

Agnieszka KUŁAKOWSKA, Radosław PATYK

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA
ul. Raławicka 15/17, 75-620 Koszalin

Poliptymalizacja operacji nagniatania naporowo tocznego**Dr inż. Agnieszka KUŁAKOWSKA**

Doktor nauk technicznych; zatrudniona w Katedrze Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej na stanowisku adiunkta; od 9 lat zajmuje się obróbką nagniataniem naporowym tocznym z uwzględnieniem stanu powierzchni wyrobu po obróbkach poprzedzających; członek Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, autorka lub współautorka kilkudziesięciu publikacji zarówno krajowych jak i zagranicznych.



e-mail: agnieszka.kulakowska@tu.koszalin.pl

Dr inż. Radosław PATYK

Doktor nauk technicznych, adiunkt w Katedrze Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej; od 9 lat zajmuje się badaniem procesu powierzchniowego nagniatania tocznego, współautor kilkudziesięciu publikacji naukowych konferencji krajowych i międzynarodowych. Członek Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej Od roku 2007 jest kierownikiem Laboratorium Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów Wydziału Mechanicznego.



e-mail: radoslaw.patyk@tu.koszalin.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono optymalizację oraz polioptymalizację operacji nagniatania naporowego tocznego. Wykorzystano w tym celu model matematyczny uwzględniający wpływ parametrów toczenia na parametr chropowatości Ra powierzchni po nagniataniu. Optymalizację wykonano, szukając takich parametrów toczenia, aby uzyskać minimalną wartość parametru chropowatości Ra po nagniataniu. W przypadku polioptymalizacji celem było znalezienie minimalnej wartości chropowatości powierzchni po obróbce przy uzyskaniu maksymalnej wydajności operacji.

Słowa kluczowe: optymalizacja, polioptymalizacja, nagniatanie naporowo toczne, model matematyczny.

Polioptimisation of burnishing rolling operation**Abstract**

The latest researches show that the state of a product after previous treatment influences the technological quality of the burnished product [4-8]. There is a correlation between the state of an object after the previous treatment and the product quality after the operation of burnishing. In the paper the operation of surface preparation in the previous treatment with burnishing rolling operation is considered. The paper presents the optimisation and polioptimisation of the burnishing rolling operation. For this purpose a mathematical model taking into account the influence of turning parameters on the surface roughness parameter Ra after burnishing was used. The optimisation consisted in searching such turning parameters which allowed obtaining the minimum value of the parameter Ra after burnishing. The aim of polioptimisation was to find the minimum value of the surface roughness after treatment when obtaining the maximum efficiency of the burnishing rolling. In order to determine the optimum state of the examined object - function F_{mincon} from Matlab program was used. The obtained results are presented in the form of graphs. The constant value dependence of changes of the surface roughness parameter Ra obtained on a basis of function (9) is shown in Fig. 1. Fig. 2 presents the set of polioptimal solutions for the operation of smooth burnishing. The set of polioptimal solutions for the operation of smooth burnishing for the values of the operation efficiency between $268,2 \div 268,6$ [mm/rot.] is shown in Fig. 3.

Keywords: polioptimisation, burnishing rolling operation, mathematical model.

1. Wstęp

Obróbka nagniataniem jest jedną z metod obróbki wykończeniowej metali i ich stopów, spieków oraz tworzyw sztucznych, polegającą na wykorzystaniu miejscowego odkształcenia plastycznego [2], wytwarzanego w warstwie wierzchniej przedmiotu [1], wskutek określonego (siłowego oraz kinematycznego) współdziałania twardego i gładkiego narzędzia (o kształcie kuli, krążka, wałka lub innym) z powierzchnią obrabianą [3].

Na obecnym etapie rozwoju obróbki nagniataniem można wyodrębnić około 20 różnych sposobów realizowania tej metody [1]. Niezbędne zaś jest poszukiwanie, badanie i wdrażanie takich sposobów nagniatania, które pozwalają na kształtowanie optymalnej ze względu na przyjęte kryteria, jakości wyrobu.

Z najnowszych badań wynika, że stan przedmiotu po obróbce poprzedzającej wpływa na jakość technologiczną wyrobu nagniatanego [4-8]. Istnieje korelacja pomiędzy stanem przedmiotu po obróbce poprzedzającej, a jakością technologiczną wyrobu po nagniataniu. Na przykład pomiędzy wyjściowym zarysem nierówności, a stanem naprężeń i zmianą wymiarów części po nagniataniu. Sterowanie właściwościami kształtowanej nagniataniem warstwy wierzchniej umożliwia dostosowanie jakości technologicznej wyrobu do zróżnicowanych warunków eksploatacji. Stwarza to możliwość szerokiego wykorzystania tej metody obróbki w praktyce.

Parametrami struktury geometrycznej powierzchni warstwy wierzchniej, kształtowanej w obróbkach poprzedzających, które istotnie wpływają na jakość technologiczną wyrobu nagniatanego są zarys nierówności (np. trójkątny, trapezowy, łukowy itd.) oraz jego parametry. Pomijanie tych parametrów prowadziło do istotnych trudności w otrzymywanych wynikach badań oraz powodowało trudności wytwarzania wyrobu o założonej jakości technologicznej. Było to jedną z głównych przyczyn niedostatecznego zastosowania obróbki nagniataniem w przemyśle krajowym [9, 10]. Nagniatanie części o "złej" jakości technologicznej, powoduje poprawienie tej jakości głównie poprzez zmniejszenie chropowatości powierzchni oraz zwiększenie jej udziału nośnego liniowego i wzrost umocnienia materiału. Natomiast niemożliwe jest uzyskanie założonych, w szczególności bardzo wysokich wymagań, co do izotropowości chropowatości i umocnienia oraz dokładności wymiarowo-kształtowej.

Dla celów sterowania jakością technologiczną wyrobu nagniatanego, wymagana jest znajomość: funkcji poprzecznego profilu chropowatości i funkcji struktury geometrycznej powierzchni po obróbce poprzedzającej. Strukturę tę opisać można za pomocą równań w postaci: uwikłanej, jawnej, parametrycznej i wektorowej. Postać równania uzależniona jest od typu poprzecznego profilu chropowatości po obróbce poprzedzającej, typu części i przyjętego układu współrzędnych. Modele matematyczne powierzchni o zdeterminowanym profilu chropowatości podano w pracy [5, 6, 8]. W pracy rozpatrywano operację przygotowania powierzchni w obróbce toczeniem, a następnie jej nagniatanie naporowo toczne.

2. Model matematyczny

Badania obiektu często sprowadzają się do znalezienia jego stanu optymalnego lub polioptymalnego. Typowy przypadek polioptymalizacji polega na zdeterminowaniu wartości czynników wejściowych (zmienne sterowalne) ze względu na określone kryteria polioptymalizacji, przy zadanych warunkach ograniczających. Dla tych celów

niezbędna jest między innymi znajomość modelu matematycznego obiektów badań [11].

Opracowanie modelu matematycznego wykorzystanego do określenia stanu optymalnego i polioptymalnego rozpoczęto od zidentyfikowania funkcji regresji opisującej zależność wybranych parametrów chropowatości powierzchni wyrobu po nagniataniu od warunków toczenia, jako obróbki poprzedzającej. Na podstawie analizy czynnikowej ustalono jakościową funkcję regresji w postaci:

$$\hat{Y} = \hat{Y}(\bar{r}, \bar{\varepsilon}, \bar{f}, \bar{n}_t, \bar{a}, \bar{d}_t, HB) \quad (1)$$

gdzie: \bar{r} - promień zaokrąglenia ostrza noża, $\bar{\varepsilon}$ - kąt wierzchołkowy ostrza noża, \bar{f} - posuw toczenia, \bar{n}_t - prędkość obrotowa, \bar{a} - głębokość toczenia, \bar{d}_t - średnica wałka, HB - twardość materiału.

Przeprowadzono badania analityczne i doświadczalne, wykonywane w następujących etapach: I - określenie zbiorów czynników badanych, stałych, zakłócających i wynikowych, II - ustalenie przedziału zmienności (obszaru badań) czynników badanych, III - przyjęcie klasy modelu matematycznego obiektu badań, IV - kodowanie czynników badanych, V - realizacja badań właściwych i plan eksperymentu, VI - wyniki eksperymentu, VII - eliminacja wyników obciążonych błędem grubym, VIII - obliczenie wariancji między wierszowej, IX - sprawdzenie jednorodności wariancji w próbie, X - obliczenie współczynników w funkcji regresji, XI - analiza statystyczna funkcji regresji, XII - badanie istotności współczynnika korelacji wielowymiarowej, XIII - sprawdzenie adekwatności modelu matematycznego, XIV - odkodowanie funkcji regresji. W badaniach zastosowano plan eksperymentu dwupoziomowy połówkowy, opracowano funkcję regresji w postaci funkcji potęgowej. Metodologię i wyniki tych badań przedstawiono szczegółowo w pracy [6].

W kolejnych badaniach [8] zmniejszono liczbę czynników wejściowych do czterech: parametrów toczenia (posuwu f , obrotów wrzeciona tokarki n_t) oraz geometrii narzędzia (kąta wierzchołkowego ostrza narzędzia ε i promienia jego zaokrąglenia r), rozszerzając jednocześnie ich zakresy. Wszystkie próbki walcowe przygotowano ze stali C45 (o twardości 227,5 HB) i średnicy $d=24,5$ mm, natomiast głębokość toczenia obliczono na podstawie dostępnych danych (ε , r , f). Zastosowano jednak pięciopoziomowy rotatabilny plan eksperymentu, a funkcję regresji uzyskano w postaci wielomianu algebraicznego liniowo-kwadratowego z interakcjami podwójnymi w postaci ogólnej:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^S b_i \bar{x}_i + \sum_{i=1}^S b_{ii} \bar{x}_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^S b_{ij} \bar{x}_i \bar{x}_j, \quad (2)$$

lub w zapisie macierzowym :

$$\{\hat{y}\} = [\bar{X}] \{b\}. \quad (3)$$

Po unormowaniu zmiennych wejściowych równanie (2) przyjmuje postać zakodowaną:

$$\hat{y} = k_0 + \sum_{i=1}^S k_i \bar{x}_i + \sum_{i=1}^S k_{ii} \bar{x}_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^S k_{ij} \bar{x}_i \bar{x}_j, \quad (4)$$

lub w zapisie macierzowym:

$$\{\hat{y}\} = [\bar{X}] \{k\}. \quad (5)$$

Optymalny zbiór współczynników k tych modeli wyznacza się minimalizując funkcję S_R :

$$S_R \rightarrow \min!, \quad (6)$$

która w ogólnym przypadku ma postać:

$$S_R = \sum_{i=1}^N W_i [\bar{y}_i - \hat{y}_i(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_S; k_0, \dots, k_{L-1})]^m, \quad (7)$$

gdzie W_i jest funkcją wagi, \bar{y}_i są średnimi wartościami wyjść obiektu (wartości otrzymane z badań eksperymentalnych, zrealizowanych zgodnie z planem pięciopoziomowym), \hat{y}_i są wartościami wyjść modelu matematycznego. Dla większości przypadków nagniatania postuluje się, że $W_i=1$, $m=2$. Wówczas problem optymalizacji sprowadza się do minimalizacji sumy kwadratów błędów.

Nagniatanie prowadzone jest w następujących stałych warunkach:

- obrabiarka: tokarka typ TSS 150,
- przyrząd nagniatający: dwukrążkowy,
- cieć chłodziwo-smarująca: olej maszynowy,
- materiał krążka: stal SW18 o twardości 62HRC,
- materiał obrabiany: stal C45 normalizowana, zdeterminowany profil chropowatości,
- średnica wałków: $d=24,5$ [mm]
- liczba przejść: $i=1$,
- prędkość obrotowa $n_t=420$ [obr./min.],
- głębokość nagniatania: $1/2 Ra$ [mm].

W badaniach ustalono następujące przedziały zmienności czynników badanych, stanowiących więzy słabe: $\bar{x}_1 = \bar{r} : 0 \div 0,2$ [mm], $\bar{x}_2 = \bar{\varepsilon} : 60 \div 120$ [°], $\bar{x}_3 = \bar{f} : 0,2 \div 1$ [mm/obr.], $\bar{x}_4 = \bar{n}_t : 315 \div 1800$ [obr./min].

Po zakodowaniu powyższych czynników otrzymano:

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{x}_1 - 0,1}{0,05}, \quad \bar{x}_2 = \frac{\bar{x}_2 - 90}{15}, \quad \bar{x}_3 = \frac{\bar{x}_3 - 0,6}{0,2}, \quad \bar{x}_4 = \frac{\bar{x}_4 - 1057,5}{371,25}. \quad (8)$$

Otrzymaną funkcję wielomianową liniowo-kwadratową z interakcjami można przedstawić w postaci:

$$\begin{aligned} \hat{Y} = \hat{R}a = & 0,754 - 2,758 \cdot \bar{r} - 0,009 \cdot \bar{\varepsilon} + 0,427 \cdot \bar{f} + \\ & - 0,0003 \cdot \bar{n}_t + 0,016 \cdot \bar{r} \cdot \bar{\varepsilon} + 0,341 \cdot \bar{r} \cdot \bar{f} + \\ & + 0,0003 \cdot \bar{r} \cdot \bar{n}_t - 0,004 \cdot \bar{\varepsilon} \cdot \bar{f} + 1,895 \cdot 10^{-6} \cdot \bar{\varepsilon} \cdot \bar{n}_t + \\ & + 8,257 \cdot 10^{-5} \cdot \bar{f} \cdot \bar{n}_t + 3,635 \cdot \bar{r}^2 + 3,151 \cdot 10^{-5} \cdot \bar{\varepsilon}^2 + \\ & + 0,04 \cdot \bar{f}^2 + 7,417 \cdot 10^{-8} \cdot \bar{n}_t^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Funkcję tę wykorzystano do znalezienia stanu optymalnego i polioptymalnego operacji nagniatania naporowego toczenia.

3. Optymalizacja operacji nagniatania

Obiektem badań optymalizacyjnych jest nagniatanie naporowo toczone powierzchni przygotowanej w obróbce poprzedzającej toczeniem. Zadaniem optymalizacji jest wyznaczenie optymalnych parametrów sterujących operacją umożliwiających uzyskać minimalną wartość parametru chropowatości Ra powierzchni po nagniataniu. Przedmiotem badań są powierzchnie próbek walcowych. Warunkami ograniczającymi są więzy słabe – przedziały zmienności czynników badanych. Rozważany problem, to problem optymalizacji jednokryterialnej.

Zadanie optymalizacji określono następująco:

$$\bar{R}a \rightarrow \min!, \quad (10)$$

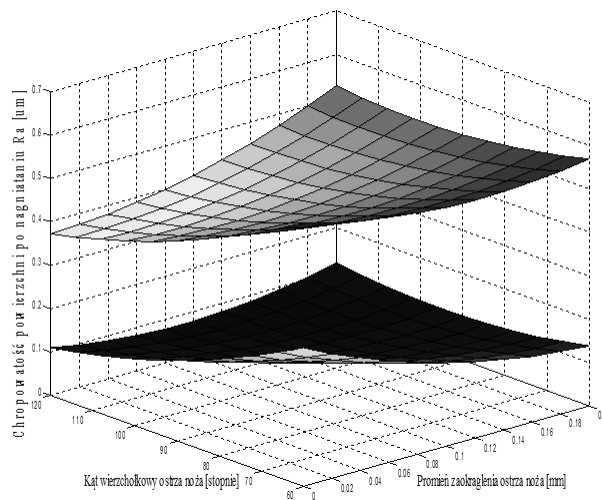
przy warunkach ograniczających:

$$-2 \leq \bar{x}_i \leq +2, \quad i=1,2,4. \quad (11)$$

W celu określenia stanu optymalnego badanego obiektu zastosowano funkcję Fmincon programu Matlab. Po odcodowaniu zmiennych w oparciu o związki (8) otrzymano następujące optymalne wartości parametrów technologicznych:

$$\bar{r} = 0,09 \text{ [mm]}, \quad \bar{\varepsilon} = 110 [^\circ], \quad \bar{f} = 0,2 \text{ [mm/obr.]}, \quad \bar{n}_t = 899 \text{ [obr./min]}.$$

Parametry te zapewniają minimalną wartość parametru chropowatości powierzchni po nagniataniu $Ra=0,1068$ [mm]. Stałwartościowe zależności zmian parametru chropowatości powierzchni Ra opracowane na podstawie modelu (9) przedstawiają wykresy przestrzenne (rys. 1).



Rys. 1. Stałwartościowe zależności zmian parametru chropowatości powierzchni Ra opracowane na podstawie funkcji (9)

Fig. 1. Constant value dependence of changes of surface roughness parameter Ra based on function (9)

4. Polioptymalizacja operacji nagniatania

W trakcie projektowania operacji nagniatania naporowego tocznego zdarzają się sytuacje, że należy minimalizować bądź maksymalizować jednocześnie wiele kryteriów. Najczęściej rezygnuje się wtedy z prób utworzenia zastępczego kryterium optymalizacji. Otrzymuje się zatem zbiór kryteriów K_i ($i=1, \dots, I$) i dla każdego z nich informację o tym, czy ma być ono jak najmniejsze, czy jak największe. Dane są również warunki ograniczające. Polioptymalizacja operacji sprowadza się wówczas do wyznaczenia zbioru rozwiązań polioptymalnych. Wybór odpowiedniego wariantu wymaga decyzji technologa [11].

Obiektem badań polioptymalizacyjnych jest nagniatanie naporowe toczne powierzchni przygotowanych do nagniatania toczaniem. Efektem obróbki ma być minimalizacja wysokości chropowatości powierzchni Ra po procesie nagniatania, zaś ze względu na koszty obróbki należy dążyć do maksymalizacji wydajności W , którą określono zależnością:

$$W = \frac{60 \cdot f_n \cdot V_n}{\pi \cdot d}, \quad (12)$$

gdzie: f_n - posuw nagniatania [mm/obr.], v_n - prędkość nagniatania [m/min], d - średnica przedmiotu obrabianego.

Zadanie polioptymalizacji sformułowano następująco:

$$\begin{cases} K_1 = Ra \rightarrow \min!, \\ K_2 = W \rightarrow \max!, \end{cases} \quad (13)$$

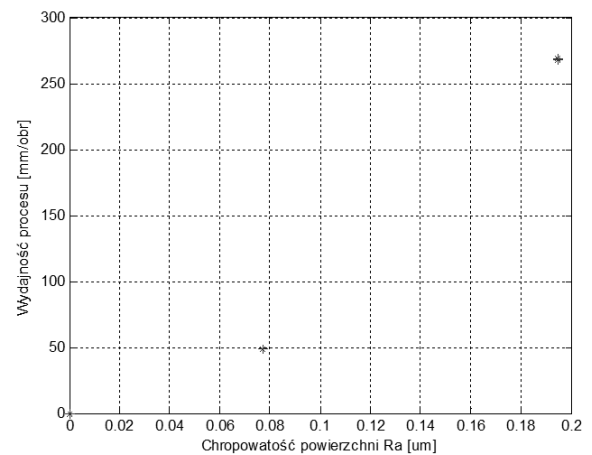
przy warunkach ograniczających związanych z zakresem zmienności parametrów geometrycznych narzędzia oraz technologicznych operacji. Zaś funkcję celu do zadania polioptymalizacji po unormowaniu zapisano w następującej postaci:

$$f = (1 - waga) \cdot \frac{k(1) - 0,20315}{0,048125} + waga \cdot \frac{k(2) - 720,256}{335,7718} \quad (14)$$

Wydajność $k(2)$ w [mm/obr.] operacji nagniatania naporowego tocznego powierzchni walcowych dla jednego przejścia ($i=1$) określa zależność:

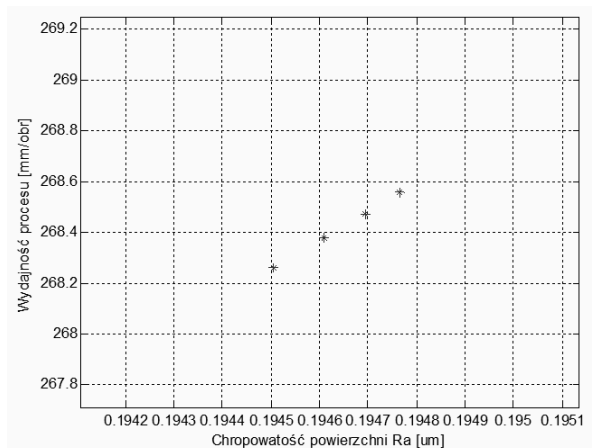
$$k(2) = \frac{60 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4}{\pi \cdot d} \quad (15)$$

Na rysunku 2 przedstawiono zbiór rozwiązań polioptymalnych dla operacji nagniatania gładkościowego.



Rys. 2. Zbiór rozwiązań polioptymalnych dla operacji nagniatania gładkościowego
Fig. 2. The set of polioptimal solutions for operation of smooth burnishing

Na rysunku 3 przedstawiono zbiór rozwiązań polioptymalnych, dla przypadku, gdy wydajność operacji osiąga wartość pomiędzy 268,2÷268,6 [mm/obr.]



Rys. 3. Zbiór rozwiązań polioptymalnych, dla przypadku, gdy wydajność operacji osiąga wartość pomiędzy 268,2÷268,6 [mm/obr.]

Fig. 3. The set of polioptimal solutions for operation of smooth burnishing, for the operation efficiency values between 268,2 ÷ 268,6 [mm/rot.]

5. Wnioski

W trakcie badania obiektu rzeczywistego, często zachodzi konieczność wyznaczenia stanu optymalnego lub polioptymalnego, przy braku znajomości jego modelu matematycznego. Model ten można wyprowadzić na drodze teoretycznej, w oparciu o pełną analizę zachodzących procesów fizycznych [11]. Ze względu jednak na ich dużą złożoność wymagane jest wówczas prowadzenie bardzo skomplikowanych oraz długotrwałych badań i obliczeń. W przypadkach, takich jak brak środków finansowych, krótki czas na podjęcie decyzji, wymagana dokładność obliczeń, itp. wygodniej jest posłużyć się przedstawioną w pracach [6, 8] metodyką określania postaci modelu matematycznego i opisać badany obiekt układem równań regresji, otrzymanych w wyniku identyfikacji, przy zastosowaniu metody analizy czynnikowej. Niezbędne badania eksperymentalne zaleca się realizować zgodnie z pięciopoziomowymi planami rotacyjnymi, charakteryzującymi się kulistym rozkładem informacji. Pomocnym w tym celu może być program komputerowy np. E-planner [11].

W celu określenia stanu optymalnego i polioptymalnego badanego obiektu, ze względu na przyjęte funkcje-kryteria i warunki ograniczające, wystarczy stosować proste metody optymalizacji. Tok obliczeń stanu optymalnego lub polioptymalnego można uprościć przez:

- sprowadzenie optymalizacji wielokryterialnej (polioptymalizacji) do optymalizacji jednokryterialnej,
- odpowiednie uproszczenie postaci modelu matematycznego operacji nagniatania.

Korzystnie jest również przedstawienie graficzne zbioru wariantów dopuszczalnych w obszarze zmiennych sterowalnych oraz zbioru rozwiązań optymalnych lub polioptymalnych. Ułatwia się wtedy wybór najlepszego rozwiązania.

Podane w pracy przykłady optymalizacji i polioptymalizacji operacji nagniatania mogą być z powodzeniem wykorzystane do określenia stanu polioptymalnego lub optymalnego dla innych obiektów badań.

6. Literatura

- [1] PN-73/M-04250. Warstwa wierzchnia. Nazwy i określenia.
- [2] Przybylski W.: Obróbka nagniataniem. Technologia i oprzyrządowanie. WNT, Warszawa, 1979.
- [3] Przybylski W.: Technologia obróbki nagniataniem. WNT, Warszawa, 1987.
- [4] Kukielka L.: Własności warstwy wierzchniej części po nagniataniu tocznym z nagrzewaniem prądem elektrycznym. Eksploatacja Maszyn nr 5÷6, 1986.
- [5] Kukielka L., Patyk R., Wojtalik M.: Optymalizacja procesu powierzchniowego nagniatania z prądem w aspekcie nośności powierzchni, Starostwo Powiatowe w Słupsku, Słupsk 2003.
- [6] Kułakowska A., Kukielka L.: Problematyka przygotowania powierzchni w procesie toczenia w aspekcie jakości technologicznej wyrobu nagniatanego, Pomiary Automatyka Kontrola, 7 -2008 Lipiec, Vol. 54, 2010 r.
- [7] Kułakowska A., Kukielka L.: Wpływ warunków obróbki toczeniem na parametr chropowatości Ra wyrobu nagniatanego, Czasopismo Logistyka nr 3/2009.
- [8] Kułakowska A.: Problems of surface preparation under Burnishing rolling in aspect of product quality, Steel Research International Special Edition, Publishing Company Verlag Stahleisen GmbH, Volume 81, Number 9, 2010.
- [9] Kukielka L., Grabarczyk A., Falana A.: Problematyka przygotowania części pod nagniataniem w aspekcie jakości wyrobu, Starostwo Powiatowe w Słupsku, Słupsk 2002 r.
- [10] Falana A., Grabarczyk A., Kukielka L.: Numerical Analysis of Influence of Height's Deviations of Asperity onto State of Strains and Stress in the Surface Layer after Burnishing Rolling – Annual Conference of the "Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik", Padwa 2002r.
- [11] Kukielka L.: Podstawy badań inżynierskich, WNT, Warszawa 2002 r.

otrzymano / received: 10.07.2012

przyjęto do druku / accepted: 03.09.2012

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Informacja redakcji dotycząca artykułów współautorskich

W miesięczniku PAK od numeru 06/2010 w nagłówkach artykułów współautorskich wskazywany jest autor korespondujący (Corresponding Author), tj. ten z którym redakcja prowadzi wszelkie uzgodnienia na etapie przygotowania artykułu do publikacji. Jego nazwisko jest wyróżnione drukiem pogrubionym. Takie oznaczenie nie odnosi się do faktycznego udziału współautora w opracowaniu artykułu. Ponadto w nagłówku artykułu podawane są adresy korespondencyjne wszystkich współautorów.

Wprowadzona procedura wynika z międzynarodowych standardów wydawniczych.

Redakcja

Zapraszamy do publikacji artykułów naukowych w czasopiśmie PAK

WYDAWNICTWO PAK
ul. Świętokrzyska 14A, pok. 530, 00-050 Warszawa,
tel./fax: 22 827 25 40

Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 30b,
tel./fax: 32 237 19 45, e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl