

Opole, dnia 15.05.2022 r.

Prof. dr hab. inż. Wit Grzesik
Em. prof. zw. Politechniki Opolskiej

RECENZJA

Pracy doktorskiej mgr inż. Michała Ociepy pt.: „**Badanie stanu warstwy wierzchniej i właściwości trybologicznych elementów z utwardzonych stali proszkowych po procesie toczenia wykończeniowego ostrzami z regularnego azotku boru**”.

Promotor pracy: dr hab. inż. Mariusz Jenek, profesor UZ

Podstawa opracowania recenzji: zlecenie Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego sygn. IIM-D.51.511.3.2022.JG.

1. Układ i zakres rozprawy, uzasadnienie wyboru tematu

Badanie procesów i operacji obróbkowych jest zawsze podstawowym czynnikiem rozwoju procesów wytwórczych, ich optymalizacji i doskonalenia jakości użytkowej wyrobów. Z tego powodu ośrodki badawcze przemysłowe i akademickie zajmują się obecnie nie tylko szeroko rozumianymi badaniami doświadczalnymi i modelowaniem procesu skrawania odniesionymi do różnych sposobów skrawania, przede wszystkim o dużej skali rozpowszechnienia, takich jak toczenie, frezowanie i wiercenie, ale także właściwościami funkcjonalnymi/ funkcjonalnością wyrobów bardzo ważną dla ich eksploatacji. Problem ten nabiera szczególnej wagi w strategii Produkcja/Wytwarzanie 4.0/5.0. To dualne podejście do badań procesu skrawania i tworzonej jakości wyrobu można dostrzec w recenzowanej pracy doktorskiej, chociaż autor tego wyraźnie nie artykułuje w sformułowaniu celu i zakresu pracy (rozdz. 3. Przedmiotem badań jest toczenie ulepszonych cieplnie/utwardzonych narzędziowych, stopowych stali konwencjonalnych i PM ostrzami z CBN bez i z nałożoną powłoką przeciwzużyciową PVD oraz identyfikacja stanu wytworzonej warstwy wierzchniej i standardowe tribo-testy w układzie „klocek-rolka”.

Znaczący udział we wszystkich operacjach wykańczających toczenia na twardo i szlifowania w różnych gałęziach przemysłu wytwórczego ma swoje uzasadnienie w podjęciu się przez Doktoranta wielokierunkowych badań toczenia wykańczającego trzech gatunków stali narzędziowej do pracy na zimno o symbolu EN X153CrMoV12 (w tym dwóch gatunków PM wytwarzanych przez szwedzką firmę Uddeholm) w odniesieniu od oceny ich skrawalności i właściwości trybologicznych wytworzonych powierzchni. Z tego względu temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest ważny, tak ze względów teoretycznych jak i praktycznych, ponieważ z jednej strony dotyka mechaniki, procesu tworzenia wióra i zużycia ostrza, a z drugiej oceny odporności na zużycie wytworzonej powierzchni w trybie *post-proces*. Zwykle przyjmuje się, że toczenie dokładne stali utwardzonych odnosi się do parametru chropowatości powierzchni Rz około 1 μm , co w pracy uzyskano stosując posuw 0,05-0,075 mm/obr.

Podjęcie się przez autora przeprowadzenia wszechstronnych badań porównawczych procesu toczenia stali konwencjonalnej i dwóch gatunków stali klasy PM ostrzami z CBN i jego wpływu na stan warstwy wierzchniej oraz odporność na zużycie ściernie jest w świetle dokonanych analiz i przytoczonych informacji w pełni uzasadnione. Są one zbieżne z obecnie stosowaną w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym i narzędziowym praktyką stosowania do obróbki materiałów o twardości powyżej 45 HRC narzędzi z materiałów supertwardych CBN (PCBN) (rzadziej z ceramiki narzędziowej). Problem zamienności obróbki wiórowej i ścierniej, który ma ważne znaczenie praktyczne, został podjęty w badaniach odporności na zużycie ściernie w rozdz. 4.3.10 (badania tribologiczne).

W literaturze krajowej obszerną charakterystykę procesu skrawania materiałów utwardzonych, narzędzi skrawających, ocenę ich skrawalności i właściwości warstwy wierzchniej podano w książce „Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych”, PWN, 2018 i „Narzędzia skrawające” WNT, 2006 podającą ważne informacje o konstrukcjach i zastosowaniach różnych grup narzędzi skrawających. Te dwie ważne pozycje literatury (poz. [25] i [55]) zostały zauważone przez Doktoranta, co jest dla recenzenta dużym zaskoczeniem *in plus*. Jednakże cytowana pozycja [55] jest starszym wydaniem z 2010 r., a dla rozwoju technologii to jednak jest bardzo istotny okres.

Obecnie można zaobserwować większą liczbę prac badawczych poświęconych obróbce materiałów wytwarzanych z proszków metodą przyrostową/addytywną co wymuszają rygorystyczne ograniczenia środowiskowe i obowiązująca powszechnie strategia zrównoważonego wytwarzania. Niestety te ostatnie fakty nie są zaakcentowane i przeanalizowane w pracy, gdyż autor ogranicza się do oferty firmy Uddeholm (Szwecja) i poddaje badaniom trzy gatunki stali narzędziowej- jeden konwencjonalny i dwa PM. Z drugiej strony mogę jednak stwierdzić, że zastosowane techniki pomiarowe i przeprowadzone analizy wyników badań korespondują z prowadzonymi w świecie badaniami procesu toczenia stali gatunku PM w stanie utwardzonym.

W pracy o łącznej objętości 126 stron wydzielono 6 podstawowych rozdziałów oraz zamieszczono wykaz cytowanej literatury w porządku alfabetycznym i krótkie streszczenia.

Rozdz. 1 to bardzo krótkie i bardzo ogólne naświetlenie powodu zajęcia się tematyką skrawalności stali narzędziowych gatunku PM, praktycznie bez odniesień merytorycznych do ich skrawalności (nie obrabialności jak definiuje autor). Stwierdza się ogólnie, że jest ona generalnie niska (powinno być dobra lub zła), ale nie podano ku temu jednoznacznych powodów. Tym bardziej, że w obróbce materiału o jednolitej mikrostrukturze, ale dużej twardości nie powinno być problemów z mikrowykruszaniem się krawędzi skrawającej.

We wstępie do **rozdz. 2** autor stara się przedstawić aktualny stan problemu badawczego, a właściwie odnosi się do kilku problemów badawczych poświęcając na to 1 stronę. Podane informacje są albo zbyt ogólne, albo nie związane z tematem pracy, np. wzmianka o obróbce hybrydowej wspomagananej mediami technologicznymi (MQL, NFMQL, itp.). Przecież skrawanie odbywało się na sucho. Nie jest dla recenzenta zrozumiałe dlaczego w rozdz. 2.1 pracy autor podaje podstawowe, bardzo obszerne informacje o stanie warstwy wierzchniej, jej budowie i normalizacji. Można je zastąpić jednym akapitem i odnieść do źródeł literaturowych. W kolejnych rozdz. 2.2 i 2.3 zajmuje się podobną tematyką, ale zawężoną do struktury geometrycznej powierzchni (SGP) bądź związkami stanu warstwy wierzchniej z właściwościami eksploatacyjnymi generowanych powierzchni. W pracy autor

postępuje odwrotnie do metodyki podanej na rys. 2.7. W rozdz. 2.4 opisuje charakterystyczne zjawiska występujące w obróbce na twardo, m.in. specyfikę tworzenia wióra, rozkład całkowitej siły skrawania i mechanizmy generowania naprężeń własnych w WW. W rozdz. 2.5 przechodzi do charakterystyki użytego w badaniach jako materiału narzędziowego PCBN, a następnie w rozdz. 2.6 zajmuje się mechanizmami zużycia ostrza. Recenzent nie kwestionuje istotności przytoczonych informacji, ale sposób ich przedstawienia i powiązanie informacji ogólnych i informacji ważnych dla przyjętego programu badań i oczekiwanych rezultatów wydaje się być niefortunny i zagmatwany, co utrudnia jego weryfikację i ocenę nowatorstwa pracy. Można odnieść wrażenie, że nadmiar problemów badawczych przerósł możliwości twórcze autora pracy. Jaki był sens przenoszenia charakterystyki powłok do rozdz. 2.6.1 jeśli wcześniej materiał ostrzy skrawających (PCBN) został omówiony wcześniej w rozdz. 2.5. Na koniec, należy podkreślić, że kluczowe powinny być informacje związane merytorycznie z tematem pracy i na nich autor powinien się skupić w pierwszej kolejności. Właściwie powinien wystarczyć rozdz. 2.7 jako podstawa do realizacji badań i na tej kanwie należało tworzyć zarys pracy.

W **rozdz. 3** autor definiuje cel i zakres pracy oraz formułuje dwie tezy naukowe pracy, które zostaną później zweryfikowane eksperymentalnie. Cel pracy zmierzający do wykazania istotnego wpływu dwóch powłok PVD- TiN i TiAlN naniesionych na ostrze z PCBN na warunki konstytuowania WW i właściwości tribologiczne powierzchni obrobionej oraz podany zakres pracy są jasne i nie budzą zastrzeżeń. Z kolei tezy pracy mają charakter dedukcyjny. Tezy pracy są połączeniem oczekiwań technologicznych i jakościowych w odniesieniu do toczenia stali klasy PM ostrzami z CBN.

Niezbyt fortunnie, co zauważono już wcześniej, autor odnosi je do roli powłoki na ostrzu narzędzia i wprowadza przez to formę uwikłaną. Zakres pracy jest bardzo obszerny, co z jednej strony świadczy o kompleksowym podejściu do problemu badawczego, a z drugiej wymusza jednak pewne uogólnienia i przypuszczenia.

W kolejnym rozdz. 4 omówiono koncepcję badań własnych oraz podano charakterystyki obrabiarek, narzędzi i skrawanych materiałów (elementów układu technologicznego *o-p-n*) oraz przygotowanie próbek. Przedstawiono charakterystyki trzech obrabianych materiałów (stali stopowych narzędziowych do pracy na zimno) na podstawie danych wytwórcy z podaniem składu chemicznego, właściwości mechanicznych i cieplnych oraz mikrostruktury uzyskanej po obróbce cieplnej. Jest odniesienie do źródła (strony internetowej producenta) w spisie literatury w poz. [161]. Z rys. 4.3 i 4.4 wynika, że stale typu PM mają jednorodną strukturę z drobnoziarnistymi węglnikami o wymiarze do 100 nm (0,1 μm). Wydaje się jednak, że badania porównawcze są dość przybliżone z uwagi na duże różnice w zawartości składników stopowych (Cr, Mo, V i W), które zasadniczo pogarszają skrawalność [50]. Charakterystyka katalogowa narzędzi skrawających w rozdz. 4.2 została uzupełniona o pomiary promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej $r_n(r_\beta)$ co ma ważne znaczenie w obróbce wykańczającej. Wydaje się jednak, że ostrze narzędzia z wyjściowym promieniem r_n powyżej 20 μm nie jest właściwym wyborem w obróbce wykańczającej. Z podanych wyników (rozdz. 4.3.4) nie wiadomo jak wzrasta zaokrąglenie krawędzi skrawającej w miarę zużycia ostrza. W rozdz. 4.3. omówiono stosowane metody i urządzenia pomiarowe, w tym twardościomierz Rockwella, mikroskop skaningowy, mikroskop optyczny, mikrotwardościomierz, profilometr optyczny oraz dyfraktometr rentgenowski i tribo-tester. Zakres przeprowadzonych badań w jednej pracy doktorskiej jest imponujący co wymaga szczególnej wiedzy i

wnikliwości w ustaleniu wpływu badanych czynników na stan WW i właściwości tribologiczne powierzchni obrobionej. Autor wywiązał się z tego trudnego zadania dość dobrze, jak na inżyniera nie mającego praktycznego doświadczenia w obróbce skrawaniem. Rozdziały 1-4 zajmują prawie połowę objętości pracy.

Wyniki badań własnych autor przedstawił w **rozd. 5**, który podzielił umownie na pięć części. Na omówienie i graficzne przedstawienie wyników badań autor poświęcił około 40 stron. W prezentacji wyników badań stosuje konwencję porównania efektów dla stali konwencjonalnej (T1) oraz dwóch gatunków stali PM (odpowiednio T2 i T3). W badaniach odporności na zużycie wprowadza dodatkowo szlifowanie (czy ściernicą z CBN?), co może być cenną wskazówką praktyczną ponieważ stale PM mają dobrą szlifowalność. Są to kolejno:

- charakterystyka chropowatości powierzchni oparta na parametrach Ra, Rz i RSm oraz wizualizacja topografii powierzchni pokazująca intensywność bocznego płynięcia plastycznego (rys. 5.7). Pewien niedosyt pozostawia brak podania ważnych parametrów 3D z grupy S i V.

- głębokość i stopień umocnienia warstw podpowierzchniowych na głębokości poniżej 20 μm wyznaczone na podstawie pomiarów mikrotwardości HV0,15. Wydaje się że w tym przypadku bardziej przydatna byłaby technika „skośnego zglądu” lub pomiary nanotwardości bowiem kluczowe znaczenie w badanym przypadku mają zmiany blisko powierzchni, a one są jednak dostrzegalne w powiększeniu 1000x (rys. 5.12).

- punktowy pomiar naprężeń własnych w odległości 20 μm od powierzchni obrobionej. Z punktu widzenia eksploatacji (podobnie jak poprzednio) narzędzi do obróbki plastycznej ważny jest stan naprężeń bezpośrednio przy powierzchni. Autor mógł się zdecydować na wyznaczenie jednego rozkładu naprężeń, aby potwierdzić, lub nie, obecność typowego rozkładu dla obróbki na twardo [48,50]. Można tak przypuszczać z uwagi na bardzo duże wartości naprężeń ściskających, ponad -500 MPa. Nie zdefiniowano kierunków pomiaru składowych naprężenia.

- wpływ warunków obróbki (a nie tylko parametrów) na proces tworzenia i kształt wióra (a nie strefę tworzenia wióra). Autor zdecydował się na pomiar współczynnika zgrubienia wióra oraz wyznaczenie na tej podstawie kąta poślizgu. Zdaniem recenzenta powinien to być względny poślizg γ_{sh} ponieważ wcześniej oceniano umocnienie/utwardzenie odkształceniowe materiału WW. Natomiast współczynnik tarcia dotyczy strefy kontaktu wiór-powierzchnia natarcia. W pracy nie podano w jaki sposób selekcjonowano wióry do pomiarów, jeśli na rys. 5.14 widać, że były bardzo skłębione.

- wpływ gatunku materiału obrabianego i promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej, ale w zakresie rozrzutu ustalonego dla użytych płytek. W takich przypadkach powinno się stosować wyselekcjonowane ostrza o porównywalnej wartości r_n . Wynik końcowy jest taki, że porównanie na rys. 5.18 jest bardzo zgrubne.

- wpływ posuwu (tylko jednego parametru a nie warunków obróbki) na obecność narostu i zużycie powierzchni natarcia (wskaźnik KB). Niedostatkim tych analiz jest brak informacji o zużyciu ostrza w obszarze ścina dla najmniejszych posuwów, co poglądowo wyjaśnia analiza trendu na rys. 5.24. Bardziej przydatny byłby pomiar głębokości krateru KT. Na rys. 5.21-5.23 nie podano czasu skrawania.

- ocena odporności na zużycie na podstawie pomiaru intensywności zużycia objętościowego i współczynnika tarcia ślizgowego. W rozdz. 5.5 nie podano materiału przeciwpróbkki. Potwierdzono przydatność stali PM na elementy tłoczników i stempli.

W **rozdz. 6** podano wnioski i argumenty przemawiające za poprawnością postawionych założeń technologicznych. Rozdz. 6 zawiera podsumowanie oraz obszernie wnioski końcowe, które nawiązują w dużej części do celu i zakresu pracy oraz zrealizowanych zadań badawczych. Nie podzielono ich jednak na poznawcze, użyteczne i rozwojowe, jak to zwyczajowo wymagane jest w pracach doktorskich. Należy jednak zastanowić się, czy sugerowane dalsze badania są konieczne w aspekcie naukowym.

Przeegląd literaturowy zagadnienia oparto na 156 pozycjach, spośród których znaczną część stanowią artykuły publikowane w języku angielskim i polskim w latach 2010-2021. Podano też informacje ze stron internetowych firm i normy. W wykazie literatury można dostrzec cztery współautorskie publikacje (poz. 97-100) z promotorem pracy, w tym dwie w czasopiśmie *Journal of Superhard Materials* [97 i 100], jedną w czasopiśmie *Coatings* [98] i jedną konferencyjną [99] związane ściśle z problematyką pracy doktorskiej.

Materiał ilustracyjny przedstawiający wyniki badań własnych obejmuje 59 rysunków i zdjęć, w tym wiele rysunków zbiorczych z uwagi na przyjętą konwencję porównawczą. Łącznie część badawczą omówiono na 65 stronach (str. 46 -111), co stanowi ponad połowę objętości pracy. Autor nie zdecydował się na tabelaryzację ważnych wyników badań, co wobec niekiedy małych różnic w wartościach czynników wyjściowych ułatwiłoby weryfikację postawionych założeń.

Sposób przedstawienia wyników badań jest oparty na ich przypisaniu do różnych narzędzi i różnych warunków obróbki (np. różnego posuwu), co niekiedy utrudnia ich ocenę w sensie metrologicznym i użytkowym.

Praca ma wybitnie charakter eksperymentalny i jak podano wcześniej koncentruje się na zagadnieniach toczenia stali PM jako ekwiwalentu do konwencjonalnych stali narzędziowych w kontekście właściwości WW i odporności powierzchni obrobionej na zużycie ściernie. Swoje badania autor przeprowadził w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego wykorzystując dostępne obrabiarki CNC, urządzenia i aparaturę pomiarową.

W podsumowaniu tej części opinii stwierdzam, że praca obejmuje zagadnienia mechaniczne i tribologiczne procesu skrawania (siły, stan odkształcenia, zużycie ostrza), pomiary chropowatości powierzchni, metrologię powierzchni, planowania doświadczeń, użytkowania skomputeryzowanych systemów pomiarowych oraz akwizycję i statystyczną analizę wyników pomiarów.

2. Analiza poprawności sformułowania tezy, celu i zakresu pracy

- a) Cele pracy zostały przedstawione jasno i we właściwym porządku. Nadrzędny cel pracy to wykazanie przydatności stali typu PM na narzędzia do obróbki plastycznej na zimno (stemple, tłoczniaki), jako alternatywę do stali stopowej narzędziowej wytwarzanej konwencjonalnie.
- b) Tezy pracy są zbiorem oczekiwań technologicznych, które autor weryfikuje na podstawie badań doświadczalnych. W wielu przypadkach są one oczywiste dla technologów i nie wymagają weryfikacji naukowej.
- c) Zakres pracy jest bardzo rozległy, gdyż autor rozszerzył badania na trzy gatunki materiałów obrabianych, w tym dwa gatunki stali stopowej PM i jeden konwencjonalny o różnej skrawalności. Na uwagę zasługuje również zastosowanie dokładnych metod pomiarowych i nowoczesnych urządzeń pomiarowych.

- d) Analiza literaturowa i wstępne wnioskowanie zostały przeprowadzone poprawnie. W szczególności wykazano możliwość wytworzenia WW o właściwościach gwarantujących zwiększoną odporność na zużycie ściernie na elementy narzędzi do obróbki plastycznej. Było to podstawą do przeprowadzenia własnych badań zasadniczych i zgromadzenia pokaźnej wiedzy o procesie toczenia narzędziowych stali stopowych PM.
- e) O wadze problematyki badawczej i konieczności jej rozwijania może świadczyć fakt znacznych oszczędności czasu obróbki i redukcji poniesionych kosztów w stosunku do szlifowania. W przypadku produkcji masowej ma to decydujące znaczenie w doborze warunków obróbki i projektowania całego procesu technologicznego.

3. Uwagi merytoryczne i dyskusyjne

I. Część literaturowa i opis metodyki badań

1. Dlaczego w tytule pracy Autor użył określenia „trybologiczne” a w tytule rozdz. 4.3.10 „tribologiczne”. Brak jest więc konsekwencji, a może pojawiły się wątpliwości z pisownią?
2. Należy stosować (rozd. 4.3.9) określenie „składowe siły skrawania”, a nie „siły skrawania” w liczbie mnogiej [50], co ilustruje rys. 2.15. Jednak podpis pod tym rysunkiem jest niewłaściwy ponieważ rozkładowi podlega jedna (całkowita) siła skrawania. Należy to skorygować w prezentacji pracy i zadbać na przyszłość o konsekwentne stosowanie poprawnej terminologii w zakresie obróbki skrawaniem.
3. Jeśli stosowano model skrawania ortogonalnego to we wzorach (3)-(5) w rozdz. 4.1.7 powinien wystąpić ortogonalny kąt natarcia (γ_0). Uwaga ta dotyczy także charakterystyki geometrii ostrza w rozdz. 4.2. Oznaczanie kątów ostrza bez właściwego indeksu dolnego nie ma sensu ponieważ mierzy się je w określonych płaszczyznach układu odniesienia [50].
4. Czy autor zastanowił się jaki model materiału [50] został użyty przy wyprowadzaniu wzoru (5) w rozdz. 4.3.7 i czy może on być stosowany do materiału w stanie utwardzonym?
5. Rys. 4.1 nie jest zgodny z zasadami rysunku technicznego. Powinien być półprzekrój-półwidok aby prawidłowo zwymiarować próbkę.
6. Analizę wyników badań utrudnia stosowanie handlowych nazw stali PM. Nie podano z jakiego powodu stosowano ostrza z powłokami PVD-TiN i PVD-TiAlN. Recenzent rozumie istotę badań porównawczych, ale wybór materiału ostrza narzędzia powinien być uzasadniony. Czy zdaniem Autora są przesłanki do zastosowania ostrzy strukturyzowanych/teksturyzowanych?
7. Rys. 4.5 na str. 53 nie przedstawia geometrii ostrza ale charakterystyczne wymiary oprawki nożowej. Niektóre wymiary, np. wymiar ustawczy naroża jest z uwagi na dokładność przedmiotu tolerowany.
8. Rozdz. 5.1. Co ma oznaczać stan stereometryczny powierzchni?
Uwaga ogólna. Problemy z poprawną terminologią są typowe dla osób z przemysłu, które często stosują „żargon produkcyjny”

II. Część doświadczalna

9. W pracy dominują badania porównawcze stanu WW i odporności na zużycie ściernie stali stopowej narzędziowej do pracy na zimno po obróbce wiórowej i

- ściernej. Natomiast na str. 91 jest odniesienie do stali łożyskowej 100Cr6. Czym to Autor uzasadnia?
10. Jaki był cel badań zużycia ostrza (rozd. 2.6) jeśli nie było uwzględniane w ocenie stanu WW i funkcjonalności powierzchni obrabianej? Podobna uwaga dotyczy wyznaczania współczynnika tarcia na powierzchni natarcia.
 11. Naprężenia własne wyznaczano w odległości 20 μm od powierzchni a nie na powierzchni jak sugeruje tytuł rozdz. 4.3.8.
 12. Brak w podpisach warunków obróbki utrudnia analizę wyników badań.
 13. Brak jest wizualizacji topografii powierzchni po próbie zużycia i porównania istotnych parametrów chropowatości 3D.
 14. W jaki sposób dokonywano selekcji obrabianych materiałów. Czy oceniano ich jakość podobnie jak użytych narzędzi, czy opierano się na dostarczonych przez producenta atestach?
 15. Dlaczego intensywność zużycia próbki mierzono objętościowo a nie liniowo?
 16. Jak składniki stopowe (Cr, Mo, V, W) wpływają na skrawalność stali konwencjonalnych i PM? Przykładowo, zawartość wanadu (V) to odpowiednio 0,8% oraz 3,7 i 3,1 %, a chromu (Cr) to 11,8% oraz 4,7 i 4,2%. Jak to się np. przekłada na rozkład naprężeń własnych w WW?
 17. W przypadku zużycia ostrza podane na rys. 5.25 rozrzuty wyników pomiarów wskaźnika KB wydają się być zbyt małe jeśli ma to być zmienna o charakterze losowym. Czy rozrzut odnoszono do pomiarów dla tej samej próbki czy kilku różnych próbek w ramach jednej serii badań?
 18. Charakterystyki tribologiczne (μ , I_z) nie mogą być traktowane dosłownie jako właściwości eksploatacyjne powierzchni (rozd. 5.5).
 19. W omówieniu różnic w wartościach naprężeń własnych (rys. 5.13) dla stosowanych w badaniach materiałów obrabianych i narzędziowych Autor stwierdza że „materiał charakteryzuje się ujemnymi naprężeniami”. Co miał na myśli?
 20. Recenzent uważa, że wartości kąta poślizgu (Φ) podane na rys. 5.16 są przeszacowane z uwagi wyznaczone wartości współczynnika zgrubienia wióra (k_h). Jaki kąt natarcia uwzględniano w obliczeniach? Podobnie wartości współczynnika tarcia odbiegają od danych dla ostrzy powlekanych i ostrzy z ujemnym kątem natarcia. Czy Autor porównywał własne wyniki z danymi literaturowymi i jakie widzi powody tych rozbieżności?
 21. Co może oznaczać „migracja cząstek” materiału przeciwpróbki (str. 105)? W tribologii używa się pojęcia przenoszenia materiału pomiędzy elementami pary tribologicznej. Czy to jest w rozumieniu Autora ten sam efekt zużycia?
 22. Z rys. 5.20÷5.23 widać wyraźnie, że zużycie płytki ostrzowej z CBN koncentruje się w obszarze ściana, co jest oczywiste z uwagi na duży ujemny kąt natarcia (-20°). Jak w takim przypadku mierzono wskaźnik KB?
 23. Wnioski na str. 98 dotyczące zużycia ostrza (rozd. 5.4) sugerują możliwość obróbki każdym rodzajem ostrza. Później wprowadza ograniczenia co do wartości posuwu. Jak użytkownik ma to rozumieć?
 24. W rozdz. 6 trudno jest wydzielić związane wnioski z badań. Autor w zasadzie powtarza dość szczegółowe omówienie wyników badań podane w rozdz. 5. Recenzent sugeruje dopracowanie wniosków i przedstawienie ich w prezentacji pracy według schematu- poznawcze, utylitarne, rozwojowe. Pozwoli to dokładniej ocenić wkład naukowy Doktoranta.

4. Poziom edytorski rozprawy

Wszystkie usterki redakcyjne, stylistyczne i interpunkcyjne zaznaczyłem w tekście. Naniósłem je odręcznie w przesłanej mi kopii pracy, którą zwróciłem autorowi z zaleceniem korekty w przyszłych opracowaniach. *Należy zdecydowanie zadbać o konsekwentne stosowanie poprawnej terminologii z zakresu obróbki skrawaniem/technologii maszyn.* Dostrzegłem drobne problemy Doktoranta z właściwym użytkowaniem wiedzy z teorii skrawania oraz poprawnością frazeologiczną formułowanych komentarzy i wniosków.

Spośród opracowań problemowych na uwagę zasługuje rozdz. 5.5 poświęcony tribo-testom obrobionych powierzchni. Wyniki tego opracowania mogą mieć wartość praktyczną dla firm produkujących narzędzia do obróbki plastycznej, chociaż większy udział ma frezowanie powierzchni kształtowych. Cenną pomocą praktyczną mogą być zestawienia trendów w rozdz. 5.1-5.5.

5. Osiągnięcia naukowe i badawcze pracy

W świetle analizy wyników badań i przedstawionych wniosków można tu wymienić:

- wyznaczenie wpływu warunków obróbki na skrawalność stali narzędziowych stopowych do pracy na zimno wytwarzanych metodą metalurgii proszków (PM).
- szersze wyjaśnienie problematyki wpływu powłok narzędziowych na chropowatość powierzchni, właściwości fizyczne TWW i odporność powierzchni na zużycie ślizgowe dla różnych warunków skrawania. Zwraca uwagę dbałość o wiarygodność i dokładność wyników badań.
- opracowanie i częściowa weryfikacja metodyki oceny funkcjonalności powierzchni na podstawie przebiegu procesu skrawania i ocenie zmian stanu materiału w TWW.
- ważnym osiągnięciem jest rozpoznawanie charakterystycznych stref zużycia w kontakcie krawędzi skrawającej z obrabianym materiałem. Na uwagę zasługuje też sposób przygotowania odpowiedniej próbki oraz dbałość o dokładność i powtarzalność prób.
- opanowanie technik eksperymentalnych, w tym pomiarów chropowatości powierzchni, mikrotwardości, naprężeń własnych oraz cyfrowego przetwarzania obrazów (SEM), a także akwizycji, przetwarzania i analizy zarejestrowanych sygnałów pomiarowych.
- wykorzystanie nowoczesnych przyrządów pomiarów i znajomość metrologii powierzchni.
- istotnym osiągnięciem w pracy jest ocena funkcjonalności wytwarzanej powierzchni z pozycji właściwości konstytuowanej TWW.

6. Końcowa ocena pracy i dopuszczenie do obrony

Na podstawie analizy treści rozprawy, poruszonych problemów badawczych i naukowych, a także zastosowanych metod ich rozwiązania i uzyskanych wyników stwierdzam, że ogólna ocena pracy jest pozytywna.

Na takie stanowisko składają się następujące fakty:

1. Opiniowana rozprawa dotyczy ważnych i aktualnych problemów technologii maszyn, głównie tworzenia WW na elementach z narzędziowych stali stopowych PM.

2. Zadania badawcze i końcowe analizy zostały przeprowadzone poprawnie pod względem metodologicznym.
3. Realizacja rozległych badań doświadczalnych i analiz świadczy o dobrym przygotowaniu inżynierskim i naukowym autora.
4. Praca wnosi nowe i wartościowe informacje nt. warunków obróbki utwardzonych stali narzędziowych PM narzędziami z PCBN oraz stanu i funkcjonalności konstituowanej TWW.
5. Uzyskane rezultaty mogą być wykorzystane w projektowaniu procesów technologicznych obróbki części z utwardzonych narzędziowych stali stopowych PM wymagających operacji toczenia wykańczającego.

Autor rozprawy wykazał się w trakcie jej realizacji:

- 1) Przygotowaniem do samodzielnego przeprowadzenia badań doświadczalnych w aspekcie materiałowym, technologicznym i użytkowym, w tym badania procesu skrawania, pomiarów właściwości mechanicznych i tribologicznych TWW.
- 2) Umiejętnością formułowania problemów badawczych, doboru właściwej metodyki badań i umiejętnością poprawnego wnioskowania,
- 3) Bogatą wiedzą w zakresie obróbki skrawaniem, narzędzi skrawających do metali, procesów technologicznych obróbki i badań TWW.
- 4) Umiejętnością programowania i realizacji eksperymentu oraz statystycznego opracowania wyników badań,
- 5) Umiejętnością korzystania z literatury technicznej i naukowej.

Na podstawie powyższych uzasadnień wyrażam opinię, że rozprawa doktorska pt.: **„Badanie stanu warstwy wierzchniej i właściwości trybologicznych elementów z utwardzonych stali proszkowych po procesie toczenia wykończeniowego ostrzami z regularnego azotku boru”**, której autorem jest mgr inż. Michał Ociepa jest samodzielnym i oryginalnym opracowaniem technologicznym. Ponieważ spełnia ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim w formie pisemnej (ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r., Dz. U. 2018, poz. 1668, art. 187) wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

