

# Możliwości zmniejszenia energochłonności obróbki sekwencyjnej stali utwardzonej

## Possibilities of the reduction of energy consumption in sequential machining of hardened steel

ROMAN CHUDY  
WIT GRZESIK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.411

W artykule przedstawiono możliwości zmniejszenia energochłonności obróbki sekwencyjnej. Dokonano oceny efektywności energetycznej z uwzględnieniem wymaganej chropowatości powierzchni po dokładnym toczeniu i nagniataniu stali utwardzonej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** toczenie na twardo, nagniatanie, energochłonność, obróbka sekwencyjna

*The experimental study concerns the power consumption and surface roughness produced in a sequential machining process consisting of hard turning and ball burnishing operations under variable machining parameters. In particular, some machining routines including finish hard machining and both single and multi-pass ball burnishing of hard surfaces were performed and compared.*

**KEYWORDS:** hard turning, ball burnishing, power consumption, sequential machining

Racjonalne gospodarowanie energią jest coraz częściej rozpatrywaną kwestią we wszystkich sektorach przemysłu wytwórczego [1]. Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej potrzebnej do obróbki, a także redukcja energii niezbędnej do zasilania wszelkich urządzeń pomocniczych to jedno z największych wyzwań stawianych producentom obrabiarek [2]. Ocenia się, że proces usuwania materiału w nowoczesnych obrabiarkach pochłania kilkanaście lub kilkadziesiąt procent całkowitego zapotrzebowania na energię [2], natomiast nagniatanie tylko kilka procent [3]. Profil energetyczny jest uzależniony od warunków obróbki, dlatego praca podejmuje próbę oceny energochłonności obróbki sekwencyjnej w kontekście jakości powierzchni.

### Warunki badań i stanowisko badawcze

Obróbkę sekwencyjną przeprowadzono na wielozadaniowej obrabiarence CNC Okuma Genos L200-EM. W pierwszym etapie przeprowadzono toczenie na twardo z użyciem płytek ostrzowych z narożami z CBN CB 7015 o symbolu TNGA 160408 S01030 firmy Sandvik Coromant. W kolejnej sekwencji realizowano nagniatanie toczne, używając głowicy nagniatającej z ceramiczną kulka z  $\text{Si}_3\text{N}_4$  o średnicy 12 mm (rys. 1). Sekwencyjne toczenie oraz nagniatanie przeprowadzono na próbkach ze stali 41Cr4 o twardości ok.  $50 \pm 1$  HRC. Toczenie na twardo oraz nagniatanie wykonano ze stałą prędkością skrawania oraz nagniatania wynoszącą odpowiednio  $v_c = 200$  m/min i  $v_b = 50$  m/min,

stałą głębokością skrawania dla toczenia na twardo  $a_p = 0,2$  mm oraz stałą siłą nacisku kulki nagniatającej wynoszącą ok. 300 N. Natomiast zmienne były wartości posuwu zarówno dla toczenia, jak i nagniatania. Nagniatane wykonano w sekwencji jedno- i dwuprzeciowej. Pomiar chropowatości wykonano za pomocą profilometru stykowego Hommel Tester T1000. Warunki toczenia oraz nagniatania przedstawiono w tablicy.



Rys. 1. Widok przestrzeni roboczej stanowiska do obróbki sekwencyjnej

Wyznaczenie energochłonności obróbki sekwencyjnej możliwe dzięki użyciu precyzyjnych przetworników prądowych i napięciowych umieszczonych na przewodach zasilających obrabiarkę. Sygnały z przetworników zbierane są za pomocą kart pomiarowych National Instruments umieszczonych w terminalu cDAQ. Sygnały przetwarzane i zapisywane są w autorskim programie utworzonym w środowisku LabView [3]. Układ pozwala monitorować i rejestrować aktualne wartości mocy pobieranej przez obrabiarkę w trakcie procesu.

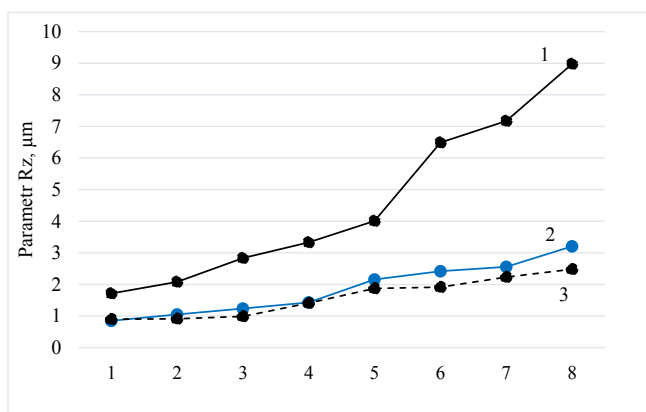
**TABLICA. Warunki obróbki**

Toczenie na twardo przed nagniataniem $v_c = 200$ m/min; $a_p = 0,2$ mm							
Numer, posuw, mm/obr; kod próbki							
1	2	3	4	5	6	7	8
0,075	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225	0,25
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Nagniatanie $v_b = 50$ m/min; nacisk $F_n = 300$ N							
Pierwsze przejście, posuw, mm/obr; kod próbki							
0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225
1B1	2B1	3B1	4B1	5B1	6B1	7B1	8B1
Drugie przejście posuw, mm/obr; kod próbki							
0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225
1B2	2B2	3B2	4B2	5B2	6B2	7B2	8B2

\* Mgr inż. Roman Chudy (r.chudy@po.opole.pl), prof. dr hab. inż. Wit Grzesik (w.grzesik@po.opole.pl) – Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Opolskiej

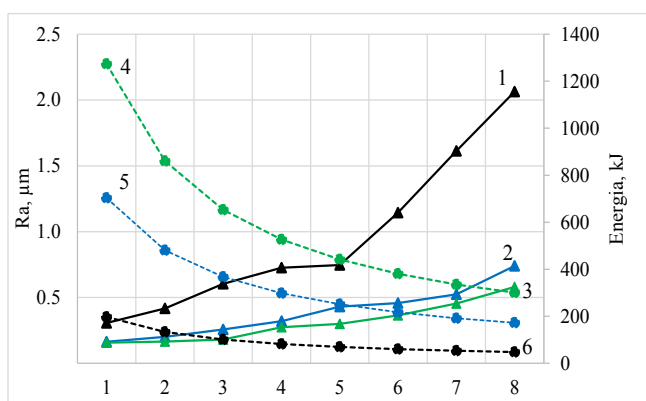
## Wyniki badań

Celem badań doświadczalnych było wyznaczenie wpływu parametrów technologicznych toczenia oraz nagniatania na energochłonność procesu. W sekwencyjnym toczeniu na twardo oraz jedno- i wieloprzejściowym nagniataniu otrzymano powierzchnie o odmiennej wysokości mikronierówności. Po toczeniu na twardo uzyskano wysokość chropowatości w przedziale ok.  $1,7 \div 9 \mu\text{m}$  (T1÷T8). Wyniki badań wskazują na znaczącą redukcję parametrów chropowatości ( $R_a$ ,  $R_z$ ) po sekwencyjnym nagniataniu powierzchni (rys. 2, 3). Można odnotować 2–3-krotną redukcję wartości wymienionych parametrów dla nagniatania w pierwszym przejściu (1B1÷8B1), a także prawie czterokrotną redukcję parametru  $R_z$  dla przypadku dwóch przejść kulki nagniatającej (8B2).



Rys. 2. Zmiana parametru  $R_z$  po toczeniu (1), nagniataniu w jednym przejściu (2) oraz nagniataniu w dwóch przejściach (3)

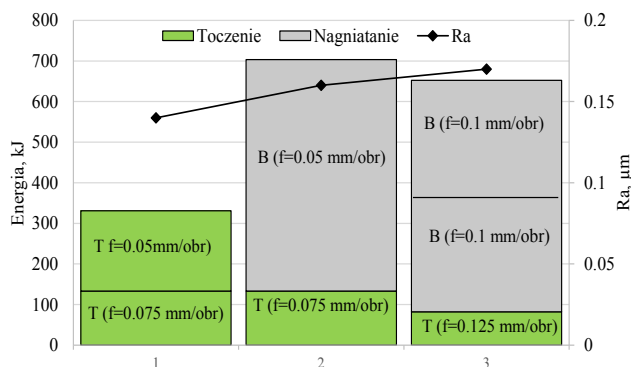
Mimo znacznie większego poboru mocy przy toczeniu niż przy nagniataniu można zauważyć znacznie niższe zapotrzebowanie na energię w toczeniu na twardo (rys. 3). Fakt ten można tłumaczyć znacząco niższą prędkością nagniatania, co znacznie wydłuża czas obróbki i zwiększa energochłonność procesu.



Rys. 3. Porównanie wartości parametru  $R_a$  po toczeniu (1), nagniataniu w jednym przejściu (2) i w dwóch przejściach (3) w kontekście zużycia energii całkowitej do toczenia na twardo (6) oraz sekwencji toczenia i nagniatania w jednym przejściu (5) i w dwóch przejściach (4)

Aby uzyskać zbliżone wartości parametru  $R_a$  ( $1,4 \div 1,6 \mu\text{m}$ ), można zastosować odmienne strategie obróbki. W dwuprzejściowym toczeniu na twardo wydatek energetyczny jest wyraźnie niższy niż przy sekwencyjnym toczeniu i nagniataniu (rys. 4). Fakt ten można wytłumaczyć wydłużonym czasem nagniatania w porównaniu do toczenia. Można zauważyć również, że powierzchnia

przed nagniataniem może mieć o wyższą chropowatość, jednak w strategii z dwuprzejściowym nagniataniem uzyskuje się powierzchnie o zbliżonej wartości parametru  $R_a$ , a jednocześnie redukuje się wydatek energetyczny. Należy również zauważyć, iż operacje nagniatania nie obciążają nadmiernie obrabiarki – nie produkuje się odpadów w postaci wiórów [4], narzędzia nagniatające wykazują wysoką trwałość i możliwe jest ich stosowanie na uniwersalnych obrabiarkach [5, 6].



Rys. 4. Porównanie strategii obróbki sekwencyjnej: toczenia dwuprzejściowego (1), toczenia oraz nagniatania (2), toczenia oraz dwuprzejściowego nagniatania (3)

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych prac można stwierdzić, że:

- Efektywność energetyczna obróbki sekwencyjnej zależy od parametrów procesu (czasu obróbki) [7, 8].
- Poprzez nagniatanie możliwa jest znaczna redukcja chropowatości powierzchni.
- Dobór odpowiedniej strategii obróbki sekwencyjnej może zredukować wydatek energetyczny procesu.
- Istotnym warunkiem zmniejszenia energochłonności procesu jest redukcja czasu obróbki.
- Energochłonność obróbki wyraźnie zwiększa się, gdy wymagana jest bardzo mała chropowatość powierzchni (parametr  $R_z$  poniżej  $1 \mu\text{m}$ ).

## LITERATURA

- Mori M., Fujishima M., Inamasu Y., Oda Y. „A study on energy efficiency improvement for machine tools”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 60, No.1 (2011): pp. 145÷148.
- Dalquist S., Gutowski T. „Life Cycle Analysis of Conventional Manufacturing Techniques: Sand Casting”. *Proceedings of ASME 2004 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2004)*. Anaheim, CA, (2004): pp. 631÷641.
- Chudy R., Grzesik W. „Comparison of power and energy consumption for hard turning and burnishing operations of 41CR4 steel”. *Journal of Machine Engineering*. Vol. 15, No. 4 (2015): pp.113÷120.
- Chudy R., Grzesik W. „Badanie energochłonności toczenia i nagniatania stali utwardzonej”. *IX Szkoła Obróbki Skrawaniem pod redakcją Edwarda Miko* (2015): s. 408÷414.
- Grzesik W., Zak K., Prażmowski M. „Surface integrity of hard turned parts modified by ball burnishing”. *Journal of Machine Engineering*. Vol. 12, No. 1 (2012): pp. 18÷27.
- Grzesik W., Zak K. „Producing high quality hardened parts using sequential hard turning and ball burnishing operations”. *Precision Engineering*. Vol. 37 (2013): pp. 849÷855.
- Neugebauer R., Drossel W., Wertheim R., Hochmuth C., Dix M. „Resource and Energy Efficiency in Machining Using High-Performance and Hybrid Processes”. *5th CIRP Conference on High Performance Cutting* (2012): pp. 3÷12.
- Guo Y., Loenders J., Dufloy J., Lauwers B. „Optimization of energy consumption and surface quality in finish turning”. *5th CIRP Conference on High Performance Cutting* (2012): pp. 529÷534.