

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**mgr inż. Jacek Nowak**

p.t. „Wpływ namiarów wsadowych na mikrostrukturę i wybrane właściwości żeliwa sferoidalnego wytapianego przy zadanej temperaturze przegrzania”

opracował

dr hab. inż. Dawid Myszka

Wydział Inżynierii Produkcji

Politechnika Warszawska

**Podstawa opracowania recenzji**

Opinię opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z dnia 5 lutego 2019r. (sygnatura: WO-sd.510-15-02/2019).

**1. Ocena tematyki rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska poświęcona jest ważnemu zagadnieniu wytwarzania żeliwa sferoidalnego, które jest jednym z najpopularniejszych tworzyw odlewniczych w produkcji przemysłowej. Jest to materiał znany od ponad 70 lat, lecz nie oznacza to, że jest on poznany ostatecznie. Wciąż pojawiają się nowe odkrycia, które rozszerzają spektrum możliwości żeliwa sferoidalnego, a szczególnie jego potencjalne zastosowania na części maszyn i urządzeń. W ostatnim czasie to głównie obróbka cieplna i kształtowanie osnowy żeliwa dominuje przestrzeń badawczą, jednak nie należy zapominać, że podstawą do uzyskania optymalnych jego właściwości jest pożądaný kształt grafitu przy ściśle określonym składzie chemicznym. To on, w korelacji z umiejętnie zaprojektowaną osnową, w głównej mierze zapewniają uzyskanie odpowiednich gatunków żeliwa sklasyfikowanych wg restrykcyjnych

norm, ale też takich, spełniających kryteria określone indywidualnie przez producenta lub zleceniodawcę do specjalnych zastosowań. Niezmiernie ważne jest zatem, aby przy wytwarzaniu odlewów z żeliwa sferoidalnego zachowywać odpowiednio wysokie standardy prowadzenia produkcji, co daje gwarancję uzyskania określonej struktury i właściwości.

Produkcja żeliwa sferoidalnego w Polsce określana jest na poziomie 16%, co nieco odbiega na niekorzyść w stosunku do produkcji europejskiej (29%) czy światowej (27%). A mając na uwadze to, że wytwarzanie żeliwa sferoidalnego jest uznanym wyznacznikiem poziomu rozwoju technologicznego, można stwierdzić, że kierunek badań prowadzący do przeniesienia na wyższy poziom warunków produkcji w krajowych odlewniach jest słuszny. Prace prowadzące do zwiększenia udziału tego materiału w polskiej produkcji są ze wszelkich miar uzasadnione, tym bardziej jeśli prowadzenie prac badawczych na liniach produkcyjnych wnosi nowości do świata nauki.

Producenci żeliwa najczęściej mierzą się z takimi problemami jak kosztocłonność materiału wsadowego czy optymalizacja technologii wytopu i obróbki pozapiecowej. Te aspekty zostały przedstawione w pracy w bardzo wnikliwy sposób i umożliwiają oprócz naukowych aspektów, znalezienie rozwiązań procesowych gotowych do adaptacji na linii produkcyjnej. Praca określa w sposób ilościowy udział poszczególnych grup składników wsadowych tj. złomu stalowego, złomu obiegowego oraz surówki, a także ich wpływ na uzyskiwanie odlewów o niskim współczynniku wadliwości oraz określonych właściwościach końcowych. Bierze również pod uwagę niestabilne warunki procesu związane z produkcją przemysłową tj. przegrzanie stopu. Przedstawione zostały również analizy ekonomiczne i podsumowanie energochłonności procesów wskazujące na aplikacyjność badanych rozwiązań.

## **2. Zawartość rozprawy**

Pierwsza część pracy to studium literatury, w którym przedstawiono niemal wszystkie aspekty wytwarzania odlewu z żeliwa sferoidalnego tj. określenie, dobór i obliczenie materiałów wsadowych do wytopu, technologię wytopu, obróbkę pozapiecową oraz kształtowanie struktury odlewu podczas krzepnięcia i stygnięcia z różną szybkością i w zróżnicowanych warunkach. Część ta jest opracowana, podobnie zresztą jak całość pracy, bardzo starannie oraz napisana zrozumiałym i ładnym technicznie językiem.

Szczególne uwagę zwrócono w tej części na przedstawienie wszystkich aspektów związanych ze składnikami wsadu piecowego. Te zagadnienia są zazwyczaj ważne dla producentów, a rzadko znajdują odzwierciedlenie w opracowaniach naukowych. A przecież również wiążą się z interesującymi badawczo procesami np. wpływem zawartości pierwiastków śladowych,

ilości wtrąceń niemetalicznych lub zawartości gazów na metalurgiczne przygotowanie kąpieli metalowej do odlewania.

Przedstawiono wpływ pierwiastków stopowych, odmierzanych w odpowiedniej proporcji, na właściwości żeliwa w sposób podobny do wielu opracowań dotyczących żeliwa. Jednak w ciekawy i autorski sposób. Bardzo przystępnie opisane są również zagadnienia obróbki pozapiecowej tj. sferoidyzacji i modyfikacji również z wykorzystaniem odniesienia do badań własnych, które ukazują wpływ czasu na spadek udziału magnezu w kąpieli metalowej co skutkuje powstawaniem określonej morfologii grafitu.

Określono następnie cel i tezę pracy, która zakłada, że odpowiednio wysoka temperatura przegrzania wytopu oraz różne namiary wsadowe zapewniają uzyskanie zakładanych właściwości mechanicznych i struktury odlewów z żeliwa sferoidalnego.

W najważniejszej części pracy przedstawione zostały badania własne Autora, w których zaprezentował całą gamę dobrze zaplanowanych eksperymentów związanych z:

- przygotowaniem materiału w postaci określenia proporcji poszczególnych składowych wsadu piecowego w postaci: złomu stalowego, złomu obiegowego i surówki,
- określeniem sposobu modyfikacji i sferoidyzacji stopu za pomocą przewodu elastycznego,
- wykonaniem symulacji komputerowych zaprojektowanych wytopów,
- wykonaniem 16 wytopów kontrolowanych do otrzymania odlewów o kształcie YII na linii DISAMTIC,
- przeprowadzeniem szeregu badań właściwości i struktury udowadniających wysuniętą wcześniej tezę.

Praca jest poparta odniesieniem do 95 pozycji literatury, z których ok. 30% stanowią pozycje nie starsze niż 10 lat, co jest pozytywnym elementem pracy i wskazuje, że doktorant czerpał wiedzę również z najnowszych źródeł.

### 3. Najważniejsze zalety i osiągnięcia pracy

Rozprawa doktorska pana **mgr inż. Jacka Nowaka** stanowi moim zdaniem osiągnięcie naukowe i posiada szereg bardzo istotnych cech, z których najważniejsze wymieniono poniżej.

- Gruntowna i kompleksowa analiza roli składników wsadowych w procesie wytwarzania żeliwa sferoidalnego, co jest jednoznacznie spójne z tematem rozprawy;



- Określenie roli składników stopowych w otrzymaniu odpowiedniej jakości żeliwa sferoidalnego, szczególnie w kontekście zróżnicowanego składu chemicznego materiałów wsadowych;
- Określenie proporcji materiałów wsadowych do pieców przemysłowych i ich wpływu na właściwości mechaniczne żeliwa dwóch określonych gatunków żeliwa sferoidalnego: EN-GJS-400-15 oraz EN-GJS-500-7;
- Określenie wpływu składników wsadu na koszt wytopów, występowanie braków oraz zużycie energii podczas produkcji seryjnej odlewów z żeliwa sferoidalnego;
- Określenie w badaniach własnych zależności związanych ze:
  - a) spadkiem udziału magnezu w kąpielu metalowej w funkcji czasu dla konkretnej temperatury ciekłego stopu (1420°C) i wielkości kadzi smukłej 2/1 (350kg) w układzie zastosowania metody przewodu elastycznego
  - b) określeniem zależności pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie, wydłużeniem i udarnością, a czasem wybicia z formy odlewu z żeliwa sferoidalnego o geometrii YII
- Określenie zależności pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie, a masą wsadu złomu stalowego, co jednak jest może być osiągnięciem o ograniczonym zasięgu tj. dla jednej odlewni. Analizy te dają jednak pogląd na możliwość wpływu rodzaju wsadu nawet na 20% zmianę konkretnej cechy materiałowej. To wskazuje jak ważnym zagadnieniem jest dobór odpowiednich składników wsadowych.
- Realizacja eksperymentów w warunkach pracującej odlewni jest ważnym i godnym podkreślenia zagadnieniem. Czy jednak, przy tak znacznej ilości zmiennych, Autor ma pewność, że wyniki są prawidłowe (np. znaczny rozrzut wyników dla analizy węgla i krzemu podczas powtórnego wykonywania wytopów dla odlewów doświadczalnych)? Opisy w pracy wskazują, że tak jest, i jest to niewątpliwie osiągnięcie Autora.
- Określenie kosztu poszczególnych materiałów wsadowych w układzie wsadu na jeden piec oraz na tonę, co daje możliwość porównania kosztocłonności wytopów przy określonym wsadzie.
- Określono, że przegrzanie stopu powyżej temperatury 1605°C powoduje wzrost zużycia energii elektrycznej o 4,5%
- Klarowny i logiczny układ rozprawy.

- Analiza wyników badań bezpośrednio z ich prezentacją, co w kontekście czytelności pracy jest niezwykle pomocne. Pozwala też stwierdzić, że praca jest bardzo solidnym, naukowo-technologicznym opracowaniem.

### **3. Krytyczna ocena rozprawy**

Lektura pracy ujawnia zdaniem recenzenta tylko nieliczne i mało znaczące jej mankamenty oraz nasuwa pewne stwierdzenia dyskusyjne, wymienione i omówione poniżej.

#### ***Uwagi krytyczne i dyskusyjne dotyczące istoty problemu naukowego***

1. Nie jest jednoznaczne powiązanie „podsumowania przeglądu literatury” z wcześniejszym, 29 stronicowym „studium literatury”. Niewiele zamieszczonych w tej części informacji dotyczy wpływu przegrzania na jakość metalu. Brak dokładnego opisu zjawisk w warunkach przegrzania z odniesieniem do konkretnych pozycji literatury. Brak uzasadnienia dla wybranej temperatury przegrzania (powyżej 1605°C).
2. Podczas wytwarzania form, a szczególnie na liniach formierskich, również w czasie rzeczywistym, badana jest cała gama cech masy formierskiej. Zastanawiające jest zatem, że jedynie wilgotność masy (3,5-3,6%) była wyznacznikiem jej jakości na linii formierskiej DISMATIC. Przedstawione wartości wilgotności w tabeli 7 nie wnoszą nic dodatkowego do pracy. Jednocześnie powtarzane są bez komentarza dane z tabeli 3. Czy jest związek pomiędzy tymi danymi? Jeśli tak to jaki?
3. Nie jest jednoznaczne w początkowej części pracy jakie odlewy wykonywano. Czy wszystkie odlewy, z których wyniki przedstawiano w pracy, miały kształt YII i były wykonane na linii formierskiej DISMATIC?
4. Co oznacza pik od austenitu pojawiający się na dyfraktogramie XRD w analizowanej strukturze żeliwa na rysunku 19 i 20?
5. Bardzo powierzchownie omówiono wyniki obserwacji w skaningowym mikroskopie elektronowym, co jest nieproporcjonalne do zamieszczonych obszernie wyników obserwacji.
6. Co to jest „węgiel dyfundujący”? Takie określenie znajduje się na stronie nr 17.

7. Stwierdzono, że różne materiały wsadowe nie powodują zwiększenia ilości braków, której nie określono.

### ***Pozostałe uwagi krytyczne***

W tekście rozprawy występują usterki o różnym charakterze – terminologicznym oraz stylistycznym oraz dotyczącym układu logicznego pracy. Oto najważniejsze z nich:

1. Na stronie 42 użyte jest sformułowanie „płaszczyzn kryształu”, a wydaje się, że chodzi o „płaszczyzny krystaliczne” w kontekście analizy wyników dyfrakcji rentgenowskiej.
2. „Temperatura” występuje w liczbie pojedynczej (np. na stronie 13 – „spadek temperatur”)
3. Na stronie 84 przedstawiono wyniki analizy ilościowej struktury jedynie wybranych wytopów. Spektrum wszystkich wytopów zrealizowanych w pracy dawałoby pełniejszy obraz i umożliwiałoby czytelniejszą analizę.
4. Poprawna forma dla sformułowania „fizyko-chemiczny” stosowanego w pracy to „fizykochemiczny” - na stronie 20 oraz w wielu innych miejscach pracy używane są obie formy.
5. Na stronie 31 znajduje się sformułowanie „literatura podaje”. Literatura jest formą bezosobową, natomiast wiedzę w tej literaturze zamieszczają konkretne osoby, do których należy się odnosić w pracach naukowych.
6. Na stronie 53 użyto sformułowania „...obserwowanych okiem za pomocą mikroskopu świetlnego” – obserwowanie jest wynikiem analizy obrazu za pomocą wzroku i nie jest potrzebne dodawanie, że potrzebne jest do tego oko. Choć nieraz mówi się o „oku uzbrojonym” lub „oku nieuzbrojonym” w kontekście obserwacji.
7. Skrót „zł” bywa raczej rezerwowany dla polskiej waluty tj. „złotówek”, w języku polskim. W pracy Autor stosuje ten skrót dla określenia „złomu”, co utrudnia nieco czytanie pracy, jednak daje pewne odniesienie do znacznej wartości materiałów wsadowych.
8. Na str. 98 stosowane jest sformułowanie „ilość wydzieleń” grafitu na milimetr kwadratowy. Prawidłowe sformułowanie to „liczba wydzieleń”.
9. Autor z wielką starannością, na przekroju całej pracy, ignoruje istnienie przecinków.
10. Rozdział 3.5 „Technika sferoidyzacji i modyfikacji żeliwa” powinien być raczej częścią poprzedniego rozdziału pt. „Obróbka pozapiecowa”, gdyż to właśnie zabiegi



sferoidyzacji i modyfikacji są typowymi przykładami obróbki pozapiecowej, o czym zresztą Autor pisze.

#### **4. Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy**

Spektrum uwag krytycznych, które zamieściłem w recenzji, nie umniejszają wartości pracy. Skłaniają raczej do zastanowienia nad możliwościami jej rozszerzenia lub pogłębienia zagadnień przedstawionych nieco zbyt powierzchownie. Recenzowana praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w którym zastosowano podstawowe metody badawcze i przeprowadzono analizy na wysokim poziomie merytorycznym. Jest przykładem solidnej pracy twórczej, w której rozwiązanie złożonego problemu naukowego jest ściśle powiązane z zastosowaniem przemysłowym.

Biorąc powyższe pod uwagę, jak również fakt, iż doktorant wykazał należyłą wiedzę teoretyczną z zakresu reprezentowanej przez siebie dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych uważam, że **rozprawa doktorska mgr inż. Jacka Nowaka spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami**. Wnioskuje zatem o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

