

Badania wpływu kulowania obróbką wibrościerną na własności stali NC11LV

Research of the effect of shot peening vibro-abrasive machining on the properties of the steel NC11LV

SŁAWOMIR SPADŁO
DAMIAN BAŃKOWSKI
JOANNA KOWALCZYK *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.1.19>

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu obróbki wibrościernej z użyciem – jako medium roboczego – kuleczek stalowych na własności tarcz wykonanych ze stali NC11 (X160CrMoV121). Testy tribologiczne z wykorzystaniem testera T-01 pozwoliły na określenie zależności pomiędzy czasem kulowania a współczynnikiem tarcia i zużyciem liniowym. Wyznaczono typowe profile zużycia.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka wibrościerna, kulowanie, badania tribologiczne

The article presents the results of the effect of vibro-abrasive machining using as a working medium balls of steel-check on the properties of disks made of steel NC11 (X160CrMoV121). Tribological tests using the tester T-01 made it possible to determine the relationship of time of shot peening on the coefficient of friction and wear linear-in. They were presented typical consumption profiles.

KEYWORDS: vibro-abrasive machining, tumbling, rotofinish, shot peening, tribological tests

Obróbka wibrościerna

Obróbka z użyciem luźnych kształtek ściernych w wibrujących pojemnikach jest jedną z odmian obróbki wykończeniowej detali. Jest to rodzaj obróbki mechaniczno-chemicznej [1] z zastosowaniem oprócz medium obróbkowego – w postaci odpowiednio dobranych kształtek – również past ściernych bądź płynów wspomagających procesy polerowania [2]. Polega na mikroskrawaniu nierówności z powierzchni obrabianych elementów. Może służyć do usunięcia: warstw tlenkowych, zgorzeliny, śladów po obróbce termicznej, a także rdzy. Natomiast ostre krawędzie często po obróbce skrawaniem ulegają zaokrągleniu [3, 4]. Możliwe jest również wybliszczenie powierzchni, często rozumiane jako poprawa refleksyjności [5]. Procesy prowadzone dwuetapowo (wstępne wygładzanie, a następnie polerowanie z użyciem kształtek stalowych) umożliwiają uzyskanie bardziej wymiernych efektów procesu wybliszczania. Następuje wówczas wyraźne umocnienie warstwy wierzchniej wskutek zgniotu [6].

Badania tribologiczne

Chropowatość metalowej powierzchni ślizgowej ma zasadnicze znaczenie, gdy chodzi o rodzaj występującego tarcia [7]. W przypadku bardzo gładkich powierzchni dominującą rolę w procesie tarcia odgrywa adhezja powierzchni próbki do powierzchni metalowej przeciwpróbki. Wynikiem tego jest duża wartość współczynnika tarcia – ok. dwu-

krotnie większa niż przy tarcu po powierzchniach bardziej chropowatych. Występowanie silnej adhezji niekorzystnie wpływa także na intensywność zużycia [8]. Zjawisko adhezji podczas tarcia po gładkich metalowych powierzchniach przejawia się jeszcze silniej wraz ze wzrostem nacisku, powodującego wzrost rzeczywistej powierzchni styku i zbliżenie cząstek współpracujących [9].

Podobnie jak chropowatość twardość metalowego elementu ma istotny, chociaż mniej intensywny [10] wpływ na rodzaj zachodzących na powierzchni ślizgowej oddziaływań. Ze wzrostem twardości powierzchni metalu, będącej miarą stanu umocnienia warstwy wierzchniej, następuje wzrost energii powierzchniowej [9]. Z tribologicznego punktu widzenia występowanie na metalowej powierzchni energii swobodnej powoduje wzbudzenie atomów warstwy powierzchniowej i tym samym zwiększenie ich aktywności chemicznej. Wywiera to określony wpływ na wzajemne oddziaływanie powierzchni będących w styku (tarcza–kula), inicjując dyfuzję, sorpcję i adhezję. Wzrost temperatury wywołany tarcem, którego nie da się uniknąć, dodatkowo zwiększa udział zjawisk adhezyjnych. To z kolei jest związane ze wzrostem energii powierzchni, w odróżnieniu jednak od energii powierzchniowej [8] (napięcia powierzchniowego), która maleje ze wzrostem temperatury. Wzrost energii powierzchni powoduje wzrost amplitudy drgań atomów na powierzchni metalu w kierunku prostopadłym do powierzchni, co sprzyja powstawaniu wiązań z atomami obcymi na powierzchni tworzywa (adhezja, sorpcja).

Parametry badań

Obróbka wibrościerna z wykorzystaniem procesu kulowania kształtkami metalowymi jest coraz częściej stosowana. Jej efektem jest uzyskanie powierzchni błyszczącej, refleksyjnej, o małej chropowatości. Celem pracy była ocena wpływu obróbki wibrościerniej z wykorzystaniem metalowych kształtek na warunki tarcia technicznie suchego (TTS) skojarzenia tarcza–kula na testerze T-01. Rozważaniom poddano również charakter przekroju poprzecznego powstałego zużycia w zależności od czasu obróbki.

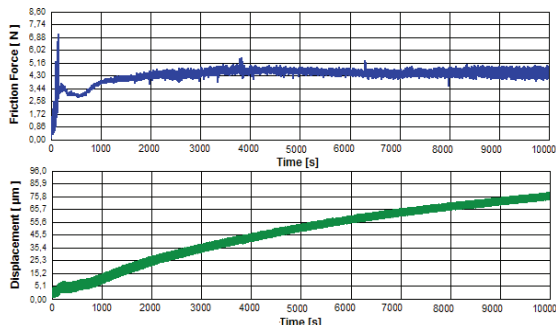
Do badań użyto wygładzarki wibrościerniej firmy Rollwasch SMR-D25 o pojemności zbiornika roboczego 25 l. W tumblerze umieszczono ok. 15 kg kształtek ściernych metalowych z serii SB 3,1 lotto, przeznaczonych do obróbki polerująco-umacniającej. Oddziaływanie kształtek w obróbce wibrościerniej przypomina proces kulowania. Dodatkowo proces prowadzono z dodatkiem płynu wspomagającego FE L120-B32/R, mającego na celu zwilżenie powierzchni, a także jej zabezpieczenie przed działaniem środowiska zewnętrznego. Częstotliwość drgań pojemnika zadana była na 2500 Hz. Tarcze umieszczono w zbiorniku, odpowiednio na 60 oraz 120 min. Rozważono również przypadek, gdzie oba elementy skojarzenia tribologicznego – tarcza i kulka – umieszczone były na 120 min.

* Dr hab. inż. Sławomir Spadło prof. PŚk (sspadlo.tu.kielce.pl), mgr inż. Damian Bańkowski (dbankowski@tu.kielce.pl), mgr inż. Joanna Kowalczyk (jkowalczyk@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska

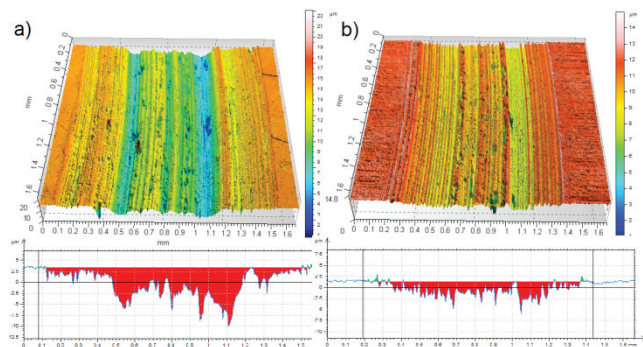
Badania tribologiczne przeprowadzono w Katedrze Mechaniki na Politechnice Świętokrzyskiej z wykorzystaniem testera tribologicznego T-01M, pracującego w skojarzeniu kula-tarcza zgodnie z wymaganiami norm ASTM G 99. Tarcze wykonane były ze stali NC11 (X160CrMoV121), natomiast kulki – ze stali 100Cr6 o średnicy 3 mm. Podstawą badań było tarcie technicznie suche dla tarcz z wymienionego materiału w stanie wyjściowym, odniesione do tarcz kulowanych przez 60 oraz 120 min; rozważany był przypadek tarczy i kulki poddanych oddziaływaniu w wibrującym pojemniku przez 120 min. Temperatura podczas badań wynosiła $22,5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), ciśnienie atmosferyczne było równe $978,4\text{ hPa}$ ($\pm 4\text{ hPa}$), natomiast wilgotność powietrza wynosiła ok. $39,7\%$ ($\pm 5\%$).

Oprogramowanie testera tribologicznego na bieżąco zbiera informacje i przedstawia je w postaci wykresu siły tarcia oraz zużycia liniowego w zależności od czasu trwania testu (przykładowe dane zamieszczono na rys. 1). Należy pamiętać, że współczynnik tarcia to wartość siły tarcia zanotowanej w danym momencie odniesiona do obciążenia kulki stalowej (10 N).

Na podstawie obserwacji profili wytarć powstałych po teście tribologicznym z wykorzystaniem profilometru optycznego Talysurf CCI Lite – Taylor Hobson sporządzono tabl. I. Przykładowe profile wraz z zaznaczonymi przykładowymi przekrojami poprzecznymi zamieszczono na rys. 2. Widoczne są różne charaktery powstałych wytarć, które mają decydujący wpływ na współczynnik tarcia i zużycie liniowe. Wspomniane czynniki rosną wraz z czasem trwania obróbki umacniającej, natomiast pole zużycia maleje i ma łagodniejszy charakter pozbawiony licznych wgłębień i wzniesień.



Rys. 1. Zależności siły tarcia i zużycia liniowego od czasu, uzyskane z testera dla próbki niepoddanej wcześniej obróbce wibrościerniej

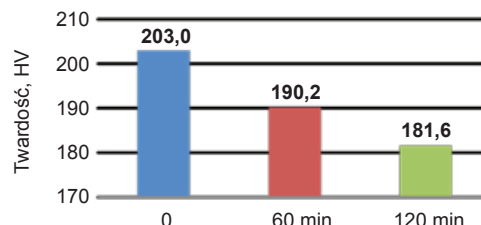


Rys. 2. Widoki zużycia 3D po testach tribologicznych tarcz poddanych wcześniej obróbce wibrościerniej przez: a) 60 min, b) 120 min

Na podstawie badań mikrotwardości w zależności od czasu trwania obróbki wibrościerniej tarcz sporządzono rys. 3, przedstawiający zależność twardości od czasu kulowania. Twardość mierzono w skali Vickersa, przy stałym obciążeniu 1 kg; czas pojedynczego pomiaru wynosił 15 s.

TABLICA. Parametry uzyskane z badań SGP i badań tribologicznych

Czas, min	Maks. głębokość, μm	Pole zużycia, μm^2	R_a , μm	Współczynnik tarcia μ	Zużycie, μm
00	6,33	4785	1,174	0,478	75,8
60	13,39	5693	0,452	0,480	38,8
120	11,53	3986	0,352	0,637	92,3
120T+K	7,26	2306	0,138	0,615	50,2



Rys. 3. Zależność twardości tarcz od czasu obróbki wibrościerniej

Podsumowanie

Obróbka wibrościerna z użyciem kulek stalowych stanowi skuteczną metodę wyblyszczania powierzchni.

Obróbka kulowaniem poprzez obróbkę wibrościerną powoduje zwiększenie współczynnika tarcia μ z ok. 0,48 do 0,62. Zużycie liniowe również rośnie. Należy zaznaczyć, że przy 120 min kulowania tarczy i kuli zużycie liniowe jest blisko dwukrotnie mniejsze ($50\text{ }\mu\text{m}$) niż w analogicznej próbie, gdzie tylko tarcza była umacniana kulowaniem ($92\text{ }\mu\text{m}$).

Obróbka wibrościerna z użyciem kulek stalowych zmniejsza twardość tarcz. Przed oddziaływaniem wibrujących kuleczek twardość tarcz wynosiła ok. 200 HV i malała o ok. 10 HV na każde 60 min oddziaływania.

W stanie wyjściowym tarcze miały zwiększoną twardość, co było spowodowane odkształceniem plastycznym sprężystym po obróbce skrawaniem. Kulowanie odpręży warstwę wierzchnią.

LITERATURA

- Filipowski R., Marcinak M. „Techniki obróbki mechanicznej i erozyjnej”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000.
- Starosta R. „Obróbka powierzchniowa”. Gdynia: Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, 2008.
- Spadło S., Pierzynowski R. „Zastosowanie obróbki wibrościerniej do polerowania powierzchni elementów amunicji”. *Machine Engineering*. 12, 1, Electrical Machining Technology, s. 70–77.
- Spadło S., Młynarczyk P., Bańkowski D. „Analysis of the effect of processing vibro-abrasive finishing on the geometric structure surface scales ammunition and sharp edges”. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 66, 1: s. 39–44.
- Kacalak W., Tandecka K. „Effect of superfinishing methods kinematic features on the machined surface”. *J. Machine Engineering*. 4 (2012): s. 35–48.
- Eric C. Ames. „Repair of high-value high-demand spiral bevel gears by superfinishing”. *Gear Technology*. October (2012): s. 50–55.
- Xiao L., Rosen B.-G., Naser Amini, Nilsson P.H. „A study on the effect of surface topography on rough friction in roller contact”. *Wear*. 254: s. 1162–1169.
- Ozimina D., Madej M., Kałdoński T. „The wear resistance of HVOF sprayed composite coating”. *Tribology Letters*. 41, 1: s. 103–111.
- Wieczorek J., Dolanta-Grosz A., Dyzia M., Ślężiona J. „Właściwości tribologiczne kompozytowych materiałów o osnowie stopu aluminium AK12 zbrojonych cząsteczkami ceramicznymi”. *Kompozyty*. 1 (2001): s. 207–210.
- Janecki D., Stępień K., Adamczak S. „Problems of measurement of barrel- and saddle-shaped elements using the radial method”. *Measurement*. 43, 5 (2010): s. 659–663.