

Dariusz LIPIŃSKI*, Wojciech KACALAK*POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, KATEDRA MECHANIKI PRECYZYJNEJ
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin**Zastosowanie rozmytych ocen jakości obróbki do wielokryterialnej optymalizacji parametrów procesu zautomatyzowanego szlifowania**

Dr inż. Dariusz LIPIŃSKI

W latach 1999 – 2005 asystent a od roku 2005 adiunkt w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się zastosowaniem metod sztucznej inteligencji do optymalizacji i oceny jakości procesów obróbki.

e-mail: dariusz.lipinski@tu.koszalin.pl

Prof. dr hab. inż. Wojciech KACALAK

Kierownik Katedry Mechaniki Precyzyjnej. Specjalność naukowa: mechatronika, diagnostyka, optymalizacja i automatyzacja procesów mikroobróbki oraz procesów bardzo dokładnej obróbki ścierniej, w tym zwłaszcza materiałów trudno obrabialnych, a także budowa i eksploatacja precyzyjnych urządzeń technologicznych.

e-mail: wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl**Streszczenie**

W pracy przedstawiono zastosowanie teorii zbiorów rozmytych do definicji celów i ograniczeń nałożonych na proces szlifowania. Przedstawiono podstawy teoretyczne definicji zbiorów rozmytych dla cech tolerowanych dwu i jednostronnie. Podano przykłady podejmowania decyzji w otoczeniu rozmytym oraz wpływ zastosowanej metody agregacji celów i ograniczeń rozmytych na podejmowane decyzje o doborze parametrów obróbki.

Słowa kluczowe: optymalizacja, proces szlifowania, zbiory rozmyte.

Application of process quality fuzzy assessments to multicriteria optimisation of automated grinding parameters**Abstract**

Grinding process, due to its stochastic character resulting from action of a random number of grinding grains of undetermined cutting surface geometry on a workpiece as well as an unknown mechanism of disturbance accumulation, requires taking into consideration in the optimisation process the natural variability of input variables. The paper presents use of the fuzzy set theory [1] for defining the objectives and constraints of grinding process when taking into account its natural variability. Fundamentals of fuzzy set definitions for features with one and two-sided toleration are also given. Application of fuzzy sets allows involving the knowledge from experiments (a-posteriori) as well as from experts (a-priori) in defining the objectives and constraints. Fuzzy definitions of the grinding process objectives and constraints make it possible to use the theory of decision-making in fuzzy environment for optimisation of process parameters [2, 3]. The paper presents some examples of decision making in fuzzy environment and discusses influence of the implemented method of aggregation of fuzzy objectives and constraints on the process parameter selection.

Keywords: optimisation, grinding process, fuzzy sets.

1. Wprowadzenie

Rosnąca konkurencja pomiędzy przedsiębiorstwami produkcyjnymi wymusza ciągle dążenia do poprawy efektywności wytwarzania, lepszego wykorzystania możliwości produkcyjnych maszyn i urządzeń technologicznych. Konieczność wzrostu efektywności wytwarzania wymusiła znaczący stopień automatyzacji procesów obróbki. W jego wyniku udział czasu obróbki w czasie przypadającym na wykonanie określonej operacji w procesie technologicznym wzrósł z 30 do nawet 80% [4].

Skutkiem automatyzacji wytwarzania jest zmniejszenie udziału operatora w bezpośredniej obsłudze i nadzorowaniu pracy obrabiarek. Wymusza to konieczność skutecznego nadzorowania obrabiarki, narzędzia oraz przedmiotu obrabianego w celu osiągnięcia wymaganej jakości powierzchni obrabianej oraz dokładności kształtowej i wymiarowej przy zachowaniu założonej wydajności i kosztowności obróbki.

Zapewnienie wyrobom wysokiej dokładności wymiarowej i kształtowej oraz wysokiej jakości warstwy wierzchniej wymaga zazwyczaj realizacji operacji precyzyjnego szlifowania [5]. Szlifowanie jest kosztownym sposobem obróbki ze względu na koszt narzędzi ściernych oraz stosunkowo małą wydajność obróbki. Losowy charakter przyczyn niedokładności, oddziaływujących na szlifowany przedmiot, jest kolejnym powodem dla którego stały nadzór nad przebiegiem procesu szlifowania, realizowany w czasie rzeczywistym, jest warunkiem pełnego wykorzystania możliwości technologicznych procesu.

Wymusza to konieczność stosowania układów adaptacyjnego sterowania technologicznego, które mierząc wybrane wartości zmiennych procesowych (takich jak: składowe sił szlifowania, emisja akustyczna, drgania, itp.) zmieniają warunki obróbki tak, aby uzyskać wartość założonego wskaźnika jakości. Z poprawnym działaniem tego typu układów nieodłącznie związana jest optymalizacja parametrów obróbki. Optymalizacja procesów wytwarzania umożliwia dobór parametrów obróbki zapewniający maksymalne wykorzystanie możliwości technologicznych procesu jak również redukcję kosztów poprzez zwiększenie wydajności obróbki oraz maksymalizację okresu trwałości narzędzia.

2. Definicja celów i ograniczeń obróbki z zastosowaniem zbiorów rozmytych

Operacja szlifowania może być scharakteryzowana przez skończony zbiór wielkości na które składają się wielkości wejściowe procesu (związane z charakterystyką obrabiarki, narzędzia i przedmiotu obrabianego), wielkości wyjściowe procesu (parametry technologiczne i ekonomiczne procesu) i zakłócenia. Krytycznymi z uwagi na jakość procesu są wymagania dotyczące parametrów technologicznych (mierzone na zakończenie procesu obróbki) lub związanych z nimi parametrów procesu (mierzonych w trakcie jego przebiegu), takich jak: składowe sił szlifowania, moc szlifowania, temperatura, itp.

Ograniczenia nałożone na proces szlifowania wynikają najczęściej z możliwości urządzenia technologicznego oraz samego narzędzia jak również z wpływu parametrów obróbki na wzrost niekorzystnych oddziaływań układu OUPN (obrabiarka-uchwyty-przedmiot-narzędzie). Cele obróbki wynikają głównie z wymagań dotyczących dokładności kształtu i wymiarów szlifowanych elementów, cech stereometrycznych obrabianej powierzchni oraz wymagań ekonomicznych prowadzonej obróbki.

Pomimo jednoznacznego określenia celów obróbki określenie właściwych wartości parametrów nastawnych obróbki zapewniających uzyskanie założonych celów oraz spełnienie ograniczeń tak jednoznaczne już nie jest. Jednym z powodów tego stanu rzeczy jest sam proces obróbki prowadzony narzędziem o nieokreślonej liczbie i geometrii powierzchni skrawających. Losowość procesu

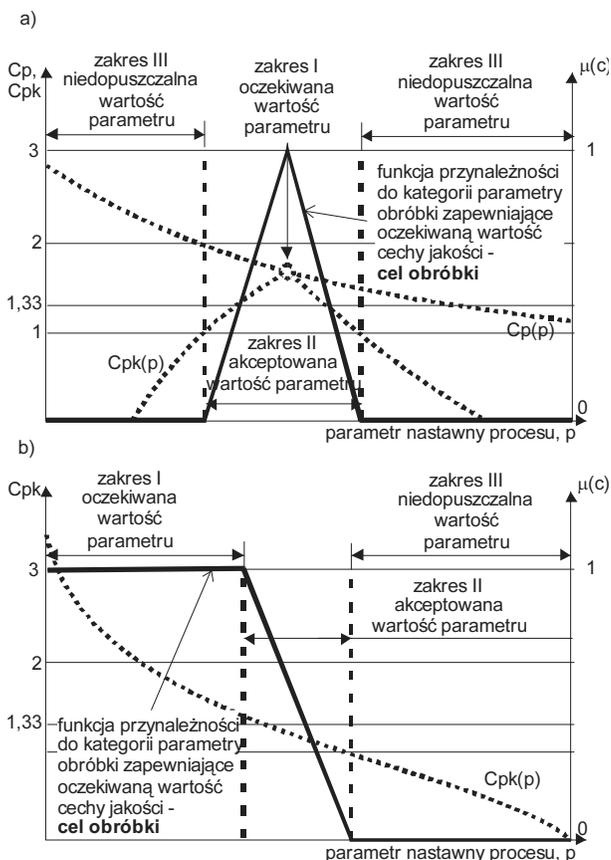
$$\mu_C : P \rightarrow [0,1] \quad (3)$$

W definicji zbioru rozmytego funkcja charakterystyczna zbioru została zastąpiona funkcją przynależności μ_C . Funkcja przynależności $\mu_C(p)$ określa stopień w parametr procesu p przynależności do zbioru C i zmienia się od pełnej przynależności $\mu_C(p)=1$ do jej braku $\mu_C(p)=0$.

Uwzględniając naturalną zmienność procesów szlifowania dla każdego z celów i ograniczeń obróbki z przestrzeni decyzyjnej danej wielkości wyodrębnić można trzy podprzestrzenie (kategorie):

- I – zapewniającą uzyskanie oczekiwanej wartości danej wielkości wyjściowej z progiem bezpieczeństwa uwzględniającym wpływ czynników zmiennych w trakcie procesu (stopień spełnienia celu równy 1)
- II – zapewniającą uzyskanie wymaganej wartości danej wielkości wyjściowej (stopień spełnienia celu zmienia się w zakresie od 0 do 1)
- III – nie zapewniającą uzyskania wymaganej wartości danej wielkości (stopień spełnienia celu równy 0).

Zatem dla rozpatrywanych powyżej przypadków definicja rozmytego celu obróbki przedstawiona będzie jak na rysunku 3.



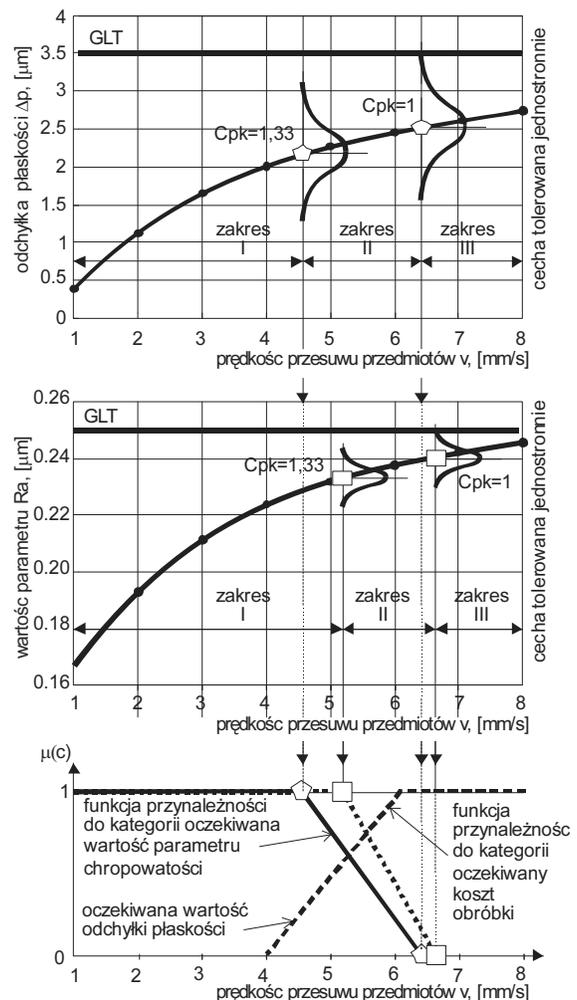
Rys. 3. Funkcja przynależności do kategorii oczekiwana wartość cechy: a) cecha tolerowana dwustronnie, b) cecha tolerowana jednostronnie

Fig. 3. Membership function for a category: the process feature desired value – features with a) one and b) two-sided toleration

Podział przestrzeni decyzyjnej na kategorie dokonywany jest również w przypadku konieczności uwzględnienia wiedzy eksperckiej operatora procesu. Wiedza ta określa zależności pomiędzy wielkościami nastawnymi procesu a wielkościami opisującymi jakość obróbki w sposób skategoryzowany.

Lingwistyczny opis zależności wykorzystujący podział przestrzeni na kategorie wynika z konieczności uwzględnienia w opisie zachodzących zjawisk dużej liczby czynników o losowym stopniu oddziaływań. Teoria zbiorów rozmytych umożliwia zdefiniowanie celów i ograniczeń obróbki w jednej przestrzeni decyzyjnej uwzględniając zarówno wiedzę eksperymetalną o procesie (wiedzę a-posteriori) jak i wiedzę ekspercką (wiedzę a-priori).

Złożenie celów i ograniczeń obróbki w przypadku procesu automatycznego szlifowania małych elementów ceramicznych przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Przykład definicji celów i ograniczeń obróbki z wykorzystaniem zbiorów rozmytych

Fig. 4. Example of fuzzy definitions of objectives and constraints of the machining

Definicje celów i ograniczeń rozmytych nie muszą odnosić się wyłącznie do parametrów technologicznych obróbki. Z parametrami technologicznymi obróbki powiązane są parametry procesu (mierzone w trakcie jego trwania). Przeniesienie definicji celów i ograniczeń obróbki z przestrzeni parametrów technologicznych na parametry procesu umożliwia automatyczny nadzór nad procesem obróbki. Pomiarów parametrów procesu w trakcie jego prowadzenia oraz możliwość interpretowania na ich podstawie parametrów technologicznych procesu umożliwia określenie właściwych korekt. Zarówno określenie korekt jak i właściwy dobór parametrów nastawnych procesu wymaga podjęcia decyzji w otoczeniu w którym zarówno cele jak i ograniczenia określone są za wykorzystaniem logiki rozmytej.

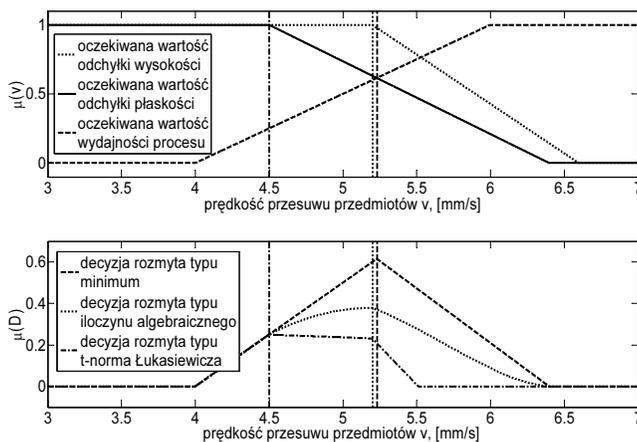
3. Decyzja w otoczeniu rozmytym

Podjęcie decyzji o wyborze optymalnych parametrów obróbki jest zatem przypadkiem podejmowania decyzji w środowisku rozmytym [2, 3]. Decyzja dotycząca doboru odpowiednich parametrów p obróbki będzie zbiorem rozmytym D uzyskanym w wyniku agregacji zbiorów rozmytych n celów i m ograniczeń obróbki. Założenie, że decyzja rozmyta powinna zapewniać zarówno uzyskanie celów jak i spełnienie ograniczeń wymaga zastosowania jako operatorów agregacji zbiorów rozmytych t -norm:

$$\mu_D(p) = \mu_{C_1}(p) \cdot \dots \cdot t_{\mu_{C_n}}(p) \cdot t_{\mu_{G_1}}(p) \cdot \dots \cdot t_{\mu_{G_m}}(p) \quad \forall p \in P, \quad (4)$$

gdzie t jest t -normą i $atb = t(a,b)$.

Rodzaj zastosowanej t -normy [9] w sposób istotny wpływa na zagregowaną decyzję rozmytą. Przykłady podejmowania decyzji w przypadku automatycznego szlifowania małych elementów ceramicznych przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przykłady decyzji rozmytych
Fig. 5. Examples of fuzzy decisions

Funkcja przynależności decyzji rozmytej μ_D określa stopień spełnienia celów i ograniczeń rozmytych. Przyjmuje wartości równe 1 w przypadku parametrów obróbki zapewniających pełne spełnienie wszystkich celów i ograniczeń obróbki (wartość funkcji przynależności = 1). W przypadku, gdy funkcja przynależności decyzji rozmytej przyjmuje wartości mniejsze od jedności oznacza to, że nie istnieją parametry obróbki zapewniające pełne spełnienie wszystkich celów i ograniczeń obróbki. W takiej sytuacji zastosowanie do agregacji zbiorów rozmytych operatora typu minimum lub iloczynu algebraicznego prowadzi do wypracowania decyzji rozmytej zapewniającej konsensus w spełnieniu ograniczeń i celów obróbki (funkcja przynależności decyzji rozmytej przyjmuje wartości maksymalne dla zbioru parametrów zapewniających zbliżony stopień spełnienia celów i ograniczeń obróbki). Decyzja rozmyta typu t -normy Łukasiewicza zdefiniowana jest w zbiorze parametrów prowadzących do uzyskania maksymalnej liczby w pełni spełnionych celów i ograniczeń obróbki.

4. Wyznaczenie optymalnych parametrów obróbki

Konieczność określenia optymalnych parametrów obróbki, zapewniających wymaganą jakość procesu, wymaga wyznaczenia

nierozmytych wartości z decyzji rozmytej. Z uwagi na fakt, że funkcja przynależności decyzji rozmytej stanowi określenie stopnia spełnienia poszczególnych celów i ograniczeń optymalnym parametrem obróbki jest parametr p_0 , taki że:

$$\mu_D(p_0) = \max_{p \in P} \mu_D(p) \quad (5)$$

Oczywiście w wyniku powyższej decyzji maksymalizującej wyznaczony może zostać zbiór parametrów zapewniających uzyskanie takiego samego stopnia spełnienia celów i ograniczeń obróbki. W takim przypadku wartość nierozmyta może zostać wyznaczona z wykorzystaniem metody środka maksimum [9]. Metoda ta zapewnia bowiem wybór parametrów obróbki maksymalizujący stopień spełnienia celów i ograniczeń obróbki a równocześnie zapewnia maksymalną do osiągnięcia niewrażliwość na wpływ zakłóceń występujących w procesie obróbki.

5. Podsumowanie i wnioski

Ocena procesu oraz jakości obróbki z zastosowaniem logiki rozmytej może być podstawą wielokryterialnej optymalizacja procesu szlifowania. Zastosowanie logiki rozmytej w definicji celów i ograniczeń obróbki daje możliwość uwzględnienia zmienności procesu szlifowania. Ponadto intuicyjny charakter zbiorów rozmytych umożliwia uwzględnienie wiedzy eksperckiej w systemie podejmowania decyzji o optymalnych parametrach obróbki.

Przestrzeń w jakiej zdefiniowane są cele i ograniczenia obróbki może być zarówno przestrzeń parametrów technologicznych procesu (mierzonych na zakończenie procesu obróbki) jak również przestrzeń parametrów procesu (mierzonych w trakcie jego prowadzenia), takich jak: siły szlifowania, moc szlifowania, temperatura, itp. Przeniesienie definicji celów i ograniczeń obróbki do przestrzeni parametrów procesu daje możliwość nadzorowania stanu procesu.

6. Literatura

- [1] Zadeh L.A.: Fuzzy sets. Information and Control, vol. 8, no. 3, 1965.
- [2] Zadeh L.A.: Decision making in fuzzy environment. Management Science vol. 17, 1970.
- [3] Kacprzyk J.: Wieloetapowe sterowanie rozmyte. WNT, Warszawa, 2001.
- [4] Kosmol J.: Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem. WNT, Warszawa, 2000.
- [5] Oczko K.: Szlifowanie – podstawy i technika. WNT, Warszawa, 1986.
- [6] Hamrol A.: Zarządzanie jakością z przykładami. PWN, Warszawa, 2008.
- [7] Chan L.K., Cheng S.W., Spiring F.: A new measure of process capability: Cpm. Journal of Quality Technology, vol. 20, 1988.
- [8] Pean W.L., Kotz S., Johnson N.L.: Distributional and inferential properties of process capability indices. Journal of Quality Technology, vol. 24, 1992.
- [9] Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2003.