

Prof. dr hab. inż. Andrzej Dziadoń
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Metaloznawstwa i Technologii Materiałowych

Kielce, 5 lutego 2018 r.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Łagody
pt. " Analiza zjawiska umocnienia odkształceniowego niskotemperaturowo
wyciskanego tytanu"

Recenzję wykonałem zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w oparciu o pismo Prof. dr hab. inż. Tadeusza Knycha, z dnia 15 listopada 2017r.

Praca doktorska została wykonana pod kierunkiem Prof. dr hab. inż. Włodzimierza Bochniaka. Rozprawa liczy 97 stron, składa się z 14 rozdziałów (teza pracy oraz wnioski są potraktowane jako rozdziały) oraz spisu literatury, zawierającego 105 pozycji.

Ogólna charakterystyka pracy, ocena tematyki

W pracy doktorskiej mgr inż. Marka Łagody przedstawiono charakterystykę mechaniczną procesu wyciskania na prasie KOBO tytanu o technicznej czystości oraz poddano analizie wyniki badań strukturalnych i mechanicznych uzyskanego materiału. Z dotychczasowych badań wynika, że własności i struktura metali i stopów wyciskanych metodą KOBO znacznie różnią się od własności tych samych materiałów kształtowanych sposobem konwencjonalnym. Tytan lub jego stopy nie były dotychczas odkształcane metodą KOBO, stąd podjęte w pracy doktorskiej badania uważam za celowe. Przebieg procesu wyciskania tytanu na prasie KOBO jest interesujący także ze względu na to, że konwencjonalna obróbka plastyczna tytanu i jego stopów nastęcza szereg trudności. Na przykład charakterystyczna jest dla tytanu tendencja do przylegania do powierzchni narzędzi kształtujących, naprężeniom uplastyczniającym towarzyszą wysokie naprężenia sprężyste, a to utrudnia uzyskiwanie wyrobów o założonych wymiarach. Konieczne jest także stosowanie dużych nacisków kształtowania.

Temat pracy doktorskiej należy więc uznać za aktualny i ciekawy, a także za właściwy dla ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych.

Ocena merytoryczna pracy

Tekst składa się z części wstępnej, zawierającej analizę literatury tematu, następnie doktorant przedstawił tezę i cel pracy, metodykę oraz wyniki badań własnych wraz z analizą tych wyników. Najistotniejsze ustalenia wynikające z wykonanych badań zebrane zostały we wnioskach końcowych.

Część wstępna

W części wstępnej Doktorant przedstawił, w oparciu o literaturę, dwa zagadnienia. Kilka pierwszych rozdziałów wprowadza czytelnika w tematykę dotyczącą tytanu i jego stopów, odkształcania plastycznego i mechanizmów umocnienia metali. Druga część tekstu dotyczy

sposobu odkształcania metali metodą KOBO, z szerszym omówieniem zastosowania tej metody w procesie wyciskania. Tę część pracy dopełniają rozdziały przedstawiające charakterystykę struktury i własności mechanicznych materiałów wyciskanych metodą KOBO, a także prezentacja fotograficzna możliwości uzyskiwania tą metodą wyrobów o skomplikowanym kształcie, nawet wtedy, gdy odkształcany materiał charakteryzuje się niewielkim wydłużeniem (jak np. odlewniczy stop magnezu AZ91).

Pod względem tematycznym część wstępna nie budzi zastrzeżeń; temat pracy wymaga zarówno charakterystyki materiału odkształcanego plastycznie, jak i naświetlenia metody jego odkształcania, a także omówienia własności wyrobów wyciskanych metodą KOBO. Doktorant zrealizował to zadanie.

Część wstępna pracy, zwłaszcza dotycząca struktury i własności tytanu, zawiera jednak sporo nieścisłości, błędów i niezręczności językowych. Pozostałe rozdziały części wstępnej dotyczące sposobu odkształcania metali metodą KOBO oraz charakterystycznych cech struktury i własności mechanicznych materiałów wyciskanych metodą KOBO, opracowane są pod tym względem lepiej.

W dalszej części recenzji zamieściłem zestaw zauważonych usterek.

Teza i cel pracy

Doktorant, nawiązując do dotychczasowych wyników wyciskania metali i stopów metodą KOBO sformułował tezę, iż możliwe jest wyciśnięcie tytanu technicznej czystości, z dużym stopniem przerobu, w temperaturze niższej od temperatury jego rekrytalizacji. Zakłada również, że istnieją przesłanki aby mechanizm plastycznego płynięcia i umocnienie odkształceniowe tytanu wyciśniętego metodą KOBO wiązać z wysoką koncentracją defektów punktowych, wyższą niż równowagowa. Defekty punktowe generowane są podczas procesu odkształcania tytanu metodą KOBO.

Metodyka badań

Przedstawiony został skład chemiczny i własności mechaniczne tytanu użytego do badań, charakterystyka prasy KOBO, oraz przebieg eksperymentów prowadzących do ustalenia optymalnych parametrów wyciskania tytanu (prędkości przesuwu stempla, kąta i częstotliwości obrotu matrycy). Poruszony został problem doboru narzędzi umożliwiających niskotemperaturowe wyciskanie tytanu (nagrzanego przed wyciskaniem do temperatury 350 °C). Informacje dotyczące metodyki badań uzupełniają fotografie pokazujące powierzchnię wyciśniętych prętów.

Nie mam uwag krytycznych dotyczących „metodyki badań”.

Wyniki badań

Rozdział składa się z trzech części. Pierwsza dotyczy charakterystyki mechanicznej wyciskania tytanu na prasie KOBO, druga część relacjonuje badania własności mechanicznych wyciskanych prętów, trzecia przedstawia wyniki obserwacji ich struktury oraz porównawczo, struktury tytanu – wsadu do wyciskania.

Analiza zjawiska umocnienia odkształceniowego niskotemperaturowo wyciskanego tytanu stanowi temat pracy doktorskiej. Doktorant oparł tę analizę na porównaniu własności tytanu wyciśniętego metodą KOBO z własnościami tytanu stanowiącego wsad do wyciskania. Z próby rozciągania wynika, że efektem wyciskania na prasie KOBO jest wzrost podstawowych własności mechanicznych tytanu w porównaniu do własności mechanicznych wsadu: wyciskany tytan ma wyższą granicę plastyczności, wyższą wytrzymałość na rozciąganie i

wyższą plastyczność. Wzrost wytrzymałości na rozciąganie wynosi ok. 10%, wydłużenia ok. 20%. Doktorant kontynuował badania mechaniczne tych dwu materiałów. Stwierdził, że tytan – wsad do wyciskania, poddany wyżarzaniu rekrytalizującemu uzyskuje wydłużenie o wartości zbliżonej do wartości wydłużenia tytanu wyciskanego metodą KOBO, lecz jednocześnie jego wytrzymałość maleje o kilkadziesiąt MPa. Z krzywych rozciągania wyznaczył czułość na prędkość odkształcenia i stwierdził, że tytan wyciskany metodą KOBO i tytan – wsad do wyciskania ale w stanie wyżarzone, posiadają podobną, niską wartość czułości na prędkość odkształcenia. Niską wartość czułości na prędkość odkształcenia tytanu wyciskanego na prasie KOBO tłumaczy Doktorant, w oparciu o literaturę dotyczącą struktury materiałów odkształczanych metodą KOBO, występowaniem klastrów defektów punktowych w strukturze materiału. Klastry te mogą utrudniać aktywację termiczną ruchu dyslokacji poślizgowych – stąd niska czułość na prędkość odkształcenia. Doktorant badał następnie reakcję tytanu wyciśniętego na prasie KOBO na dalsze odkształcanie realizowane przez walcowanie na zimno. Zestawił charakterystykę umocnienia tytanu wyciskanego na prasie KOBO i tytanu – wsadu do wyciskania. Materiały te były walcowane z wzrastającym od 8% do 90% stopniem odkształcenia, a następnie próbki poddano rozciąganiu. Stwierdził, że w wyniku walcowania w obydwu materiałach znacznie rośnie wartość granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie, a wartości tych wskaźników są po każdym etapie walcowania wyższe dla tytanu uprzednio wyciskanego na prasie KOBO. Natomiast wartość wydłużenia tytanu wyciskanego KOBO i walcowanego następnie z dużym stopniem odkształcenia (80-90%) jest niższa niż dla tytanu – wsadu do wyciskania, ale ciągle materiał ten jest plastyczny. Z przeprowadzonego eksperymentu walcowania Doktorant wyciąga wniosek, że „elementy struktury nadające tytanowi wyciśniętemu metodą KOBO jego wysokie własności nie wpływają (lub wpływają w nieznacznym stopniu) na mechanizmy umocnienia działające podczas walcowania w kalibrach”

Oceniając tę część pracy doktorskiej stwierdzam, że zakres przeprowadzonych eksperymentów był wystarczający dla uzyskania charakterystyki mechanicznej tytanu wyciskanego na prasie KOBO oraz porównania z charakterystyką mechaniczną tytanu, który był odkształczany plastycznie według konwencjonalnej technologii.

Badania strukturalne dotyczyły tytanu wyciskanego na prasie KOBO oraz tytanu – wsadu do wyciskania. Przeprowadzone zostały przy pomocy mikroskopii optycznej i elektronowej. Ziarna obserwowane w przekroju poprzecznym wyciśniętego na prasie KOBO pręta są równoosiowe, podobnie jak ziarna tytanu stanowiącego wsad do wyciskania i są podobnej wielkości. Mikrostruktura tytanu wyciśniętego na prasie KOBO a następnie walcowanego z niewielkim stopniem odkształcenia (8%) wskazuje na równoosiowość ziarn również w jego przekroju wzdłużnym.

Występuje jednak zasadnicza różnica między strukturą dyslokacyjną tych dwu materiałów. Tytan wyciskany na prasie KOBO charakteryzuje się mniejszą gęstością dyslokacji niż tytan – wsad do wyciskania, a w jego strukturze widoczne są efekty zdrowienia a nawet rekrytalizacji. Natomiast walcowanie na zimno powoduje wzrost gęstości dyslokacji w obydwu typach materiału. Jednak w strukturze tytanu wyciśniętego metodą KOBO obok obszarów o dużej gęstości dyslokacji widoczne są obszary struktury wyzdrowionej o ultra drobnych podziarnach. Doktorant wnioskuje, że to strefy materiału w których podczas walcowania zachodziła lokalizacja odkształcenia w pasmach ścinania.

Podsumowując tę część pracy stwierdzam, że Doktorant zbadał strukturę tytanu wyciśniętego metodą KOBO oraz tytanu stanowiącego wsad do wyciskania i ujawnił różnice między tymi strukturami. Ponadto przeanalizował wpływ dużego odkształcenia (90%) na strukturę dyslokacyjną tych materiałów. Cel badań strukturalnych, pod tymi względami,

został osiągnięty. Natomiast nie próbował Doktorant znaleźć klastrów defektów punktowych w strukturze tytanu wyciśniętego metodą KOBO.

Wnioski

Doktorant sformułował 5 wniosków. Poza udowodnioną eksperymentalnie możliwością niskotemperaturowego wyciskania tytanu z dużym stopniem odkształcenia metodą KOBO, wskazał na analogię procesu wyciskania tytanu z wyciskaniem metodą KOBO innych metali oraz przedstawił charakterystykę umocnienia i struktury wyciśniętego tytanu.

Mam tu dwie uwagi. Pierwsza dotyczy wniosku 4. Mówi on, że struktura ziarnowa i dyslokacyjna tytanu wyciśniętego metodą KOBO, mimo jego wyższych własności wytrzymałościowych, jest identyczna jak tytanu, który stanowił wsad do wyciskania. Tymczasem, z przedstawionych wcześniej badań wynika, że rzeczywiście, materiały te posiadają bardzo podobne pod względem wielkości, równoosiowe ziarna, natomiast różnią się gęstością i dystrybucją dyslokacji. Moja druga uwaga dotyczy braku wniosku dotyczącego wyników badań strukturalnych tytanu poddanego walcowaniu. Badania takie zostały wykonane przy pomocy mikroskopii optycznej i elektronowej, zarówno dla tytanu wyciśniętego metodą KOBO, jak i dla tytanu stanowiącego wsad do wyciskania.

Pytania recenzenta

1. Z tekstu rozdziału 2 „Własności mechaniczne tytanu” wynika, że tlen i azot już przy niewielkiej zawartości ograniczają odkształcalność plastyczną tytanu ponieważ tlenki, azotki, jak i węgliki są kruche. Jak należy rozumieć informację o tlenkach i azotkach w strukturze tytanu skoro, jak wynika z układów równowagi fazowej, tlen i azot tworzą z tytanem roztwory stałe, przy czym graniczna rozpuszczalność w tytanie α każdego z tych pierwiastków wynosi kilkadziesiąt % at.?
2. Na podstawie dyfrakcji z dwu sąsiednich obszarów cienkiej folii stwierdzono obecność fazy β w strukturze tytanu przeznaczanego do badań (str. 75). W terminologii stopów tytanu powszechnie przyjmuje się, że faza β to roztwór stały pierwiastków stopowych rozpuszczających się w odmianie alotropowej tytanu β . Powstaje zatem pytanie: czy tytan o czystości technicznej, w którym brak pierwiastków stopowych stabilizujących fazę β , może mieć strukturę $\alpha + \beta$? A może faza β to wodorek tytanu, który krystalizuje w układzie regularnym (jak tytan β) i który może występować w tytanie o technicznej czystości.
3. W końcowej części analizy struktury tytanu wyciśniętego metodą KOBO (str. 90) pisze Pan „Ze względu na zlokalizowany charakter płynięcia metalu w trakcie wyciskania metodą KOBO znalezienie klastrów defektów punktowych jest mocno utrudnione. Powodem tego jest trudność znalezienia odpowiedniego miejsca obserwacji. Klastry defektów punktowych odpowiedzialne za wysokie własności wytrzymałościowe koncentrują się w warstwach najmocniej odkształconych, czyli pasmach ścinania. W sytuacji występowania dużych obszarów biernych w połączeniu z nanometrycznymi wymiarami klastrów okazują się one elementami trudnymi do ujawnienia”. Pojawia się pytanie: czy w takim razie materiał wyciskany metodą KOBO należy traktować jako niejednorodny pod względem dystrybucji klastrów defektów punktowych?
4. Czy porównywana była wielkość podziarn tytanu wyciskanego na prasie KOBO i tytanu – wsadu do wyciskania. Różnica, poza obecnością klastrów defektów punktowych, rzutowałaby także na własności wytrzymałościowe tych materiałów.

Błędy i nieścisłości zauważone w tekście, sugestie recenzenta

1. Str. 4, Wprowadzenie. Doktorant pisząc o odmianie alotropowej tytanu, tytanie β , przywołuje pozycję literatury z 2001 roku, podczas gdy alotropia tytanu znana jest od dawna. Co więcej, cytowana publikacja nie dotyczy tytanu lecz jego stopu, zaliczanego wg klasyfikacji stopów tytanu do stopów typu β .
2. Str. 6, Czy „domieszkami” można nazwać wprowadzone do stopu tytanu pierwiastki w ilości do 5% at. ?
3. Str. 6, „O ile powszechnie produkowane stale mają wytrzymałość na rozciąganie 1,5 - 1,8 GPa.....” Komentarz: wiele stosowanych powszechnie stali ma wytrzymałość znacznie mniejszą, dla stali niskowęglowych może wynosić ona nawet ok. 300 MPa.
4. Str. 6, Rys.1 został w tekście przypisany pozycjom literaturowym [11-16]. W podpisie pod rysunkiem jest odniesienie tylko do pozycji [16]. Jak wykorzystał Autor pozostałą literaturę (od poz.11 do poz. 15) skoro następne cytowanie dotyczy pozycji literaturowej [17]. Poza tym podpis pod rysunkiem 1 jest niekompletny.
5. Str. 7, Termin „pierwiastki międzywęzłowe” jest niewłaściwy. Międzywęzłowe mogą być atomy.
6. Str. 7, „czym większa czystość tytanu, tym niższe własności wytrzymałościowe....” Zwrot „czym tym” stosowany jest wielokrotnie na dalszych stronach pracy. Jest niepoprawny. Powinno się pisać „im tym”, a więc „im większa czystość tytanu tym niższe własności wytrzymałościowe”
7. Str. 7, Tabela 1 została w tekście przypisana pozycjom literaturowym [18-19]. W opisie nad tabelą jest odniesienie tylko do pozycji [19]. Do czego więc wykorzystana została pozycja [18] literatury ?
8. Str. 8, Wymieniając zalety stopu tytanu pisze Doktorant, że umożliwiają one „działanie do temperatury 455 °C”. O jakie działanie chodzi ? Trudno też zrozumieć sens informacji o innym stopie tytanu „Ten gatunek jest kompromisem pomiędzy łatwością spawania i produkcji „czystej” klasy i wysokiej wytrzymałości klasy 5”.
9. Str. 8 i 9, Niezbyt fortunne są terminy „zimna formowalność” oraz stop jest „wysoce spawalny”, choć wiadomo o co tu chodzi.
10. Str. 10, Stop „jest podatny na obróbkę skrawaniem” – Komentarz: „podatny na obróbkę” nie brzmi najlepiej. Poniżej „W celu zwiększenia trwałości opracowano szereg metod obróbki termicznej, mechanicznej” . Co oznacza w inżynierii materiałowej słowo „trwałość” ?
11. Str. 10, „Stopy występujące podobnie jak czysty tytan w odmianie α ” Nieścisłość – tytan posiada dwie odmiany alotropowe: α i β
12. Str. 10, „Wyższe Grade posiadają dobrą odporność na pełzanie” Komentarz: czy nie lepiej zamiast „grade” używać polskiego odpowiednika np. „gatunek”?
13. Str. 11, „Stopy bliskie alfa, stopy bliskie beta” – ta terminologia stanowi wierne tłumaczenie z angielskiego „near-alpha” i „near-beta” alloys. W Polsce przyjęto stopy te nazywać odpowiednio stopami pseudo alfa i pseudo beta (pseudo α i pseudo β)
14. Str. 11, „Na stopach beta w stanie przetworzonym można oczekiwać doskonałej formowalności” (pisownia oryginalna Autora), a kilka wierszy niżej „Obecność bardziej kruchej fazy β ” Czy to nie jest sprzeczne ?
15. Str. 11, Wzór na równoważnik aluminium warunkujący strukturę alfa w stopach tytanu opatrzony jest komentarzem „Jeśli to przekracza około 9% wagowych, mogą wystąpić niekorzystne reakcje wytrącania” Pomijając styl, co to są „reakcje wytrącania” ?
16. Str. 12, „Aluminium zmniejsza gęstość, stabilizuje i wzmacnia fazę α , podczas gdy wanad stanowi większą ilość bardziej ciągliwej fazy β w trakcie przeróbki plastycznej

- na gorąco” Komentarz: Po pierwsze, niezrozumiałe jest sformułowanie „wanad stanowi większą ilość fazy β ”. Po drugie, informacja o bardziej ciągliwej fazie β jest niezgodna z tym, co o fazie β znajdujemy na stronie 11 „Obecność niewielkiej ilości bardziej kruchej fazy β w stopach α jest korzystna w obróbce cieplnej i zdolności kucia”. Ponadto, w przytoczonym zdaniu zamiast „aluminium wzmacnia fazę α ” lepiej napisać „aluminium umacnia fazę α ”. Rozdział 6 pracy doktorskiej jest zatytułowany przecież „Sposoby umacniania metali” Także w temacie pracy doktorskiej mamy „Analiza zjawiska umocnienia”
17. Str. 12, Charakterystyka stopów β jest, moim zdaniem, zbyt pobieżna i w zasadzie ograniczona do przedstawienia roli chromu w tych stopach.
 18. Str. 17, „Podczas odkształcenia przez poślizg dyslokacji wektor Burgersa ma wartość parametru sieci” Komentarz: tak, dla sieci heksagonalnej A3 o zwartym ułożeniu atomów, natomiast dla układu regularnego o sieci ściennie centrowanej (A1) wartość (długość) najmniejszego wektora Burgersa dyslokacji poślizgowej wynosi $a\sqrt{2}/2$, dla sieci przestrzennie centrowanej (A2) jest równa $a\sqrt{3}/2$, gdzie a jest parametrem sieci.
 19. Str. 20, Dlaczego przedstawiając mechanizmy umacniania metali, (rozdział 6.) pominięto umacnianie wydzieleniowe i umocnienie przez przemianę martenzytyczną? Czy obróbka cieplna nie odgrywa istotnej roli w umacnianiu stopów tytanu?
 20. Str. 20, „Granica plastyczności jest wprost proporcjonalna do odwrotności wielkości ziarna w potęgze 1/2” Komentarz: w równaniu Halla-Petcha za miarę wielkości ziarna przyjmuje się jego średnicę, dlatego lepiej zamiast „wielkość ziarna” użyć określenia „średnia średnica ziarna”.
 21. Str. 20, „Innym wytłumaczeniem załamania się zależności Halla-Petcha jest powiązanie dużej powierzchni nanoziarna w stosunku do jego objętości, co wiąże się z dużym zdefektowaniem sieci krystalicznej” Co oznacza tu słowo „powiązanie”?
 22. Str. 22, „Metale umacniane są także przez zawartość innych pierwiastków (umocnienie roztworowe)” Komentarz: pierwiastki wchodzące w skład stopu mogą powodować umocnienie nie tylko roztworowe.
 23. Str. 23, „Przeróbka plastyczna na zimno jest prowadzona głównie na stopach technicznie czystego tytanu” Komentarz: nie ma kategorii stopów o nazwie „stopy technicznie czystego tytanu”.
 24. Str. 23, „Tytan łatwo się rozciąga, ale trudno ściska” - jak to rozumieć?
 25. Str. 25, Rysunek 10 dotyczy odkształcania żelaza ARMCO wzdłuż kierunku walcowania, natomiast z tekstu (powyżej rysunku) wynika, że obrazuje on efekt zmiany drogi odkształcenia.
 26. Str. 26, W podpisie pod rysunkiem 12 błędnie powołano się na rysunek 34
 27. Str. 27, W tekście, po cytowaniu 50 pozycji wg spisu literatury cytowana jest, jako następna, pozycja 52.
 28. Str. 27, Niezrozumiałe jest zdanie zaczynające się od słów „W odróżnieniu od zmiany drogi odkształcenia
 29. Str. 29, „nie osiągalny” pisze się razem „nieosiągalny”
 30. Str. 31 i str. 32, Podpisy pod rysunkami 17, 18 i 19 – „krzywa 2 to $\lambda = 25...$ ” (rys. 17), krzywa 2 to $v = 0,33$ mm/s” (rys. 18), krzywa 2 to $T = 220$ °C” (rys.19). Komentarz: krzywa to nie stopień przerobu, nie prędkość wyciskania, ani nie temperatura. W oryginalnej publikacji jest „corresponds to” stąd pewnie owo „to”.
 31. Str. 32, Z rysunku 18 wynika, że wzrost prędkości wyciskania stopu 7075 powoduje zmniejszenie siły wyciskania, natomiast z komentarza w tekście, oraz z rysunku 20, że jest odwrotnie.

32. Str. 33, Dla ścisłości: wyznaczając naprężenie σ siłę dzielimy nie przez przekrój poprzeczny, lecz przez pole powierzchni przekroju poprzecznego. Poza tym zdanie, w którym mowa o naprężeniu, jest niepoprawne pod względem językowym.
33. Str. 38, „Badania te [62-64] dowodzą, że” Komentarz: jeżeli „te” to znaczy już prezentowane w tekście, czyli do pozycji literaturowej [62] włącznie. Ze źródeł literaturowych [63, 64] Autor jeszcze nie korzystał.
34. Str. 40, „Nie tłumaczą one jednak (anormalnego zachowania) metali i stopów poddanych odkształceniu metodą KOBO”. Czemu „anormalnego zachowania” jest w nawiasach ?
35. Str. 42, W podpisie rysunku 31 brak odniesienia do źródłowej publikacji.
36. Str. 44 i 45, Na cytowanych z literatury rysunkach 34 i 35 pozostawiono nazwy wskaźników własności mechanicznych w języku angielskim.
37. Str. 47, Podpis pod rysunkiem 38 „Mikrostruktura próbek jak na rysunku 37, które posłużyły.....” Rysunek 37 nie przedstawia ani próbek ani mikrostruktury, lecz krzywe rozciągania.
38. Str. 48, Podpis pod rysunkiem 40 „Mikrostruktura drutu jak na rysunku 39” Rysunek 39 nie przedstawia mikrostruktury, lecz krzywe rozciągania.
39. Str. 49, Podpis pod rysunkiem 41 „Średnia twardość (HV) zębátky w funkcji czasu starzenia” Komentarz: czemu twardość zębátky, nie stopu 7075 ?
40. Str. 51, „Jednak szczególną zaletą wyciskania z bocznym wpływem jest możliwość wytwarzania wyrobów o wymiarach większych od średnicy wsadu (rys. 46)” Komentarz: Nie wszystkie wymiary są większe. Szerokość taśmy pokazanej na rysunku 46 jest większa, natomiast grubość taśmy jest mniejsza od średnicy wsadu.
41. Str. 59, W podpisie pod rysunkiem 55 jest odnośnik literaturowy [109]. Tymczasem spis literatury (na końcu pracy) kończy się na pozycji [105].
42. Str. 70/71, „Interesujące jest współistnienie obszaru czystego od dyslokacji” Komentarz: „Czysty od dyslokacji” – czy to poprawny termin ?
43. Str. 85, „W strukturze pojawiły się prążki (rys.96), które nie były wcześniej niewidoczne na próbkach o innej historii deformacji” To znaczy, że prążki były wcześniej widoczne ?
44. Str. 87, „..... historia odkształcenia wariantu tytanu”. Wariant tytanu ?
45. Str. 88, „Niewielkie rozmycie na dyfrakcji” Rozmycie „na dyfrakcji” ?

Najważniejsze osiągnięcia rozprawy

Doktorant opanował proces wyciskania tytanu o czystości technicznej na prasie KOBO. Należy dodać, że przeróbka plastyczna tytanu nie jest łatwa. Wyciskanie prowadził ze znacznym stopniem odkształcenia, nagrzewając tytan do temperatury 350 °C – znacznie niższej od temperatury rekrytalizacji. Sukces poprzedzony był wieloma próbami, ponieważ kształtowanie plastyczne tytanu wymaga stosowania znacznie większych nacisków niż stosowane dla materiałów dotychczas wyciskanych metodą KOBO (cynku, stopów aluminium i stopów magnezu). Stąd konieczność wykonania nowych matryc z innego, bardziej odpowiedniego materiału, oraz seria eksperymentów w celu doboru parametrów wyciskania.

Następnie Doktorant przedstawił wyniki badań mechanicznych i strukturalnych wyciśniętego tytanu i na ich podstawie dokonał analizy zjawiska umocnienia odkształceniowego tego materiału. Wynika z niej, że podczas wyciskania metodą KOBO tytan znacznie umacnia się nie tracąc jednak plastyczności. Wynik ten jest zbieżny z rezultatami badań własności mechanicznych szeregu innych materiałów wyciskanych na

praszę KOBÓ. Powołując się na tę analogię, nietypowe cechy tytanu przypisuje Doktorant defektom punktowym, intensywnie generowanym podczas odkształcania metali metodą KOBÓ i tworzącym klastry umacniające materiał.

Wniosek końcowy

Przechodząc do ostatecznej oceny pracy stwierdzam, że mgr inż. Marek Łagoda, po opanowaniu techniki wyciskania tytanu metodą KOBÓ, przeprowadził badania pozwalające na charakterystykę struktury i własności mechanicznych wyciśniętego materiału. Wyniki Jego pracy w znacznym stopniu poszerzają wiedzę o własnościach metali odkształczanych metodą KOBÓ. Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia badań w wytyczonym kierunku, oraz umiejętnością wyciągania wynikających z tych badań wniosków, co świadczy o Jego przygotowaniu do prowadzenia pracy badawczej. Pewnym niedociągnięciem są nieścisłości i błędy językowe w tekście pracy.

Stwierdzam, że przedstawiona praca doktorska odpowiada wymogom stawianym do uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14. 03. 2003. i stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Marka Łagody do jej publicznej obrony.

Wielki