

Prof. dr hab. inż. Jan Burek
Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska

Rzeszów, 30 kwietnia 2021 r.



**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Jędrzeja Komolki**

**pt. „Porównawcze badania właściwości technologicznych i eksploatacyjnych ostrzy
skrawających z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej”**

Podstawą opracowania recenzji jest zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej z dnia 31.03.2021 r.

1. Ogólny opis recenzowanej pracy

Opracowana przez Doktoranta praca ma charakter doświadczalny i dotyczy badania właściwości technologicznych i eksploatacyjnych ostrzy skrawających z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej.

Większość stali narzędziowych stopowych jest wytwarzana rozwiniętymi metodami metalurgii proszków. W ten sposób wytwarza się głównie spiekane stale szybko tnące. Stale wytworzone tą technologią cechują się o wiele bardziej równomierną strukturą metalograficzną od gatunków konwencjonalnych. W spiekanych stalach szybko tnących nie występuje segregacja węglików, gdyż nie występują w nich duże węgliki, które w stalach konwencjonalnych pochodzą z węglików dendrytycznych rozbitych w trakcie obróbki plastycznej. Spiekane stale szybko tnące, w porównaniu ze stalami konwencjonalnymi, wykazują wiele korzystnych właściwości technologicznych: dobrą plastyczność, dobrą obrabialność mechaniczną, bardzo dobrą szlifowalność, dużą stabilność wymiarową po hartowaniu i odpuszczaniu, w przeważającej liczbie przypadków lepsze właściwości użytkowe. Spiekane stale narzędziowe stopowe również wykazują korzystniejsze właściwości technologiczne i eksploatacyjne od analogicznych stali wytworzonych konwencjonalnie.

Narzędzia wykonane ze spiekanych stali szybko tnących mają lepsze właściwości skrawane od wykonanych ze stali konwencjonalnych o analogicznym składzie chemicznym, szczególnie w przypadku obróbki stali trudno obrabialnych i przy większej prędkości skrawania. Wskaźniki zwiększania właściwości użytkowych kształtują się różnie w zależności od rodzaju

narzędzia, warunków prób, a w tym głównie od wytrzymałości materiału obrabianego. Właściwości narzędzi wykonanych ze spiekanych stali szybkoobrotowych ulegają zwiększeniu o kilkadziesiąt do kilkuset procent w miarę zwiększania warunków skrawania. Narzędzia ze spiekanych stali szybkoobrotowych wykazują przy tym bardziej równomierną skrawność w porównaniu z narzędziami ze stali konwencjonalnych.

Podsumowując można stwierdzić, że narzędzia ze spiekanych stali w znacznym stopniu mają odmienną morfologię powierzchni, co wpływa na zróżnicowane właściwości tribologiczne i w związku z tym znaczący wpływ na właściwości eksploatacyjne ostrzy skrawających. Stąd też badania tych właściwości mają istotne znaczenie, z punktu widzenia określenia uzasadnionego zakresu stosowalności obu odmian stali szybkoobrotowych. Z tego też względu w pracy podjęto badania nad tymi zagadnieniami.

Stąd też uważam, że podjęcie tematu realizowanej pracy doktoranta jest jak najbardziej uzasadnione i może mieć znaczące efekty poznawcze i użytkowe.

2. Zakres i ocena poszczególnych części realizowanej pracy

Praca została zrealizowana w Instytucie Technologii Mechanicznej, Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Macieja Kupczyka, który od bardzo wielu lat zajmuje się naukowo tą tematyką badawczą. Praca o objętości 138 stron, podzielona jest na 7 rozdziałów uzupełnionych streszczeniem w języku polskim i angielskim, oraz bibliografią. Pięć rozdziałów (od 3 do 7) zawarte na 48 stronach dotyczą pracy własnej Doktoranta i jego badań. Praca jest napisana starannie i metodologicznie czytelnie, poza nielicznymi fragmentami.

Rozdział pierwszy dotyczy uzasadnienia podjęcia tematu pracy, w szczególności biorąc pod uwagę:

- bezpośrednie porównania właściwości technologicznych i eksploatacyjnych stali szybkoobrotowych wytworzonych przy użyciu różnych technologii, a posiadających podobny skład chemiczny,
- kompleksowe i jednoznaczne wyjaśnienia występujących różnic właściwości eksploatacyjnych ostrzy skrawających z konwencjonalnych i spiekanych stali szybkoobrotowych w różnych warunkach skrawania, nie zawsze na korzyść dużo droższej spiekanej stali szybkoobrotowej.

Rozdział drugi zawiera analizę literatury dotyczącą tematu pracy, poczynając od definicji i podstawowych pojęć użytych w pracy, opisanie: właściwości technologicznych i eksploatacyjnych ostrzy skrawających, zużycia ostrzy skrawających, pomiaru twardości ostrzy skrawających, charakterystyki stali szybko tnących, kończąc na metodach wytwarzania stali szybko tnących. Rozdział zakończono podsumowaniem i wnioskami stanu wiedzy, które są związane z tematem pracy, a następnie na tej podstawie sformułowano cel własnych badań. Jest to najbardziej obszerny rozdział pracy dotyczący dotychczasowego stanu badań w zakresie stali szybko tnących wytwarzanych konwencjonalnie i metalurgią proszków. Rozdział ten liczy 80 stron i zawiera wiedzę książkową dotyczącą głównie procesów wytwarzania stali szybko tnących, w większości nie związanych bezpośrednio z tematem pracy. Praca przecież nie dotyczy technik wytwarzania stali szybko tnących, a jedynie efektywności ich stosowania. Brakuje mi natomiast analizy i porównania wydajności obróbki tych narzędzi. Uważam również, że brakuje szerszej analizy kształtowania topografii powierzchni i zmiany właściwości warstwy wierzchniej obrabianych przedmiotów, w zależności od wydajności obróbki. Przecież celem każdego procesu skrawania jest dążenie do jak największej wydajności przy zapewnieniu uzyskania wymaganych wskaźników jakości kształtowanej powierzchni. Moim zdaniem wystarczyłaby w tym rozdziale poszerzona analiza porównawcza trwałości, kosztów wytworzenia i zakresów stosowalności konwencjonalnych i spiekanych stali szybko tnących (pkt. 2. 2.5).

W rozdziale trzecim, stanowiącym cele pracy, Doktorant sformułował następujące dwa cele:

- „określenie zakresów efektywnego zastosowania ostrzy skrawających z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej o podobnym składzie chemicznym przy obróbce wybranego gatunku stali konstrukcyjnej o szerokim zastosowaniu”,
- „określenie przyczyn odmiennego zakresu zalecanej stosowalności konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej o zbliżonym składzie chemicznym w różnych warunkach skrawania”.

Brakuje mi tu wyraźnego sprecyzowania tezy naukowej pracy, rodzaju planu badań, na podstawie którego można w rezultacie przedstawić modele matematyczne obiektu badań. Przedstawiony w pracy plan badań opisuje wyłącznie kolejne etapy badań. W pracy nauko-

wej jaką jest niewątpliwie praca doktorska tego typu informacja dotycząca tezy naukowej i metodyki badań powinna być jasno sprecyzowana przez Doktoranta.

W rozdziale czwartym, stanowiącym zasadniczą część pracy przedstawiono najpierw warunki badań. W szczególności przedstawiono: opis materiału na ostrza skrawające, opis materiału obrabianego. Następnie opisano metodykę badań wybranych parametrów właściwości technologicznych ostrzy skrawających, w tym metodykę pomiaru twardości, pomiaru składu chemicznego materiału ostrzy. Opisano metodykę badań właściwości eksploatacyjnych ostrzy skrawających, w szczególności metodykę badania zużycia i trwałości ostrzy skrawających – określenie wskaźników stopnia i sposobu wyznaczania krzywych zużycia. W końcowej części tego rozdziału opisano metodykę badań weryfikacyjnych, w tym badań metalograficznych, badań topografii powierzchni, pomiarów tarcia, badań powierzchniowej objętości olejowej płytek skrawających.

Moim zdaniem to nie jest metodyka badań a metodyka pomiarów. Przez metodyką badań rozumie się określenie modelu badań procesu skrawania, przyjęcie parametrów wejściowych (prędkość skrawania, głębokość skrawania, posuw), przyjęcie badanych parametrów procesu (siły, temperatura, zużycie narzędzia), przyjęcie parametrów wyjściowych jako kryteria oceny (jakość obrabianej powierzchni, wydajność, koszty obróbki). Przedstawione przez Doktoranta opisy dotyczą głównie warunków realizacji badań i pomiarów.

Nie rozumiem w jakim celu dokonywano pomiaru składu chemicznego. Przecież dla danej stali są to wielkości znane katalogowo. Zresztą sam Doktorant stwierdził, że wartości pierwiastków stopowych nie odbiegały istotnie od podanych w normatywach.

Piąty rozdział dotyczy wyników badań, a mianowicie: wyników badań wybranych parametrów właściwości technologicznych, w tym mikrotwardości ostrzy skrawających, składu chemicznego. Dalej przedstawiono wyniki badań wybranych parametrów właściwości eksploatacyjnych ostrzy skrawających, w tym wyniki badań zużycia ostrzy skrawających dla różnych prędkości skrawania oraz wyniki badań trwałości ostrzy skrawających. W końcowej części tego rozdziału przedstawiono wyniki badań weryfikacyjnych, w tym morfologii powierzchni płytek skrawających, topografii powierzchni, badań mikroskopowych powierzchni płytek skrawających, badań objętości olejowej płytek skrawających, badań tribologicznych.

Jak już wspomniałem spiekane stale szybko tnące są głównie przeznaczone na narzędzia skrawające do obróbki materiałów trudnoskrawalnych, jak np. stali stopowych, stali o dużej

wytrzymałości, stali konstrukcyjnych ulepszonych cieplnie, do obróbki wykańczającej z zastosowaniem narzędzi pracujących z dużą wydajnością, automatycznej obróbki skrawaniem, przy wymaganych zwiększonych współczynnikach niezawodności pracy narzędzi, a więc głównie narzędzia montowane w obrabiarkach sterowanych numerycznie, centrach i liniach obróbkowych. Należy wyraźnie podkreślić, że o zastosowaniu stali konwencjonalnych lub proszkowych musi decydować rachunek ekonomiczny. Mimo większej ceny, trwałość narzędzi ze stali spiekanych może być nawet kilkukrotnie większa, co jest ekonomicznym uzasadnieniem stosowania takiego materiału. Stąd jako kryterium oceny i porównania zastosowania stali konwencjonalnych lub proszkowych należy przyjąć koszt narzędzia na jednostkę wytworzonego nim produktu. Wskaźnikiem pomocniczym może być na przykład częstotliwość zatrzymań linii produkcyjnej z powodu konieczności wymiany zużytego narzędzia na jednostkę wytworzonego produktu. Takiego charakteru należało przyjąć kryterium dla porównania efektywności zastosowania stali szybkoobrotowej konwencjonalnej i stali szybkoobrotowej spiekanej.

Badania były głównie skoncentrowane na porównaniu właściwości tych materiałów narzędziowych, a nie na szerszych badaniach technologicznych z uwzględnieniem zmiany wydajności obróbki. Przecież celem każdej obróbki oprócz doboru odpowiedniego narzędzia jest dążenie do jak największej wydajności, przy zapewnieniu uzyskania wymaganych parametrów jakości obrabianych przedmiotów. Ograniczenie się w przedstawionych badaniach tylko zmiany prędkości skrawania (zresztą w bardzo niewielkim zakresie) bardzo istotnie zawęży ocenę zastosowania stali szybkoobrotowej konwencjonalnej i stali szybkoobrotowej spiekanej.

W szóstym rozdziale przedstawiono analizę ekonomiczną zastosowania płytek skrawających wykonanych z konwencjonalnej stali szybkoobrotowej i spiekanej stali szybkoobrotowej. Mam też wątpliwości co do przedstawionej analizy ekonomicznej, gdzie uwzględniono jedynie cenę materiału konwencjonalnej stali szybkoobrotowej i stali szybkoobrotowej spiekanej. Stwierdzenie, że „ koszt wytworzenia wielostronowych płytek skrawających ze spiekanej stali szybkoobrotowej PM6-5-2 był 1,77 razy większy niż z konwencjonalnej stali szybkoobrotowej PM6-5-2 (chyba HS6-5-2), a zatem sens zastosowania ostrzy skrawających ze spiekanej stali szybkoobrotowej ma miejsce w przypadku, gdy ich czas skrawania jest dłuższy o 177% niż ostrzy skrawających z konwencjonalnej stali szybkoobrotowej” jest co najmniej bardzo dyskusyjne. Przecież o czasie skrawania decyduje wydajność procesu, a nie materiał ostrza.

W siódmym rozdziale przedstawiono podsumowanie i wnioski wynikające z badań.

Uważam również wnioski z przedstawionych badań za zbyt ogólne i dyskusyjne. Stwierdzenia, że

„wielostrzowe płytki skrawające wykonane ze spiekanej stali szybko tnącej charakteryzują się lepszymi właściwościami technologicznymi, takimi jak:

- nieco większą twardością od konwencjonalnych stali szybko tnących (kutych oraz walcowanych na gorąco),
- równomierniejszym rozmieszczeniem węglików w osnowie, bez występowania niekorzystnych skupisk, głównie w postaci pasm węglików, które powstają w konwencjonalnych stalach szybko tnących podczas obróbki plastycznej”

są powszechnie znane i nie wymagają badań potwierdzających ich prawdziwość.

Rozprawa zakończona jest spisem bibliograficznym zawierającym 149 pozycji.

3. Ocena ogólna pracy

Jak już wspomniałem praca ma charakter doświadczalny. Doktorant podjął się badań porównawczych zastosowania płytek skrawających wykonanych z konwencjonalnej stali szybko tnącej oraz spiekanej stali szybko tnącej. Głównym aspektem badań było określenie wpływu parametrów materiałowych płytek skrawających na ich zużycie w procesie toczenia.

Przeprowadzone badania charakteryzują się wielowątkowością. W ramach badań wykonano bardzo dużą liczbę pomiarów, co wymagało dużego nakładu pracy i czasu. Uważam jednak, że wiele z tych badań było zbyt techniczne w stosunku do założonego celu pracy. Można było na przykład na wstępie ograniczyć się do konkretnej metody obróbki i poszerzyć zakres badań wpływu ważnych parametrów nastawczych procesu związanych z wydajnością, zarówno na ekonomiczność samego procesu jak również kształtowanie topografii powierzchni przedmiotu. Jak na wstępie wspomniałem sam proces obróbki jest wystarczająco złożony i wymaga szerszej analizy jego przebiegu jak też wpływu parametrów technologicznych na kształtowanie topografii powierzchni przedmiotu i dokładność wymiarowo-kształtową.

Doktorant wykazał się znajomością analizy wyników pomiarów, lecz również mam wiele zastrzeżeń co do wyciągania zbyt wiele ogólnych wniosków, jak na przykład „*zaobserwowano poprawę*”, „*wykazano korzyści*” itp. Tego typu określeń nie używa się w pracy naukowej. Doktorant podjął próbę częściowej odpowiedzi na to pytanie w swoich badaniach.

Realizowany temat jest złożonym zagadnieniem technologicznym, a osiągnięte wyniki mogą mieć charakter użyteczny. Do najważniejszych osiągnięć praktycznych Doktoranta należy zaliczyć określenie zakresu zalecanych parametrów obróbki z uwagi na zużycie ostrza i wydajność procesu. Spośród osiągnięć naukowych wyróżnić należy określenie zależności

pomiędzy wybranymi parametrami procesu obróbki, a kształtowaniem zmiany charakteru zużycia narzędzia. W wyniku wykonanych badań Doktorant wykazał słuszność przyjętych założeń i moim zdaniem zrealizował cel pracy. Całość rozprawy oceniam pozytywnie.

Uwagi ogólne do pracy

Praca jest napisana starannie pod względem edycyjnym. W tak dużej objętościowo pracy trudno ustrzec się niedociągnięć gramatycznych i usterek technicznych jednak jest ich stosunkowo niewiele. Nie wpływają one istotnie na jakość opracowania, stąd w większości nie zostały wskazane w recenzji, a zaznaczone w tekście pracy jako uwagi recenzenta i przekazane Doktorantowi w nadziei, że ustrzeże się ich w dalszej pracy naukowej. Wymienię tu tylko najważniejsze:

1. W pracy brakuje wyraźnie sprecyzowania tezy naukowej pracy, która powinna się odnieść do przyjętych założeń. Jest to przecież praca naukowa, a nie technologiczna.
2. Jednym z większych uchybień jest brak szerszej analizy wydajności obróbki na parametry jakości obrabianej powierzchni, a w szczególności dokładności wymiarowej. Dla technologa najważniejszym parametrem jest wydajność przy zapewnieniu wymaganej chropowatości i dokładności wymiarowo-kształtowej obrabianych przedmiotów.

Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy. Uważam, że ustosunkowanie się do nich Doktoranta wzbogaci podane treści.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska pt. „Porównawcze badania właściwości technologicznych i eksploatacyjnych ostrzy skrawających z konwencjonalnej i spiekanej stali szybko tnącej” mgr. inż. Jędrzeja Komolki zawiera samodzielne opracowanie zagadnienia naukowego. Autor wykazał należyłą wiedzę oraz umiejętności prowadzenia badań naukowych i przedstawiania ich wyników.

Na podstawie przedstawionej oceny stwierdzam, że opiniowana praca mgr. inż. Jędrzeja Komolki spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w art. 13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2013 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o 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 mgr. inż. Jędrzeja Komolki i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

