

Łódź, dn. 16.03.2015 r.

**Prof. dr hab. inż. Andrzej Gołąbczak**  
**Politechnika Łódzka**

**Recenzja**  
**pracy doktorskiej mgr inż. Romana Wdowika**  
**pt.: „Analiza szlifowania ceramiki korundowej i cyrkonowej ze wspomaganie**  
**ultradźwiękowym”**

*Recenzja opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Maszyn i i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej*  
*Prof. dr hab. Jarosława Sępa, z dn. 13.02.2015r.*

### **1. Ocena wyboru tematu**

Szlifowanie należy do najbardziej rozpowszechnionych procesów obróbki dokładnej, która ma bardzo duży udział w procesach wytwarzania elementów maszyn o dużych dokładnościach wymiarowo-kształtowych oraz rosnących wymaganiach odnośnie stanu warstwy wierzchniej, w tym chropowatości powierzchni. Dotyczy to zwłaszcza części maszyn wykonywanych z trudnoobrabialnych materiałów konstrukcyjnych o dużej wytrzymałości i twardości. Aktualne tendencje rozwoju szlifowania koncentrują się na wdrożeniu w przemyśle nowych, innowacyjnych sposobów szlifowania. Do innowacyjnych sposobów szlifowania zalicza się m.in.: szlifowanie z dużą prędkością ściernicy (HSG), szlifowanie z dużą prędkością przedmiotu (HSG), szlifowanie wysokowydajne (HEDG), szlifowanie ze zredukowanym stykiem ściernicy (Quickpoint) oraz hybrydowe odmiany szlifowania wykorzystujące różne formy energii w procesie usuwania nadmiaru obróbkowego. Przykładem hybrydowych odmian szlifowania są m.in.: szlifowanie elektroerozyjne (AEDG), szlifowanie elektrochemiczne (AECG) oraz szlifowanie wspomagane drganiami ultradźwiękowymi.

Podstawową zaletą hybrydowych odmian szlifowania jest możliwość uzyskania wysokich wskaźników użytkowych procesu obróbki, w wyniku łączenia różnych oddziaływań fizyko-chemicznych na materiał obrabiany. Występowanie w strefie obróbki kombinacji takich procesów jak: plastyczne płynięcie, destrukcja mechaniczna, nagrzewanie, topnienie, parowanie, roztwarzanie elektrochemiczne i innych, zmienia zarówno warunki fizyko-chemiczne wymienionych procesów, jak też właściwości materiału obrabianego decydujące o intensywności i skutkach danego mechanizmu obróbkowego. Z tych powodów wskaźniki użytkowe obróbki hybrydowej mogą istotnie różnić się od tych, które występują w procesach składowych.

Występująca w procesie hybrydowym synergia zjawisk może bowiem prowadzić do wzrostu wydajności obróbki, podwyższenia dokładności oraz jakości obrabianych powierzchni, przy równoczesnym zmniejszeniu zużycia energii w tym procesie.

Recenzowana rozprawa wiąże się bezpośrednio z wymienionymi problemami, ponieważ dotyczy szlifowania ceramiki technicznej ze wspomaganie ultradźwiękowym. Celem rozprawy jest bowiem określenie wpływu wspomaganie ultradźwiękowego w procesie szlifowania ceramiki korundowej i cyrkonowej na wybrane wskaźniki jakości szlifowania tych materiałów. Oceniam zatem wybór tematu rozprawy jako aktualny, oryginalny i ważny, zarówno pod względem poznawczym jak i aplikacyjnym.

## 2. Ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 166 stron tekstu, w tym 80 rysunków i 14 tabel. Jej zasadniczą treść poprzedzają: spis treści, wykaz głównych oznaczeń akronimów, streszczenia w języku polskim i angielskim, po których następuje czternaście rozdziałów merytorycznych z wydzielonymi podrozdziałami oraz podsumowanie i wnioski końcowe. Pracę zamyka obszerny wykaz bibliografii (172 pozycje literatury, 17 informacji internetowych i 2 inne źródła) oraz wykaz rysunków i tabel. Układ rozprawy ma typową narrację dla prac doktorskich i oceniam go jako przejrzysty i poprawny. Uwaga recenzenta dotyczy natomiast nadmiernego rozdrobnienia rozdziałów, w tym zwłaszcza analizy literatury przedstawionej w siedmiu rozdziałach.

W *rozdziale pierwszym* Doktorant wprowadza czytelnika w zagadnienia obróbki materiałów (w tym ceramiki technicznej) oraz procesów obróbki hybrydowej. Zdaniem recenzenta dyskusyjny jest podział i przykłady hybrydowych procesów obróbki ubytkowej (zamieszczony na rys. 1.1), ponieważ nie odzwierciedla możliwych kombinacji łączenia różnych form energii w procesach obróbki hybrydowej. Brak jest ponadto wyjaśnienia, na czym polega różnica między procesami wspomaganymi a łączonymi.

Kolejne *rozdziały 2 i 3* dotyczą charakterystyki ceramiki korundowej i cyrkonowej oraz metod ich obróbki. W rozdziale 3 zawarto skrótową klasyfikację i opis procesu technologicznego wytwarzania materiałów ceramicznych, podano przykłady wyrobów przemysłowych wytwarzanych z tych materiałów oraz właściwości mechaniczne ceramiki korundowej i cyrkonowej. Wątpliwości budzi bardzo uproszczona klasyfikacja materiałów ceramicznych oraz pominięcie, wśród właściwości mechanicznych, twardości ceramiki korundowej i cyrkonowej, z których wykonane są próbki do badań procesu szlifowania ultradźwiękowego. W rozdziale 3 przedstawiono przykłady stosowanych procesów obróbki ubytkowej do kształtowania ceramiki

w stanie zielonym, białym i po końcowym spiekaniu, opis przydatności wybranych materiałów narzędziowych do obróbki ceramiki korundowej i cyrkonowej oraz schemat powstawania odkształceń plastycznych i pęknięcia ceramiki pod wpływem siły skrawania. Wątpliwości budzi rekomendowanie obróbki erozyjnej do kształtowania ceramiki po końcowym spiekaniu (rys. 3.1) oraz bardzo ogólnikowy opis przydatności materiałów narzędziowych (tab. 3.1). Niedosyt budzi brak prezentacji wyników badań innych autorów, dotyczących np. wpływu parametrów wybranych procesów obróbki ubytkowej, zwłaszcza szlifowania ceramiki korundowej i cyrkonowej, na trwałość, zużycie ostrza oraz stan warstwy wierzchniej.

W **rozdziale czwartym i piątym** zawarto ogólne informacje o rozwoju obróbki ultradźwiękowej i szlifowania wspomaganego drganiami ultradźwiękowymi oraz podano opis wzbudnika drgań ultradźwiękowych i dane techniczne wybranych obrabiarek ultradźwiękowych. Zdaniem recenzenta te dwa krótkie rozdziały powinny być połączone ze sobą.

W **rozdziale szóstym** scharakteryzowano drgania ultradźwiękowe wspomagające proces szlifowania, przedstawiono odmiany kinematyczne procesów szlifowania ultradźwiękowego oraz zamieszczono przykładowe wartości parametrów technologicznych stosowanych w tych procesach. Uwagi odnośnie tego rozdziału dotyczą zbyt skrótowego opisu przedstawionych odmian kinematycznych procesów szlifowania ultradźwiękowego (rys. 6.2) oraz wyjaśnienia istoty drgań eliptycznych i promieniowych w tych procesach. Wątpliwości budzi podana w tabeli 6.1 bardzo mała prędkość szlifowania ( $v_s = 2\div 4$  m/s). Powstaje bowiem pytanie: czy przy takich wartościach  $v_s$  możemy nazywać ten proces szlifowaniem?

**Rozdział siódmy** obejmuje analizę literatury dotyczącej szlifowania wspomaganego drganiami ultradźwiękowymi ceramiki inżynierskiej. Zawarto w nim m.in.: metody pomiaru parametrów ruchu oscylacyjnego ściernicy, ocenę jakości powierzchni po szlifowaniu ultradźwiękowym, uzyskiwane w tych procesach dokładności kształtowo-wymiarowe, parametry do oceny zużycia ściernicy, przegląd rozwiązań konstrukcyjnych mocowania ściernic oraz wpływ płynów chłodząco-smarujących na przebieg procesu szlifowania ultradźwiękowego. Podstawowym mankamentem tego rozdziału jest brak charakterystycznych wyników badań autorów analizowanej literatury, co uniemożliwia dokonanie obiektywnej oceny formułowanych hipotez. Niedosyt budzi brak krytycznej analizy literatury, zwłaszcza w odniesieniu do planowanych badań własnych. Dyskusyjnym są cytaty z raportu zamieszczone w postaci rysunków 7.7 i 7.9. Inne uwagi do tego rozdziału dotyczą ogólnikowych, niefortunnych i nieadekwatnych sformułowań, których przykłady przytoczono poniżej:

- str. 43<sub>11</sub> „Odczyt parametrów ruchu oscylacyjnego może odbywać się dla powierzchni z widocznymi śladami ziaren.”

- str. 51<sup>6</sup> „Obrabiali oni ceramikę cyrkonową po końcowym spieczeniu, dla której wielkość ziaren diamentowych wynosiła od 38 do 80nm.”
- str. 52<sub>15</sub> „Podczas obróbki ceramiki dentystycznej wraz ze zwiększaniem amplitudy drgań parametr  $R_a$  najpierw rósł, a potem malał.”
- str. 57<sup>6</sup> „Model siły dla obróbki powierzchni płaskich przedstawiono natomiast w pracy [166].”
- str. 57<sup>6</sup> „Ceramika techniczna może pozostawać na czynnej powierzchni ściernicy prowadząc do niekorzystnych warunków realizacji procesu (rys. 7.15).”

W podrozdziale 7.8 Autor stosuje przemiennie różne określenia: płyn chłodząco-smarujący, cieczy chłodząco-smarujące, ciecz na bazie wody.

**Rozdział ósmy** zatytułowany: „Wnioski z analizowanej literatury” powinien być zamieszczony w rozdziale siódmym jako kolejny jego podrozdział. Treści zawarte w tym rozdziale mają charakter streszczenia zawierającego ogólnikowe stwierdzenia i nie odzwierciedlają aktualnego stanu badań procesów szlifowania ultradźwiękowego. Trudno jest również doszukać się wniosków, wynikających z analizowanej literatury, odnośnie planowanych badań własnych. Dyskusyjnym jest wniosek sformułowany na str. 73<sub>9</sub>: „Należy także wskazać na brak danych literaturowych ...”.

Kolejne **rozdziały 9 i 10** zawierają cel i zakres pracy oraz jej tezę naukową. Zdaniem recenzenta te dwa rozdziały powinny być połączone, bowiem stanowią integralną całość. Cel pracy sformułowany jest ogólnikowo, ponieważ Autor nie ujawnia, jakie wartości poznawcze i użyteczne zamierza osiągnąć w wyniku realizowanych zadań badawczych. Zakres pracy przedstawiony jest zbyt skrótowo. Wątpliwości budzi etap badań dotyczący szlifowania kształtowego ceramiki korundowej i cyrkonowej, którego nie ma w spisie treści. Sformułowana teza rozprawy: „Dla wybranych materiałów ceramicznych (ceramiki korundowej), uzyskanych w procesie spiekania, zastosowanie wspomaganie ultradźwiękowego w procesie szlifowania wpływa korzystnie na wartości przyjętych wskaźników jakości” jest bardzo ogólną hipotezą, ponieważ Autor nie ujawnia w jaki sposób zamierza wykazać jej słuszność.

W **rozdziale jedenastym** przedstawiono prace związane z przygotowaniem stanowiska badawczego do szlifowania ultradźwiękowego ceramiki korundowej i cyrkonowej, którego podstawowym wyposażeniem była obrabiarka ultradźwiękowa sterowana numerycznie typu Ultrasonik 20 linear. Zakres wykonanych prac badawczych obejmował m.in.: ustalenie charakterystyki ruchu oscylacyjnego oprawki ściernicy połączonej z przetwornikiem piezoelektrycznym, konfigurację siłomierza Kestler 9256C2 do pomiaru składowych siły

szlifowania, doposażenie stanowiska w układy pomiarowe do wyznaczenia częstotliwości rezonansowej i amplitudy drgań ultradźwiękowych oprawki ściernicy przy użyciu czujnika wiroprowadowego i wibrometru laserowego. Wykonano również pomiary temperatury nagrzewania się złącza oprawki ściernicy pod wpływem zmian częstotliwości drgań ultradźwiękowych i momentu mocowania ściernicy w oprawce oraz zaprojektowano układ do chłodzenia oprawki ściernicy. Autor nie wyjaśnił przyczyny rozrzutu amplitudy drgań osiowych dla trzech badanych oprawek ściernicy (rys. 11.4 i rys. 11.5) oraz którą z tych oprawek wybrał do dalszych badań.

**Rozdział dwunasty** zawiera wybrane wyniki badań wstępnych szlifowania ultradźwiękowego ceramiki korundowej i cyrkonowej. Dotyczyły one m.in. sprawdzenia układu pomiarowego amplitudy drgań osiowych ściernicy, wyników pomiaru amplitudy drgań ściernicy z regularnego azotku boru oraz porównania amplitud przed procesem szlifowania, w trakcie procesu i po jego zakończeniu. W dalszej części tego rozdziału, Autor, powołując się na wcześniejsze publikacje z Jego udziałem, przedstawił skrótowe informacje o sposobie przygotowania próbek z ceramiki do pomiarów chropowatości powierzchni, opracowaniu programu sterującego i symulacji obróbki, pomiarach dokładności wymiarowo-kształtowych na maszynie współrzędnościowej. Niedosyt budzi brak wniosków wynikających z prezentowanych badań wstępnych.

W **rozdziale trzynastym** przedstawiono wyniki badań procesu szlifowania ultradźwiękowego ceramiki korundowej i cyrkonowej, których zakres obejmował porównawczą ocenę procesów szlifowania konwencjonalnego i ultradźwiękowego, na podstawie następujących kryteriów: parametrów chropowatości powierzchni ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_t$ ) oraz obrazów mikroskopowych śladów obróbki), składowych siły szlifowania ( $F_t$ ,  $F_n$ ) i oceny zużycia ściernicy na podstawie wykonanych fotografii CPS. Mankamentem tego rozdziału jest brak planu badań oraz uzasadnienia przyjętych zakresów wielkości wejściowych procesu szlifowania ultradźwiękowego, co utrudnia porównywanie uzyskiwanych wyników badań i ich obiektywną ocenę. Powstaje pytanie: dlaczego przyjęto różne zakresy zmian parametrów szlifowania w badaniach chropowatości powierzchni, składowych siły szlifowania i oceny zużycia CPS? Dyskusyjnym jest porównanie profilów ściernicy prezentowanych na rys. 13.40. Inne uwagi dotyczą skrótowych komentarzy odnośnie uzyskanych wyników badań,

W **rozdziale czternastym** opracowano równania regresji opisujące przebieg zmian składowych siły szlifowania konwencjonalnego i ultradźwiękowego ( $F_n$  i  $F_t$ ) ceramiki korundowej i cyrkonowej w zależności od parametrów szlifowania ( $a_e$ ,  $v_f$ ,  $n_s$ ). Dyskusyjnym jest przyjęcie nieznormalizowanego kroku próby dla parametrów  $v_f$  i  $n_s$  oraz sposób doświadczalnego wyznaczania wielkości stałych i wykładników potęgowych. Niedosyt budzi również brak komentarza odnośnie uzyskanych wyników badań.



**Rozdział piętnasty** - „Podsumowanie i wnioski” zawiera opis osiągniętych wyników badań. Sformułowane wnioski są rozproszone i nie w pełni odzwierciedlają osiągnięcie przez Doktoranta celów naukowych rozprawy. Niedosyt budzi brak uszeregowania i podziału wniosków na wnioski poznawcze i utylitarne.

**Bibliografia** obejmuje 172 pozycje literaturowe pochodzących z książek, artykułów w czasopismach krajowych i zagranicznych, referatów zamieszczonych w materiałach konferencji zagranicznych i krajowych, uzupełnionych siedemnastoma informacjami internetowymi (strony www.) i dwoma innymi źródłami. Poszczególne pozycje bibliograficzne na ogół są właściwie dobrane i poprawnie cytowane w tekście rozprawy. Na podkreślenie zasługują 23 współautorskie publikacje zamieszczone: w czasopismach zagranicznych - 3, w czasopismach krajowych - 17 oraz w materiałach konferencyjnych - 3.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska wnosi wartości poznawcze i aplikacyjne, a zawarte w recenzji uwagi mają charakter dyskusyjny. Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta zaliczam:

- Adaptację obrabiarki ultradźwiękowej oraz jej doposażenie w układy pomiarowe, umożliwiające realizację badań procesu szlifowania ceramiki korundowej i cyrkonowej, wspomaganego drganiami ultradźwiękowymi;
- Przeprowadzenie badań eksperymentalnych, obejmujących ustalenie wpływu warunków szlifowania konwencjonalnego i wspomaganego drganiami ultradźwiękowymi ceramiki korundowej i cyrkonowej na chropowatość powierzchni, składowe siły szlifowania oraz zużycie ściernicy;
- Opracowanie zbioru równań regresji opisujących wpływ wybranych parametrów szlifowania na składowe siły szlifowania ceramiki korundowej i cyrkonowej metodami: konwencjonalną i ze wspomaganem drganiami ultradźwiękowymi;
- Sformułowanie wniosków o charakterze poznawczym i utylitarnym.

### **3. Ocena strony redakcyjnej**

Oceniając rozprawę doktorską pod względem redakcyjnym stwierdzam, że tytuł rozprawy jest zbyt ogólny, jednak odzwierciedla jej treść. Układ pracy jest poprawny, a jej podział na rozdziały i podrozdziały jest zbyt drobniany. Rozprawa napisana jest na ogół poprawnie pod względem językowym, Doktorant nie ustrzegł się jednak błędów interpunkcyjnych, gramatycznych oraz innych uchybień, które zaznaczono w tekście opiniowanej rozprawy.

#### 4. Wniosek końcowy

Na podstawie analizy przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej pt.: „*Analiza szlifowania ceramiki korundowej i cyrkonowej ze wspomaganiem ultradźwiękowym*” stwierdzam, że mgr inż. Roman Wdowik osiągnął zamierzony cel naukowy oraz wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań doświadczalnych przy rozwiązywaniu postawionych przed nim zadań badawczych. W trakcie realizacji pracy doktorskiej wykazał się m.in. umiejętnościami w zakresie planowania i prowadzenia badań eksperymentalnych z wykorzystaniem nowoczesnych technik badawczych i komputerowych. Na podkreślenie zasługuje eksperymentalny charakter pracy, który jest trudny w realizacji, ale ważny w badaniach procesów technologicznych.

Uwzględniając osiągnięcia rozprawy i dorobek publikacyjny wyrażam pogląd, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Romana Wdowika zawiera wartości poznawcze i użytkowe, które wnoszą wkład w stan wiedzy w dyscyplinie naukowej: Budowa i Eksploatacja Maszyn, a szczególnie w zakresie badań nad doskonaleniem procesów obróbki ściernej. Opiniowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane w obowiązującej Ustawie o stopniach i tytule naukowym i może być dopuszczona do publicznej obrony. Wnoszę więc o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie do publicznej obrony.



Łódź, dn. 16.03.2015 r.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Gołąbczak