

1. Wprowadzenie

Raport Wykonawcy (Wydział Odlewnictwa AGH) zadania 1 realizowanego w ramach umowy warunkowej zawartej z Liderem projektu (Odlewnia Żeliwa Drowski S.A) obejmuje dwie części:

- a/ analizę i weryfikację założeń technologicznych przyjętych Lidera dla osiągnięcia rezultatów praktycznych Projektu
- b/ budowę stanowisk laboratoryjnych do prowadzenia procesu wytwarzania wysokojakościowego żeliwa sferoidalnego z wykorzystaniem dwustopniowej jego rafinacji

Zgodnie z opisem Projektu jego celem realizacji jest opracowanie innowacji procesowej w postaci nowej technologii produkcji ferrytycznego żeliwa sferoidalnego o wysokiej czystości, która będzie osiągana na drodze dwustopniowej rafinacji gazowej: w piecu i w kadzi i innowacyjnej technologii jego odlewania. Żeliwo wytwarzane w nowej technologii będzie charakteryzować się wyższymi parametrami w zakresie plastyczności i udarności w niskiej temperaturze (do -40°C) niż aktualnie wytwarzane gatunki w tej klasie, a sam proces produkcji żeliwa osiągnie wysoki stopień stabilności i powtarzalności uzyskiwanych parametrów. Ograniczone zostanie negatywne oddziaływanie form piaskowych (skłonność do zagazowania odlewów) oraz ponadstandardowo zwiększona zostanie skuteczność zatrzymywania produktów nieuchronnej reoksydacji metalu podczas zalewania form, które produkty (FeO, SiO₂, MnO, MgO) przenoszone są do wnętrza formy – odlewu obniżając udarność i plastyczność

W wyniku realizacji badań przemysłowych rozwiązane zostaną następujące problemy technologiczne:

- opracowana zostanie technologia dwustopniowej rafinacji żeliwa wysokojakościowego do pracy w warunkach dynamicznych obciążeń przy niskiej temperaturze (do - 40oC) obejmująca rafinacja wstępną w piecu indukcyjnym i rafinację końcową – w kadzi odlewniczej.

- Wyznaczone zostaną optymalne wartości parametrów prowadzenia rafinacji (czas rafinacji, ilość gazu na tonę metalu, temperatura procesu) dla osiągnięcia maksymalnych efektów zabiegu – oczyszczenia żeliwa z wtrąceń niemetalicznych pochodzących z topienia metalu oraz z procesu sferoidyzacji i modyfikacji jak również działania rafinacji mające na celu obniżenia zawartości takich gazów jak H_2 i CO w żeliwie.
- Wyznaczone zostaną optymalny skład chemiczny żeliwa, charakterystyczne dla poszczególnych gatunków żeliwa sferoidalnego do pracy w niskiej temperaturze
- zdefiniowana zostanie struktura wsadów metalowych dla prowadzenia wytopów, z których wytwarzane będzie ciekłe żeliwo w piecach indukcyjnych
- zdefiniowana zostanie optymalna procedura topienia (czas topienia, temperatura metalu przed obróbką pozapiecową).
- Zoptymalizowana zostanie pozapiecowa obróbka ciekłego metalu (sferoidyzacja i modyfikacja)
- zostaną wyselekcjonowane najlepsze zaprawy sferoidyzujące i modyfikatory, tak aby można było uzyskać żądaną strukturę metalograficzną w odlewach („czysto” ferrytyczna z rozdrobnionym grafitem kulkowym i liczbą kulek powyżej 200 szt/mm²).

Weryfikacja założeń projektowych zostanie dokonana na drodze wykonania serii prób w warunkach laboratoryjnych, w Odlewni Doświadczalnej Wydziału Odlewnictwa AGH. Obróbka pozapiecowa żeliwa z aplikacją podwójnej rafinacji nie jest standardowym zabiegiem, który można wykonać bez wstępnego przygotowania specjalnego oprzyrządowania technologicznego. Dlatego realizację zadania 1 rozpoczęto od przygotowania stanowisk do dwustopniowej rafinacji żeliwa. W dalszej kolejności prowadzone są prace nad oceną skuteczności rafinacji, jako czynnika podwyższającego czystość żeliwa. Oczekiwany skutkiem technologicznym rafinacji jest podniesienie właściwości mechanicznych żeliwa, w tym jego odporności na dynamiczne obciążenie w warunkach niskiej temperatury, a miarą tej odporności jest udarność w niskiej temperaturze.

2. Budowa nowych stanowisko badawczych i ich testowania

2.1 Przygotowania pieca indukcyjnego

Topienie wsadu metalowego jest realizowane w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości (1,7 kHz) o pojemności 30 – 35 kg ciekłego żeliwa. Piec, dla celów realizacji badań został specjalnie przygotowany – wymieniono wymurówkę pieca na nową wykonaną z materiału – cementu wysokotemperaturowego CALDERYS – MIX S.C. 841418. Po wykonaniu wymurówki robocza przestrzeń pieca ma wymiary: $H = 330 \text{ mm}$ i $D = 140 \div 160 \text{ mm}$. Duża smukłość wnęki roboczej pieca (S) przekraczająca wartość $S > 2,20$, powinna sprzyjać szybkiemu topieniu metalu i jest ponadto korzystne z punktu widzenia rafinacji gazowej metalu. Gaz przepływa od dna przez całą objętość metalu w tyglu. Piec przygotowany do wykonania serii próbnych wytopów pokazano na rysunku 1.1.



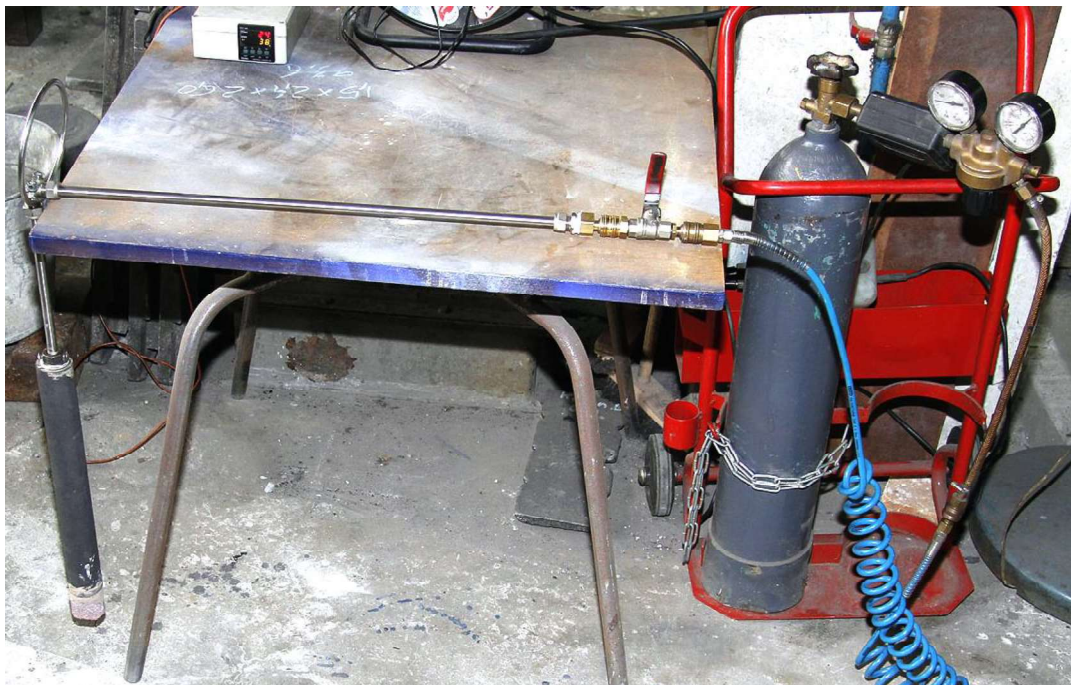
Rys.1.1. Piec indukcyjny Średniej częstotliwości przygotowany do wytopów żeliwa wysokojakościowego (przygotowanie lancy do rafinacji żeliwa)

Korzystnym parametrem pieca jest jego zdolność do szybkiego topienie. Wsad metalowy o masie około 35 kg może być roztopiany i przegrzewany do ponad 1500°C w czasie nie dłuższym niż 15 ÷ 20 min. Szybkie topienie i przegrzewanie metalu jest korzystnym rozwiązaniem z punktu widzenia zachowania (uzyskania) dobrej jakości żeliwa wyjściowego do obróbki pozapiecowej – sferoidyzacji. Przy takiej technice szybkiego topienie wsadu nie dochodzi do nadmiernej utraty naturalnych zarodków krystalizacji (klastrow grafitu), a ponadto nie następuje niekontrolowane wypalanie się węgla, które jest charakterystyczne dla powolnego topienie. Również obserwuje się mniejsze straty innych składników żeliwa i tworzenia z nich zgaru, w tym Si, Mn. Szybkie topienie jest zalecane we wszystkich technologiach przygotowania żeliwa do obróbki pozapiecowej w stanie ciekłym w celu uzyskania żeliwa sferoidalnego.

Konstrukcja pieca w odlewni doświadczalnej AGH nie pozwala natomiast na umieszczenie w nim (w jego dnie) wkładek gazo przepuszczalnych potrzebnych do realizacji **wstępnej rafinacji** żeliwa. Dlatego została ona przygotowana rafinacji przy użyciu lancy z wkładka gazo przepuszczalną na jej końcu.

2.2 Przygotowania lancy do rafinacji żeliwa w pieca indukcyjnym

Konstrukcja lancy do rafinacji w piecu pokazana została na rysunku 1.2. Zbudowana została z kilku elementów: 1- stalowej rurki do transportu gazu, 2 – grafitowej osłony tej rurki, 3 – wkładki (filtra) gazo przepuszczalnego, 4 – zaworu do sterowania przepływem gazu rafinującego, 5 – złącza do przyłączenia przewodu dozowania gazu z butli. Lanca przeznaczona jest do rafinacji żeliwa w piecu doświadczalnym Odlewni AGH, może być wykorzystana również do rafinacji w tyglu, którego wymiary (wysokość) są zbliżone do głębokości przestrzeni topienie (do około 500 mm) . Zawór (4) pozwala na sterowanie wydatkiem gazu z butli. W dalszej rozbudowie stanowiska na drodze przepływu gazu z butli do filtra i ciekłego metalu zostanie (może zostać) umieszczony przepływomierz gazu, dla pełnej kontroli parametrów procesu rafinacji. Widok lancy do rafinacji pokazano na rysunku 1.2, a samej jej końcówki zanurzanej do metalu – na rysunku 1.3. Grafitowa osłona metalowej rurki chroni ją przed roztopieniem się w ciekłym metalu.



Rys. 1.2. Konstrukcja i wygląd lancy do rafinacji żeliwa w piecu (w tyglu)



Rys. 1.3. Końcówka lancy z gazo przepuszczalną wkładką umieszczoną na jej końcu.

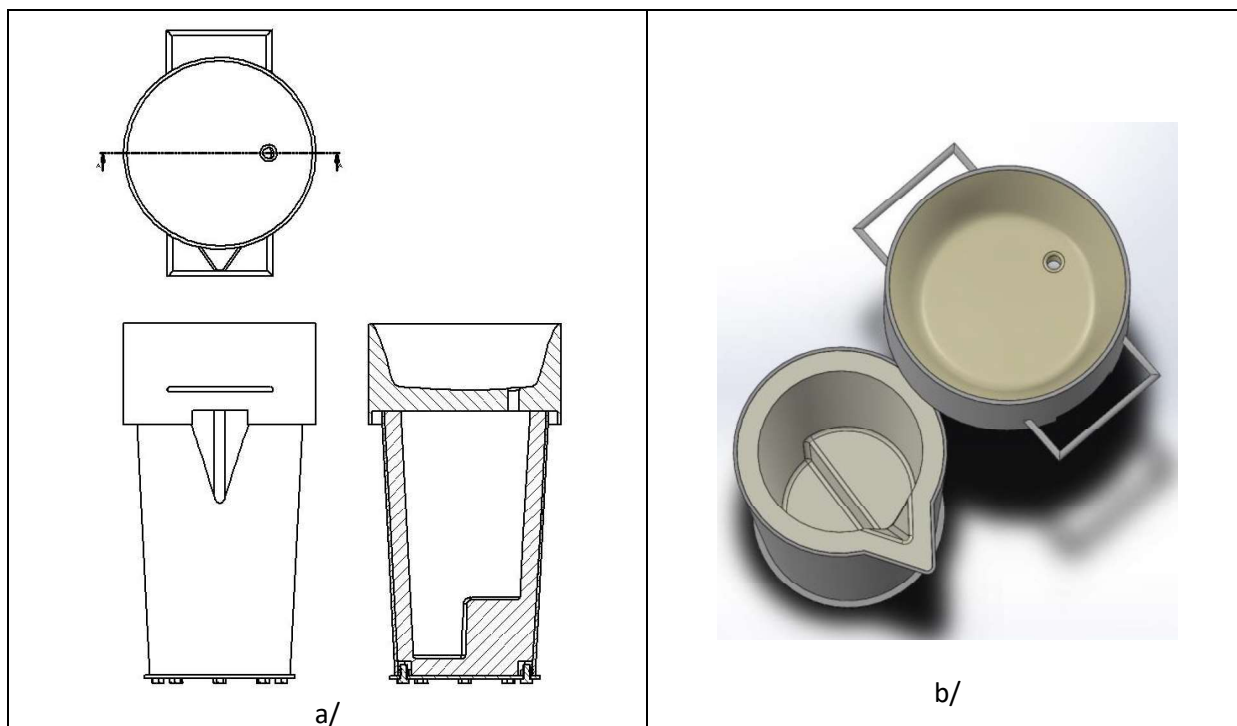
2.3 Przygotowania kadzi do rafinacji żeliwa po sferoidyzacji

2.3.1. Kadź do sferoidyzacji metodą Tundish

W ramach projektu przewidziano realizację zabiegu sferoidyzacji żeliwa dwoma technologiami:

- z zastosowanie kadzi szczelnie zakrytej (metoda Tundish)
- metodą przewodu elastycznego (PE), zwana niekiedy metodą drutową (druć rdzeniowany)

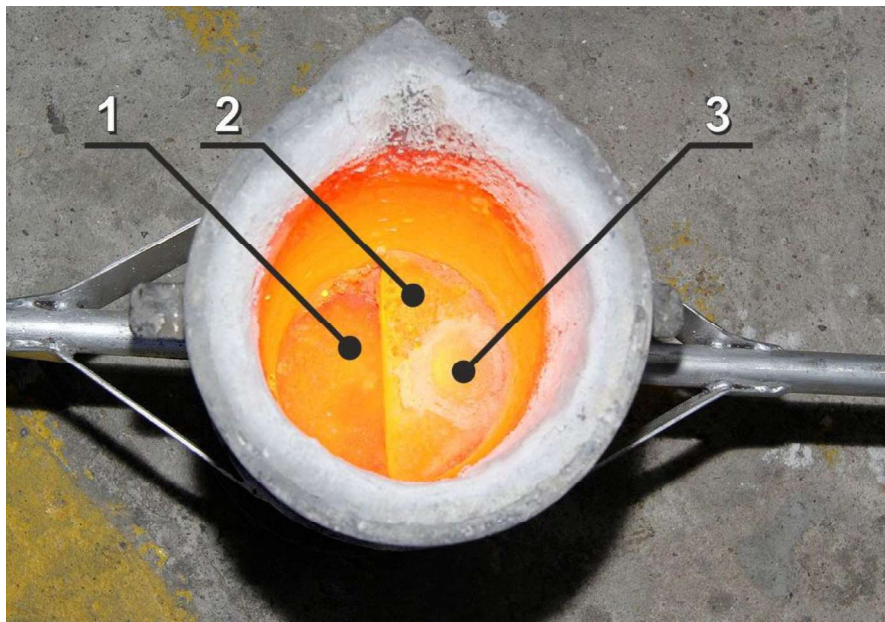
Konstrukcja kadzi Tundish została pokazana jest na rysunku 1.4. Kadź ma pojemność 25 – 30 kg żeliwa, charakteryzuje się smukłością $S > 2,0$. Otwór w pokrywie kadzi został tak zaprojektowany, aby czas wypełniania kadzi metalem trwał około 20 sek. W kieszeni kadzi utworzonej w dolnej jej części umieszczana jest wcześniej odmierzona porcja niskomagnezowej zaprawy (np. FeSi75Mg9, FeSi75Mg6) oraz wprowadzana jest porcja modyfikatora. Po napełnieniu kieszeni zaprawę i modyfikatorem ich powierzchnię przykrywa się cienką warstwą wiórów żeliwnych (najlepiej wiórów żeliwa sferoidalnego, które mają za zadanie opóźnienie moment początku rozpuszczania się zaprawy magnezowej zaprawy. Dzięki takiemu rozwiązaniu, zanim rozpuszczą się wióry i odsłoni powierzchnia zaprawy, słup metalu w kadzi osiągnie odpowiednio dużą wysokość nad zaprawą, co sprzyja ograniczeniu burzliwości samego procesu rozpuszczania zaprawy magnezowej oraz sprzyja podwyższeniu współczynnika przyswojenia magnezu.



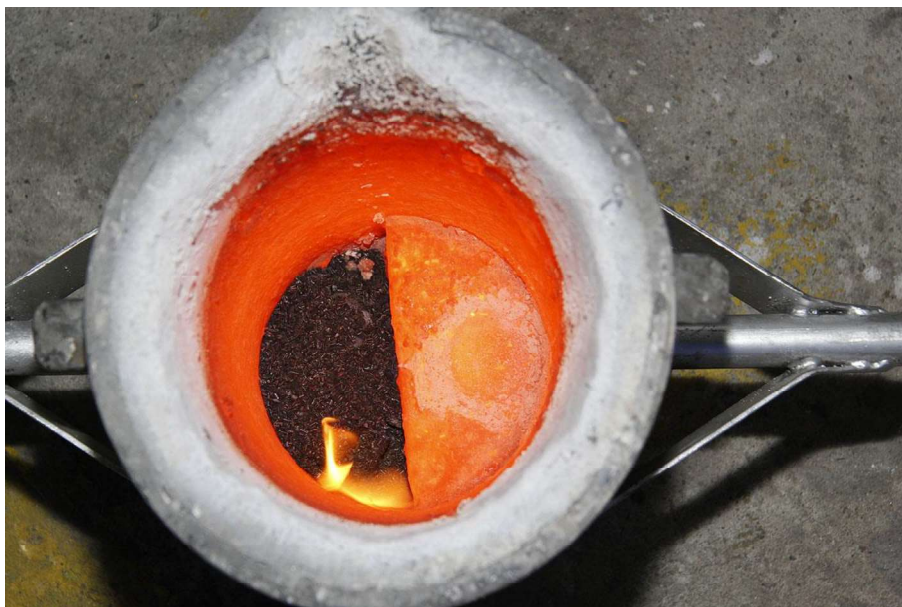
Rys. 1.4. Konstrukcja kadzi szczelnej z pokrywą do sferoidyzacji technologią Tundish

Proces wypełniania kadzi ciekłym metalem przebiega dwuetapowo: w pierwszej kolejności, po zakryciu otworu w dnie pokrywy, prowadzi się jej napełnianie metalem, w drugim – po odsłonięciu otworu (podniesieniu zatyczki) rozpoczyna się równomierne pod względem szybkości wypełnianie kadzi ciekłym żeliwem. Metal w drugim okresie jest dolewany do zbiornika w pokrywie w taki sposób, aby zbiornik był wypełniony w pełni przez okres napełniania kadzi. Kadź, której konstrukcję opisano powyżej, dla celów rafinacji została wyposażona w gazo przepuszczalny filtr (wkładkę), który został umieszczony w jej dnie. Sposób umieszczenia filtra został pokazany na szkicu 1.5 i na zdjęciu kadzi przygotowanej do procesu sferoidyzacji (rys. 1.6). Wkładka (filtr) został umieszczony w podwyższonym segmencie dna kadzi. Z zaworem gazu rafinującego został połączony bocznym wyjściem. Zawór wykorzystywany jest do sterowania dozowaniem gazu rafinującego żeliwa. Gaz może być dozowany w dwóch okresach: w trakcie samego procesu

sferoidyzacji lub po jego zakończeniu. Dalsze badania powinny pozwolić określić, które rozwiązania jest bardziej korzystne.



Rys. 1.5. Konstrukcja kadzi Tundish z wkładką gazo przepuszczalną w jej dnie – stan przygotowanie do wytopu (1- komora reakcyjna, 2 – podwyższona część dna kadzi, 3- ceramiczna wkładka gazoprzepuszczalna)



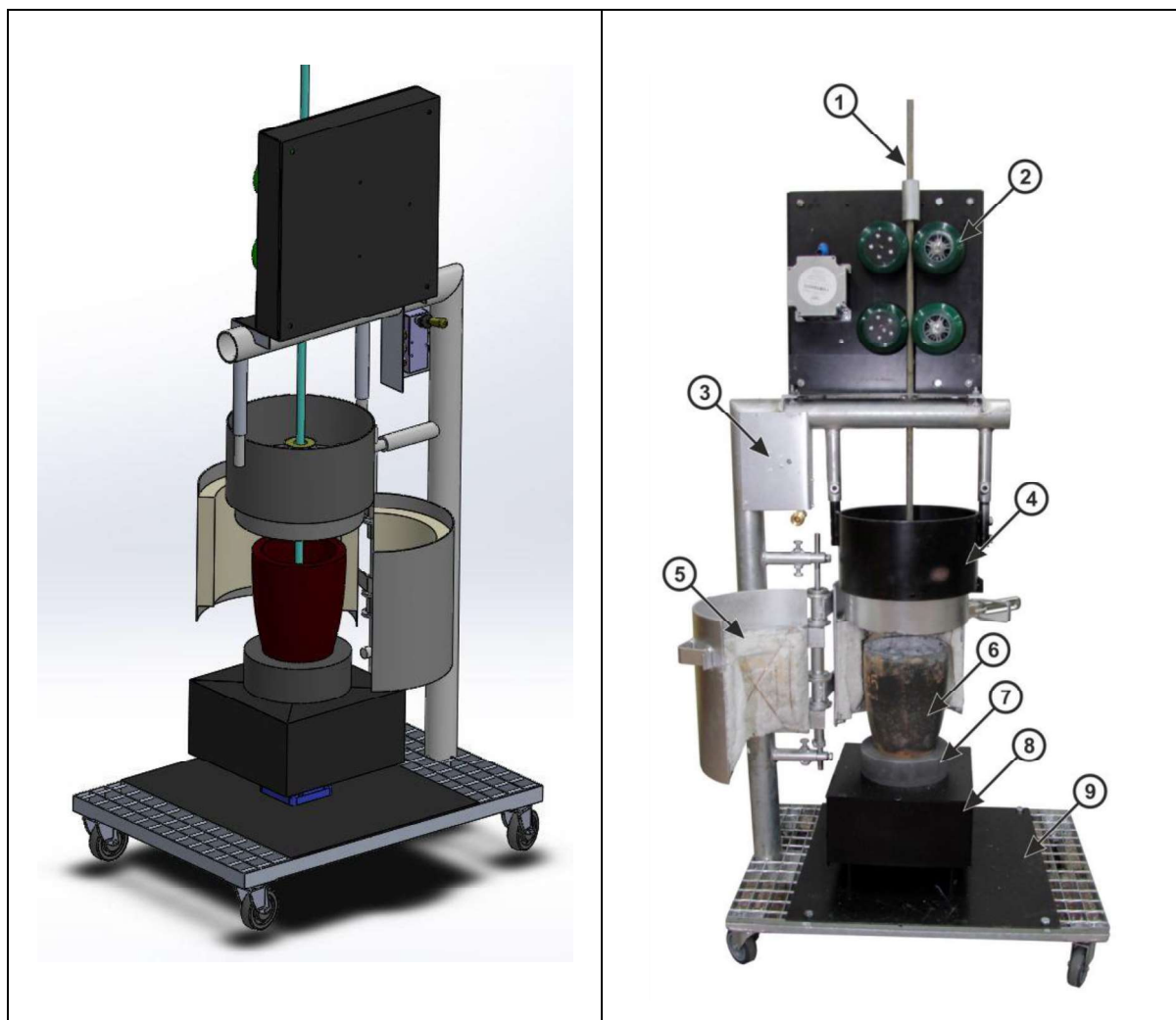
Rys. 1.6. Wygląd kadzi Tundish z wkładką gazo przepuszczalną w dnie przygotowanej do zespolonej obróbki pozapiecowej żeliwa (sferoidyzacji i rafinacji żeliwa)



Rys. 1.7. Doświadczalna kadź typu Tundish po sferoidyzacji, w trakcie przygotowania do rafinacji żeliwa (podłączony układ dozowania gazu)

2.3.2. Kadź do sferoidyzacji metodą PE i rafinacji w kadzi

Dla wykonania badań nad sferoidyzacją żeliwa metodą PE z dodatkową rafinacją zbudowano dodatkowe oprzyrządowanie do stanowiska badawczego. Wydział Odlewnictwa dysponuje laboratoryjnym stanowiskiem do zmechanizowanego wprowadzania przewodu PE do ciekłego żeliwa w tyglu o pojemności 15 kg. Stanowisko (zaprojektowane i wykonane przez zespół pracowników pod kierownictwem J. Zycha) pokazano na rysunku 1.8.



Rys. 1.8. Prototypowe, mobilne stanowisko do sferoidyzacji żeliwa metodą PE, (opracowane przez J. Zych wraz zespołem)

Sterowanymi parametrami jest szybkość wprowadzania przewodu PE do ciekłego metalu oraz czas tego zabiegu. Szybkość może być dobierana w szerokim zakresie zmienności, dopasowanym do procesu sferoidyzacji tą techniką. Szybkość, dobierana najczęściej doświadczalnie, powinna być powiązana z temperaturą żeliwa i wysokością słupa metalu w tyglu (kadzi).

Rafinacja metalu w tyglu grafitowym o niewielkiej pojemności (15 kg) nie miałaby uzasadnienia i sensu i najprawdopodobniej nie byłaby skuteczna. W ramach realizowanego projektu rozbudowane zostało stanowisko, dla uzyskania możliwości rafinacji większych porcji metalu (~30kg) . Stanowisko zostało przebudowane i

dostosowane do sferoidyzacji i rafinacji z wykorzystaniem części głównej kadzi Tundish pokazanej na rysunkach 1.9 – 1.11 powyżej. Zbudowano dodatkowa pokrywę, która umożliwia wprowadzanie do ciekłego metalu przewodu PE z zaprawą magnezową. Pokrywa kadzi pokazana na rysunku 1.9 pozwala na centralne wprowadzanie PE do kadzi z ciekłym metalem. Kadź, po umieszczeniu jej na stanowisku sferoidyzacji jest dociskana do pokrywy (podniesienie i dociśnięcie kadzi do nieruchomej pokrywy). Dociśnięcie pokrywy do górnej powierzchni kadzi ogranicza zewnętrzne efekty błysków podczas samego procesu rozpuszczania zaprawy magnezowej w ciekłym żeliwie. Rozpuszczaniu magnezu i jego stopów w żeliwie zawsze towarzyszą silne błyski związane ze spalaniem się par Mg.



Rys. 1.9. Pokrywa kadzi do sferoidyzacji metodą PE

Zamontowaną kadzi na stanowisku do sferoidyzacji pokazano na zdjęciu - rys.1.8.



Rys. 1.10. Mobilne stanowisko do sferoidyzacji żeliwa metodą PE z układem dozowania gazu rafinującego przez wkładkę gazo-przepuszczalną umieszczoną w dnie kadzi

Mobilny charakter stanowiska pozwala przemieszczać się z nim w miejsca bliskie pieca indukcyjnego i miejsca podgrzewania kadzi przed napełnianiem jej żeliwem. Stanowiska te (piec i stanowisko nagrzewania kadzi) znajdują się w Odlewni doświadczalnej Wydziału Odlewnictwa AGH.

Proces rafinacji na stanowisku pokazanym na rysunku 1.11 może być prowadzony równolegle ze sferoidyzacją lub po zakończeniu. Określenia, który z wariantów technologii jest korzystniejszy zostanie zweryfikowane doświadczalnie w trakcie przewidzianych harmonogramem prób i testów.



Rys. 1.11. Umieszczanie kadzi z ciekłym żeliwem na mobilnym stanowisku do sferoidyzacji żeliwa metodą PE z układem dozowania gazu rafinującego

2.4. Wytopy testujące zbudowane stanowiska badawcze

2.4.1. Przygotowanie i topienie oraz obróbka ciekłego metalu

W celu uzyskania opinii o właściwych rozwiązaniach w zakresie przygotowania i wykonania stanowisk doświadczalnych do kompleksowej obróbki ciekłego żeliwa, w tym rafinacji w piecu oraz sferoidyzacji w kadzi połączonej z rafinacją gazem wykonano serię wytopów w opisanym wcześniej piecu indukcyjnym średniej częstotliwości. Materiałem wsadowym była surówka specjalna o składzie chemicznym podanym w tabeli 1. Wsad metalowy uzupełniano żelazokrzemem oraz zwiększano zawartość węgla przez nawęglanie grafitem syntetycznym. Żeliwo sferoidalne o maksymalnej udarności w obniżonej temperaturze powinno mieć ośnowę „czysto” ferrytyczną. Aby ją osiągnąć we wlewkach próbnych typu Y

zawartość węgla powinna być utrzymana na poziomie $C > 3,80\%$ przy zawartości krzemu również wysokiej, w granicach: $2,60\% < Si < 2,80\%$. Z drugiej strony, z uwagi na możliwość powstawania ferrytu krzemowego, składnika „twardego” osnowy, żeliwo ferrytyczne o wysokiej udarności powinno się osiągać przy możliwie niskich zawartościach krzemu. Bardzo ograniczona musi być zawartość manganu ($Mn < 0,10$) oraz fosforu ($P < 0,10$, korzystniej przy $P < 0,05\%$) oraz zawartość siarki w żeliwie [najkorzystniej $S < 0,050\%$]. Zawartość pozostałych pierwiastków perlitotwórczych (Cu, Cr, Ni, itp.) również powinna być utrzymana na możliwie niskim poziomie. Skład chemiczny używanej surówki stwarza takie szanse uzyskiwania końcowego składu wg opisanych wyżej zaleceń. Również żeliwo syntetyczne wytwarzane ze złomy stalowego i nawęglane może być dobrym materiałem wyjściowym do produkcji żeliwa o wysokiej udarności w stanie lanym.

Parametrami procesu topienia, sferoidyzacji, modyfikacji i rafinacji były:

- masa wsadu metalowego ($\sim 25,0$ kg)
- czas topienie ($20 \div 25$ min)
- temp. przegrzania ($T_{\text{przegrz.}} = 1520 \div 1530^{\circ}\text{C}$)
- Czas utrzymywania w tem. maksymalnej ($\tau_{\text{przegrz}} = 3 \div 5,0$ min.)
- Czas rafinacji w piecu ($\tau_{\text{raf.}} = 1,0 \div 1,50$ min.)
- Zawartość magnezu resztkowego ($Mg_{\text{reszt}} = 0,030 \div 0,040\%$)
- Czas rafinacji w kadzi ($\tau_{\text{raf.kadz}} = 1,0 \div 1,50$ min.), rys. 1.13.
- Modyfikacja dwu lub trzystopniowa: 1 – modyfikator dodawany z zaprawą magnezową, 2 – modyfikacja w kadzi po sferoidyzacji, 3 – modyfikacja dodatkowa w zbiorniku wlewowym (podczas odlewania wlewków Y)
- Temperatura zalewania $T_{\text{zal}} \sim 1320 \div 1350^{\circ}\text{C}$, lub nieco wyższa,
- Nagrzewanie palnikiem kadzi przed spustem do niej żeliwa ($T_{\text{kadz}} \sim 650 \div 700^{\circ}\text{C}$), rys. 1.12.
- Czas napełniania kadzi przez otwór w pokrywie ($\tau_{\text{napeł.kadz.}} = 23 \div 25$ sek).

Tabela 1. Skład chemiczny surówki używanej w trakcie testowych wytopów w Odlewni AGH

Nr wytopu	Skład chemiczny									
	Zawartość pierwiastka [%]									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mg	Fe
R1	////									
R2.1	Surówka	3,40	0,74	0,00470	0,0962	<0,00050	0,0359	0,0291	0,00149	95,62
		3,44	0,73	0,00539	0,0961	<0,00050	0,0367	0,0303	0,00179	95,58



Rys. 1.12. Nagrzewanie kadzi palnikiem gazowym na stanowisku do wygrzewania doświadczalnych kadzi odlewniczych



Rys. 1.13. Rafinacja żeliwa w piecu laboratoryjnym indukcyjnym o pojemności 35kg

2.4.2 Odlewanie próbek do badań

Wykonano serię (po 3 – 4 wytopów dla każdej z odmian technologii) z aplikacją sferoidyzacji wg technologii kadzi szczelnie zakrytej (Kadź Tundish) oraz w technologii przewodu elastycznego PE (druetu rdzeniowanego). Z każdego wytopu wykonywano próbki lub realizowano testy, które obejmowały:

- Odlewanie próbek do badań składu chemicznego przy użyciu spektrometrów iskrowych,
- Odlewano próbki analizy termicznej, dla oceny procesu sferoidyzacji i oceny ogólnej uzyskanego żeliwa,
- Odlewano znormalizowane wlewki próbne typu Y ($g = 25\text{mm}$) do przygotowania prób do oceny parametrów wytrzymałościowych i uduarności żeliwa,
- Odlewano próbki schodkowe, dla oceny wrażliwości żeliwa na szybkość stygnięcia,
- Odlewano wlewki (wałki) $\varnothing 30 \times 300\text{mm}$ do realizacji badań uzupełniających,
- Próbki klinowe wg PN, dla oceny skłonności do zabielen (grafityzacji) żeliwa po obróbce pozapiecowej.

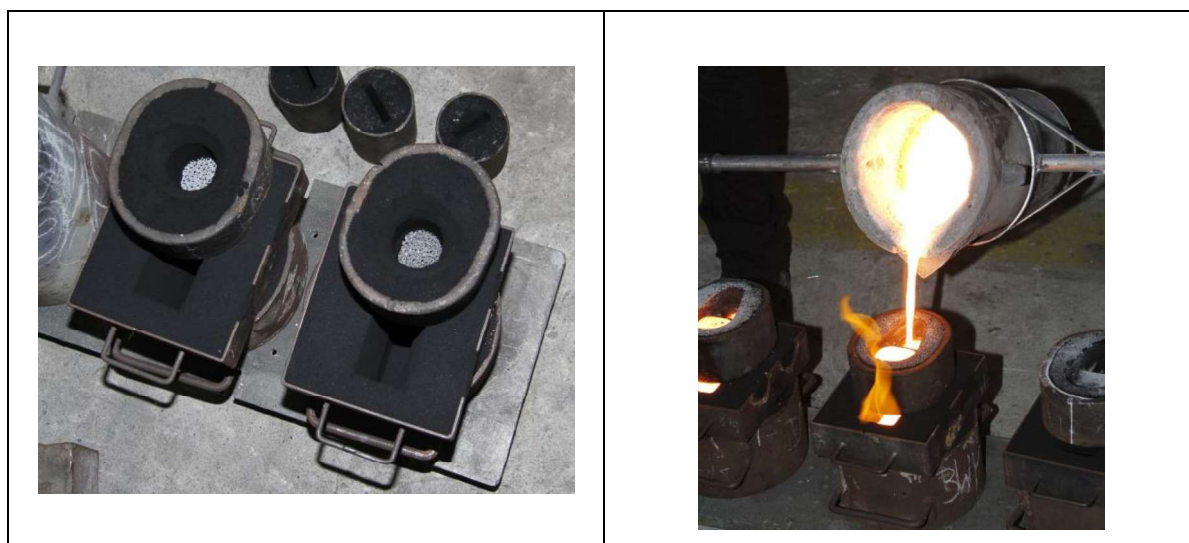
Formy na wlewki typu Y przygotowywano zgodnie z obowiązującą normą, w stanie po wysuszeniu. Odlewy wybijano z form po ich wystygnięciu do temp. nie wyższej niż $T_{\text{wyb.}} < 400^{\circ}\text{C}$. Dla uzyskania struktury ferrytycznej w odlewach koniecznej jest zachowanie dłuższego czasu przetrzymywania odlewów w formie, konieczny jest dłuższy czas stygnięcia. On jest funkcją grubości ścianek odlewu (ściślej ich modułu krzepnięcia).

Wytopy doświadczalne są kontynuowane, a wyniki tej części badań będą przedmiotem raportu z kolejnego zadania 2 realizowanego w ramach umowy warunkowej z AGH.

Na kolejnych fotografiach zarejestrowano wykonywanie odlewów i wlewków próbnych – zalewanie przygotowanych próbników, kokilek i form. I tak: na rysunku 1.13 pokazano zalewanie próbników do analizy termicznej, a na rysunku 14 przygotowanie form wlewków typu Y i ich zalewania.



Rys.1.14.Zalewanie próbników do analizy termicznej (ATD)



Rys. 1.15. Zalewanie form wlewków próbnych z układem z filtrem piankowym w zbiorniku wlewowym



Rys. 1.16. Zalewanie form wałków próbnych z modyfikacją „na strugę”.

2.4.2 Pilotażowe wyniki wstępnych prób

Aktualnie są przygotowywane próbki do pełnej oceny właściwości wykonanej serii wytopów i odlanych wlewków typu Y. Wstępne badania obejmują ocenę struktury żeliwa, postaci wydzieleni grafitu, wielkości wydzieleni i ich liczby na 1mm², rodzaju uzyskanej osnowy. Wstępne oceny obejmują badania składów chemicznych wytworzonych w poszczególnych wytopach żeliw, po to aby wprowadzać korektę w dalszych wytopach. Za najkorzystniejszą „trafioną” należy uznać wytop oznaczony numerem R 3.3. Stopień przyswojenia magnezu, zgary pierwiastków, skuteczność uzupełniania składu węglem i krzemem wymaga wykonania kilku prób. Parametry te są uzależnione od specyfiki całego procesu. Dlatego pierwsze wytopy traktowane są jako pilotażowe.

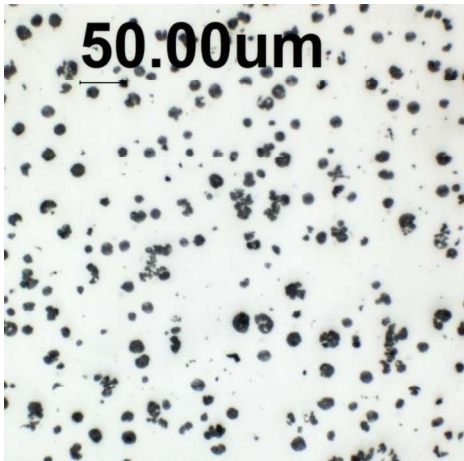
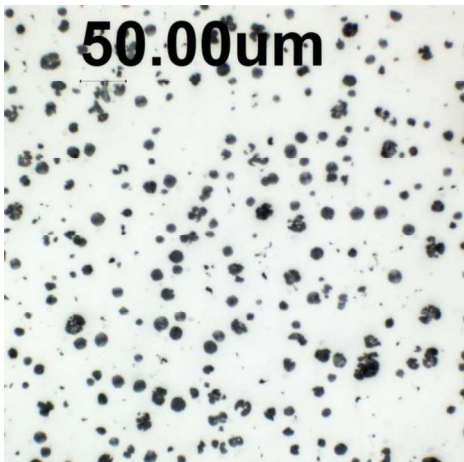
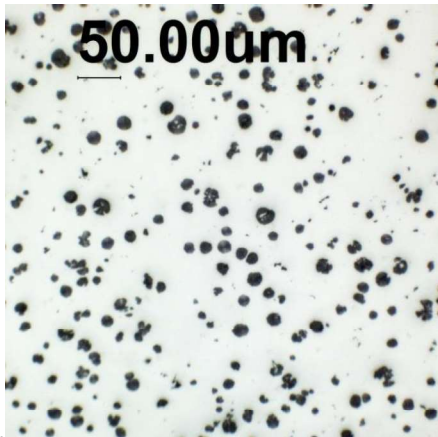
Tab. 2 . Uzyskiwane w wytopach składy chemiczne żeliwa poddawanego rafinacji

R1	////	C	Si	Mn	P	S	Mg
R2.1	Surówka	3,40	0,74	0,00470	0,0962	<0,00050	0,00149
		3,44	0,73	0,00539	0,0961	<0,00050	0,00179
R2.2	Po sfero. Przed mod.	3,51	1,53	0,00920	0,0724	<0,00050	0,00286
		3,42	1,53	0,00929	0,0681	<0,00050	0,00230
R2.3	Po wszystkim	3,45	2,49	0,03460	0,0529	<0,00050	0,02630
		3,66	2,49	0,03420	0,0449	<0,00050	0,02110
R3.1	Z pieca	3,72	1,72	0,01340	0,0724	<0,00050	0,00355
R3.2	Po sfero. Przed mod.	---	2,65	0,01730	<0,0012	<0,00050	0,04885
R3.3	Po wszystkim	3,99	2,85	0,04260	0,0565	<0,00050	0,04320
R4.1	z pieca	3,86	1,61	0,01220	0,0713	<0,00050	0,00147
R4.2	Po wszystkim	3,74	2,54	0,04050	0,0685	<0,00050	0,03020

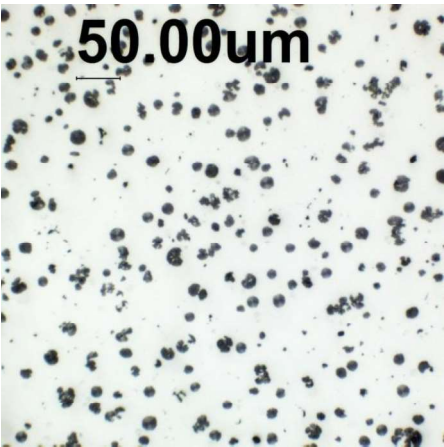
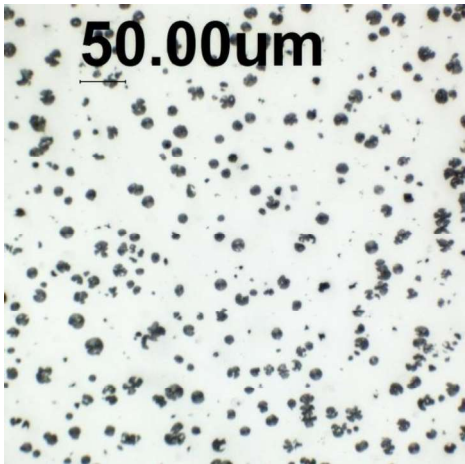
Przykłady uzyskiwanej mikrostruktury we wlewkach próbnych pokazano na pokazano w tabelach 3 i 4. W tabeli 3 pokazane są mikrostruktury na zgładach nietrawionych dla oceny cech wydzieleni grafitu, a w tabeli 4 struktury po wykonaniu trawienia dla ujawnienia mikrostruktury osnowy. W założeniach Projektu jest uzyskiwanie drobnych wydzieleni grafitu i to jest już osiągnięte (ponad 200 kulek/mm²) i uzyskiwanie osnowy „czysto” ferrytycznej i jak pokazano to w tabeli 4 jest również uzyskiwane niemal w pełni.

Uzyskiwanie zaprezentowanej w przykładzie tab. 3 i tab.4 mikrostruktur żeliwa jest możliwe przy zachowaniu wielu parametrów procesu, w tym składu chemicznego oraz wielostopniowej modyfikacji.

Tab. 3. Wydzielenia grafitu w strukturze żeliwa sferoidalnego odlanego w postaci wlewka próbnego Y.

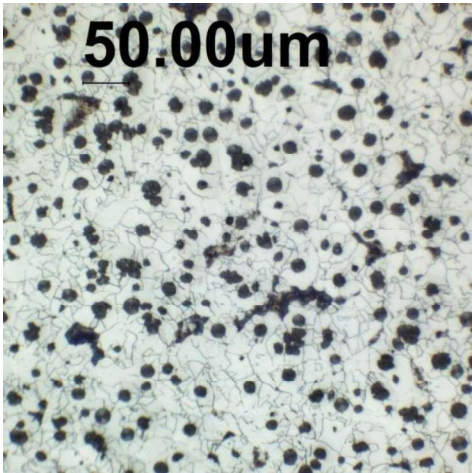
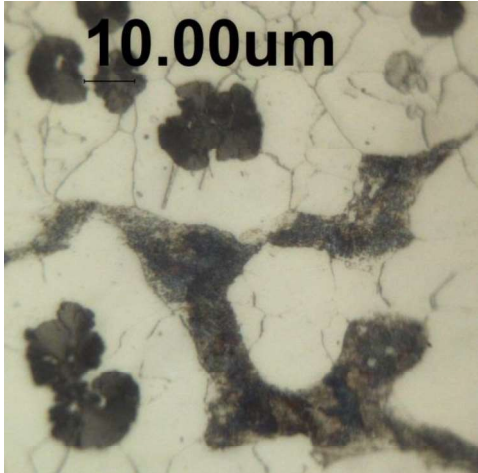
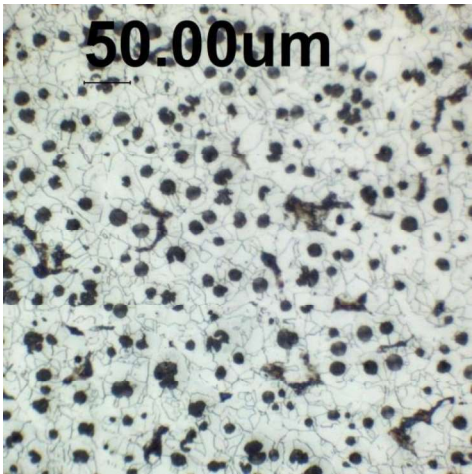
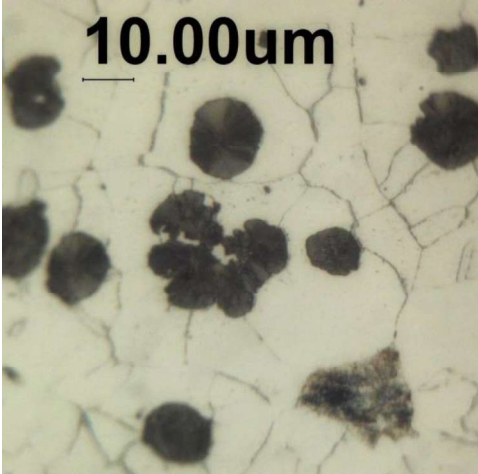
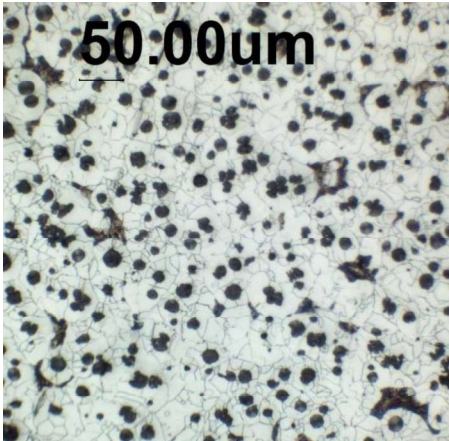
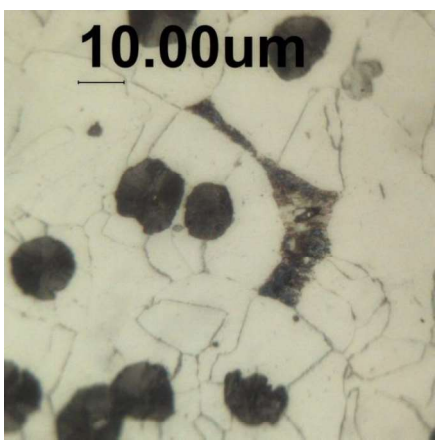
L.p.	PRZED TRAWIENIEM pow. 100x	WYDZIELENIA GRAFITU
1.		199 kulek/mm ²
2.		237 kulek/mm ²
3.		217 kulek/mm ²



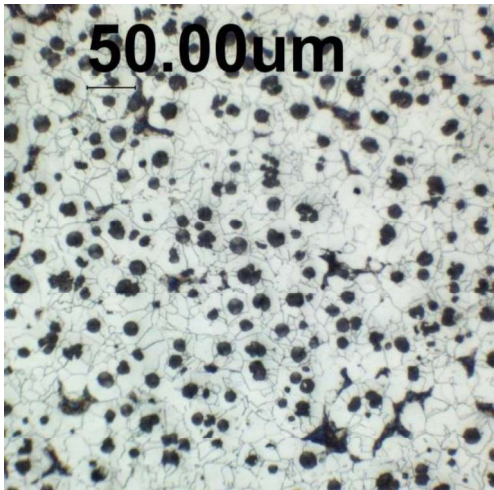
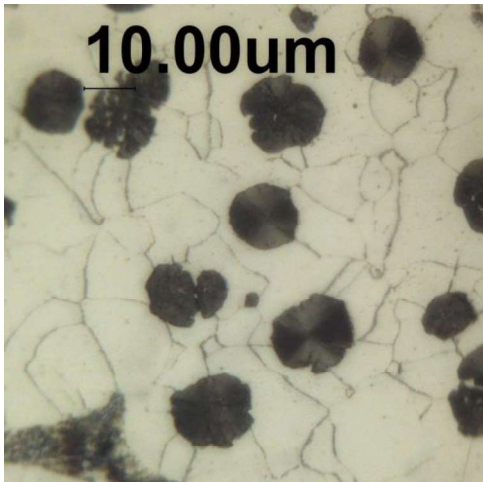
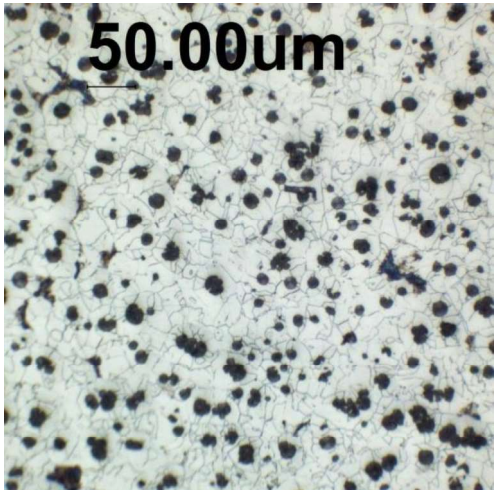
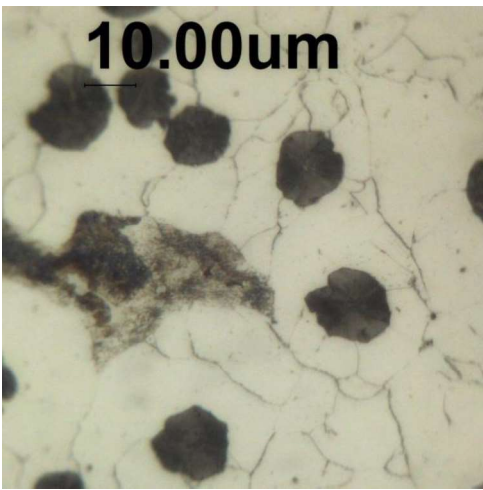
4.		217 kulek/mm ²
5.		256 kulek/mm ²



Tab. 4. Osnowa żeliwa sferoidalnego (wytop R.3) odlanego w postaci wlewka próbnego typu Y

L.p.	PO TRAWIENIU pow. 100x	PO TRAWIENIU pow. 500x
1.		
2.		
3.		



4.		
5.		

Osnowa metalowa żeliwa pokazana w tabeli 4 jest, w świetle wymagań normy, fertyczna (udział perlitu poniżej 5%). Jest to struktura do osiągnięcia której należy dążyć zarówno w warunkach laboratoryjnych ale i warunkach przemysłowych. Na fotografiach, szczególnie przy analizie przy powiększeniu x 500, nie są widoczne wtrącenia niemetaliczne, co można by przypisać rafinacji żeliwa. Są to jednak początkowe wyniki badań i wnioskowanie musi być na tym etapie ostrożne. W dalszych badaniach wyniki badań mikrostruktury zostaną poparte innymi badaniami (właściwości mechaniczne, udarność, badaniami przełomów, itp.) i muszą być ponadto porównane do żeliwa uzyskanego w warunkach „bez rafinacji”.

PODSUMOWANIE

Celem realizacji zadania 1 było zbudowanie, w skali laboratoryjnej (do 35 kg metalu) infrastruktury badawczej do realizacji dwustopniowej rafinacji żeliwa w trakcie procesu jego obróbki w stanie ciekłym, przy dążeniu do wytworzenia struktury żeliwa sferoidalnego. Cel ten został osiągnięty, co udokumentowano w raporcie powyżej prezentując nowe stanowiska doświadczalne oraz wykonanie wstępnych, testowych prób.

Na etapie badań pilotażowych zostały wstępnie określone warunki prowadzenia procesu wytwarzania żeliwa sferoidalnego o dużej czystości (jako skutek rafinacji), posiadającego strukturę drobnoziarnistych wydzieleni grafitu kulkowego (powyżej 200 kulek/mm²), żeliwa charakteryzującego się ferrytyczną osnową, którą osiąga się na drodze dobrania składu chemicznego, obróbki pozapiecowej oraz kilkustopniowej modyfikacji. W ramach kolejnych zadań prace będą obejmować kontynuację wytopów próbnych oraz ocenę właściwości fizycznych, mechanicznych (w tym udarność w niskiej temp.) oraz właściwości technologicznych.

Kraków 15.09.2019

dr. hab. inż. Jerzy Zych, prof. nadzw.

.....

/ kierownik Projektu w AGH/