

Gliwice dn. 27.06.2015 r.

Prof. dr hab. Roman Kuziak  
Zakład Symulacji Procesów Technologicznych  
Instytut Metalurgii Żelaza  
ul. K. Miarki 12-14  
44-100 Gliwice  
e-mail: [rkuziak@imz.pl](mailto:rkuziak@imz.pl)  
Tel.: 32 2345 241

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Anny Śmiglewicz**

**pt.**

### **„Struktura i właściwości stali wysokomanganowej kształtowane w wyniku mechanicznego bliźniakowania indukowanego odkształceniem plastycznym”**

#### **Wprowadzenie**

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej (pismo RM-322/14/15 z dnia 15.05.2015 r.).

Oceniana rozprawa doktorska ma klasyczny układ. Składa się ona z wykazu oznaczeń i skrótów, wprowadzenia, przeglądu literatury, opisu badań własnych i uzyskanych wyników, a także podsumowania, wniosków i spisu literatury. Zawarto ją na 137 stronach. Wykaz literatury obejmuje 125 pozycji i stanowi publikacje krajowe, jak i zagraniczne, w tym współautorstwa Doktorantki.

#### **Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Zgodnie z tytułem pracy dotyczy ona wpływu mechanicznego bliźniakowania na kształtowanie struktury i właściwości stali wysokomanganowej w gatunku *X30MnAlSi26-4-3*. Oryginalny eksperymentalny wkład do tego zagadnienia, Doktorantka podbudowała staranną analizą danych literaturowych, skupiając się przede wszystkim na zagadnieniach z obszaru krystalografii procesu bliźniakowania oraz na analizie modeli termodynamicznych, umożliwiających obliczenie wartości energii błędu ułożenia (EBU). Wartość energii błędu ułożenia wpływa na mechanizmy odkształcenia plastycznego. Doktorantka słusznie podkreśla konieczność prowadzenia badań w obszarze nowoczesnych stali dla motoryzacji z uwzględnieniem bardzo dużych prędkości odkształcenia. Wynika to z wyraźnej zależności naprężenia uplastyczniającego tych stali od prędkości odkształcenia. Z tego powodu charakterystyki mechaniczne stali wyznaczone w statycznej próbie rozciągania nie odzwierciedlają zachowania się materiału w warunkach obciążeń dynamicznych. Kolejnym, istotnym zagadnieniem, które podejmuje Doktorantka, jest zależność energii błędu ułożenia od temperatury. Jest to szczególnie ważna zależność w odniesieniu do zjawiska wzrostu temperatury materiału w trakcie dynamicznego odkształcenia. Dokonany przegląd literaturowy nie budzi zastrzeżeń. Doktorantka jest dobrze zorientowana w obecnym stanie

literatury tematu i porusza się w nim bardzo swobodnie. Nie ma problemu w definiowaniu pojęć i problemów badawczych. Swobodnie posługuje się przykładami zaczerpniętymi z literatury krajowej i zagranicznej. Analiza literatury jest rzetelna, a dobór pozycji dość trafny. Należy jednak zwrócić uwagę, że w przeprowadzonym przez Doktorantkę przeglądzie literatury brakuje analizy mechanicznej procesu umacniania się stali w wyniku bliźniakowania. Kolejnym – ważnym – zagadnieniem, o którym nie wspomniano w przeglądzie literatury, jest wpływ wielkości ziarna na mechanizmy odkształcenia plastycznego. Zależność taka obserwowana była w wielu badaniach, np. Saeed-Akbari A., Schwedt A. Bleck W.: Derivation and variation in composition – depended stacking fault energy maps based on subregular solution model in high manganese stacking fault energy maps based on subregular solution model in high manganese steels, *Met. And Mat., Trans. A*, 01-40(2009), 3076-3090.

Na postawie analizy literatury Doktorantka sformułowała następującą tezę pracy:

***„Wysokomanganowa stal X30MnAlSi26-4-3 o niskiej energii błędu ułożenia wykazuje zdolność do absorpcji energii odkształcenia plastycznego dzięki indukowanemu odkształceniem mechanicznemu bliźniakowaniu”.***

Moim zdaniem przyjęcie takiej tezy jest ryzykowne, opiera się bowiem na założeniu, że jedynym mechanizmem odkształcenia plastycznego jest bliźniakowanie. Tymczasem, mechanizmy odkształcenia plastycznego są bardzo złożone, zaś szczególnie ważnym mechanizmem odkształcenia jest poślizg.

Dla potwierdzenia powyższej tezy, Doktorantka zrealizowała program badań obejmujący następujące zadania:

1. Wyznaczenie EBU na podstawie składu chemicznego, z wykorzystaniem modelu termodynamicznego.
2. Wyznaczenie EBU z wykorzystaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej.
3. Przeprowadzenie statycznych prób rozciągania.
4. Przeprowadzenie prób rozciągania/zginania na młocie rotacyjnym.
5. Przeprowadzenie prób ściskania z zastosowaniem obciążeń statycznych oraz w zakresie dużych prędkości odkształcenia z zastosowaniem zmodyfikowanego pręta Hopkinsona.
6. Badania udarności metodą Charpy’ego.
7. Wykonanie pomiarów twardości.
8. Wykonanie zaawansowanych badań struktury z wykorzystaniem rentgenowskiej analizy fazowej, mikroskopii świetlnej oraz metodami skaningowej i prześwietleniowej mikroskopii elektronowej.

Celem prowadzonych przez Doktorantkę badań, osadzonym ściśle w obszarze inżynierii materiałowej, była analiza najważniejszych czynników mających wpływ na strukturę i właściwości badanej stali wysokomanganowej w aspekcie pochłaniania energii odkształcenia. Podjęta tematyka badań ma bardzo duże znaczenie z uwagi na ciągłe

poszukiwania materiałów wykazujących doskonałą podatność do absorpcji energii odkształcenia przy bardzo wysokiej wytrzymałości. Pozwala to bowiem obniżyć ciężar konstrukcji samochodu.

W zakresie zawartości merytorycznej recenzowanej rozprawy należy zwrócić uwagę na to, że Doktorantka zawarła w niej wiele danych doświadczalnych, które są istotne i oryginalne i nie budzą zastrzeżeń w odniesieniu do metodyki pomiaru i sposobu interpretacji wyników badań. Bogaty materiał doświadczalny został opisany i zilustrowany rysunkami na 51 stronach. Należy podkreślić, że recenzowana praca jest przygotowana starannie. Załączone rysunki są przejrzyste i bardzo dobrze uzupełniają tekst, który jest napisany w sposób poprawny.

### **Najważniejsze osiągnięcia pracy**

Badania przeprowadzone w trakcie realizacji pracy doktorskiej wykazały, że istotny wpływ na proces generowania bliźniaków odkształcenia ma sposób obciążenia badanej stali oraz prędkość odkształcenia. Obserwacje te mają bardzo duże znaczenia dla jej zastosowania w przemyśle motoryzacyjnym oraz wytyczają kierunki dalszych badań nad stalami austenitycznymi dla przemysłu motoryzacyjnego. Te zależności nie zostały dotychczas dostatecznie opisane w literaturze technicznej.

### **Uwagi dyskusyjne**

Uwagi dyskusyjne sformułowano w odniesieniu do potencjalnych zastosowań badanej stali w przemyśle samochodowym. Moim zdaniem, najważniejszym wynikiem przeprowadzonych badań jest zależność przebiegu mechanicznego bliźniakowania od sposobu obciążenia stali. Jest to szczególnie widoczne podczas porównania wyników próby rozciągania z próbą ściskania. Nasuwa się pytanie, czy zaobserwowane zachowanie się materiału nie będzie ograniczać jego zastosowania do elementów pochłaniających energię odkształcenia. Dogłębnego przemyślenia wymagają również badania wrażliwości naprężenia uplastyczniającego od prędkości odkształcenia. Doktorantka podkreśla, że badana stal charakteryzuje się dużą wrażliwością naprężenia od prędkości odkształcenia, jednak spojrzenie np. na rysunek 110 pokazuje, że jest to duże uproszczenie. Owszem, naprężenie uplastyczniające silnie wzrasta przy wzroście prędkości odkształcenia od wartości  $0.01s^{-1}$  do wartości powyżej  $1000s^{-1}$ , jednak w zakresie bardzo dużych prędkości odkształcenia wpływ prędkości odkształcenia na wartość naprężenia jest słaby. Stąd też bierze się podatność stali do formowania adiabatycznych pasm ścinania. Kolejnym – ważnym – zagadnieniem, które wymaga szczegółowej analizy jest zasadność przewidywania mechanizmu umocnienia stali wyłącznie w oparciu o wartość energii błędu ułożenia.

Wreszcie, mając na uwadze wdrożenie X30MnAlSi26-4-3 stali, ważnymi zagadnieniami są ograniczenia technologiczne oraz koszty wytwarzania tej stali.


## **Posumowanie i wniosek końcowy**

Praca jest czytelna i zrozumiała dla odbiorcy. Zręcznie i przemyślane ujęto w niej kwestie badawcze. Dokładnie opisano materiał do badań. Liczne rysunki i tabele dobrze obrazują wykonywane w pracy badania i analizy. Na podkreślenie zasługuje bardzo wnikliwie przeprowadzona analiza uzyskanych wyników. Doktorantka umiejętnie powiązała wyniki badań, otrzymane z zastosowaniem różnych technik, i odniosła je do wyników publikowanych przez innych badaczy.

W całej pracy pojawiają się błędy literowe i stylistyczne. Z uwagi na brak merytorycznego odniesienia odstąpiono od ich enumeratywnego wyliczania. Doktorantka nie ma na ogół problemów ze stosowaniem się do zasad interpunkcji, rzadko popełnia błędy.

W podsumowaniu mojej oceny pracy doktorskiej stwierdzam, że Doktorantka osiągnęła założony cel pracy. Na podkreślenie zaś zasługuje swobodne posługiwanie się wieloma technikami badawczymi oraz umiejętnie powiązanie wyników badań otrzymanych z wykorzystaniem różnych metod w spójną i logiczną całość. Bardzo wysoko oceniam także umiejętność wykorzystania opublikowanych przez innych badaczy wyników badań dotyczących tematyki doktoratu do interpretacji wyników badań własnych.

Takie spojrzenie na ocenianą pracę pozwoliło mi stwierdzić, że spełnia ona kryteria Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym z dn. 14 marca 2003 r. i dlatego wnoszę o dopuszczenie jej publicznej obrony.

  
Kierownik Zakładu Syntezy  
Procesów Technologicznych  
Prof. dr hab. Romuald Kł.