**Adam Grajcar**
prof. dr hab. inż.
Katedra Materiałów Inżynierskich
i Biomedycznych
**POLITECHNIKA ŚLĄSKA**
**Wydział Mechaniczny Technologiczny**
**ul. Konarskiego 18a**
**44-100 GLIWICE**

Tel: +48 (32) 2372933
Fax: +48 (32) 2372281
e-mail: adam.grajcar@polsl.pl

Gliwice, dn. 12.11.2024 r.

# RECENZJA

**pracy doktorskiej mgr inż. Adama Gołaszewskiego pt.**
**"Kształtowanie mikrostruktury i własciwości stali w wyniku przemiany bainitycznej po wygrzewaniu w zakresie dwufazowym"**

## 1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej, Pani Prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej z dnia 30.10.2024 r., informującego, że Rada na podstawie stosownej uchwały podjętej w dniu 25.10.2024 r. powołała mnie na recenzenta pracy doktorskiej mgr inż. Adama Gołaszewskiego, w przewodzie prowadzonym w dyscyplinie „Inżynieria Materiałowa".

## 2. Formalna charakterystyka pracy

Praca doktorska mgr inż. Adama Gołaszewskiego była w znaczącej części zrealizowana w ramach projektu strukturalnego pt. „Wytwarzanie stali o strukturze nanokrystalicznej przy wykorzystaniu przemian fazowych" (Nanostal), realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (2007-2013), współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Praca dotyczy badań przemian fazowych oraz zależności pomiędzy procesami obróbki cieplnej, mikrostrukturą a właściwościami mechanicznymi stali średniowęglowych do ulepszania cieplnego i wpisuje się w dyscyplinę naukową inżynieria materiałowa. Praca została wykonana pod opieką promotorską dr hab. inż. Jerzego Szawłowskiego.

Praca liczy 157 stron i zawiera Streszczenie, Abstract oraz 8 podstawowych rozdziałów: Wprowadzenie; Analiza stanu zagadnienia; Teza i cel pracy; Materiał, procesy technologiczne, metodyka badań; najbardziej obszerny Wyniki ich analiza; Podsumowanie; Wnioski i Bibliografię. Rozprawa zawiera 23 tabele oraz jest ilustrowana 87 rysunkami i zdjęciami metalograficznymi. Jest napisana poprawnym językiem polskim z umiarkowaną liczbą błędów gramatycznych, literówek i innych potknięć językowych. Na pewno razi czytelnika słaba jakość niektórych rysunków, tzn. załączonych skanów (np. rys. 7, 27) oraz dowolność w opisie osi i zawartości rysunków – przypadkowe stosowanie języka polskiego, angielskiego bądź obu tych języków na jednym wykresie.

## 3. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy

Tematyka pracy jest aktualna, chociaż szczyt zainteresowania klasycznymi stalami wielofazowymi wykorzystującymi efekt TRIP (TRansformation Induced Plasticity) przypada na lata 2000-2010. Od tamtej pory wciąż prowadzi się jednak badania tej grupy materiałowej udoskonalając sposoby obróbki cieplnej bądź cieplno-plastycznej tych stali, ich właściwości technologiczne (cynkowalność, spawalność, formowalność) oraz maksymalizację ich właściwości mechanicznych, skupiających się na ciągłym poprawie iloczynu wytrzymałości i plastyczności. Jedną z dróg jest dążenie do wytwarzania struktur ultradrobnokrystalicznych, co powinno przyczynić się do zwiększenia właściwości wytrzymałościowych stali. Rozdrobnienie mikrostruktury, w tym również austenitu szczątkowego, będącego kluczowym elementem struktury wielofazowej, wpływa także na stabilność termiczną oraz mechaniczną tej fazy, a tym samym w bezpośredni sposób na właściwości mechaniczne stali wielofazowych. W tym kierunku podążył także Doktorant i należy przyznać, że w klasycznych stalach wielofazowych o osnowie ferrytycznej liczba prac naukowych skupiająca się na dążeniu do wytworzenia struktur ultradnobnoziarnistych jest niewielka. Dodatkowo jako materiał badawczy dobrano komercyjnie dostępne stale do ulepszania cieplnego, w których z pewnością jest trudniej uzyskać mikrostruktury wielofazowe: ferryt – bezwęglikowy bainit – austenit szczątkowy, niż w klasycznych stalach z efektem TRIP typu: 0,2C-1,5Mn-1,5Si lub 0,2C-1,5Mn-1,5Al, wytwarzanych najczęściej w warunkach laboratoryjnych.

Zakres prac obejmował analizy symulacyjne (JMatPro) oraz eksperymentalne określenie parametrów obróbki cieplnej w badaniach dylatometrycznych. Właściwości mechaniczne określane w statycznej próbie rozciągania oraz badaniach udarności były prowadzone na próbkach obrobionych cieplnie z wykorzystaniem pieców kąpielowych i z atmosferą fluidalną. Parametry mikrostrukturalne identyfikowano klasycznymi dla inżynierii materiałowej technikami: mikroskopia świetlna, transmisyjna oraz skaningowa mikroskopia elektronowa. Udział austenitu szczątkowego wyznaczano metodą rentgenowską oraz w badaniach magnetycznych.

Postulowana teza w brzmieniu "W średniowęglowych stalach stopowych do ulepszania cieplnego możliwe jest uzyskanie mikrostruktury o submikronowej wielkości ziarna i właściwościach typowych dla stali TRIP" jest klarowna, choć dosyć minimalistyczna. W mojej opinii brak w niej jest składnika wartościującego kształtowane mikrostruktury wielofazowe pod względem ilościowym. Sformułowane 3 cele szczegółowe są właściwie dobrane do realizacji tezy pracy i odpowiadają jej tematowi.

## 4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

### 4.1. Ocena aktualnego stanu wiedzy

Opis stanu zagadnienia obejmuje 46 stron i jest dobrze zbalansowany z częścią badawczą rozprawy. Autor odwołuje się w nim do 107 pozycji literaturowych, przy czym ilość wszystkich, przywołanych w pracy pozycji wynosi 122. Pozycje literaturowe odpowiadają poruszanemu zagadnieniu badawczemu, przy czym są to polskie i zagraniczne pozycje źródłowe, specjalistyczne artykuły naukowe, normy oraz doniesienia branżowe. Szkoda, że Autor w sposób dosyć wybiórczy potraktował krajowy stan zagadnienia, nie ujmując w nim np. wielu prac doktorskich i

habilitacyjnych, które zostały zrealizowane w ostatnim dziesięcioleciu. Na pewno brak jest kilku kluczowych pozycji monograficznych z ostatnich lat dotyczących stali wielofazowych z efektem TRIP (A. Grajcar, S. Wiewiórowska) lub stali nanobainitycznych (J. Marcisz).

W przeglądzie literatury zawarto w zasadzie większość istotnych zagadnień wymaganych do rozpoczęcia pracy badawczej. Na pewno brakuje opisu wpływu stopnia rozdrobnienia oraz nanostrukturyzacji na właściwości mechaniczne stali oraz stabilność mechaniczną austenitu szczątkowego. Autor nie dokonał także należytej aktualizacji pozycji literaturowych, gdyż znalazłem jedynie 3 cytowania pozycji wydanych w latach 2021-2024. Przegląd literatury kończy krótki podrozdział 2.8 Podsumowanie stanu zagadnienia. W moim odczuciu mógł on być jednak trochę obszerniejszy i lepiej wprowadzić czytelnika do dalszej części lektury, a na pewno lepiej pokazać istniejące luki badawcze, szczególnie w zakresie zastosowania dwustopniowej obróbki cieplnej i możliwości rozdrobnienia struktury, co uwypukliłoby motywację podjęcia tematu pracy doktorskiej.

Mimo wskazanych uwag uważam, że analiza stanu zagadnienia jest sporządzona na dobrym poziomie naukowym, upoważniającym do prowadzenia dalszych analiz i badań eksperymentalnych.

### 4.2. Ocena wyboru materiału badawczego oraz zastosowanej metodyki badawczej

Badania przeprowadzono na 3 komercyjnych, średniowęglowych gatunkach stali do ulepszania cieplnego, przy czym parametrem determinującym ich wybór było stężenie Si i/lub Al, czyli pierwiastków grafityzujących, których wspólną cechą jest ograniczenie wydzielania węglików, szczególnie w zakresie obróbek bainitycznych, co stwarza szansę na jednoczesne wytworzenie bainitu bezwęglikowego i stabilizację pewnej frakcji austenitu szczątkowego. Bez wytworzenia tej fazy nie można mówić o wykorzystaniu efektu TRIP. Wybór takich komercyjnych stali jest silnie ograniczony; praktycznie pierwiastki te występują jeszcze jedynie w stalach sprężynowych, ale ich większe węgla bardzo ogranicza potencjalne zastosowania, np. w przemyśle automotive, gdzie wymaga jest dobra spawalność stali. Występowanie w tych stalach pierwiastków silnie węglikotwórczych, w postaci Cr i Mo, na pewno nie ułatwia stabilizacji fazy gamma. Wybór materiału badawczego oceniam więc pozytywnie i na pewno było to spore wyzwanie metodyczne.

Metodyka badawcza jest poprawnie dobrana do realizacji celów pracy i obejmuje kolejno:

- Badania symulacyjne przemian fazowych z wykorzystaniem programu JMatPro,
- Badania dylatometryczne w celu wyznaczenia temperatur krytycznych $A_{c1}$, $A_{c3}$, $M_s$ i $B_s$ oraz zakresu występowania zakresu dwufazowego: alfa + gamma,
- Badania dylatometryczne pełnej obróbki cieplnej wygrzewania międzykrytycznego wraz z wytrzymaniem bainitycznym z następną weryfikacją mikrostrukturalną metodami LM, SEM i TEM oraz wyznaczeniem udziału austenitu szczątkowego metodami RTG lub magnetyczną,
- Badania właściwości mechanicznych w statycznej próbie rozciągania oraz badania udarności na próbkach obrobionych cieplnie z zastosowaniem pieców komorowych, wgłębnych z kąpielą cynową oraz ze złożem fluidalnym.

Należy uznać, ze cykl badań został logicznie zaplanowany i skutecznie realizowany. Autor najpierw zajął się opracowaniem warunków wygrzewania w zakresie międzykrytycznym, gdzie słusznie założył, że najważniejsze jest ustalenie proporcji austenitu do ferrytu, stopnia rozpuszczenia

węglików oraz stopnia wzbogacenia austenitu w węgiel. Następnie optymalizował warunki wytrzymania bainitycznego, a jako cele przyjął niedopuszczenie do przemian fazowych podczas chłodzenia między wytrzymaniem międzykrytycznym a bainitycznym, dalsze wzbogacenie austenitu w węgiel z ferrytu bainitycznego oraz maksymalizację rozdrobnienia struktury.

Niestety Autor nie podał postaci geometrycznej materiału na wejściu, co ma istotne znaczenie, szczególnie dla obróbek cieplnych realizowanych na elementach z których przygotowywano próbki do badań właściwości mechanicznych. Bardzo lakoniczny jest też opis metodyki badań dylatometrycznych, które są przecież kluczowe dla całości pracy. Nie wiadomo w jaki sposób analizowano dylatogramy i wyznaczano temperatury przemian fazowych, itd. Podobnie w minimalistyczny sposób opisano obróbki cieplne w realizowane piecach. Niestety nie podano ilości próbek na których prowadzono badania właściwości mechanicznych, a także populacji próbek na których wyznaczano parametry stereologiczne mikrostruktury oraz wyznaczano udział austenitu szczątkowego.

### 4.3. Ocena uzyskanych wyników badań i ich dyskusji

Chciałbym zacząć od uwagi o znaczeniu terminologicznym. Już w pierwszych 2 zdaniach streszczenia Autor używa określeń: stale TRIP oraz efekt TRIP, których używa dosyć często w całej dysertacji. W mojej opinii tylko drugie z określeń jest prawidłowe i oznacza dodatkową plastyczność stali podczas próby rozciągania (lub blachy stalowej podczas formowania technologicznego) w wyniku indukowanej odkształceniem przemiany martenzytycznej austenitu szczątkowego. Chociaż potocznie na stale o strukturze ferrytyczno-bainitycznej z austenitem szczątkowym mówi się czasem „stale TRIP" to w pracy naukowej rodzi to jednak niepotrzebne niedomówienia. Efekt ten bowiem może występować w wielu typach stali: np. austenitycznych Cr-Ni lub Cr-Ni-Mn, stalach kriogenicznych, stalach bainitycznych lub nanobainitycznych, stalach średniomanganowych ferrytyczno-austenitycznych, stalach typu QP (Quenching and Partitioning) o strukturze martenzytyczno-austenitycznej, w stopach z pamięcią kształtu. Parametrem determinującym wystąpienie efektu TRIP jest bowiem energia błędu ułożenia austenitu oraz warunki zewnętrzne, głównie temperatura, szybkość odkształcenia oraz stan obciążenia materiału.

Wyniki badań są dosyć uporządkowane i raportowane w logicznym porządku. Autor zaczął od wyników badań symulacyjnych i wyznaczenia zakresu międzykrytycznego. Zasadniczą część badań stanowią analizy dylatometryczne wpływu temperatury i czasu wyżarzania izotermicznego na temperaturę $M_s$ austenitu wzbogaconego w węgiel, a także kinetyki przemiany bainitycznej. Niestety brakuje krzywych chłodzenia z temperatury wytrzymania bainitycznego do temperatury pokojowej, co pozwoliłoby na wiedzę o ewentualnym powstaniu tzw. świeżego martenzytu (bądź potwierdziło jego brak – co jest korzystne). Następnie Doktorant analizuje zmiany udziału austenitu szczątkowego w końcowych mikrostrukturach, a także właściwości mechaniczne dla poszczególnych stali i wariantów obróbki cieplnej. Stwierdził, że po jednostopniowej obróbce cieplnej zarówno cechy mikrostrukturalne a także wyniki statycznej próby rozciągania oraz udarności pozwoliły uzyskać umiarkowane rezultaty, głównie ze względu na obecność dużej frakcji nierozpuszczonych węglików. Z tego względu zastosował pełne austenityzowanie i hartowanie bainityczne przed wyżarzaniem

międzykrytycznym, dla których analizował analogiczne wyniki. W efekcie uzyskał znacznie lepsze cechy mikrostrukturalne, tzn. przede wszystkim znaczące rozdrobnienie mikrostruktury (wszystkich składników strukturalnych), większy udział austenitu szczątkowego, mniejszy udział węglików nierozpuszczonych i innych oraz zmianę morfologii mikrostruktury. Efektem były także lepsze wskaźniki właściwości mechanicznych, a także udarności.

Zastosowanie podwójnej obróbki cieplnej oraz znaczące rozdrobnienie struktury stali stanowią z pewnością największe osiągnięcie pracy mgra inż. Adama Gołaszewskiego, za które zespól twórców uzyskał patent w roku 2024 [pozycja literatury 122]. Szkoda, że Autor nie odniósł się do literatury w zakresie stosowania wcześniejszej austenityzacji do rozdrobnienia struktury, co typowo jest stosowane przez wielu autorów na świecie dla stali średniomanganowych, a także dla stali QP (np. prace D. Krizan i K. Steineder oraz S. Kaar, Voestalpine, Linz, Austria). Efekt rozdrobnienia i zmiany morfologii składników strukturalnych w tych stalach jest już obecnie dosyć dobrze poznany, chociaż należy przyznać, że w stalach komercyjnych o ograniczonych stężeniu Mn jest na pewno to trudniejsze do uzyskania. Doktorant odwołuje się w zasadzie tylko do jednej pozycji literaturowej w pracy [121], podając uzyskany w badaniach większy efekt rozdrobnienia w porównaniu do cytowanych autorów. Niestety nie tłumaczy już dlaczego uzyskano większy efekt rozdrobnienia stali. Brak bardziej dojrzałej dyskusji z danymi literaturowymi jest na pewno słabszym punktem recenzowanej dysertacji.

Niestety Autor bardzo często nie dzieli rysunków na a), b), c) ... itd. co powoduje, że musi używać sztucznych opisów do nawiązania do konkretnych rysunków (np. rys. 36, 37, 48, 50, 72, 84, 87). Słabszą częścią rozprawy jest także brak statystycznego opracowania wyników, mimo zestawienia dosyć dużego zestawu danych ilościowych, np. wyniki temperatury $M_s$ (rys. 44, 72), udział austenitu międzykrytycznego i twardość stali (rys. 47, 49, 74) oraz szczegółowe dane zawarte w tabelach 11, 21, 22, 23. Nie zamieszczono także żadnych danych oryginalnych z badań rentgenowskich oraz badań właściwości magnetycznych. Wyniki statycznej próby rozciągania przedstawiono jedynie w postaci typowych krzywych inżynierskich. Szkoda, ze nie podano ich w postaci krzywych rzeczywistych oraz dodatkowych krzywych np. przedstawiających wykładnik umocnienia odkształceniowego n oraz zmianę szybkości umocnienia odkształceniowego w funkcji odkształcenia rzeczywistego. Analizy takie byłyby na pewno o lepszej wartości naukowej, niż przedstawiona typowa analiza inżynierska. Możliwe byłoby lepsze przeanalizowanie wkładu efektu TRIP oraz rozdrobnienia na umocnienie odkształceniowe stali. Dobrą częścią pracy jest jakość zamieszczonych mikrofotografii z transmisyjnego mikroskopu elektronowego. Niestety podano tylko jedno rozwiązanie dyfrakcji elektronowej, ale bez podania osi pasa krystalograficznego zidentyfikowanych faz (rys. 62).

Całość pracy kończy krótkie podsumowanie z próbą wytłumaczenia kształtowania struktury wielofazowej dla pojedynczej oraz podwójnej obróbki cieplnej, a także trafnie sformułowane wnioski końcowe.

### 4.4. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

Ogólnie pracę doktorską mgr inż. Adama Gołaszewskiego oceniam na dobrym poziomie. Jednak podczas jej lektury nasuwa się kilka pytań, kilka uwag krytycznych, a także pytań o charakterze polemicznym:

**Pytania, uwagi krytyczne i polemiczne:**

- Jaka jest postać geometryczna badanych stali w stanie wyjściowym ? Jak kontrolowano szybkości nagrzewania / chłodzenia elementów obrabianych cieplnie i jak korespondowały one z warunkami badań dylatometrycznych ?
- Autor stosował 2 stale z dodatkiem krzemu oraz jedną stal z dodatkiem aluminium (oraz 0,33% Si). Niestety w pracy nie znajduję porównania tych stali, a w zasadzie wpływu Si i Al, pod kątem ich wpływu na efektywność hamowania węglików, kinetykę przemian fazowych i właściwości mechaniczne stali, itd. Mimo nieco odmiennego stężenia innych pierwiastków: C, Cr, Mo, myślę, że warto pokusić się o takie porównanie, a tym samym o opinię, która ze stali najbardziej nadaje się do kształtowania ultradrobnoziarnistej struktury ferrytyczno-bainitycznej z austenitem szczątkowym ? Takie porównanie dobre byłoby także w podsumowaniu i końcowym wnioskowaniu.
- Rysunek 32. Autor nie wyjaśnił dlaczego po pierwszym, pełnym austenityzowaniu zastosował hartowanie z przystankiem izotermicznym. Znacznie łatwiejsze od strony technologicznej byłoby po prostu zahartowanie stali do temperatury pokojowej. Po takiej obróbce należy się także spodziewać wytworzenia struktur ultradrobnoziarnistych ponieważ ferryt i austenit będą powstawać wzdłuż listew martenzytycznych. Ten efekt jest dobrze znany ze stali średniomanganowych, należących do III generacji stali AHSS. Autor wytworzył bardziej skomplikowany układ składający się z wyjściowego bainitu, austenitu szczątkowego i węglików nierozpuszczonych podczas austenityzowania. Nie opisał natomiast precyzyjnie kinetyki tworzenia się ferrytu i austenitu z tych faz wyjściowych. Nie wiadomo czy austenit się poszerza czy zarodkuje niezależnie w odpuszczonym bainicie ? Jak można porównać kinetykę tworzenia struktury dwufazowej ze struktury, którą wytworzył Autor oraz ze struktury martenzytycznej ? Jaka jest ewentualnie rola węglików dla kinetyki formowania austenitu i ferrytu ?
- Autor w całej pracy abstrahuje od rzeczywistych technologii i warunków wytwarzania stali wielofazowych z efektem TRIP. W praktyce przemysłowej są co najmniej 2 stosowane technologie. Proszę o ich przybliżenie i opisanie, czy badane stale mogłyby być wytwarzane w warunkach przemysłowych. Szczególnie chodzi o obróbkę międzykrytyczną poprzedzoną pełnym austenityzowaniem i hartowaniem bainitycznym.
- Autor postuluje na stronie 105: „Brak wyraźnej granicy plastyczności wynika prawdopodobnie z efektywnego działania efektu TRIP ...". W mojej opinii brak wyraźnej granicy plastyczności wynika z innego mechanizmu, gdyż przemiana austenitu szczątkowego w martenzyt następuje zazwyczaj dopiero w dalszym zakresie odkształcenia. Proszę o wyjaśnienie tego mechanizmu.
- Rysunek 71. Czy zestawione krzywe da się przybliżyć jakimś równaniem oraz ile wynosi współczynnik korelacji lub inny parametr statystyczny ?

- Autor mało uwagi poświęca różnicom morfologicznym austenitu szczątkowego po obróbce jednostopniowej oraz dwustopniowej, co ma wpływ na stabilność mechaniczną austenitu szczątkowego i właściwości mechaniczne stali. Dalej na stronie 127 Doktorant pisze, że „na rozdrobnienie struktury (w obróbce dwuetapowej) mógł wpłynąć skład chemiczny stali oraz niższa temperatura wygrzewania w zakresie międzykrytycznym". W mojej opinii głównym powodem jest po prostu zarodkowanie (lub wzrost) ferrytu czy też austenitu wzdłuż listew ferrytu bainitycznego wytworzonego po pełnym austenityzowaniu i pierwszym hartowaniu bainitycznym. Autor nie analizuje jednak szczegółowo tego zagadnienia.
- Kluczowe znaczenie dla pracy ma wyjaśnienie mechanizmu kształtowania się struktury znajdujące się w Podsumowaniu. Autor tłumaczy mechanizm formowania struktury rozdrobnionej na podstawie schematu i mikrofotografii TEM (rys. 89). W mojej opinii usytuowanie austenitu szczątkowego w środku pomiędzy listwami ferrytu bainitycznego jest statystycznie możliwe, ale raczej nie dominujące. Wedle mojej analizy gradient stężenia węgla na granicy międzyfazowej ferryt-austenit (podczas wyżarzania międzykrytycznego) jest duży i po ochłodzeniu do temperatury przemiany bainitycznej w sąsiedztwie ferrytu powinien zostać ustabilizowany austenit szczątkowy. Tym samym w środku powinna być listwa ferrytu bainitycznego otoczona filmami austenitu szczątkowego, graniczącymi z zewnętrznej strony z ferrytem międzykrytycznym. Proszę o ustosunkowanie się do takiej ewentualności.

**Inne, drobne uwagi:**

- Wiele opisów osi jest mało czytelnych (np. rys. 1, 7, 38-42),
- Autor bardzo często nie stosuje indeksów dolnych przy oznaczeniu temperatur krytycznych, Ms, Mf, Bs, Ac1, Ac3,
- Stosuje niepoprawny zapis faz i węglików, np. MNS, M23C6, M7C3, Fe3P,
- Błędy literowe, np. na efektu umocnienia (s. 12), z przeminą izotermiczną (s. 23), wzrost zwartości austenitu (s. 73),
- Dowolność w zapisie cytowanej literatury, np. zamienność dużych i małych liter, brak autorów (np. 8, 16), tytułów czasopism (np. 68), itp.
- Skrót myślowy: obecność austenitu powoduje kruchość materiału ... (s. 15),
- ... ze wzrostem tempa odkształcania ... (s. 37) ?,
- Jaką wersję programu i bazę materiałową użyto w programie JMatPro (s. 54) ?,
- Niemożliwe jest wydrążenie otworu o średnicy 3 mm w próbce walcowej o średnicy 3 mm (s. 55),
- Brak oznaczeń a), b), c) oraz opisów na rys. 35, 36, 37,
- Niefortunne sformułowania, np. ... wielkość przemiany martenzytycznej (s. 72),
- Brak opisu osi twardości na rys. 47,
- ...z ziaren wielkości kilku rzędu kilku μm (s. 95),
- Tabela 15; powinno być Ze wstępną obróbką zamiast Z wstępną obróbką.

## 5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Do najważniejszych osiągnięć pracy doktorskiej mgr inż. Adama Gołaszewskiego zaliczam udokumentowane rozwiązanie problemu naukowego obejmującego kształtowanie wielofazowej mikrostruktury z austenitem szczątkowym w stalach średniowęglowych do ulepszania cieplnego o podwyższonym stężeniu Si i/lub Al. Autor wniósł oryginalny wkład naukowy do dyscypliny inżynieria materiałowa poprzez dowiedzenie możliwości uzyskania submikronowych struktur w tych stalach poprzez zmodyfikowanie obróbki cieplnej i wprowadzenie przed wyżarzaniem międzykrytycznym dodatkowego hartowania bainitycznego, zmieniającego kinetykę tworzenia struktur wielofazowych w zakresie międzykrytycznym i następnym wytrzymaniu bainitycznym. Dzięki rozdrobnieniu struktury i stabilizacji austenitu szczątkowego uzyskał nowy zestaw właściwości mechanicznych, tj. wysokie połączenie wytrzymałości i ciągliwości w konwencjonalnych typach stali średniowęglowych do ulepszania cieplnego. Rozwiązanie zdefiniowanego problemu naukowego wymagało dużej wiedzy teoretycznej z zakresu metaloznawstwa oraz obróbki cieplnej nowoczesnych stopów żelaza, metodycznego prowadzenia eksperymentu przy użyciu zaawansowanej aparatury naukowo-badawczej oraz umiejętności prowadzenia pracy naukowej i wyciągania właściwych wniosków. Stwierdzam, że mgr inż. Adam Gołaszewski spełnia wymagania określone w obowiązującej Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, wobec czego wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Adama Gołaszewskiego do publicznej obrony.