

WPŁYNEŁO DNIA	
10 MAJ 2021	
data	
nr pisma	podpis



UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
INSTYTUT INŻYNIERII MECHANICZNEJ
Katedra Materiałoznawstwa, Technologii i Eksploatacji Maszyn

Prof. dr hab. inż. Eugene FELDSHTEIN	Ul. Prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra Tel. 68-3282504 E.Feldsztein@iim.uz.zgora.pl
---	--

Zielona Góra, dnia 05.05.2021

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jędrzeja Komolki pt. „Porównawcze badania
właściwości technologicznych i eksploatacyjnych ostrzy skrawających
z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej”**

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP, nr DIM.075.42.2021 z dnia 31.03.2021 i stosowna umowa o dzieło. Ocena rozprawy została opracowana w oparciu o art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669), zgodnie z wymogami określonymi w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

1. Tematyka rozprawy

W ujęciu ogólnym, tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy porównawczych badań doświadczalnych właściwości technologicznych i eksploatacyjnych ostrzy skrawających z konwencjonalnej stali szybko tnącej HS6-5-2 znanej dawniej pod symbolem SW7M i spiekanej stali szybko tnącej PM6-5-2.

Tytuł pracy jest zgodny z podjętą tematyką badawczą oraz treścią pracy. Cel pracy należy uznać za trafny i jasno sprecyzowany. Przyjęty zakres pracy jest spójny i ściśle powiązany z tematem rozprawy.

Pomimo faktu, iż zagadnienia oceny właściwości technologicznych i eksploatacyjnych narzędzi ze stali szybko tnącej były rozpatrywane i publikowane od wielu lat, ważność tematu

podjętego przez mgr. inż. Andrzeja Komolka nie budzi wątpliwości. Wyróżniającym się szczególnie tematycznym rozprawy jest ocena efektywności zastosowania współczesnych spiekanych stali szybko tnących zarówno z punktu widzenia ich zdolności do pracy, jak i z punktu widzenia zachodzących zmian materiałowych i procesowych.

Na tej podstawie uważam, że tematyka podjęta przez mgr. inż. Jędrzeja Komolkę wypełnia lukę w obszarze efektywności wykorzystania narzędzi ze stali szybko tnącej. Tematykę rozprawy uważam za aktualną i bardzo ważną w aspekcie praktycznym, a w ten sposób oceniam ją pozytywnie.

2. Ogólna ocena treści, układu i zakresu rozprawy

Rozprawa zawiera 140 stron i składa się z 8 rozdziałów, w tym wstępu z uzasadnieniem podjęcia tematu, wniosków końcowych, wykazu literatury obejmującego 149 pozycji, spisu treści, oraz streszczeń w języku polskim i angielskim.

W **rozdziale pierwszym (wstęp)** Autor rozprawy charakteryzuje stale szybko tnące stosowane na ostrza skrawające, przedstawia kierunki ich rozwoju i ważność oceny szczegółów materiałowych i eksploatacyjnych stali spiekanych. Pokazuje także pewne braki wiedzy w obszarze produkowania i eksploatacji narzędzi wykonanych z tych stali, a na tej podstawie formułuje zagadnienia wymagające poszerzonych i sprecyzowanych badań.

W **rozdziale drugim** rozprawy, Autor przedstawia aktualny stan wiedzy w obszarze badanych zagadnień w oparciu o wyniki prac różnych badaczy opublikowanych w opracowaniach naukowych tak krajowych, jak zagranicznych. W pierwszym podrozdziale szczegółowo omówiono definicje i podstawowe pojęcia użyte w pracy, m.in. właściwości technologiczne i eksploatacyjne ostrzy skrawających, przebieg zużycia ostrzy skrawających, cechy stref styku ostrza z wiórem i przedmiotem, w których obserwuje się zużycie, oraz przyczyny fizykochemiczne zużycia ostrzy skrawających. Następnie, opisano sposoby zużycia ostrzy skrawających i przyczyny ich powstania wytypowane wieloma badaczami w ciągu wieloletnich badań. Na zakończeniu tego podrozdziału autor przedstawia metody pomiaru twardości ostrzy skrawających. W tym miejscu chciałbym powiedzieć, że, moim zdaniem, część ta jest raczej zbędna, bo doktorant w metodyce badań nie proponuje nowej, autorskiej metody pomiarów; rozpatrzono metody Chruszczowa-Bierkowicza czy Grodzińskiego, lecz nie bardziej znaną metodę Mohsa.

Podrozdział 2.2 zatytułowany „Charakterystyka stali szybko tnących”. Jest on bardzo obszerny i przedstawia pełny zarys informacji związanych ze stalami szybko tnącymi – rys historyczny rozwoju wytwarzania stali narzędziowych, a dalej, przez właściwości, podział i gatunki stali szybko tnących, do oszczędnościowych stali szybko tnących i na końcu metody

wytwarzania stali szybko tnących oraz analizą porównawczą trwałości, kosztów wytwarzania i zakresów stosowania konwencjonalnych i spiekanych stali szybko tnących. Dużo uwagi autor poświęca poszczególnym zabiegom technologicznym stosowanym w produkcji stali proszkowych. W mojej opinii, pewne rzeczy można by było opuścić, np. rys historyczny (5 stron), mający dość luźny związek z tematyką rozprawy, lub też skrócić (pkt. „Mieszanie i proszkowanie surowca” jest bardzo rozbudowany, zajmuje 12 stron). Natomiast, w podrozdziale tym zabrakło jakichkolwiek informacji dotyczących możliwości zastosowania metod 3D wytwarzania w produkcji narzędzi ze stali szybko tnących. Przy rozpatrywaniu trwałości, kosztów wytwarzania i zakresów stosowania konwencjonalnych i spiekanych stali szybko tnących zabrakło szczegółów, m.in. parametrów skrawania, materiałów przedmiotów obrabianych, rodzajów obróbki itp., co utrudnia prawidłową analizę porównawczą. Bardziej szczegółowe uwagi zostaną przedstawione w rozdziale 3 poniższej recenzji.

Rozdział 2 kończy się merytorycznie poprawnym i uzasadnionym podsumowaniem analizy literatury, na podstawie którego Autor sformułował **cele pracy (rozdział 3)**, opracował szczegółową metodykę badań i zrealizował pełny zakres badań własnych.

Rozdział czwarty (Metodyka badań) składa się z czterech podrozdziałów. W pierwszym z nich szczegółowo przedstawiono materiały zastosowane na ostrza skrawające, a mianowicie ich składy chemiczne, technologie wytwarzania półfabrykatów, technologie wytwarzania płytek skrawających (szlifowanie, hartowanie, elektrodrażenie). Podano także wymiary płytek oraz chropowatość polerowanych powierzchni roboczych. Jako materiał obrabiany zastosowano stal do ulepszenia cieplnego 40HM-T o twardości 30 ± 2 HRC. Wybór tej stali musi być uzasadniony, ponieważ norma PN-ISO 3685:1996 „Badanie trwałości noży tokarskich punktowych” poleca zastosowanie stali C45. Uważam także, że oznaczenie stali badanej powinno być zgodnie z normą PN/EN 10083-3, a mianowicie stal 42CRMO4 (40HMT).

W drugim podrozdziale przedstawiono metodykę badań wybranych wskaźników właściwości technologicznych ostrzy skrawających, a mianowicie twardości oraz składu chemicznego; napisano przy tym „twardości”, lecz faktycznie chodzi o mikrotwardość. Szczegółowo opisano możliwości sprzętu użytego do badań, lecz nie podano rozrzutów pomiarów i nie przedstawiono zastosowanej obróbki statystycznej wyników.

W trzecim podrozdziale „Metodyka badań właściwości eksploatacyjnych ostrzy skrawających” opisane szczegóły geometrii ostrzy, sposób mocowania płytek w oprawce, zakres parametrów skrawania, warunki obróbki, sprzęt do pomiarów zużycia ostrzy itp.

W czwartym podrozdziale „Metodyka badań weryfikacyjnych” opracowano metodykę badań metalograficznych, badań topografii powierzchni, metodyka pomiarów tarcia oraz badań powierzchniowej objętości olejowej płytek skrawających. Szczegółowo opisano możliwości stosowanej aparatury badawczej, nie podano jednak metody obliczeń współczynnika tarcia przy badaniach na testerze A-135. Uważam za bardzo interesujące wykorzystanie do badań tzw. powierzchniowej objętości olejowej.

Szczegółowe uwagi dotyczące metodyki badań zostaną przedstawione w rozdziale 3 poniższej Recenzji.

W **rozdziale piątym** przedstawiono wyniki badań. Na początku rozpatrzono wybrane właściwości technologiczne – mikrotwardość i skład chemiczny materiałów ostrzy skrawających. Następnie przedstawiono wyniki badań zużycia ostrzy skrawających, wpływu prędkości skrawania na trwałość ostrzy i pokazano znaczącą przewagę stali spiekanych. W podrozdziale przedstawiającym wyniki badań weryfikacyjnych pokazano ważne zmiany morfologii stali spiekanych w porównaniu z konwencjonalnymi stalami zarejestrowane w trakcie badań; stwierdzono bardziej równomierne rozmieszczenie węglików w osnowie w przypadku spiekanej stali szybko tnącej. Podczas analizy powierzchniowej objętości olejowej płytek skrawających ustalono, że powierzchnia spiekanej stali szybko tnącej charakteryzuje się prawie 2-krotnie większą powierzchniową objętością olejową w porównaniu do konwencjonalnej kutej stali szybko tnącej, a nawet 3-krotnie większą względem konwencjonalnej stali walcowanej na gorąco.

Badania własne kończą się badaniami współczynników tarcia na powierzchniach styku badanych stali szybko tnących a stali 40HMT. Testy realizowano w warunkach tarcia suchego oraz w obecności medium stosowanego w badaniach procesu skrawania, przy krokowo wzrastającym obciążeniu. Otrzymane wyniki są bardzo interesujące, lecz wymagają dalszych analiz powierzchni trących z wykorzystaniem mikroskopii skaningowej.

W **rozdziale szóstym** dokonano analizy ekonomicznej wykorzystania spiekanych stali szybko tnących i stwierdzono opłacalność zastosowania ostrzy skrawających ze spiekanej stali dla prędkościach skrawania wynoszących ponad 60 m/min w warunkach chłodzenia emulsją. Warto by było rozważyć opłacalność stali spiekanej w zależności od wybranego kryterium stopienia (technologicznego, katastroficznego itd.).

W **rozdziale siódmym** przedstawiono wnioski końcowe. Zostały tam rozważone najważniejsze zdaniem autora konkluzje wynikające z przeprowadzonych badań, ukierunkowane na zagadnienia zużycia i trwałości ostrzy skrawających. Warto zaznaczyć

jednak, że ważne informacje są podane w pracy także odnośnie właściwości materiałowych badanych stali, ale do wniosków końcowych nie trafiły.

W ostatnim, **ósmym rozdziale** przedstawiono wykaz wykorzystanej literatury. Liczba zastosowanych źródeł jest zadawalająca, uwagi szczegółowe przedstawiono w Rozdziale 3 poniższej recenzji.

Ogólna struktura rozprawy zasługuje na ocenę pozytywną. Autor poprawnie przyjął kolejność rozdziałów i w większości przypadków dokonał prawidłowego podziału treści na rozdziały i podrozdziały. Praca zawiera pewne błędy językowo-stylistyczne, jednak nie wpływa to znacząco na czytelność i zrozumiałość treści oraz nie umniejsza znaczących walorów naukowych pracy.

Z przedstawionej powyżej oceny poszczególnych części dysertacji wynika, że **praca jest oryginalna, logiczna i spójna merytorycznie**. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną i umiejętnościami w realizacji badań naukowych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

3. Uwagi do rozprawy doktorskiej

W niniejszej części recenzji przedstawię uwagi krytyczne, a także fragmenty rozprawy wymagające dodatkowych komentarzy i wyjaśnień ze strony Autora. Chciałbym zaznaczyć, że uwagi te mają charakter raczej dyskusyjny, a nie stanowią bezpośredniego stwierdzenia niedociągnięć lub błędów.

Wstęp i uzasadnienie podjęcia tematu (s. 7). Stwierdzenie, że uzyskane wyniki zamieszczono w formie graficznej i tabelarycznej eliminuje rozważania tekstowe.

Podrozdział 2.1.1. Właściwości technologiczne i eksploatacyjne ostrzy skrawających:

S. 8 – jeśli w zdaniu „sposób wytwarzania determinuje jakość powierzchni, a w tym dokładność powierzchni i stan warstwy wierzchniej” Autor ma na myśli technologię wytwarzania materiału – dokładność powierzchni i stan WW mają niewiele do czynienia, natomiast, jeśli chodzi o kształtowaniu ostrzy skrawających – brakuje rozważań o strukturze geometrycznej powierzchni ostrza.

Rys. 2.1 – czym jest dokładność złożona? Dokładność powierzchni nie określa się przez parametry SGP (środkowy słupek pionowy), lecz przez tolerancje wymiarów i odchyłek geometrycznych. Parametry SGP powinni być opisane wg definicji normy PN-ISO.

S. 10 – zamiast nacisku jednostkowego jest chyba lepiej używać określenia „naprężenia na powierzchniach stykowych (kontaktowych)”.

S. 11 – oznaczenia sił skrawania literami P_x , P_y , P_z , jak również ich definicje są niezgodne z normą PN-ISO.

Rys. 2.2 – warto wskazać gatunek materiału ostrza i inne szczegóły, ponieważ podany poziom temperatur jest niski jak na współczesne warunki stali szybko tnących;

S. 13 – lepiej stosować określenie „promieniowanie cieplne”, bo są różne typy promieniowania.

S. 14 – obecnie nie używa się pojęcie „czyste tarcie”; warto by było to pojęcie zweryfikować (źródło 1976 r.).

Podrozdział 2.1.2.1. Objawy zużycia ostrzy skrawających

S. 19 – zdanie „cztery wskaźniki zużycia o charakterze ściernym” jest raczej błędne, ponieważ dotyczy geometrii zużytej powierzchni, lecz nie przyczyn fizykochemicznych powstania zużycia, m.in. ściernego.

Podrozdział 2.1.2.2. Postacie zużycia ostrzy skrawających i przyczyny ich powstania

S. 21 – pojęcie „postać” moim zdaniem jest zbędne, bardziej poprawnym był by tytuł „przyczyny zużycia ostrzy skrawających.

S 22 – autor w różnych miejscach rozprawy albo rozróżnia zużycie chemiczne i dyfuzyjne, albo łączy ich razem (s. 14, 20).

Czy nie powinno podrozdziały 2.1.2.1 i 2.1.2.2 połączyć w spójny 2.1.2, bo dalej pojawia się podrozdział 2.1.3?

Podrozdział 2.2. Charakterystyka stali szybko tnących

S 39 – nie jestem pewien tak obszernej analizy oszczędnościowych stali szybko tnących, nie są bowiem aktualnie szeroko stosowane w przemyśle i nie badano ich w rozprawie.

Tab. 2.4 – Stal C45 nie jest stalą stopową.

Podrozdział 2.2.4.2. Metalurgia proszków

Rys. 2.22 – wydaje się dość wątpliwy co do opłacalności produkcji części proszkowych o nakładzie ponad 6000 sztuk. Warto sprawdzić rok publikacji źródła literaturowego, ponieważ drastyczny wzrost kosztów energii, proszków, robocizny itp. w ostatnich dwudziestu latach znacząco utrudnił wykorzystanie metalurgii proszków w przemyśle.

S. 50 – co oznacza czynność „formowanie proszków” przed zabiegiem „prasowanie”?

S. 78 – czynność „wysycanie” w metalurgii proszków nazywa się „infiltracja”; obróbka plastyczna w celu zwiększenia dokładności (na dole strony) była już wspomniana jako „kalibracja”.

W punkcie „Produkcja spiekanych stali szybko tnących” warto by było bardziej szczegółowo opisać technologię PIM, na przykładzie stosowania nie dla polimerów, lecz dla wyrobów ze stali proszkowych.

Podrozdział 4.1. Opis materiału badawczego – w podrozdziale tym powinny być przedstawione szczegóły szlifowania (parametry szlifowania, cechy ściernicy, warunki chłodzenia, itp.) oraz elektrodrażenia (parametry elektryczne, prędkość posuwu, elektrolit itp.).

Podrozdział 4.3. Metodyka badań właściwości eksploatacyjnych ostrzy skrawających składa się tylko z jednego punktu (4.3.1), co jest wbrew znanym zasadom rubrykacji. Uważam, że zastosowanie do badań tylko trzech prędkości skrawania nie pozwala ujawnić wszystkich szczegółów procesu toczenia, np. możliwość powstawania narostu itp. Poza tym, warto podać producenta cieczy obróbkowej i technologię przygotowania emulsji. Zastosowanie lupki Brinela do pomiarów zużycia z trudem można uznać za właściwe, ponieważ aktualnie stosuje się w tym celu mikroskopy cyfrowe. Uzasadnieniem może być tylko stały dla wszystkich badań systematyczny błąd pomiarowy.

Podrozdział 4.4. Metodyka badań weryfikacyjnych – punkt 4.4.3 powinien się nazywać „Metodyka pomiarów *współczynnika tarcia*”.

Rozdział 5. Wyniki badań i ich omówienie lepiej nazwać „Wyniki badań i ich analiza”. Prawie wszędzie na wykresach brakuje wartości odchyłeń standardowych. Nie rozumiem także, dlaczego wykresy na rys. 5.6 – 5.8 zostały obcięte.

Przy analizie wpływu prędkości skrawania na trwałość ostrzy warto stosować nie diagramy słupkowe, lecz wykresy liniowe, co pozwala na obliczenie zależności $T = f(v)$ i wartości wskaźnika trwałości względnej k , który wg wspomnianej wyżej normy PN-ISO określa zmiany intensywności zużycia.

Punkt 5.3.3. Zdjęcia mikroskopowe powierzchni płytek skrawających lepiej było by nazwać „Morfologia powierzchni płytek skrawających”; analizę zmian morfologii powierzchni można było by pogłębić.

Punkt 5.3.4 – krzywa Abbotta aktualnie nazywa się „krzywa udziału materiałowego”.

Rys. 5.20 – informacje podane na rysunku nie najlepiej przedstawiono i opisano.

Rozdział 8 – opisy bibliograficzne nie zawsze są kompletne. Na przykład:

52. Höglund U. Cutting edgewear in microscale physical conditions wear processes. brak miejsca : CIRP Annalen, 1976, a ma być: Høglund U. Cutting Edge Wear in Microscale Physical Conditions-Wear processes. Annals of the CIRP, 25 (1976), 99-103.

131. Sitek W, Dobrzański L.A., Piętka A. Optymalizacja składu chemicznego stali szybko tnących z wykorzystaniem algorytmów genetycznych, Gliwice.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując recenzję rozprawy stwierdzam, że mgr inż. Jędrzej Komolka zdefiniował, a następnie rozwiązał ważny i aktualny problem naukowy dotyczący porównania właściwości technologicznych i eksploatacyjnych stali szybko tnących o podobnym składzie chemicznym, wytworzonych przy użyciu różnych technologii, oraz kompleksowego i jednoznacznego wyjaśnienia zaobserwowanych różnic występujących w badaniach tych właściwości.

W mojej opinii Autor w sposób znaczący przyczynił się do poszerzenia wiedzy w obszarze dyscypliny naukowej Inżynieria mechaniczna. Świadczy to o właściwym poziomie naukowym Doktoranta i potwierdza jego gotowość do samodzielnej realizacji badań naukowych.

Działając w oparciu o art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669), stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jędrzeja Komolki pt. „Porównawcze badania właściwości technologicznych i eksploatacyjnych ostrzy skrawających z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej”, **spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r.** (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie inżynieria mechaniczna wg klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 lipca 2018 r.

W związku z tym **wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Jędrzeja Komolki i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Profesor dr hab. inż.


Eugene Feldshtein