

## RECENZJA

Wniosku dr. inż. Piotra Kwapisińskiego w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego na podstawie materiałów udostępnionych przez Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej zgodnie z pismem z dnia 31 lipca 2023 r.

### 1. Podstawowe dane o kandydacie

Dr inż. Piotr Kwapisiński jest absolwentem Akademii Górniczo-Hutnicza, Wydziału Metali Nieżelaznych. Następnie odbył studia podyplomowe na kierunku Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie w Szkole Głównej Handlowa oraz na kierunku Zarządzanie i Informatyka na Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu. Po ukończeniu Akademii Górniczo-Hutniczej został zatrudniony w KGHM Polska Miedź S.A, gdzie kolejno pracował od Mistrza Wydziału walcowni do Dyrektora Naczelnego Oddziału Huty Miedzi „GŁOGÓW”. W międzyczasie obronił pracę doktorską pt. *„Strukturalny aspekt podatności miedzi do dużych odkształceń w procesie ciągnięcia”*.

### 2. Ocena osiągnięcia naukowego

Kandydat przedstawił do oceny jako osiągnięcie naukowe monografię pt.: *„Matematyczna metoda przewidywania udziału struktur kolumnowych i równoosiowych we wlewkach miedzi i jej stopów”* oraz pozostałe osiągnięcia naukowe, które zatytułował oceną wpływu struktury miedzi na jej podatności do dużych odkształceń w procesie ciągnięcia oraz modyfikacja struktury odlewniczej dla potrzeb przeróbki plastycznej.

Analizując wymienione osiągnięcia naukowe, należy stwierdzić że najbardziej wartościowa jest monografia. W pierwszej jej części jest krótki rozdział przedstawiający mikrostrukturę wlewków miedzi i jej stopów. Następnie przedstawiono mechanizmy powstawania mikrostruktury kolumnowej oraz równoosiowej, odwołując się do teorii Hunt’a, która jest oparta na przechłodzeniu fazy ciekłej, jako warunku koniecznego do spełnienia, aby mogły zarodkować ziarna równoosiowe, które blokują wzrost ziaren kolumnowych. Następnie dr inż. Piotr Kwapisiński przedstawia przegląd modeli opartych na tej teorii do prognozowania mikrostruktury wlewków.

W przeprowadzonym przeglądzie literatury wykazał, że teoria Hunt’a znajduje zastosowanie ale wymaga często modyfikacji. Na przykład należałoby odrzucić mechanizm blokowania wzrostu ziaren kolumnowych przez odpowiednio dużą koncentrację ziaren równoosiowych, również dyskusyjne jest uwzględnienie w tej teorii odlewania ciągłego i wpływu na ten proces obcych wtrąceń.

Analiza stanu zagadnienia została przeprowadzona szczegółowo z krytycznym podejściem do zagadnienia. Na tej podstawie Autor zdecydował się całkowicie odejść od teorii Hunt’a i zaproponował swoje rozwiązanie oparte na matematycznej interpretacji pola temperatur i na tej podstawie określaniu poszczególnych stref mikrostruktury. Szczególny nacisk został położony na przewidywanie stref ziaren równoosiowych i kolumnowych. Metoda ta powinna przewidywać momentu transformacji ziaren kolumnowe w ziarna równoosiowe w stopniu umożliwiającym jej przyszłe wykorzystanie podczas sterowania odlewaniem ciągłym wlewków lub prętów miedzi.

Kandydat badania swoje rozpoczyna od analizy wlewka stali, twierdząc że wspólną cechą symulacji, zarówno dla wlewka stali jak i wlewka miedzi lub jej stopów, będzie identyczna z matematycznego punktu widzenia interpretacja map i funkcji, jakie można wygenerować z pól temperatury. Przedstawił schematycznie mikrostruktury wlewka stali, przechodząc do symulacji pola temperatury za pomocą programu ABAQUS. W pracy przedstawione są jedynie wyniki obliczeń w postaci ruchu izotermi likwidus, a także prędkość spadku temperatury w różnych punktach. Wyznaczone funkcje posiadają punkty przegięcia, jak i minima, które Autor słusznie łączy ze zmianami mikrostrukturalnymi. Stwierdza, że izoterma likwidus nieustannie spowalnia swój spadek aby następnie podjąć próbę przyspieszenia, przy czym najpierw musi osiągnąć minimum. To minimum, jest jednocześnie określone matematycznie, gdyż pierwsza pochodna funkcji, jaką jest prędkość izotermi likwidus, osiąga wartość równą zero. Należy zatem uznać, że właśnie w minimum nastąpił punkt zwrotny konkurencji między wzrostem ziaren kolumnowych i równoosiowych i to wzrost mikrostruktury równoosiowej zaczyna dominować począwszy od minimum analizowanej funkcji. Kandydat podkreśla, że analizowane tu matematycznie zjawisko konkurencji między wzrostem kolumnowym, a wzrostem równoosiowym potwierdza słuszność uznania tego zjawiska, jako przemianę strukturalną CET. Analiza powiązania ruchu izoterm ze zmianami mikrostrukturalnymi są bardzo interesujące i nowatorskie.

Na podstawie analizy pola temperatury prowadzonej w funkcji czasu a zarazem w funkcji promienia wlewka, Kandydat wygenerował mapy obszarów mikrostrukturalnych, na których została przedstawiona nie tylko lokalizacja izotermi likwidus, ale także, lokalizacja izotermi solidus, dzięki zebraniu odpowiednich punktów z pola temperatury. Zaznaczone zostały też linie wskazujące położenie frontu krystalizacji dla powstawania mikrostruktury kolumnowej oraz krystalizacji dla formowania się mikrostruktury równoosiowej.

Uważam te rozważania za bardzo ciekawe, jednak brak jest informacji w modelu o warunkach brzegowych, przyjętych współczynnikach itp. Następny rozdział przedstawiający obrazy mikrostruktury wlewka stali zakrzepłego statycznie jest bardzo luźno powiązany z poprzednim rozdziałem i trudno ocenić co ma wnieść do pracy.

Rozdział dotyczący modelowania wymiany ciepła dla wlewka miedzi i jej stopów, wydaje się być kluczowym dla zaproponowanej metodyki. Model zbudowany został w oparciu o algorytm obliczeniowy stosowny do potrzeb numerycznej symulacji pola temperatury. Program ten powstał w trakcie realizacji Projektu PBS3/A5/52/2015 w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, PAN.

W modelu uwzględniono mechanizmy transferu ciepła, poprzez: przewodzenie, promieniowanie a także konwekcję; przewodzenie ciepła w fazie ciekłej; wydzielanie utajonego ciepła krystalizacji na froncie krystalizacji; przewodzenie ciepła w fazie stałej; transport ciepła między zakrzepłą skorupą wlewka a warstwą grafitu nałożoną na ścianki krystalizatora; poprzez szczelinę powietrzną, która kształtuje się w trakcie krystalizacji; przewodzenie ciepła przez warstwę grafitu; przewodzenie ciepła od warstwy grafitu do ścianki krystalizatora; wymianę ciepła między ścianką krystalizatora a wodą chłodzącą; wymianę ciepła między powierzchnią wlewka a otoczeniem, poniżej krystalizatora. Model wymaga znajomości wielu współczynników, niestety w pracy brak informacji jak zostały one wyznaczone albo skąd je zaczerpnięto. W oparciu o przedstawione równania zostały opracowane własne algorytmy obliczeniowe, które pozwoliły na rozwiązanie problemu różnic skończonych, z zastosowaniem języka, C++.

W pracy przedstawiono testy, które Autor twierdzi, że potwierdziły poprawność działania programu, jednak w pracy nie przedstawiono żadnych konkretnych wartości liczbowych pomierzonych lub obliczonych.

Dr inż. Piotr Kwapisiński na podstawie przeprowadzonych symulacji pola temperatur wygenerował mapy umożliwiające określanie zakresów powstawania mikrostruktur. Często w pracy Autor używa słowa „pewnych” np. pewnych parametrów technologicznych, pewnych map, pewnego równania wzrostu itp., co powoduje że odbiera się wyniki jako mało konkretne.

Uzupełnieniem przeprowadzonych symulacji pola temperatury dla wlewków miedzi i jej stopów poddanych odlewaniu metodą ciągłą jest zaproponowanie równania, określonego jako prawo wzrostu mikrostruktur kolumnowych. Wyprowadzone zostały matematycznie trzy wersje tego prawa. W wersji pierwszej, ma swoje zastosowanie poniżej progowej wartości Liczby Pecleta, wynoszącej,  $Pe = 500$ . Natomiast, prawo wzrostu, w wersji zaproponowanej kolejnym równaniem, powinno obowiązywać poniżej proponowanego, podwyższonego progu wartości Liczby Pecleta,  $Pe = 750$ , podczas gdy wersję prawa wzrostu opisaną ostatnim równaniem, powinno się stosować powyżej progu najwyższego,  $Pe = 750$ .

W następnym rozdziale monografii Autor przedstawia przykłady przeróbki plastycznej wlewków w skali przemysłowej. Zawiera on ciekawe mikrostruktury ziaren równoosiowych i kolumnowych, trudno jednak znaleźć jego związek z monografią.

Bardzo ciekawy jest rozdział przedostatni, niestety bardzo krótki, szkoda że bez porównania z wynikami eksperymentalnymi, gdzie Autor próbuje określić udział mikrostruktury kolumnowej do udziału mikrostruktury równoosiowej. Wykazał, że można kształtować proporcję udziału mikrostruktury kolumnowej do udziału mikrostruktury równoosiowej, tak aby zapewnić optymalną ich podatność do deformacji plastycznej a tym samym, jak najlepszą jakość gotowych wyrobów. Ponieważ mikrostruktura kolumnowa odkształca się zdecydowanie trudniej niż mikrostruktura równoosiowa, to oczywistym jest, że wspomniana proporcja powinna być możliwie najniższa. Dr inż. Piotr Kwapisiński wnioskuje aby prowadzić symulacje pola temperatury, w taki sposób, aby zaistniała możliwość matematycznego wygenerowania progresywnej przemiany mikrostrukturalnej CET na miejsce przemiany progowej.

Ostatni rozdział to podsumowanie, gdzie Autor próbuje również wynik swoich obliczeń potwierdzić doświadczalnie, za pomocą technologii odlewania ciągłego w wersji pionowej, do góry (Upcast), twierdzi że dotychczasowe obserwacje mikrostruktury prętów pochodzących z tej technologii, wskazywały na pojawienie się przemiany, CET, wyłącznie, typu progowego. Przedstawiono interesujące mikrostruktury, które zawierały różne prognozowane za pomocą opracowanego modelu matematycznego mikrostruktury C, C + E, oraz E. Należy jednak zaznaczyć, że są to potwierdzenia jedynie jakościowe a nie ilościowe.

Uważam że przedstawiona monografia wnosi duży wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa a w szczególności do modelowania mikrostruktur powstających podczas krystalizacji we wlewkach.

Do najważniejszych osiągnięć pracy należy zaliczyć:

- Opracowanie nowego, niestosowanego dotąd, matematycznego sposobu oceny usytuowania przemiany mikrostrukturalnej, CET, w odniesieniu do wlewków / prętów miedzi i jej stopów odlewanych metodą ciągłą w oparciu o numeryczną symulację pola temperatury a także pola gradientu temperatury.
- Wygenerowano mapy i funkcje wynikające z tych pól, w tym: lokalizację temperatury likwidus na tle przekroju wlewka / pręta, przebieg temperatury likwidus w czasie krystalizacji, zmiany gradientu temperatury w obszarze mushy zone, ewolucję gradientu temperatury, jak też, prędkości izotermy likwidus w czasie krystalizacji, oraz zmiany prędkości izotermy likwidus w obszarze mushy zone.
- Zbudowanie modelu opisującego udział mikrostruktury kolumnowej do udziału mikrostruktury równoosiowej

Autor swobodnie porusza się w bardzo trudnych zagadnieniach dotyczących analizy krystalizacji wlewków. Uzyskane wyniki na pewno przyczynia się lepszemu zrozumienia zjawisk towarzyszących temu procesowi.

Drugim obszarem badawczym rozwijanym przez Kandydata to procesy ciągnięcia miedzi i jest to kontynuacja pracy doktorskiej. Wykazał, że podczas deformacji plastycznej można wygenerować zjawiska mikrostrukturalne, które skutecznie blokują zbyt intensywne odkształcenia miedzi a w konsekwencji lokalnie zapobiegają zrywaniu drutów podczas ich ciągnięcia. Ponadto uzyskane zostało potwierdzenie, że odpowiednio dobrana obróbka cieplna zwiększa plastyczność odkształcanej miedzi w takim stopniu, iż możliwym jest uzyskanie drutów o niezwykle małych średnicach wymaganych przez przemysł. Na bazie tego została dobrana metoda określająca warunki wyżarzania dla uzyskania zadanego stopnia rekrytalizacji miedzi, co doprowadziło do bezpośredniego jej wykorzystania w warunkach pracy Huty Miedzi „Cedynia”.

Habilitant ma w dorobku 20 artykułów w czasopismach naukowych 26 referatów na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Jego publikacje były według Web of Science cytowane 28 razy indeks H wynosi 4, natomiast według Google Scholar 55 oraz H=55. Parametry bibliometryczne nie są imponujące, wynika to prawdopodobnie głównie z tego, że modelowaniem powstawania ziaren kolumnowych i równoosiowych we wlewkach zajmuje się bardzo wąska grupa naukowców.

Podsumowując osiągnięcie naukowe Kandydata należy stwierdzić, że najmocniejszą stroną jest ich nowatorski obszar dotyczący zastosowania modelowania powstawania mikrostruktur kolumnowych i równoosiowych we wlewkach miedzi i jej stopów. Słabą stroną natomiast jest dorobek publikacyjny, uważam jednak, że Habilitant rekompensuje to ich nowatorskim charakterem.

### **3. Aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni lub jednostce naukowej.**

Dr inż. Piotr Kwapisiński wykazał się bardzo dużą aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni.

Bardzo mocno współpracował z AGH, gdzie obronił pracę doktorską pt. „*Strukturalny aspekt podatności miedzi do dużych odkształceń w procesie ciągnięcia*”, prowadził badania dotyczące zachowania się struktury miedzi, w tym, jej podatności do procesu rekrytalizacji, w powiązaniu ze zmianami parametrów rejestrowanych w ciągu linii technologicznej zastosowanej w hucie, czy badania dotyczące optymalizacji parametrów pracy linii walcowniczej w aspekcie eliminacji wady łuski niezwiązanej na walcówce Cu w procesie Contirod.

W latach 1995-1997r., jako pracownik Huta Miedzi „GŁOGÓW”, współpracował również z Wydziałem Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, w projekcie o nazwie: „*Badania warstwy tlenkowej na walcówce w zależności od parametrów w rurze trawialniczej*”.

Wspólnie z Politechniką Wrocławską uczestniczył również w opracowaniu analitycznej metoda oceny zawartości tlenków wraz z utworzeniem algorytmów w systemie QNX, co pozwoliło na przemysłowe zastosowanie tego rozwiązania do wstępnego określania jakości walcówki w warunkach pracy linii technologicznej Contirod.

W latach 2008-2018 uczestniczył w trzech projektach realizowanych przez IMIM PAN, Kraków. Pierwszy z nich dotyczył przemiany CET we wlewkach stali, drugi odzysku miedzi z żużli po procesie w piecu elektrycznym. W projekcie tym, opracowana została innowacyjna technologia koagulacji, redukcji i krystalizacji kropeł miedzi wytrąconych z zawiesiny w roztopionym żużlu. W trzecim projekcie opracowano koncepcję eliminacji cząstek twardych z wlewków mosiądzu.

Na szczególne podkreślenie zasługuje, bardzo duże zaangażowanie Kandydata we wdrażanie nowych technologii w Hucie Miedzi Głogów, które wymagały współpracy z wieloma różnymi jednostkami naukowymi w całej Polsce.

#### **4. Konkluzja końcowa**

Dr inż. Piotr Kwapisiński przedstawił do oceny jako osiągnięcie naukowe monografia pt.: „*Matematyczna metoda przewidywania udziału struktur kolumnowych i równoosiowych we wlewkach miedzi i jej stopów*” oraz pozostałe osiągnięcia naukowe, które zatytułował oceną wpływu struktury miedzi na jej podatności do dużych odkształceń w procesie ciągnięcia oraz modyfikacja struktury odlewniczej dla potrzeb przeróbki plastycznej.

Uważam, że szczególnie monografia wnosi duży wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa zwłaszcza do modelowania mikrostruktur powstających podczas krystalizacji we wlewkach.

Prowadzi i prowadził dużą aktywność aplikacyjną łącząc przemysł i naukę, wdrażając wiele nowych technologii do przemysłu, dlatego stwierdzam, że dr inż. Piotr Kwapisiński spełnia wymagania stawiane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 poz. 574) ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.



