

dr hab. inż. Dariusz Plinta, prof. ATH
Katedra Inżynierii Produkcji
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

Recenzja
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Anatola Kałasznikowa
p.t.
System wspomagania decyzji doboru parametrów cięcia plazmowego
dla potrzeb redukcji kosztów wytwarzania

promotor pracy: dr hab. inż. Sławomir Kłos, prof. UZ

promotor pomocniczy: dr inż. Marek St. Węglowski

Recenzję opracowano na podstawie umowy o dzieło nr WM-A/46/2018 zawartej w dniu 2.10.2018 r.

1. Formalna prezentacja rozprawy, uwagi ogólne

Przedstawiona do recenzji praca składa się z czternastu rozdziałów zawartych na 197 stronach wraz z wykazem bibliograficznym liczącym 159 pozycji oraz z ośmiu dołączonych załączników liczących dodatkowo 20 stron. Układ pracy oraz sposób ujęcia tematu w poszczególnych rozdziałach jest prawidłowy.

Tematyka pracy jest poświęcona analizie procesów cięcia plazmowego, w szczególności ocenie wpływu parametrów cięcia plazmowego, takich jak prędkość cięcia i natężenie prądu, na jakość i koszt wykonania wyrobu oraz na żywotność części eksploatacyjnych palnika. Jakość wyrobu oceniono poprzez wykonanie pomiarów i sprawdzenie między innymi tolerancji prostopadłości, odchyłek wymiarowych, chropowatości ciętych krawędzi oraz wpływ ciepła na zmiany mikrostrukturalne badanej stali. Parametry cięcia wpływają bezpośrednio na jakość wyrobu, a pośrednio na koszty, które wynikają z czasu pracy i stawki roboczogodziny. Przeprowadzone badania stały się podstawą autorskiego systemu wspomagania decyzji związanych z ustalaniem parametrów cięcia plazmowego.

Przedstawiony w pracy problem doboru parametrów obróbki z uwzględnieniem jakości oraz kosztów jest jednym z głównych problemów analizowanych podczas planowania realizacji procesów produkcji, który jest szczegółowo analizowany w przedsiębiorstwach produkcyjnych nie tylko dla operacji cięcia. Recenzowana praca bardzo dobrze pokazuje znaczenie problemu oraz istotność rozwiązań ułatwiających dobór parametrów obróbki.

W pracy wyróżniono dziesięć głównych rozdziałów, które poprawnie przechodzą z treści teoretycznych do praktycznych badań. W rozdziale pierwszym wprowadzono do zagadnienia będącego przedmiotem rozprawy oraz uzasadniono jej temat. Następnie ogólnie scharakteryzowano technologię cięcia plazmowego, w tym parametry cięcia i ich wpływ na

jakość ciętych krawędzi. Pierwsze dwa rozdziały stanowią bardzo dobre ogólne wprowadzenie do tematyki badań własnych. W kolejnym rozdziale sformułowano cel, główne tezy oraz zakres pracy. Następnie w rozdziałach 4-6 przedstawiono sposób przeprowadzenia badań, w tym sposób obliczenia kosztochłonności procesu cięcia plazmowego, genezę i rozwój systemów wspomagania decyzji (SWD) dotyczących procesów cięcia blach, oraz prawidłowo zaproponowano metodykę badań eksperymentalnych. W rozdziale siódmym przedstawiono stanowiska badawcze, na których wykonano pomiary, których wyniki zaprezentowano w kolejnym rozdziale. Przedstawiono w nim:

- wybór najistotniejszych parametrów w procesie cięcia plazmowego metodą delficką,
- sposób oznaczenia i przygotowania próbek do badań geometrii wyrobu,
- wyniki badania geometrii ciętych płyt – na podstawie skanowania 3D przeprowadzono analizę geometrii ciętych krawędzi,
- wyniki badania wpływu prędkości oraz natężenia prądu na chropowatości powierzchni metodą stykową,
- wyniki badania wpływu prędkości oraz natężenia prądu na zmiany strukturalne ciętych blach,
- analizę kosztochłonności cięcia plazmowego,
- analizę czasu żywotności części eksploatacyjnych palnika plazmowego,
- system wspomagający podejmowanie decyzji.

W rozdziale 8.9 przedstawiono własny system wspomagania decyzji dotyczących doboru parametrów cięcia plazmowego z szczególnym uwzględnieniem kosztów stanowiskowych. Opracowany system prawidłowo podpowiada rozwiązania, które umożliwią obniżenia kosztów wytwarzania.

Ostatnie dwa rozdziały zawierają podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych badań oraz pokazują kierunki dalszych badań.

Kolejne punkty pracy zawierają spisy rysunków, tabel, literatury oraz załączniki, w których dodatkowo przedstawiono znaczenie wybranych procesów cięcia, realizowanych w przedsiębiorstwach produkujących konstrukcje stalowe.

2. Ocena zamierzenia badawczego

Przedstawiona w pracy tematyka nawiązuje do jednego z głównych celów współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych, jakim jest poprawa parametrów obróbki. Jest to efekt rosnącej konkurencyjności rynku oraz współczesnych tendencji rozwojowych z zakresu inżynierii produkcji. W wyniku analizy możliwości poprawy procesu cięcia plazmowego poprzez zmianę parametrów cięcia, zaproponowano praktyczne zastosowanie systemu wspomagania decyzji (SWD).

Głównym prawidłowo zdefiniowanym celem pracy było opracowanie własnego systemu wspomagania decyzji (SWD) dotyczących doboru parametrów technologicznych cięcia plazmowego, umożliwiającego szacowanie kosztów procesu cięcia blach o grubości 4, 8 i 12 mm przy natężeniu prądu 80 i 130 A, wykonanych ze stali w gatunku S235 JR dla określonych wymagań jakościowych. Wykorzystanie takiego systemu w praktyce produkcyjnej będzie skutkowało redukcją kosztów związanych z koniecznością wykonania dodatkowej obróbki.

Poprawnie zdefiniowano również następujące cele szczegółowe:

- określenie wpływu wybranych parametrów technologicznych procesu cięcia plazmowego na geometrię oraz zmiany twardości krawędzi ciętej,

- określenie klasy tolerancji prostopadłości oraz tolerancji wymiarowej,
- określenie czasu oraz kosztu wykonania detali,
- określenie czasu zużycia oraz kosztu wybranych części eksploatacyjnych palnika.

Biorąc pod uwagę powyższe cele prawidłowo ustalono pięć następujących etapów badań:

- 1) Wybór najistotniejszych parametrów procesu cięcia plazmowego.
- 2) Badania eksperymentalne dotyczące pomiarów: tolerancji prostopadłości, tolerancji wymiarowej, chropowatości ciętych powierzchni, mikrotwardości.
- 3) Określenie kosztu wykonania detalu.
- 4) Testy zużycia zespołu oraz poszczególnych części eksploatacyjnych palnika.
- 5) Utworzenie aplikacji komputerowego systemu wspomagania decyzji.

Wszystkie założone cele zostały osiągnięte i potwierdzone na praktycznych przykładach, które zrealizowano zgodnie z planem badań.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Merytorycznie pracę oceniam pozytywnie. Uzyskane wyniki badań dotyczących procesu cięcia plazmowego, a w szczególności opracowana aplikacja wspomagająca decyzje, badania eksperymentalne oraz analiza uzyskanych wyników potwierdzają wymierne korzyści jakie mogą przynieść zaproponowane rozwiązania w praktyce produkcyjnej oraz świadczą o bardzo dobrym opanowaniu tematyki pracy.

Przedstawione w ramach pracy analizy są wzorcowym przykładem pokazującym jak zbierać dane oraz jak tworzyć systemy wspomagania decyzji dotyczących parametrów obróbki dla różnych procesów wytwarzania.

Na uwagę zasługuje duża szczegółowość i kompletność opisu przeprowadzonych badań. Oceniana praca stanowi jedną merytorycznie poprawną całość.

Niemniej w pewnych fragmentach tekstu występują pewne nieścisłości, których część ma charakter dyskusyjny. Są nimi uwagi, które zestawiono w grupy odnoszące się do kolejnych rozdziałów dysertacji.

Rozdziały związane z wprowadzeniem do tematyki pracy, charakterystyką procesu cięcia plazmowego oraz celem, tezami i zakresem pracy (rozdziały 1-3).

Tą część pracy uważam za poprawną. Zaletą tej części pracy, biorąc pod uwagę zorientowanie pracy na procesach cięcia plazmowego, jest bardzo dobra ogólna charakterystyka wymienionej technologii oraz wstępna analiza literatury, z której wynikają cele, tezy badawcze oraz zakres pracy.

W oparciu o wstępną analizę prawidłowo poprawnie założono, że istnieje zbiór parametrów technologicznych cięcia plazmowego umożliwiający poprawę dokładności obróbki, które mogą odbiegać od parametrów rekomendowanych przez producenta urządzenia. Dla tych parametrów można następnie oszacować czas, koszty obróbki i żywotności części eksploatacyjnych, a całość można zebrać w jednym systemie wspomagania decyzji dotyczących doboru parametrów technologicznych cięcia plazmowego. Sformułowane tezy zostały potwierdzone badaniami eksperymentalnymi opisanym w dalszej części pracy.

Za dyskusyjne w tej partii materiału uważam że:

- w podrozdziale 3.1 na wyrost zdefiniowano wniosek z przeprowadzonej wstępnej analizy literatury oraz analizy rynku dotyczący potrzeby opracowania systemu informatycznego wspomagającego decyzje (SWD) w doborze parametrów cięcia plazmowego, a następnie w rozdziale 5 przedstawiono kilka systemów wspomagających decyzje w procesie cięcia blach. Mają one pewne ograniczenia, ale może jednak łatwiej byłoby rozszerzyć je o dodatkowe funkcjonalności niż tworzyć nowy system. Jest to dyskusyjne.
- Stworzenie nowej aplikacji można byłoby również potraktować jak zadanie, którego realizacja umożliwi praktyczne wykorzystanie wyników badań własnych przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy.

Jakie są możliwości programów wspomagających decyzje dotyczące procesów cięcia dostępnych na rynku europejskim, przykładowo w zakresie rozszerzania funkcjonalności o kosztorysowanie oraz oceny żywotności części eksploatacyjnych?

Rozdziały związane z ogólną charakterystyką kosztochłonności procesu cięcia, systemów wspomagania decyzji oraz metodyki badań (rozdziały 4-6)

Rozdział 4 i 5 zawierają szczegółową analizę literatury dotyczącej metod i narzędzi zastosowanych w przeprowadzonych badaniach, w tym metody kalkulacji kosztów oraz zastosowań systemów wspomagania decyzji. Pierwszy rozdział zawiera opis sposobu obliczenia kosztochłonności procesu cięcia plazmowego, a drugi szczegółowo charakteryzuje systemy wspomagania decyzji (SWD). Następnie zaproponowano metodykę badań eksperymentalnych, w tym metodę analizy kosztów cięcia plazmowego oraz metodę wyłonienia najistotniejszych parametrów cięcia plazmowego.

Metodykę badań można byłoby jeszcze poszerzyć o wykorzystanie metod i narzędzi doskonalenia produkcji związanych z poprawą jakości i zmniejszaniem kosztów.

Za dyskusyjne w tej partii materiału uważam to, że:

- w pracy zbyt ogólnie opisano sposób kalkulacji kosztów procesu cięcia. Zdefiniowano najważniejsze składniki kosztów związanych z typową kalkulacją doliczeniową. Można byłoby jeszcze dodać szczegółowy opis sposobu kalkulacji kosztów stanowiskowych (kosztów amortyzacji, odpisów, energii, konserwacji oraz materiałów eksploatacyjnych), które są podstawą do wyznaczenia stawki roboczogodziny. Można byłoby również zastosować dokładniejszą metodę kalkulacji kosztów opartą na rachunku kosztów działań.
- Zbyt ogólnie zdefiniowano niektóre składniki kosztów, na przykład koszty jakości. Napisano, że są to „koszty wykonania wyrobu o określonej klasie dokładności”. Co może oznaczać że wszystkie koszty wytworzenia wyrobu są również kosztami jakości. Częściej jednak koszty jakości określamy jako koszty różnych dodatkowych działań, które mają zapewnić wymaganą klasę dokładności, np. dopłata do lepszego materiału, dodatkowa kontrola, zastosowanie rozwiązań typu Poka-Yoke, wdrożenie i funkcjonowanie systemu zarządzania jakością, itp.
- Dyskusyjne jest ograniczenie badań wyłącznie do blach o grubości 4, 8 i 12 mm oraz natężenia prądu 80 i 130A. Jednak z drugiej strony rozszerzenie zakresu badań wiązałoby się z dodatkowymi badaniami i analizami, których jest już i tak sporo.

*Jak mógłby wyglądać algorytm kalkulacji kosztów stanowiskowych oraz wyznaczania stawki roboczogodziny dla stanowiska cięcia plazmowego?
Jakie rozwiązania organizacyjne oraz techniczne mogłyby poprawić jakość procesu cięcia plazmowego? (poza zmianą parametrów cięcia)*

Rozdziały związane z charakterystyką stanowisk badawczych oraz opisem badań własnych i analizą wyników (rozdziały 7-10)

Rozdziały te stanowią najważniejszą część pracy, w której szczegółowo opisano przeprowadzone badania. W tej części pracy na szczególnie uznanie zasługują:

- sposób przeprowadzenia badań eksperymentalnych, które potwierdzają praktyczną wiedzę autora pracy dyplomowej na temat doboru parametrów cięcia plazmowego,
- sposób wytypowania najistotniejszych parametrów cięcia plazmowego oparty na metodzie delfickiej,
- szczegółowe opracowanie wyników badań geometrii ciętych płyt próbnych, badań uzyskanych chropowatości oraz badań mikrotwardości,
- opracowanie modelu do kalkulacji zużycia energii dla potrzeb określania kosztu wykonania operacji cięcia,
- szczegółowa analiza żywotności części eksploatacyjnych.

Najważniejszym osiągnięciem jednak jest zebranie wszystkich wyników w jednym systemie wspomagania decyzji dotyczących doboru parametrów cięcia plazmowego

Za dyskusyjne w tej partii materiału uważam:

- zbyt ogólną analizę porównawczą kosztochłonności dla cięcia z prędkością rekomendowaną przez producenta oraz prędkością otrzymaną z badań eksperymentalnych, gwarantującą najwyższą jakość ciętych krawędzi (podrozdział 8.7.6.).

Czy analiza porównawcza kosztów i jakości cięcia plazmowego przedstawiona w podrozdziale 8.7.6. wykonana dla blach o grubości 8 mm dała reprezentatywny wynik? Czy dla innych grubości blach różnica będzie podobna?

- wzór 8.8 należałoby poprawić:
zamiast „ $kw = tc + td \cdot Rg$ ” powinno być „ $kw = (tc + td) \cdot Rg$ ”
- w przykładowych obliczeniach przedstawionych na stronie 156 zastosowano kilka uproszczeń, które mogą utrudnić ich zrozumienie, np. w każdej części równania pokazującego kolejne kroki obliczeń należałoby umieścić wszystkie wartości, a nie dopisywać w drugiej części stawki roboczogodziny. W pierwszej części obu wzorów przykładowych obliczeń należałoby również usunąć jednostkę s z mianownika drugiego ułamka.
- w schemacie blokowym działania aplikacji systemu wspomagania decyzji może nastąpić zapętlenie gdy nie będzie spełniony warunek „ $D < 1,5 G$ ” – należałoby wymusić w działaniu „Wczytaj (D)” ograniczenie związane z powyższym warunkiem,
- szczegółowo opracowano wyniki badań eksperymentalnych oraz działanie aplikacji wspomagającej podejmowanie decyzji dotyczących doboru parametrów cięcia plazmowego, natomiast pominięto aspekt wdrożenia i zastosowania aplikacji w innych przedsiębiorstwach lub dla innych procesów.

Jakie są możliwości wykorzystania opracowanego systemu wspomagania decyzji w analizie innych procesów produkcyjnych (np. skrawania, obróbki cieplnej) oraz w innych przedsiębiorstwach? Czy planowany jest w tym zakresie rozwój opracowanej aplikacji?

Rozdział związany z wnioskami końcowymi oraz streszczenie

Wnioski końcowe i streszczenie uważam za poprawne i nie mam do nich zastrzeżeń. Podsumowując przedstawione tezy zostały potwierdzone wynikami badań. Wyniki potwierdziły, że zmieniając parametry technologiczne cięcia plazmowego można uzyskać poprawę prostopadłości oraz tolerancji wymiarowych krawędzi ciętych w porównaniu z parametrami rekomendowanymi przez producenta urządzenia. Możliwe jest szacowanie czasu i kosztów obróbki oraz eksploatacji urządzenia do cięcia plazmowego. Możliwe jest również stworzenie systemu wspomagania decyzji doboru parametrów technologicznych cięcia plazmowego, w oparciu o wyniki przeprowadzonych eksperymentów.

4. Literatura

Zestaw źródeł literaturowych (159 pozycje) uważam za prawidłowy i wystarczający.

5. Uwagi redakcyjne

Praca jest bardzo dobrze zredagowana. Poza drobnymi błędami literowymi, praca świadczy o bardzo dobrym opanowaniu techniki redagowania prac. Zauważone drobne nieścisłości czy błędy redakcyjne nie mają istotnego wpływu na merytoryczną ocenę pracy.

6. Wnioski końcowe

Oceniając przedstawioną pracę doktorską pragnę, mimo podanych wyżej uwag, podkreślić następujące jej walory, do których można zaliczyć:

- zasadność podjętej tematyki badawczej,
- znajomość i umiejętność przedstawienia aktualnego stanu zagadnienia,
- oryginalność zaproponowanego rozwiązania,
- praktyczne podejście do rozwiązania problemu.

W pracy autor wykazał się ogólną wiedzą z zakresu „inżynierii produkcji”, w szczególności znajomością narzędzi analizy oraz opracowaniem na bazie wyników przeprowadzonych pomiarów systemu wspomagania decyzji doboru parametrów cięcia plazmowego ułatwiającego redukcję kosztów wytwarzania.

Powyższe czynniki skłaniają do stwierdzenia, że praca spełnia wymagania ustawowe (art.13 ustęp 1 2, 6 Ustawy o tytule i stopniach naukowych oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r., Dz.U. z 2003 nr 65 poz. 595, najnowszy ujednolicony tekst z dnia 1 października 2011r.) stawiane pracy doktorskiej oraz że doktorant

na podstawie przeprowadzonych badań wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w zakresie poprawy funkcjonowania maszyn i urządzeń związanych z instalacjami transportu płynów w przedsiębiorstwach produkcyjnych oraz umiejętnościami samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Biorąc pod uwagę sformułowane wyżej opinie, stawiam wniosek o uznanie pracy jako spełniającej ustawowe wymagania stawiane rozprawie doktorskiej w zakresie nauk technicznych w dyscyplinie „inżynieria produkcji” oraz wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony pracy.

Bielsko-Biała, 19.11.2018 r.

Dariusz Pińke
