

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**mgr inż. Marek Sokolnicki**

p.t. „Żeliwo ausferrytyczne o zwiększonych właściwościach wytrzymałościowych i plastycznych, przeznaczone na odlewy do pracy w warunkach dynamicznych obciążeń”

opracował

dr hab. inż. Dawid Mysza

Wydział Inżynierii Produkcji

Politechnika Warszawska

**Podstawa opracowania recenzji**

Opinię opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z dnia 14 kwietnia 2019r. (sygnatura: WO-sd.510-19-2/2019).

**1. Ocena tematyki rozprawy**

Żeliwo sferoidalne hartowane z przemianą izotermiczną (ausferrytyczne lub ADI) jest materiałem konstrukcyjnym, który ciągle wzbudza ciekawość naukowców i zainteresowanie praktyków: konstruktorów, użytkowników i odlewników. Może właśnie dlatego, wciąż pojawiają się nowe pomysły i badania naukowe zmierzające do uszlachetniania lub ustabilizowania jego właściwości. Jest to szczególnie ważne w aspekcie wdrożeń i zastosowania ADI. Wystarczy wspomnieć, że od roku 2000 jego produkcja na świecie zwiększa się o kilkadziesiąt tysięcy ton rocznie. Świadczy to o dużym zainteresowaniu odbiorców odlewów z ADI, które stosuje się na części maszyn i urządzeń w przemyśle motoryzacyjnym, kolejowym, rolniczym, obronnym, czy w górnictwie.

Żeliwo sferoidalne ausferrytyczne jest materiałem sklasyfikowanym wg normy europejskiej i amerykańskiej. Charakterystyczną cechą tego materiału jest połączenie dobrych właściwości

plastycznych i wytrzymałościowych, porównywalne do wielu gatunków stali. W wyniku obróbki cieplnej można uzyskać żeliwo o wydłużeniu znacznie powyżej 10% przy wytrzymałości na rozciąganie większej od 850MPa. Warto wspomnieć, że można wytworzyć żeliwo sferoidalne ausferrytyczne o wytrzymałości na rozciąganie większej niż 1600MPa. Żeliwo to posiada również szereg dodatkowych cech predestynujących je do zastosowania na części konstrukcyjne. Te najlepiej poznane to: zdolność do tłumienia drgań, o 10% mniejsza gęstość w porównaniu do stali, dobra skrawalność przed obróbką cieplną, zdolność do umacniania powierzchni odlewów podczas walcowania, kulowania lub innych dynamicznych oddziaływań.

Dobre właściwości żeliwa sferoidalnego ausferrytycznego nadawane są przez odpowiednio przeprowadzony cykl obróbki cieplnej, składający się z zabiegów austenitowania i hartowania izotermicznego. Oba te zabiegi są niezwykle ważne z punktu widzenia przebiegających w czasie zmian mikrostruktury, a tym samym zmian właściwości ADI. Austenitowanie przede wszystkim ustala zawartość węgla w austenicie, natomiast przemiana izotermiczna, następująca po szybkim chłodzeniu z temperatury austenitowania, kształtuje ostatecznie mieszaninę ferrytu i austenitu (tzw. ausferrytu – nazwa po raz pierwszy wprowadzona w Polsce na XX Konferencji Odlewników Staliwa, Raba Niżna, 1997). Ausferryt o określonej morfologii i proporcji poszczególnych faz, w temperaturze otoczenia jest mieszaniną odpowiedzialną za właściwości ADI.

## **2. Zawartość rozprawy**

Praca w szerokim zakresie charakteryzuje żeliwo sferoidalne hartowane izotermicznie. Przedstawia jego zalety i możliwości aplikacyjne, szczególnie w kontekście zastosowań na elementy maszyn pracujące w trudnych warunkach np. elementy przenośników górniczych. Dotyczy w szczególności opracowania powtarzalnych procesów obróbki cieplnej umożliwiających uzyskiwanie powtarzalnych właściwości mechanicznych odlewów z żeliwa sferoidalnego w warunkach odlewni przemysłowej oraz określenia czynników wpływających na taką produkcję. Przedstawiono obszerne badania dotyczące wytwarzania i obróbki cieplnej żeliwa sferoidalnego niestopowego i niskostopowego z dodatkami Ni i Cu ( odpowiednio: 2,47% oraz 0,68%) oraz Cu (0,8%). Zaprezentowano zależność wielu czynników produkcyjnych, od których zależą ostateczne właściwości odlewu, rozpoczynając od właściwego doboru składników wsadowych, przez odpowiednią jakość odlewu i ostatecznie wybór właściwych parametrów obróbki cieplnej. W ramach tego aspektu poznawczego Autor zaproponował metodę wyboru „okna technologicznego” na podstawie narzędzi statystycznych z wykorzystaniem programu Statystyka, gdzie wprowadzając informację o

twierdzenia, że dla określonych parametrów wybranych wg odpowiedniego scenariusza oraz z użyciem właściwego materiału wyjściowego, uzyskiwane są odlewy o powtarzalnych właściwościach np. dla 31 procesów uzyskano: wytrzymałość na rozciąganie w granicach 1013÷1110MPa; umowną granicę plastyczności w granicach: 712÷810MPa; wydłużenie 12÷20% przewyższając znacząco wymagania normy (w przypadku wydłużenia czy udarności nawet dwukrotnie).

### 3. Najważniejsze zalety i osiągnięcia pracy

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

- Kompleksowe opracowanie przedstawiające wpływ temperatury austenitzacji na cechy materiałowe żeliwa ausferrytycznego. Jest to jedno z nielicznych, znanych mi opracowań, które przedstawia tak obszerne badania na ten temat.
- Opracowanie metodyki wytwarzania bardzo stabilnego gatunku żeliwa o imponujących i realnie konkurujących z innymi materiałami właściwościach.
- Działający, nowy sposób postępowania służący do określenia „okna technologicznego” na podstawie pomiarów twardości HB.
- Imponująca jest ilość pracy włożonej w przeprowadzenie badań w skali przemysłowej.
- Otrzymane wyniki właściwości mechanicznych robią wrażenie swoją objętością i dają możliwość podziwiania zaangażowania doktoranta w solidną pracę badawczą, choć szkoda, że nie udokumentowano stanu wyjściowego mikrostruktury i właściwości żeliwa sferoidalnego przed procesami cieplnymi, co dałoby pełniejszą informację.
- Zasługuje na docenienie opracowana baza danych informująca szczegółowo o składach chemicznych używanych przez różne ośrodki naukowe do produkcji ADI, co jest niewątpliwym osiągnięciem pracy.

- Logistyczne przeprowadzenie badań na odlewni tj. przekonanie odlewni o bezpieczeństwie prowadzonych eksperymentów i możliwości wykonania odlewów o właściwościach spełniających z nadstatkiem wymagania norm.
- Potwierdzono umiejętność prawidłowego wykorzystania narzędzi badawczych takich jak: urządzenia do analizy termicznej, mikroskopii świetlnej i elektronowej, maszyny wytrzymałościowej, itp., które posłużyły do udowodnienia założonej tezy rozprawy.

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

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

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

1. Brak weryfikacji obciążeń dynamicznych, które będąc tytułowym zagadaniem rozprawy powinno zostać należycie podkreślone i opracowane. Co prawda przedstawione są wyniki badań udarności żeliwa, ale test ten oddaje jedynie w szczątkowym stopniu rzeczywiste zjawiska występujące podczas obciążania części maszyn i urządzeń.
2. Nie określono dokładnie jaka jest odległość pomiędzy płytkami ausferrytu choć taki pomiar zakładano do realizacji. Do określenia dyspersji ausferrytu użyto narzędzia wg własnego pomysłu tj. zliczania płytek ferrytu na długości 1mm. Jest to prawidłowy i ciekawy pomiar, zasługujący z pewnością na rozpropagowanie, jednak nie opisujący liczbowo wielkości (szerokości, długości, odległości pomiędzy płytkami) charakterystycznych dla określonej morfologii ausferrytu. Tym samym nie zweryfikowany został cel nr 3 określony na stronie 59 rozprawy.
3. Metoda skanowania zdjęć z mikroskopu świetlnego, nawet przy największym użytym powiększeniu nie umożliwi dokładnej oceny morfologii ausferrytu na poziomie nanometrów (str.76). Lepszym sposobem jest dokonana przez Autora analiza zdjęć SEM.
4. Dlaczego liczba płytek wraz z czasem przemiany izotermicznej maleje, skoro z teoretycznego punktu widzenia powinna raczej rosnać (str.77 rys.78)
5. Dlaczego wybrano takie a nie inne temperatury i czasu procesów przy planowaniu eksperymentu? Nie ma uzasadnienia dla wyboru na przykład bardzo niskiej temperatury przemiany tj. 210°C.

6. Do przystępnie opracowanych wyników właściwości czy strukturalnych brak jest głębszej analizy i refleksji, co jest raczej obce bardzo dobrym pracom naukowym. Nie wyjaśniono dlaczego niższa temperatura austenitowania jest bardziej korzystna niż wyższa, lub dlaczego przełomy próbek z żeliwa ADI mają taki a nie inny charakter, zbywając to jedynym określeniem „charakter ciągliwy”. Zwłaszcza, że na zdjęciach rys.104 i 112, które autor przytacza, niewidoczne są kraterki charakterystyczne dla przełomu plastycznego.
7. Właściwie nie wiadomo skąd wzięła się ostatecznie temperatura 390°C, jako właściwa do prowadzenia przemiany izotermicznej. We wstępnych badaniach ta temperatura nie występuje. Najpierw badania prowadzone były dla temperatury: 300-330-360, a następnie: 210, 240, 270, 300, 330. Ostatecznie wytypowano jednak temperaturę: 390°C i 360°C. Treść pracy sugeruje, że prowadzone badania miały jeszcze szerszy charakter niż przedstawiono w pracy, czego jednak czytelnik nie wie.
8. Wcześniej podawana jest informacja o dodatku Ni (2,47%) i Cu (0,68%) do stopu – skąd ten dodatek. Na rysunku 113 znajduje się informacja o dodatku miedzi w ilości do 0,8% wag. również bez uzasadnienia wpływu tego pierwiastka i powodu jego dodania.

### ***Pozostałe uwagi krytyczne***

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

9. Czy poprawne jest sformułowanie „okno technologiczne” czy „okienko technologiczne”? Na str. 58 Autor używa sformułowania „okno”, a na str.105 i wielu innych miejscach „okienko”. Czy chodzi tu o precyzję realizacji obróbki cieplnej?
10. W pracy przedstawionych jest wiele podstawowych definicji, niekoniecznie potrzebnych w pracy, a szczególnie w encyklopedycznej formie.
11. Niejednorodny jest układ tworzenia wykresów w całej pracy, co znacząco utrudnia analizę wyników – samemu autorowi również – np. na rys. 82-84.
12. Bałaganiarski styl edycyjny pracy (złe, niejednorodne formatowanie; niewłaściwy dobór słów lub niewłaściwe słowa np. „Ygrek”)
13. Należy stosować sformułowanie „temperatura austenitowania”, a nie „austenitacji” (określenie potoczne) np. str.89.

14. 22% literatury mieści się w zakresie 10 ostatnich lat, co jest wskaźnikiem dość niskim.
15. Zdjęcia na rys.39-42 nie są dziełem Autora, zatem należy podać odpowiednie źródło zaczerpnięcia.

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

Wymienione powyżej uwagi krytyczne nie umniejszają dużej wartości pracy, a dotyczą raczej potencjalnych jej rozszerzeń czy dyskusyjnych fragmentów mogących być podstawą do innych, naukowych opracowań. Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w którym zastosowano podstawowe metody badawcze i przeprowadzono analizy na dobrym poziomie merytorycznym. Jest dobrym przykładem pracy, w której rozwiązanie złożonego problemu naukowego jest ściśle powiązane z pomyślnym zastosowaniem przemysłowym.

Biorąc powyższe pod uwagę, jak również fakt, iż doktorant wykazał należytą wiedzę teoretyczną z zakresu reprezentowanej przez siebie dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marka Sokolnickiego 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.

A handwritten signature in blue ink that reads "David Myśl". The signature is written in a cursive, flowing style.