie
- d) Stanowisko rafinacji azotem, w skład, którego wchodzi butla z gazem, zespół zaworowy (ciśnieniomierz i reduktor) została dodatkowo wyposażony w kulkowy przepływomierz,
- e) Stanowisko do prowadzenia analizy termicznej (AT) i derywacyjnej (ATD) z możliwością równoległej analizy w kilku kubkach

f) Stanowisko wstępnego podgrzewania kadzi zabiegowej wraz z termowizyjną oceną stopnia nagrzania

g) Inne.

W ramach realizacji obu części zadania Nr 2 wykonano serię wytopów w piecu indukcyjnym i dokonano obróbki pozapiecowej żeliwa (sferoidyzacji), wyniki tych badań opisano w raporcie szczegółowym dotyczącym zadania nr 2.

Opanowanie technologii wytwarzania żeliwa ferrytycznego o dużej czystości uzyskiwanej w drodze rafinacji gazowej wymaga optymalizacji kilku czynników i parametrów, do których zalicza się:

- Dobór parametrów rafinacji (ciśnienia, wydatku z układu, ilości przeliczonej na 1 kg metalu, sposobu wprowadzania gazu)
- Dobór wsadu metalowego, rodzaju składników, ich udziału i ich proporcji,
- Dobór parametrów obróbki pozapiecowej (sferoidyzacji, modyfikacji, rodzaju modyfikatora, granulacji, moment i sposobu modyfikacji, itp.)
- Technologia odlewania znormalizowanych wlewków i próbek do badań,
- Inne parametry

Koordynacja wszystkich parametrów wymaga zarówno doświadczenia w realizacji podobnych zadań jak i wykonania serii prób, serii kontrolowanych wytopów i opracowania ich wyników. Zakres zmienności parametrów technologicznych został zdefiniowany w Raporcie zadania Nr 1. Dobór parametrów rafinacji w fazie początkowej został opisany powyżej.

Wsad metalowy pierwszej serii prób został oparty na surówce specjalnej o składzie przeznaczonym do wytwarzania żeliwa sferoidalnego, w tym ferrytycznego. Stanowiła ona główny składnik wsadu metalowego. Korekcie podlegała jedynie zawartość węgla w żeliwie (konieczność podwyższenia przez wprowadzenie odmierzonej porcji grafitu syntetycznego) i podwyższenie jego zawartości do $C = 3,60 - 3,80\%$ oraz korekta zawartości krzemu do poziomu: $Si > 2,40\%$.

Analiza struktur metalograficznych żeliwa

Analiza uzyskiwanych struktur metalograficznych żeliwa stanowi jedno z podstawowych badań jakości wytworzonego żeliwa. Ogólnie dąży się do uzyskania struktury „czysto” ferrytycznej w stanie lanym we wlewkach próbnych typu Y2 o grubości ścianek 25mm w części, z której wycinane są próbki do badań właściwości mechanicznych. Badania udarności z tych wlewków stanowi podstawę zakwalifikowania, z godnie z normą, żeliwa do danego gatunku.

Badania struktury sprowadzały się do oceny wydzielenia grafitu, w tym jego kształtu i ilości kulek przypadających na 1 mm^2 (badania na próbkach nietrawionych). W drugiej kolejności oceniano osnowę metalową. Celem optymalizacji osnowy jest osiągnięcie w stanie lanym osnowy „czysto” ferrytycznej. Na kształtowanie się osnowy metalowej oddziaływano w badaniach przez dobór składu chemicznego i wieloetapową modyfikację żeliwa poddawanego rafinacji gazowej. W Raporcie szczegółowym zamieszczono wyniki badań z kilku wybranych wytopów oznaczonych w tabeli składów numerami: R1; R2; R3; R4 i R5. Cztery pierwsze wytopy były prowadzone z dwustopniową rafinacją, trzeci – wytop (R5) bez rafinacji. Z wlewków próbnych wykonanych z tych samych wytopów wykonano próbki do szerszych badań właściwości mechanicznych (w tym udarności w zakresie temp. $+20$ do -40°C). Ponadto na próbkach z tych wytopów, po wykonaniu próby udarności, zrealizowano badania przełomów z użyciem elektronowego mikroskopu scaningowego SEM. Celem tych ostatnich badań była ocena wtrąceń niemetalicznych ujawnionych na przełomach. Wychodzi się z założenia, iż

przełom próbki biegnie po granicach wtrąceń, a zatem powinny one być widoczne pod mikroskopem scanningowym

W badaniach mikrostruktury oceniano każdorazowo również udział perlitu (ferryt jest dopełnieniem) i liczbę kulek przypadających na 1mm². Wyniki tych badań zestawiono w tabeli 2.10 raportu szczegółowego. Składy chemiczne w poszczególnych wytopach różniły się w niewielkim stopniu. Jednak udział perlitu w osnowie zmieniał się w szerokich granicach: od 2.0% do ponad 30%. Kluczowym elementem technologii wytwarzania ferrytycznego żeliwa sferoidalnego, oprócz składu chemicznego, jest proces modyfikacji żeliwa. W realizowanych próbach stosowano dwu lub trójstopniową modyfikację opisaną ilościowo w tabeli 2.4. Modyfikator wprowadzany jest na dno kadzi wraz z zaprawą FeSiMg9 (sferoidyzatorem) (I stopień), następnie po sferoidyzacji na lustro metalu w kadzi (II stopień) oraz na strumień metalu podczas zalewania form wlewków próbnych (III stopień). Granulacja modyfikatora na poszczególnych etapach zmienia się: najgrubszy (10 -15mm) na dno kadzi, drobniejszy (5,0 – 6,0mm) na lustro metalu i najdrobniejszy (2,0 – 3,0mm) na strugę.

Stopień przyswojenia modyfikatora nie jest jednakowy w każdym wytopie. Można to zaobserwować po wynikach badań struktury, udziale perlitu (tab. 2.10). Jakkolwiek również inne czynniki (np. temperatura metalu) mogą i mają wpływ na kształtowanie osnowy, to skuteczność modyfikacji jest w tym wiodącym czynnikiem.

Szczegółowy opis prac i uzyskane wyniki zawiera Raport z Badań Wykonawcy. Zadanie nr 2.

Badania w ramach zadania nr zadania 3 realizowanego w ramach umowy obejmują dwie części:

A/ Wykonanie partii odlewów funkcjonalnych z użyciem żeliwa wytwarzanego w ulepszonym procesie.

B/ Optymalizacja parametrów procesu technologicznego produkcji żeliwa do pracy w niskiej temperaturze, obejmująca:

- Optymalizację w zakresie skład chemiczny żeliwa bazowego przeznaczonego do obróbki pozapiecowej – w technologii przewodu elastycznego
- Optymalizację w zakresie rodzaju zaprawy sferoidyzującej do prowadzenia pozapiecowej obróbki (określenie optymalnej zawartości magnezu w zaprawie, rodzaju zaprawy, grubości przewodu, itp.).

Wyboru odlewu do wykonania serii próbnej z żeliwa sferoidalnego po podwójnej rafinacji dokonała Odlewnia „Drawski” s. z o.o. Model został wykonany z żywicy modelarskiej grupy LAB.

W ramach badań realizowanych w ramach Projektu podjęto próbę określenia wpływu procesu rafinacji żeliwa przy pomocy azotu na przebieg zmian temperatury żeliwa.

Aby wykonać pomiary temperatury żeliwa w kadzi, w pokrywie wykonano drugi oprócz spustowego otwór, przez który wprowadzano termoparę PtPtRh10 osłoniętą kwarcową rurką do ciekłego żeliwa, rys.3.5 i 3.6. Pomiar prowadzono w sposób ciągły, a więc podczas napełniania kadzi, na dnie której umieszczano zaprawę FeSiMg9, ciekłym żeliwem. Pomiar kontynuowano również w drugiej fazie procesu, a więc podczas rafinacji żeliwa azotem. Pomiar wykonano dla dwóch przypadków:

- wytapiania żeliwa bez zabiegu rafinacji
- wytapiania żeliwa z procesem rafinacji.

Zestawienie przebiegów zmian temperatury żeliwa w kadzi w przypadkach z zastosowaniem rafinacji i baz rafinacji pokazuje, iż przepływ gazu (azotu) w badanym okresie rafinacji (około 1,0 min) nie generuje dodatkowych spadków temperatury na poziomie zauważalnym.

Temperatura żeliwa spada z podobną szybkością zarówno wtedy, gdy prowadzi się rafinację jak i wtedy, gdy tej rafinacji się nie prowadzi

Przeprowadzono badania w celu optymalizacji w zakresie składu chemicznego żeliwa bazowego przeznaczonego do obróbki pozapiecowej – w technologii przewodu elastycznego oraz strukturę wsadu metalowego do jego wytworzenia. W tym zadaniu wykonano także badania dotyczące wyboru rodzaju sferoidyzującego przewodu elastycznego (PE) do prowadzenia pozapiecowej obróbki (określenie optymalnej zawartości magnezu w zaprawie, rodzaju zaprawy, grubości przewodu, itp.), oraz rodzaju i granulacji sferoidyzatora dla technologii sferoidyzacji z użyciem szczelnej kadzi (technologia Tundish). Szczegółowy opis wykonanych badań i uzyskane rezultaty zawiera raport z zadania nr 3.

Wykonano także badania dotyczące wyboru rodzaju gazu rafinującego, określenie korzystnego czasu rafinacji w pierwotnej i wtórnej rafinacji, ciśnienie gazu, ilość gazu na 1 kg żeliwa, Oceniono właściwości technologiczne żeliwa wytwarzanego z nowej technologii, kinetykę skurczu odlewniczego, wielkości skurczu objętościowego, skłonności do zabieleń, wrażliwości na szybkość stygnięcia oraz zbadano właściwości użytkowe żeliwa uzyskiwanego w nowej technologii, obejmujące: gęstość właściwą, właściwości mechaniczne w niskiej temp (Rm, R02, A5, HB, Uv i Uu, wytrzymałość zmęczeniową, niskocyklową). Szczegółowy opis wykonanych prac oraz uzyskane wyniki zawiera Raport szczegółowy z zadania 4.

W ramach realizacji zadania nr 5 wyznaczono parametry procesu technologicznego produkcji żeliwa do pracy w niskiej temperaturze z zastosowaniem dwustopniowej rafinacji, obejmującą:

a) skład chemiczny żeliwa bazowego przeznaczonego do obróbki pozapiecowej – w technologii przewodu elastycznego

b) opracowanie wytycznych (na podstawie doświadczeń w skali laboratoryjnej i walidacji) oraz instrukcji wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze i dynamicznych obciążeniach.

Szczegółowy opis znajduje się w raporcie z zadania nr 5.

III. 1 Osiągnięcie zakładanych rezultatów

III. 1.1 Osiągnięcie KM 1.1.

Opracowanie w skali laboratoryjnej technologii wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze i przy dynamicznych obciążeniach o parametrach wyznaczanych na znormalizowanych próbkach: żeliwo EN-GJS-350–22–LT: A5 >22% ; UV > 12J (przy T = minus 40oC) oraz żeliwa EN- GJS-400–18–LT : A5 >18% ,UV > 12J (przy temp. = minus 20oC). Prace w ramach tego etapu będą dążyły do opracowania żeliwa o następujących właściwościach fizycznych: gęstość właściwa $\rho > 7,25\text{g/cm}^3$, postać kulista wydzielen grafitu (wskaźnik kształtu grafitu $\xi > 0,85$), rozdrobnione wydzielenia grafitu (N = liczba kulek na 1mm² - N > 225 kulek/mm²)

Z tabeli 3.6 (zadania 3 w harmonogramie AGH) wynika, iż kryterium udarności odpowiadające gatunkowi żeliwa EN GJS 400 – 18 – LT uzyskano w wytopach 3; 5; 14; 16; i 19. Udarność w temperaturze -20⁰ C , w każdym pojedynczym pomiarze była powyżej 9J, lub średnia z trzech powyżej 12J.

Z tej samej tabeli 3.6 wynika, iż kryterium udarności odpowiadające gatunkowi żeliwa EN GJS 350 – 22 – LT uzyskano w wytopie Nr 15. Udarność w temperaturze -40⁰ C , w każdym pojedynczym pomiarze była powyżej 9J, lub średnia z trzech powyżej 12J.

Daje to podstawę do uznania, iż kamień milowy KM1 (Opracowanie w skali laboratoryjnej technologii wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze i przy dynamicznych obciążeniach o parametrach wyznaczanych na znormalizowanych próbkach: żeliwo EN-GJS-350–22–LT: A5 >22% ; UV > 12J (przy T = minus 40oC) oraz żeliwa EN- GJS-400–18–LT :

A5 >18% ,UV > 12J (przy temp. = minus 20oC został osiągnięty, co stanowi podstawę do kontynuacji prac w ramach zadania 2.

III.1.2 Osiągnięcie KM 1.2.

Opracowanie instrukcji wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze i przy dynamicznych obciążeniach, która będzie uwzględniała warunki panujące w Odlewni Żeliwa Drawski, tak żeby możliwe było przeskalowanie technologii opracowanej w skali laboratoryjnej i wykonanie prób w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

W oparciu o zebrane i przeanalizowane wyniki badań uzyskane z ponad 20 kontrolowanych wytopów w piecu indukcyjnym zostały opracowane wytyczne do instrukcji wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze w warunkach technologicznych Odlewni Drawski. Z uwagi na skalę doświadczeń realizowanych w Odlewni Doświadczalnej AGH, opracowanie pełnej technologii wytwarzania żeliwa będzie wymagać wykonania serii prób w skali makro – rzeczywistych warunkach istniejących w Odlewni Drawski S.A.

Wytyczne opracowane w ramach badań w odlewni AGH (Wydział Odlewnictwa) obejmują następujące elementy technologii wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze:

1. Opis struktury metalograficznej, którą należy uzyskać we wlewkach próbnym typu Y2, które stanowią podstawowy materiał do kwalifikowania stopu (żeliwa sferoidalnego) z punktu widzenia spełnienia wymagań w zakresie właściwości mechanicznych opisanych w normie,
2. Opis pośrednich wskaźników, jakości, których spełnienie jest konieczne dla osiągnięcia opisanych w normie właściwości żeliwa do pracy w warunkach dynamicznych obciążeń w niskiej temperaturze,
3. Określenia końcowego składu chemicznego żeliwa, który należy osiągnąć w procesie topienia i obróbki pozapiecowej żeliwa,
4. Określenie wytycznych o do struktury wsadu metalowego przygotowywanego do wytopów żeliwa, oraz wytycznych, co do zalecanej temperatury żeliwa na poszczególnych etapach procesu jego wytwarzania.
5. Opisanie technologii rafinacji z wskazaniem rodzaju gazu do rafinacji jak i wytycznych, co do czasu rafinacji, ciśnienia roboczego, ilości gazu,
6. Opracowanie wytycznych co do sposobu modyfikacji żeliwa, ilości dodawanych modyfikatorów, ich granulacji, momentu prowadzenia zabiegu modyfikowania,
7. Opracowanie wytycznych w zakresie kontroli procesu wytapiania, w tym wykonywania prób technologicznych, stosowania analizy termicznej, możliwości kontroli techniką ultradźwiękową,
8. Opracowanie zaleceń co do zasad projektowania technologii form, z uwzględnieniem wyznaczonych właściwości technologicznych.
9. Uwagi końcowe

Wytyczne do Instrukcja wytwarzania odlewów znajduje się w raporcie z zadania nr 5.

Zatem uznaje się, że kamień milowy KM2 (Opracowanie technologii z wykorzystaniem dwustopniowej rafinacji i instrukcji wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej temperaturze i przy dynamicznych obciążeniach w warunkach Odlewni Drawski) został osiągnięty.

III. 1.3 Osiągnięcie KM 1.3.

Wytworzenie serii odlewów testowych o zamierzonej morfologii grafitu, wysokiej czystości i właściwościach w ściankach odlewów: odpowiednio: EN-GJS-350–22–LT: A5 >22% ; UV > 12J (przy T = minus 40oC) oraz żeliwa EN- GJS-400–18–LT : A5 >18% ,UV > 12J (przy temp. = minus 20oC) z utrzymaniem powtarzalności w serii próbnej na poziomie 80%.

W serii wykonanych 7 sztuk odlewów o masie 16kg każdy, żeliwo użyte do ich wytworzenia w 6 przypadkach spełniało kryterium żeliwa EN GJS 400 – 18 – LT lub żeliwa EN GJS 350 –

22 – LT. Powtarzalność w uzyskiwaniu żeliwa do pracy w niskiej temperaturze w wytopach, w których odlewano testowe próby oraz próby klinowe Y2 stanowiące podstawę klasyfikacji żeliwa wynosiła 85%. Zebrane doświadczenie należy przenosić na warunki przemysłowe, które głównie na skalę obiektów (pieców, kadzi, serii odlewów) są naturalnie inne. Kamień milowy KM 1.3 został osiągnięty.

III.2 Wnioski

Kamieniami milowymi istotnymi dla kontynuacji prac nad projektem były KM 1.1 i KM 1.3. Bez uzyskania żeliwa o wysokiej czystości, charakteryzującego się odpornością na działanie niskich temperatur, a także bez zapewnienia powtarzalności procesu jego produkcji, nie będzie uzasadniona kontynuacja prac nad projektem w drugim etapie badań przemysłowych.

Przytoczone rezultaty prac badawczych przeprowadzonych w ramach etapu 1 potwierdzają słuszność przyjętych założeń. W szczególności osiągnięto rezultaty opisane jako KM 1.1 i KM1.3.

Zespół badawczy wystąpił do Przewodniczącego Komitetu Sterującego o wyrażenie zgody na kontynuację prac badawczych i zgodę tę otrzymał.

Załączniki:

1. Raport szczegółowy z badań Wykonawcy (Odlewnia Drawski SA). Etap 1. Zadanie Z1.1.
2. Raport szczegółowy z badań Podwykonawcy (AGH Kraków) Etap I. Zadanie Z.1.2 Zadanie 1
3. Raport szczegółowy z badań Podwykonawcy (AGH Kraków) Etap I. Zadanie Z.1.2 Zadanie 2
4. Raport szczegółowy z badań Podwykonawcy (AGH Kraków) Etap I. Zadanie Z.1.2 Zadanie 3.
5. Raport szczegółowy z badań Podwykonawcy (AGH Kraków) Etap I. Zadanie Z.1.2 Zadanie 4.
6. Raport szczegółowy z badań Podwykonawcy (AGH Kraków) Etap I. Zadanie Z.1.2 Zadanie 5