

# Wpływ posuwu nagniatania na chropowatość powierzchni przedmiotów ze stali w stanie utwardzonym

Influence of burnishing feed on the surface roughness of hardened steel parts

PIOTR WASZCZUR  
STEFAN DZIONK  
BOGDAN ŚCIBIORSKI  
WŁODZIMIERZ PRZYBYLSKI\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.564

Prezentowane są wyniki badań eksperymentalnych procesu nagniatania stali twardej (62 HRC) narzędziem ceramicznym (kulka) z dociskiem hydrostatycznym. Analizowano wpływ posuwu nagniatania oraz parametrów poprzedzającej obróbki toczeniem na twardość na stan powierzchni opisanej wybranymi parametrami chropowatości.

**SŁOWA KLUCZOWE:** nagniatanie, parametry chropowatości powierzchni, stal hartowana

*Presented are results of an experimental research of burnishing hardened steel by a ceramic ball with hydrostatic pressure. The influence of burnishing feed rate and hard turning parameters on the surface roughness is analysed.*

**KEYWORDS:** ball burnishing, surface roughness parameters, hard steel

Nagniatanie jest powierzchniową obróbką plastyczną stosowaną w celu uzyskania małych wartości parametrów chropowatości powierzchni. Stosuje się je także, aby podnieść efektywność procesu obróbkowego, gdyż toczenie i nagniatanie można przeprowadzić w jednej operacji. Obróbka ta znajduje zastosowanie również do materiałów twardych, np. stali hartowanych. Obróbka materiałów o twardości powyżej 50 HRC wymaga doboru odpowiednich parametrów procesu, takich jak: siła normalna, posuw nagniatania [1, 2, 4–6] oraz promień zaokrąglenia końcówki narzędzia [3]. W przypadku nagniatania materiałów w stanie utwardzonym najczęściej wykorzystywane jest nagniatanie toczne, w którym elementem nagniatającym jest kulka ceramiczna dociskana za pomocą układu sprężystego [3] lub hydrostatycznie [4, 6], a siła nagniatania jest uzależniona od ciśnienia dostarczanej cieczy roboczej.

W wyniku łożyskowania hydrostatycznego podczas obróbki przedmiotu pomiędzy kulką a jej oprawką utrzymywana jest cienka warstwa filmu smarnego. Obecnie produkuje się również narzędzia do nagniatania dla materiałów o twardości do ok. 65 HRC (np. narzędzia firmy Ecoroll) [4]. Ważnym elementem procesu nagniatania jest dokładność obróbki poprzedzającej. W tym procesie istotne jest, aby struktura stereometryczna – w tym parametry chropowatości obrabianych powierzchni – była możliwie jednolita dla całej partii wyrobów. Zaleca się także, aby parametr  $R_a$  wynosił od 0,32 do 1,25  $\mu\text{m}$  [3]. Struktura powierzchni uzyskana w wyniku toczenia na twardo zależy od geometrii ostrza skrawającego, parametrów obróbki toczeniem oraz gatunku, struktury i własności materiału obrabianego [8]. Na chropowatość powierzchni po toczeniu dominujący wpływ mają posuw

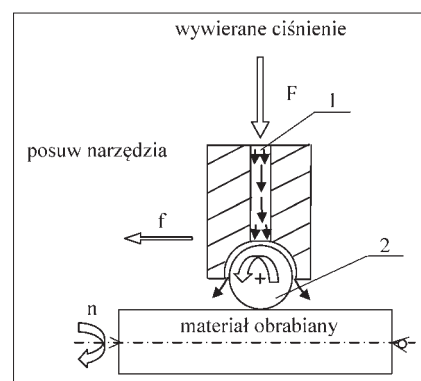
oraz stan ostrza skrawającego. Posuw toczenia nie powinien być krotnością posuwu nagniatania [4].

Z literatury wynika, że maksymalną redukcję parametru chropowatości powierzchni  $R_a$  podczas nagniatania materiałów twardych uzyskuje się przy mniejszej wartości posuwu i prędkości nagniatania [7]. Wskaźnik zmniejszenia chropowatości w przypadku nagniatania materiałów twardych przyjmuje wartość do 2,5.

## Warunki badań

Proces nagniatania realizowano nagniatakiem hydrostatycznym firmy Ecoroll z elementem nagniatającym w postaci kulki o średnicy  $\frac{1}{2}$ " – schemat procesu przedstawiono na rys. 1. Do badań wpływu posuwu nagniatania wykorzystano tokarkę CNC Razmer 2M-5-21/11. Jako medium zastosowano emulsję wody i oleju Hysol. Eksperyment realizowano w warunkach ustalonego ciśnienia równego 40 MPa. Proces nagniatania przeprowadzono z dwoma wartościami posuwu nagniatania  $f_n = 0,06$  i  $0,2$  mm/obr w jednym przejściu narzędzia. Ustalono jedną prędkość nagniatania  $v_n = 140$  m/min. Nagniataniu poddano wałki ze stali Cf 53, których twardość wynosiła  $62 \pm 1$  HRC. Obróbką poprzedzającą nagniatanie było toczenie, które zrealizowano z prędkością skrawania  $v_c = 154$  m/min, głębokością skrawania  $a_p = 0,2$  mm i posuwami  $f_t = 0,1$  i  $0,18$  mm/obr. Do toczenia wykorzystano płytkę WNGA080408S01030A z ostrzem z CBN (7015 według Sandvik) i o promieniu naroża  $r_\epsilon = 0,8$  mm. Pomiary chropowatości powierzchni zrealizowano na profilografometrze Hommel Werke T1000.

Rys. 1. Schemat procesu nagniatania:  
1 – płyn roboczy,  
2 – kulka



## Rezultaty

Celem badań była ocena wpływu posuwu nagniatania  $f_n$  na kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni. Jako istotny parametr przyjęto również wartość posuwu toczenia  $f_t$ , tj. obróbki, która miała przygotować powierzchnię do nagniatania. W tablicy zestawiono wartości średnie pomiarów wybranych parametrów chropowatości powierzchni uzyskane po toczeniu i następnie nagniataniu.

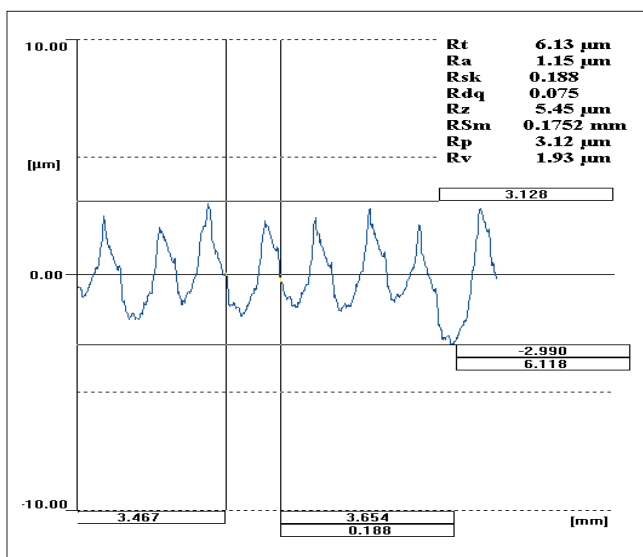
\* Dr inż. Piotr Waszczur (waszczur@pg.gda.pl), dr hab. inż. Stefan Dzionk (sdzionk@pg.gda.pl), dr inż. Bogdan Ścibiorski (bscibior@pg.gda.pl), prof. dr inż. Włodzimierz Przybylski (wprzybyl@pg.gda.pl) – Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Wydział Budowy Maszyn Politechniki Gdańskiej

**TABLICA. Wyniki pomiarów chropowatości powierzchni po toczeniu i nagniataniu**

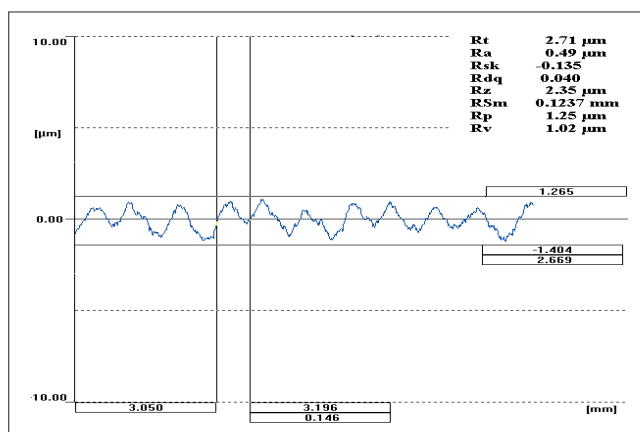
Ra μm	Rsk μm	Rdq μm/μm	Rz μm	RSm mm	Rp μm	Rv μm
po toczeniu z posuwem 0,1 mm/obr						
0,952	0,035	0,076	4,910	0,099	3,186	1,902
po nagniataniu z posuwem 0,06 mm/obr						
0,464	-0,261	0,040	2,466	0,100	1,320	1,056
po nagniataniu z posuwem 0,2 mm/obr						
0,478	-0,226	0,052	2,622	0,068	1,448	1,138
po toczeniu z posuwem 0,18 mm/obr						
1,166	0,228	0,078	5,786	0,162	3,420	2,258
po nagniataniu z posuwem 0,06 mm/obr						
0,508	-0,224	0,038	2,426	0,115	1,200	1,098
po nagniataniu z posuwem 0,2 mm/obr						
0,674	0,014	0,045	3,196	0,141	1,680	1,368

W wyniku nagniatania wartości wysokościowych parametrów chropowatości uległy ok. dwukrotnemu zmniejszeniu. Efektem obróbki nagniataniem było uzyskanie również korzystnych własności powierzchni, które charakteryzują się ujemnymi wartościami współczynnika asymetrii profilu  $R_{sk}$ . Z analizy profili przed nagniataniem i po tej operacji widać, że zmianie uległy wysokości pojedynczych elementów profilu w wyniku wykruszenia wierzchołków nierówności. Taki mechanizm potwierdza zmiana średniego kwadratowego wzniosu profilu  $R_{dq}$ . Wartość tego parametru również uległa znacznemu zmniejszeniu. Na rys. 2 pokazano profil otrzymany w wyniku toczenia z posuwem 0,18 mm/obr.

Średnia szerokość rowków elementów profilu  $R_{Sm} = 0,1752$  mm odpowiada w przybliżeniu wartości posuwu zastosowanego podczas toczenia. W wyniku nagniatania z posuwem o wartości 0,06 mm/obr uzyskano zmniejszenie wszystkich wartości parametrów chropowatości (rys. 3). Dodatkowo zaobserwowano zmniejszenie wartości parametru  $R_{Sm}$ , które można wyjaśnić zmianą struktury powierzchni w wyniku zastosowania mniejszego posuwu nagniatania. Adekwatna analiza dla powierzchni po toczeniu z posuwem  $f_t = 0,1$  mm/obr wykazała, że kształtowanie struktury powierzchni w wyniku nagniatania przebiega podobnie.



Rys. 2. Przykładowy profil powierzchni uzyskany po toczeniu z posuwem 0,18 mm/obr



Rys. 3. Przykładowy profil powierzchni uzyskany po nagniataniu z posuwem 0,06 mm/obr

Zmniejszenie parametrów chropowatości powierzchni w wyniku obniżenia wartości posuwu toczenia na twardo poprawia parametry końcowego procesu nagniatania. W tym zakresie w rezultacie trzykrotnego zwiększenia posuwu nagniatania uzyskano porównywalne efekty określone parametrami powierzchni. Na taki wynik wpływ miała średnica kulki nagniatającej. Można przypuszczać, że duża krzywizna elementu nagniatającego powoduje nagniatanie wtórne powierzchni przy małym posuwie, w wyniku czego uzyskuje się niewielką zmianę wartości parametrów chropowatości (tablica).

## Podsumowanie

Zastosowanie obróbki nagniataniem do materiałów twardych (62 HRC) daje zadowalające efekty w postaci zmian struktury powierzchni. W tym przypadku kształtowanie powierzchni twardych przebiega w inny sposób niż powierzchni nieutwardzonych, gdyż występują tam większe siły nagniatania. Wartość uzyskanych parametrów chropowatości powierzchni po nagniataniu zależy również od takich czynników, jak: wartość posuwu nagniatania, wartość posuwu toczenia oraz krzywizna i wielkość (średnica) elementu nagniatającego. Średnica elementu nagniatającego ma wpływ na wartość posuwu nagniatania i czas obróbki. Natomiast stosowanie większych krzywizn elementu nagniatającego wymaga zwiększenia siły nagniatania, a w przypadku stosowania nagniataka z dociskiem hydrostatycznym – większych ciśnień czynnika roboczego.

## LITERATURA

- Grzesik W., Żak K. "Modification of surface finish produced by hard turning using superfinishing and burnishing operations". *Journal of Materials Processing Technology*. 212 (2012): pp. 315–322.
- Grzesik W., Żak K. "Producing high quality hardened parts using sequential hard turning and ball burnishing operations". *Precision Engineering*. 37 (2013): pp. 849–855.
- Korzyński M. „Nagniatanie ślizgowe”. Warszawa: WNT, 2007.
- Klocke F., Liermann J. "Roller burnishing of hard turned surfaces". *Int. J. Machining Tools Manufacturing*. Vol. 38, No 5–6 (1998): pp. 419–423.
- Lin Y.C., Wang S.W., Lai H.Y. "The relationships between surface and burnishing factor in the burnishing process". *Int J Adv Manuf. Technology*. 23 (2004): pp. 666–671.
- Luca L., Neagu-Venzel S., Marinescu I. "Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels". *Precision Engineering*. 29 (2005): pp. 253–256.
- Przybylski W. „Nagniatanie stali o różnej twardości narzędziami ceramicznymi”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Koszalińskiej*. Nr 34 (2004): s. 251–258.
- Przybylski W., Waszczur P., Dobrzyński M. „Analiza doboru parametrów obróbkowych w toczeniu na twardo w kontekście nagniatania gładkościowego”. *Materiały V Szkoły Obróbki Skrawaniem*. Opole, 2011, s. 327–334.