



Leszek A. DOBRZAŃSKI

m. dr h.c. prof. zw. dr hab. inż.

Dyrektor Instytutu

Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
Wydziału Mechanicznego Technologicznego

Prorektor

ds. Nauki i Współpracy z Przemysłem

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ul. Konarskiego 18a
44-100 GLIWICE



Gliwice, dnia 22 czerwca 2013 roku

RECENZJA

pracy doktorskiej

Pani mgr inż. Anny Januszki

pod tytułem

„Identyfikacja procesu krzepnięcia masywnego szkła metalicznego $Fe_{36}Co_{36}B_{19,2}Si_{4,8}Nb_4$ ”
wykonanej pod opieką promotora Pana Prof. zw. dra hab. inż. Ryszarda Nowosielskiego

opracowana na zlecenie Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego

Politechniki Śląskiej w Gliwicach

na podstawie pisma RMT0-582/D/006/12/13 z dnia 13 czerwca 2013 roku

Dziekana Pana Prof. dra hab. inż. Arkadiusza Mężyka

W ostatnim dziesięcioleciu w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach w Zakładzie Materiałów Nanokrystalicznych i Funkcjonalnych oraz Zrównoważonych Technologii Proekologicznych realizowane są intensywne prace pod kierunkiem Pana Prof. zw. dra hab. inż. Ryszarda Nowosielskiego, nad otrzymywaniem szkieł metalicznych, a zwłaszcza masywnych, a ponieważ zjawiska fizykochemiczne związane z ich wytwarzaniem, a także ich własności nie są jeszcze w pełni poznane, stanowią one przedmiot badań naukowych o dużym znaczeniu poznawczym i w pełni aktualnych. Historia badań nad stopami o strukturze amorficznej nie liczy więcej niż pół wieku. Ciekłe stopy, zwykle o składzie zbliżonym do eutektycznego, silnie przeschłodzone ze stanu ciekłego z szybkością 10^4 - 10^6 K/s przechodzą ze stanu ciekłego w stan stały amorficzny. Strukturę amorficzną przy zastosowaniu trudno osiągalnych szybkości chłodzenia 10^8 - 10^{10} K/s mogą uzyskać nawet czyste metale, a z pewnością mogą w nich występować obszary amorficzne. Zeszkleniu łatwo ulegają natomiast stopy zawierające składniki niemetaliczne np. Si, B, P. Materiały amorficzne są wytwarzane metodami odparowania metali i kondensacji ich par na chłodnym podłożu, rozpylania w wyniku bombardowania metali atomami

gazu szlachetnego o dużej energii, osadzania na podłożu w wyniku zachodzących reakcji chemicznych i elektrolizy roztworów wodnych, osadzania elektrochemicznego oraz szybkiego oziębiania stopów ze stanu ciekłego do temperatury zeszklenia. Znaczenie techniczne mają metody ciągłego odlewania strugi roztworu ciekłego między obracające się walce lub na powierzchnię wirującego bębna z blachy miedzianej, chłodzonego wodą od wewnątrz. Ten ostatni sposób jest stosowany bodaj najczęściej, umożliwiając uzyskanie folii i taśm amorficznych o grubości mniejszej od 50 μm . Szkła metaliczne ze stopów metali ferromagnetycznych Fe, Co i Ni o stężeniu atomowym ok. 20% niemetali takich jak B, C, P, Si, Ge lub metali przejściowych jak Hf i Zr wykazują zmniejszony moment magnetyczny w stosunku do Fe, Co i Ni. Szkła metaliczne są bardzo dobrymi materiałami magnetycznie miękkimi o prostokątnej pętli histerezy magnetycznej i cechują się małą anizotropią magnetyczną i magnetostrykcją. Wieloletnie badania dotyczące technologii wytwarzania oraz własności szkieł metalicznych doprowadziły do opracowania stopów amorficznych metali pozwalających uzyskać strukturę amorficzną przy jednoczesnym zmniejszeniu krytycznej szybkości chłodzenia nawet do $V_c = 10^{-1} \div 10^2$ K/s, umożliwiającej dogodniejsze formowanie postaci geometrycznej o znacznie większej grubości niż klasyczne szkła metaliczne. Ze względu na postać odlewu oraz wymiary geometryczne stopy te nazwano masywnymi szklami metalicznymi (*bulk metallic glasses*) w odróżnieniu od konwencjonalnych szkieł metalicznych wytwarzanych w postaci taśm. Po roku 1988 opracowano liczną nową klasę wieloskładnikowych masywnych stopów amorficznych na bazie Mg, Ln, Zr, Fe, Pd-Cu, Pd-Fe, Ti i Ni. W celu stabilizacji szybko przechłodzonych cieczy metalicznych stopów wieloskładnikowych i ich przejścia w stan stały o strukturze amorficznej przy wysokiej zdolności zeszklenia GFA (*glass forming ability*) winny być spełnione równocześnie 3 warunki: stopy powinny być wieloskładnikowymi o dużej zdolności zeszklenia tworzonymi przez co najmniej 3 składniki, pomiędzy składnikami tworzącymi stopy o dużej zdolności zeszklenia występuje co najmniej 12% różnica promieni atomowych oraz stopy te cechują się ujemnym ciepłem mieszania składników. Największą grubość ok. 100 mm otrzymano dla stopu $\text{Pd}_{40}\text{Cu}_{30}\text{Ni}_{10}\text{P}_{20}$ przy najmniejszej krytycznej szybkości chłodzenia 0,1 K/s. Zdolność zeszklenia GFA nowych masywnych stopów amorficznych uległa zatem poprawie o 8 rzędów wielkości z 10^7 do 10^{-1} K/s w stosunku do klasycznych szkieł metalicznych, przy równoczesnym zwiększeniu homologicznej temperatury zeszklenia T_g/T_l , w wyniku czego możliwym stało się zwiększenie maksymalnej grubości produktów z materiałów amorficznych z 0,1 do 100 mm. Zdolność zeszklenia GFA zwiększa się ze wzrostem różnicy ΔT_x temperatury krystalizacji T_x i zeszklenia T_g , zwłaszcza w stopach typu Zr-Al-Ni-Cu i Pd-Cu-Ni-P, osiągając wartość maksymalną dla stopu Zr-Al-Ni-Cu-Pd, dla którego różnica $\Delta T_x = 127$ K. Wysoka zdolność zeszklenia GFA masywnych stopów amorficznych umożliwia wytwarzanie z nich produktów o znacznej grubości. Ze względu na kolejność odkrywania masywne stopy amorficzne ogólnie można podzielić na 2 grupy, obejmujące stopy na bazie: metali nieżelaznych oraz metali

przejściowych Fe, Ni, Co. Stopy drugiej grupy odkryto dopiero po roku 1995. Zdecydowanie zwiększyło to zainteresowanie metalicznymi szklami amorficznymi oraz ich możliwości aplikacyjne. Możliwości wytwarzania masywnych szkieł metalicznych o większych grubościach próbek w porównaniu do klasycznych szkieł metalicznych (wytwarzanych zazwyczaj w postaci taśm) ułatwiły badanie i opis struktury tych materiałów. Z praktycznego punktu widzenia opis struktury amorficznej szkieł metalicznych stanowi jednak trudne zadanie ze względu na ograniczenia w stosowaniu bezpośrednich metod badawczych, a także brak dostatecznej wiedzy literaturowej. W literaturze pojawiają się próby opisu struktury amorficznej, oceny stopnia jej nieuporządkowania oraz powiązania różnych stanów amorficzności szkieł metalicznych z szybkością chłodzenia ciekłego metalu. Problematyka ta nie jest jeszcze w pełni opisana i zdefiniowana, a przez to jest przedmiotem wielu dyskusji i badań.

W nurcie tych ważnych i aktualnych działań naukowych mieści się praca doktorska **P. mgr inż. Anny Januszki** pod tytułem **„Identyfikacja procesu krzepnięcia masywnego szkła metalicznego $Fe_{36}Co_{36}B_{19,2}Si_{4,8}Nb_4$ ”** wykonana pod opieką promotora Pana Prof. zw. dra hab. inż. Ryszarda Nowosielskiego. Tematyka opiniowanej pracy doktorskiej stanowi odzwierciedlenie najnowszych tendencji w nauce o materiałach zmierzających do ujawnienia i opisanie struktury amorficznej szkieł metalicznych, a ze względu na tematykę badawczą bez wątplenia dotyczy dyscypliny naukowej **„Inżynieria Materiałowa”**. Należy jednak podkreślić inne niż dotychczas podejście Autorki do rozwiązywania postawionych problemów. O ile w dotychczasowych pracach doktorskich, m.in. P. dra inż. Tadeusza Poloczka, P. dra inż. Rafała Babilasa, P. dr inż. Aleksandry Baron, P. dr inż. Sabiny Lesz, wykonanych pod opieką naukową odpowiednio Pana Prof. zw. dra hab. inż. Ryszarda Nowosielskiego, jak i Pani Prof. zw. dr hab. inż. Danuty Szewieczek Prof. Hon. Pol. Śl., badano związki pomiędzy metodami i warunkami technologicznymi a strukturą i własnościami szkieł metalicznych, w tym masywnych, o tyle w niniejszej opiniowanej pracy doktorskiej Autorka za cel postawiła sobie **„identyfikację procesu krzepnięcia szkieł metalicznych na przykładzie stopu $Fe_{36}Co_{36}B_{19,2}Si_{4,8}Nb_4$ i opracowanie modelu numerycznego zmian temperatury w funkcji czasu w metalowej formie i krzepnącej próbce, a także związanego z tym rozkładu naprężeń własnych wraz z weryfikacją eksperymentalną opracowanego modelu”**. Identyfikacja umożliwia przedstawienie wybranego problemu, stanowiącego fragment rzeczywistości, w postaci opisującego go modelu. Główne etapy identyfikacji to: sformułowanie problemu, zaplanowanie identyfikacji, modelowanie oraz weryfikacja modelu. Spośród dostępnych wielu specjalistycznych programów komputerowych, które umożliwiają modelowanie procesów wytwórczych, w pracy wykorzystano oprogramowanie ANSYS. Praca stanowi zatem próbę uogólnienia i twórczego rozwinięcia niektórych informacji technologicznych i materiałoznawczych uzyskanych w dotychczasowych pracach, m.in. wymienionych uprzednio i wykonanych w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach i

bezsprzecznie oprócz przynależności do specjalizacji „*Materiały amorficzne*” dotyczy również „*Komputerowej nauki o materiałach*”. Autorka sformułowała następującą tezę opiniowanej pracy doktorskiej: „*Rozkład temperatury zeszklenia (T_g) w objętości próbki (modelu?) jest zmienny w czasie i przestrzeni. Związane jest to z różną szybkością chłodzenia w przekroju próbki i skutkuje zróżnicowaniem struktury amorficznej oraz zmianą naprężeń własnych*”. Nie polemizując z treścią tak sformułowanej tezy pracy, która wydaje się zbyt szczegółowa i nader to - oczywista, a w istocie bardziej stanowi przyjęte założenie niż spodziewany efekt wykonanej pracy doktorskiej, zwrócić wypada uwagę na pomieszczenie konkretnego (objętość próbki) z abstraktem (modelem). Wydaje się to nie mieć jednak większego znaczenia, gdyż od prac doktorskich nie wymaga się ustalenia tezy naukowej, a jasne określenie celu badań wskazuje, czego w zamiarze Autorki ma dotyczyć wykonywana przez nią praca doktorska.

Dla zrealizowania celu, postawionego w opiniowanej pracy doktorskiej, przyjęto następujące etapy realizacji badań:

- przygotowanie stopu o składzie chemicznym $Fe_{36}Co_{36}B_{19,2}Si_{4,8}Nb_4$ oraz wytworzenie próbek do badań, z wykorzystaniem form odlewniczych o średnicy 2, 3 i 4 mm, zaprojektowanych przez Autorkę,
- badania materiałograficzne oraz fraktograficzne oraz rentgenowska analiza fazowa wytworzonych próbek,
- badania wybranych własności materiałowych,
- sformułowanie modelu obliczeniowego i wykonanie symulacji numerycznych,
- weryfikacja doświadczalna modelu obliczeniowego.

Na uwagę zasługuje fakt zaprojektowania i wykonania stanowiska pomiarowego do badań przewodności cieplnej masywnych szkieł metalicznych w postaci prętów.

Opiniowana praca doktorska **P. mgr inż. Anny Januszki** pod tytułem „*Identyfikacja procesu krzepnięcia masywnego szkła metalicznego $Fe_{36}Co_{36}B_{19,2}Si_{4,8}Nb_4$* ” ma klasyczny układ. Obejmuje 172 strony, zawiera 142 rysunki i 20 tablic. Zacytowano w niej 175 pozycji literaturowych, z czego większość obejmuje prace obcojęzyczne, w tym liczne opublikowane w ostatnim dziesięcioleciu. Autorka powołuje się także na trzy publikacje, których jest współautorem. Praca rozpoczyna się wykazem stosowanych skrótów i oznaczeń oraz krótkim wprowadzeniem, które stanowi pierwszy rozdział. W rozdziale drugim zawarto przegląd literatury, w którym scharakteryzowano zasady formowania szkieł metalicznych, w tym zdolność do zeszklenia i strukturę szkieł metalicznych. Uwagę zwrócono na modele struktury, które są stosowane do opisu struktury szkieł metalicznych. Przedstawiono także informacje na temat naprężeń własnych w szklach metalicznych oraz poruszono problem kruchości (odporności na kruche pękanie). Rozdział trzeci opiniowanej pracy doktorskiej obejmuje badania własne. Przedstawiono w nim cel i tezę

pracy oraz opisano materiał do badań (w tym sposób wytworzenia próbek) oraz metodologię prowadzonych badań. Podrozdział 3.4 prezentuje wyniki przeprowadzonych badań własnych oraz ich analizę merytoryczną i statystyczną. W rozdziale czwartym przedyskutowano uzyskane wyniki badań, porównano je także z doniesieniami literaturowymi. Ostatni, piąty rozdział, obejmuje sformułowane wnioski, które wysunięto na podstawie wykonanych badań. Pracę kończy spis literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Zasadniczą część opiniowanej pracy doktorskiej stanowi opracowanie modelu obliczeniowego, uwzględniającego cechy geometryczne (nie geometrię, jak pisze Autorka) formy odlewniczej, zamodelowane w programie graficznym Autodesk Inventor, a następnie zaimportowane do środowiska ANSYS. Wyznaczono 4 ścieżki pomiarowe, względem których analizowano rozkład temperatury i naprężeń i na każdej z nich przyjęto punkty, które umożliwiły analizę zmian temperatury w przekroju próbki. Dzięki parametryzacji model może być używany do symulacji odlewania próbek o różnych średnicach. Dyskretyzacji modelu, polegającej na podziale modelu na elementy skończone, w węzłach których rozwiązywane są równania różniczkowe, dokonano w programie ANSYS, wykorzystując 4 rodzaje elementów skończonych, po czym ustalono warunki początkowe i fizyczne, wprowadzając własności materiałowe stopu, miedzi oraz temperaturę początkową (odlewania). Przyjęto założenie, że w momencie rozpoczęcia symulacji forma jest już wypełniona stopem o temperaturze likwidus (nie symulowano zalewania). Ustalono arbitralnie warunki sterujące obliczeniami, takie jak liczbę kroków, krok czasowy oraz całkowity czas symulacji. W ostatnim już etapie przygotowania modelu zadano warunki brzegowe. Wyznaczenie własności materiałowych obejmowało następujące badania:

- różnicową analizę termiczną (DTA), oraz różnicową kalorymetrię skaningową (DSC), w celu wyznaczenia wartości temperatury likwidus, zeszklenia oraz krystalizacji
- wyznaczenie pojemności cieplnej (Autorka pisze o ciepłe właściwym) metodą kalorymetryczną,
- pomiar przewodności cieplnej z zastosowaniem stanowiska badawczego zbudowanego w ramach pracy doktorskiej,
- badanie rozszerzalności cieplnej metodą dylatometryczną,
- badanie gęstości metodą densometryczną (Autorka pisze Archimedes),
- statyczną próbę ściskania.

Uzyskane z symulacji komputerowej wyniki badań umożliwiły wyznaczenie krzywych chłodzenia w poszczególnych ścieżkach pomiarowych i punktach przekroju. Na podstawie krzywych chłodzenia obliczono szybkości chłodzenia dla przyjętych punktów pomiarowych, potwierdzając, że stop krzepnie z różną szybkością na przekroju próbki, a wartości szybkości chłodzenia zmieniają się od największych na powierzchni próbki do najmniejszych w jej rdzeniu,

co oczywiście nie może być zaskoczeniem. Wykazano także, że zmiany szybkości chłodzenia występują również na długości próbki. Wpływ szybkości chłodzenia na stan struktury amorficznej próbek omówiono na podstawie sporządzonych izoterm i porównania ich z morfologią przełomów próbek. Większe szybkości chłodzenia przyczyniły się do powstania morfologii żyłkowej przy powierzchni próbek, im dalej od powierzchni (im mniejsze szybkości chłodzenia) morfologia przełomu ulega zmianie i przechodzi w obszar gładki. Dodatkowo uwzględniono poziom naprężeń własnych, które również zmieniają się w przekroju próbki i są największe przy powierzchni. Rozkład szybkości chłodzenia oraz zmiany morfologii przełomów porównano także z wynikami badania twardości, która zmienia się wraz ze zmianą morfologii przełomu, co równocześnie ma związek ze zmianą szybkości chłodzenia. Dokonano weryfikacji modelu numerycznego w zakresie rozkładu temperatury. Nie wykonano weryfikacji rozkładu naprężeń. Na potrzeby weryfikacji opracowano układ pomiarowy złożony z zestawu termopar, które rejestrowały zmiany temperatury w czasie rzeczywistego odlewania masywnych szkieł metalicznych do miedzianej formy. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono krzywe chłodzenia, które porównano z krzywymi chłodzenia z danych obliczeniowych. Przeprowadzona weryfikacja pozwoliła Autorce uznać, że sformułowany model obliczeniowy jest poprawny, a uzyskane wyniki wiarygodne.

W pełni pozytywnie merytorycznie oceniam opiniowaną pracę doktorską Pani **mgr inż. Anny Januszki** pod tytułem *„Identyfikacja procesu krzepnięcia masywnego szkła metalicznego $Fe_{36}Co_{36}B_{19,2}Si_{4,8}Nb_4$ ”* wykonaną pod opieką promotora Pana Prof. zw. dra hab. inż. Ryszarda Nowosielskiego. Autorka osiągnęła postawiony cel opiniowanej pracy doktorskiej. Uzyskane wyniki badań są wartościowe poznawczo, oryginalne i mogą mieć znaczenie aplikacyjne. Praca cechuje się wysokim poziomem merytorycznym.

Niestety, jak to zwykle bywa, zauważyłem pewne błędy edycyjne i niedociągnięcia merytoryczne w opiniowanej pracy doktorskiej, które nie wpływają jednak na znaczące obniżenie jej ogólnej pozytywnej oceny. Autorka na zakończenie pracy wskazuje na kierunek swoich planowanych dalszych badań, którymi będzie udoskonalenie układu pomiarowego do weryfikacji rozkładu temperatury oraz opracowanie metody weryfikacji rozkładu naprężeń własnych, z możliwością zastosowania do tego celu metody rentgenowskiej $\sin^2\psi$. Brzmi to niestety jak autokrytyka. Z kolei wnioski stanowią raczej rekapitulację wyników badań, niż wynik wnioskowania przyczynowo-skutkowego. Niektóre z moich uwag mają być może jedynie charakter dyskusyjny. Do tej kategorii należy najpewniej dyskusja nad tytułem pracy i treścią pierwszej części przeglądu piśmiennictwa. Przegląd piśmiennictwa rozpoczyna bowiem podrozdział na temat „pojęcia identyfikacji”. Pomijając dyskusyjną kontrowersyjność definicji „pojęcia identyfikacji”, nie znajduję wystarczającego uzasadnienia, aby właśnie od tej kwestii rozpoczynać przegląd piśmiennictwa pracy, która dotyczy przecież zupełnie innej tematyki. Identyfikacja jest słowem

potocznym¹⁾, chociaż przyjętym także w różnych dziedzinach życia i nauki, jednak zawsze jako identyfikacja czegoś lub kogoś albo z czymś lub kimś, a nie identyfikacja w ogólności. Dostyc swobodne i jednak bezkrytyczne przeniesienie z teorii sterowania „pojęcia identyfikacji”²⁾ (nie dopisano systemu³⁾, natomiast podano procesu⁴⁾), przyjętego za pracą K. Mańczaka (WNT, 1972), która to identyfikacja z pewnością nie może być jednak procesem, jak pisze Autorka, nie wydaje się uzasadnione w analizowanym przypadku, dotyczącym po prostu modelowania numerycznego m.in.

¹ Według „Słownika Wyrazów Obcych” (red. naukowa Prof. Irena Kamińska-Szmaj; autorzy: Mirosław Jarosz i zespół, Wydawnictwo Europa, 2001, ISBN 83-87977-08-X) „identyfikacja (łc. idem ‘ten sam’ + facere ‘zynieć’) oznacza: 1. rozpoznawanie. 2. med. ustalanie tożsamości osób i pochodzenia śladów znalezionych w miejscu przestępstwa na podstawie szczególnych cech osobniczych sprawcy. 3. psychol. utożsamianie się danej osoby z kimś innym, jego działaniem lub sposobem myślenia. 4. społ. utożsamianie się jednostki lub grupy z przekonaniem albo wartościami innych ludzi lub innej grupy. 5. chem. ustalenie składu pierwiastkowego za pomocą analizy jakościowej”.

² Według pracy zbiorowej E. Bielińskiej „Identyfikacja Procesów” (Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997. ISSN 0434-0825) „identyfikacja w teorii sterowania oznacza rozpoznawanie (to jest sporządzenie opisu matematycznego) właściwości statycznych i dynamicznych elementów i układów automatyki. Identyfikacja oznacza znalezienie zależności między wejściem a wyjściem (dla elementu automatyki, obiektu, układu regulacji) na podstawie danych doświadczalnych. Po poddaniu obiektu (procesu) szeregowi doświadczeń dobiera się bowiem parametry modelu w taki sposób, aby pasował on do danych doświadczalnych. Identyfikacja odgrywa zasadniczą rolę w odniesieniu do obiektów i procesów regulacji, gdyż umożliwia poprawne nastrojenie układu regulacji automatycznej. W czasie identyfikacji określane są bowiem wartości parametrów modelu obiektu (procesu), które wykorzystuje się następnie w doborze nastaw regulatora sterującego rzeczywistym obiektem (procesem). Identyfikacja systemów lub procesów to termin opisujący zespół metod i narzędzi i algorytmy, które mają na celu zbudować dynamiczny model systemu lub procesu na podstawie danych pomiarowych zebranych z wejścia i wyjścia. Model taki może opisywać: właściwości wejściowo-wyjściowe systemu - jeżeli jest tworzony w oparciu o sekwencje sygnałów wejściowych i towarzyszące im sekwencje sygnałów wyjściowych, przebieg wyjścia systemu o wejściach pomiarowo niedostępnych - jeżeli jest tworzony jedynie w oparciu o mierzoną sekwencję sygnału wyjściowego. Model budowany jest poprzez wyszukiwanie zależności i relacji pomiędzy zmierzonymi danymi bez fenomenologicznej analizy systemu lub procesu (czyli bez szczegółowego badania zjawisk fizycznych zachodzących w systemie lub procesie). Przeciwną metodą do identyfikacji jest modelowanie analityczne. Polega ono na tym, że system dzielony jest na podsystemy, których właściwości oraz prawa fizyczne nimi rządzące dają się opisać modelami matematycznymi. Metoda ta jest zależna od skali problemu, może być bardzo czasochłonna i prowadzić do uzyskania modeli matematycznych zbyt skomplikowanych, by nadawały się do dalszego wykorzystania.”

³ Według literatury systemologicznej - system (stgr. systema - rzecz złożona) oznacza obiekt fizyczny lub abstrakcyjny, w którym można wyodrębnić zespół lub zespoły elementów wzajemnie powiązanych w układy, realizujących jako całość funkcję nadrzędną lub zbiór takich funkcji. W filozofii systemem nazywa się zbiór też i twierdzeń stanowiących pewną spójną całość, chociaż systemem mogą być także zasady organizacji czegoś, jako zbiór przepisów lub reguł obowiązujących w danej dziedzinie. Np. w psychologii systemem jest też nazywany zbiór elementów, powiązanych ze sobą relacjami w taki sposób, że stanowią one całość zdolną do funkcjonowania w określony sposób (według T. Tomaszewskiego). Według M. Mazura w cybernetyce system jest to zbiór elementów i zachodzących między nimi relacji. Z uwagi na fakt, że wyodrębnienie wszystkich elementów przynależących do systemu bywa w praktyce niekiedy bardzo trudne, dlatego do badania systemów wykorzystuje się ich uproszczone modele. Elementy przynależące do jednego systemu nie mogą jednak stanowić jednocześnie elementów przynależnych do innego systemu. Organizacja systemu to jego struktura w formie sieci relacji między elementami oraz własności tych relacji. Niezmiennosc takich struktur jest warunkiem rozpoznania tożsamości systemów. W strukturze systemu mogą występować podsystemy, czyli elementy systemu, które same są systemami. System którego elementami są inne systemy jest nadsystemem.

⁴ Proces to uporządkowany w czasie ciąg zmian i stanów zachodzących po sobie (m.in. proces według przepisów prawa, procesy biologiczne, procesy chemiczne, w ekonomii i zarządzaniu słowo proces często jest tożsame z definicją mówiącą o tym jakie zdarzenia mają występować po sobie, proces fizyczny, proces geologiczny, proces informatyczny, proces odwracalny, proces produkcyjny, proces psychiczny, procesy statystyczne, proces termodynamiczny). Nośnikiem każdego procesu jest zawsze w efekcie jakiś system fizyczny. Każdy kolejny stan/zmiana systemu spowodowana jest przez stan/zmianę poprzednią albo przez oddziaływanie zewnętrzne na system. Rozróżnia się procesy ciągłe i dyskretne. Procesy ciągłe to takie, w których na dowolnym skończonym odcinku czasu można wyróżnić nieskończoną liczbę zmian a różnice między nimi są dowolnie małe. Takie procesy opisują wiele podstawowych zjawisk fizycznych. Procesy dyskretne to takie, w których można wyróżnić skończoną liczbę zdarzeń/stanów. Wyróżnia się też procesy naturalne i sztuczne.

zmian temperatury i szybkości chłodzenia z czasem, co można uznać za proces, lecz trudno mówić tu o systemie sterowania lub automatyki. Jeżeli natomiast przyjąć kontrowersyjny sposób myślenia Doktorantki i uznać, że zmierza ona do sterowania procesem wytwórczym masywnych szkieł metalicznych, to nasuwa się spostrzeżenie, że jest to myślenie mocno „na wyrost”, gdyż uzyskany w pracy model, jednak fragmentaryczny i zweryfikowany doświadczalnie jedynie w części, nie jest wystarczający do sterowania takim procesem wytwórczym. Uwaga ta dotyczyć może także krytyki sformułowania tytułu pracy, chociaż za to odpowiada Rada Wydziału, a nie Autorka pracy. Uważam, że praca dotyczy natomiast modelowania struktury szkieł metalicznych przez modelowanie zjawisk towarzyszących ich wytwarzaniu. Trudno przy tym o jakiegokolwiek uogólnienia, gdyż opiniowana praca dotyczy jednego tylko rodzaju (gatunku) szkła metalicznego. Może być zatem traktowana, jako przykład metodologicznego podejścia do rozwiązywania problemów wybranej klasy. Wymienione uwagi nie mają, poza filozoficzno-semantycznym większego znaczenia, chociaż warto je uwzględnić w przypadku zamiaru opublikowania wyników pracy w literaturze specjalistycznej. Pomimo, że w trakcie lektury pracy nasunęły mi się również inne uwagi szczegółowe, dotyczące m.in. aspektów metodycznych, najczęściej jednak dyskusyjne (np. brak metody obliczania błędu pomiędzy krzywymi empirycznymi i obliczeniowymi i przyjęcie swoistej metody „organoleptycznej” do oceny skuteczności weryfikacji doświadczalnej opracowanego modelu obliczeniowego, brak przekonującego uzasadnienia wyboru szkła metalicznego o danym składzie chemicznym do badań), nie zgłaszam innych konkretnych uwag krytycznych. W pracy zauważam również na ogół drobne błędy edycyjne, np. znaczące zróżnicowanie wielkości czcionek niekiedy nawet na sąsiadujących ze sobą rysunkach, lub brak pełnego słownego opisu osi na wielu z nich. Pozostałe podobne uwagi szczegółowe przekazuję bezpośrednio Autorce. Stanowczo podkreślam jednak, że zauważam że te usterki mogą być spowodowane nadmiernym pośpiechem w ostatniej fazie redakcji pracy i w istocie, jako drobne niedociągnięcia, nie mają znaczącego wpływu na obniżenie wystarczająco wysokiej oceny merytorycznej opiniowanej pracy doktorskiej, którą starałem się wykazać we wcześniejszych fragmentach niniejszej recenzji.

Podsumowując niniejszą recenzję opiniowanej pracy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Januszki pod tytułem „*Identyfikacja procesu krzepnięcia masywnego szkła metalicznego $Fe_{36}Co_{36}B_{19,2}Si_{4,8}Nb_4$* ” wykonanej pod opieką promotora Pana Prof. zw. dra hab. inż. Ryszarda Nowosielskiego i ogólnie oceniając wysoko całokształt dokonań Doktorantki, jak również biorąc pod uwagę, że w pracy Autorka wykazała, że:

- *jest bardzo dobrze zorientowana w poruszanej w literaturze problematyce dotyczącej struktury i własności szkieł metalicznych, w tym masywnych oraz technologii ich wytwarzania, wykazując się erudycją w tym zakresie dyscypliny naukowej „Inżynieria Materiałowa”,*

- *pozyskała umiejętności stawiania problemów badawczych i właściwego doboru komplementarnego i szerokiego zestawu metod badawczych, jak również metodologii modelowania numerycznego zjawisk strukturalnych przy użyciu metody elementów skończonych oraz ich pełnego opanowania praktycznego,*
- *uzyskała wartościowe i oryginalne wyniki badań i obliczeń, o istotnym znaczeniu poznawczym i o walorach aplikacyjnych i osiągnęła założony cel naukowy pracy,*
- *w wystarczającym stopniu opanowała umiejętności opracowania wyników wykonanych badań i obliczeń oraz prezentowania osiągniętych rezultatów badawczych,*

z pełnym przekonaniem stwierdzam, że opiniowana praca doktorska spełnia wszelkie wymagania określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki (Dz. U. nr 65 z dnia 16 kwietnia 2003 roku poz. 595 z późniejszymi zmianami) (w tym przypadku nadal obowiązuje tryb określony w tej właśnie Ustawie zgodnie z art. 33 ust. 1 Ustawy o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw - Dz. U. Nr 84, poz. 455 i Nr 112, poz. 654 z dnia 18 marca 2011 roku) i wnioskuję do Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach o dopuszczenie Pani mgr inż. Anny Januszki do publicznej obrony przygotowanej przez Nią pracy doktorskiej.

Ponadto, pomimo zgłoszonych uwag krytycznych i dyskusyjnych, lecz biorąc pod uwagę szczególnie wartościowe podejście metodyczne, łączące nowoczesne metody badań materiałoznawczych oraz metody obliczeniowe, rozszerzające pole aplikacji „Komputerowej nauki o materiałach”, jako dynamicznie rozwijającej się specjalności badawczej współczesnej „Inżynierii materiałowej” oraz uwzględniając uzyskane dzięki temu wartościowe wyniki poznawcze i metodyczne opiniowanej pracy doktorskiej, wnioskuję do Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach o wyróżnienie pracy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Januszki pod tytułem „*Identyfikacja procesu krzepnięcia masywnego szkła metalicznego $Fe_{36}Co_{36}B_{19,2}Si_{4,8}Nb_4$* ” wykonanej pod opieką promotora Pana Prof. zw. dra hab. inż. Ryszarda Nowosielskiego.

