

Badania obróbki wykończeniowej elementów wykrawanych z wykorzystaniem luźnych kształtek

Tests of finishing work of parts cut using loose fittings

SŁAWOMIR SPADŁO
DAMIAN BAŃKOWSKI
MIECZYŚLAW MAMLA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.166>

English version available on: www.mechanik.media.pl

Artykuł zawiera przykład zastosowania niekonwencjonalnej metody wykończeniowej z użyciem luźnych kształtek ściernych, zwanej obróbką wibrościerną. Jako przedmioty do obróbki przyjęto typowe części maszyn w postaci metalowych podkładek. Szczególną uwagę zwrócono na zaokrąglenie krawędzi oraz zmniejszenie chropowatości powierzchni i poprawę jej refleksyjności. Określono wpływ podstawowych parametrów procesu na uzyskiwane rezultaty. W wyniku badań wyznaczono ubytek masy w funkcji czasu trwania obróbki. Dzięki obserwacjom na profilometrze optycznym Taylor Hobson Talysurf CCI Lite możliwe było zgromadzenie i przeanalizowanie wyników w postaci podstawowych parametrów struktury geometrycznej powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka wykończeniowa, obróbka wibrościerna, chropowatość powierzchni, warstwa wierzchnia

The paper presents an example of an unconventional finishing method using loose abrasive fittings known as vibration machining. Typical machine parts in the form of metal supports have been the workpieces. Particular attention has been paid to rounding the edges, reducing the roughness of the surface, and improving its reflectivity. The influence of basic process parameters on the achieved results has been determined. Tests allowed to determine the mass loss as a function of machining time. Due to observations using the Taylor Hobson Talysurf CCI Lite optical profilometer, it was possible to accumulate and to analyze results in a form of basic parameters of surface geometric structure.

KEYWORDS: vibratory machining, finishing, surface roughness, surface layer

W czasach wysokiego rozwoju gospodarczego popyt na produkty wciąż rośnie. Producenci stale dążą do obniżenia kosztów produkcji, skrócenia czasu wykonania gotowych wyrobów, a przede wszystkim – do zwiększenia konkurencyjności wyrobów przez podniesienie ich estetyki. Cechy wizualne często wpływają na decyzje potencjalnych konsumentów. Jedną z możliwości osiągnięcia pożądaných cech struktury geometrycznej powierzchni jest obróbka wykończeniowa luźnymi kształtkami w wygładzarkach pojemnikowych. W artykule przedstawiono przykład zastosowania takiej obróbki z wykorzystaniem luźnych kształtek w wibrującym pojemniku, tj. obróbki wibrościerniej.

Obróbka wibrościerna

Proces chemiczno-mechanicznej obróbki wykończeniowej luźnymi kształtkami w wibrujących pojemnikach jest określany mianem obróbki wibrościerniej [1–3]. Często też stosuje się nazwy: obróbka wibracyjna lub roto-wibracyjna,

bębnowanie i trowalizacja, a używając nomenklatury anglosaskiej – *vibratory mass finishing*, *rotofinish* lub *tumbling* [4–6]. Obróbka wibrościerna jest wykorzystywana jako obróbka wykończeniowa – do usuwania zadziórów z krawędzi bądź wygładzania powierzchni [7, 8]. Proces odbywa się w szczelnie zamkniętych pojemnikach, zawierających wsad w postaci obrabianych elementów oraz medium roboczego (w formie odpowiednio dobranych kształtek ściernych lub polerujących) i płynu roboczego wspomagającego obróbkę [9, 10]. Ruchy wibracyjne pojemnika roboczego maszyny wymuszają przemieszczanie się względem siebie kształtek ściernych i obrabianych części [11–14]. To powoduje wzajemne oddziaływanie materiałów zawartych w pojemniku oraz ścieranie nierówności powierzchni [15, 16]. Obróbka wibrościerna znalazła szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, zwłaszcza w przypadku obróbki wykończeniowej drobnych przedmiotów o złożonej geometrii [17–21].

Parametry obróbki

W badaniach wykorzystano urządzenie do obróbki wibrościerniej Rollwasch SMR-D 25. Część aktywną wsadu stanowiły kształtki ściernie PB 14 KT o spoiwie poliesterowym. Ze względu na duże zdolności skrawne są one przeznaczone do gratowania [13]. Dodatkowo jako czynnik wspomagający polerowanie i rozjaśnianie powierzchni zastosowano płyn z serii ME L100 A22/N. Parametry procesu zestawiono w tabl. I. Celem badań była ocena ubytku masowego oraz cech struktury geometrycznej powierzchni (SGP) w funkcji czasu wygładzania.

TABLICA I. Parametry procesu

Urządzenie	Wygładzarka SMR-D 25
Kształtki ściernie	PB 14 KT
Płyn wspomagający	ME L100 A22/NF
Częstotliwość drgań, Hz	2500
Czas obróbki, min	20, 40, 60, 80, 100, 120

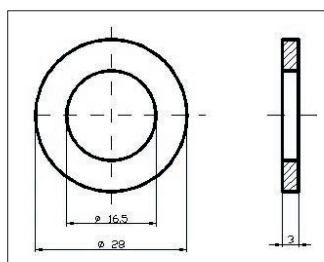
Wyniki badań

W ujęciu technicznym analiza technologii wygładzania wibracyjnego oraz metodami manualnymi sprowadza się przede wszystkim do porównania wyników badań powierzchni uzyskanych tymi sposobami. Badania doświadczalne przeprowadzono dla próbek ze stali C45 o wymiarach podanych na rys. 1.

Próbki w postaci pierścieni wykonano metodą obróbki plastycznej w wyniku wykrawania. Próbki pogrupowano w partie po 5 sztuk. W celu określenia ubytku masowego próbek dokonano ich ważenia. W równych odstępach czasu, wynoszących 20 min, wydobywano poszczególne próbki. Czas obróbki ostatniej partii próbek wynosił 120 min. W efekcie otrzymano 6 wyników pomiarowych. Ponownie zmierzono masę próbek.

Wyniki pomiarów zestawiono w tabl. II.

* Dr hab. inż. Sławomir Spadło, prof. PŚk (sspadlo@tu.kielce.pl), mgr inż. Damian Bańkowski (dbankowski@tu.kielce.pl) – Zakład Materiałoznawstwa i Technologii Amunicji, Politechnika Świętokrzyska; mgr inż. Mieczysław Mamla (m.mamla@mesko.com.pl) – Zakład Budowy Maszyn i Narzędzi Specjalnych Mesko S.A.



Rys. 1. Kształt i wymiary próbek użytych do badań

TABLICA II. Wyniki pomiarów ubytku masy od czasu obróbki

Czas obróbki, min	Δm , mg	MMR, ‰	$\Delta m/t$, mg/h	$\Delta V/t$, mm ³ /h
20	24,6	0,58	73,8	9,40
40	31,2	0,72	46,8	5,96
60	43,4	1,01	43,4	5,53
80	56,4	1,31	42,3	5,39
100	69,3	1,60	41,6	5,30
120	82,4	1,92	41,2	5,25

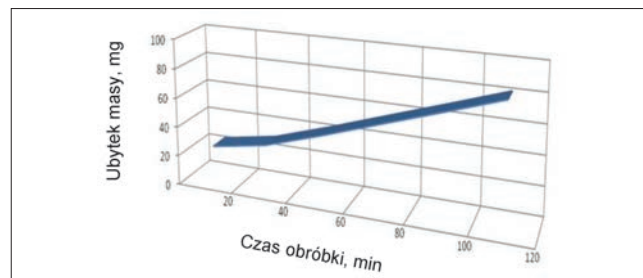
Oznaczenia:
 Δm – ubytek masy
 MMR – ubytek masy odniesiony do masy przed obróbką
 $\Delta m/t$ – ubytek masy odniesiony do czasu – wydatek masowy
 $\Delta V/t$ – ubytek objętościowy odniesiony do czasu – wydajność objętościowa

Analizując te wyniki, można zauważyć, że – zgodnie z oczekiwaniami – masa próbek maleje wraz z upływem czasu obróbki. W przypadku rozpatrywanych detali ubytek masy obrabianych elementów po 20 min wyniósł 24,6 mg, natomiast w przypadku obróbki trwającej 120 min zarejestrowano ubytek ponadtrzykrotnie większy – wyniósł on średnio 82,4 mg. W celu oszacowania ilościowych zmian masy próbek określono ubytek masowy – parametr MMR (*material removal rate*). Ubytek masy, wyrażony w mg, został obliczony na podstawie ubytku masy w stosunku do masy (części) przed operacją wygładzania. Analogicznie dla czasu obróbki równego 20 min masa zmalała o 0,58‰, natomiast dla czasu 120 min – o 1,92‰. Analiza parametru wydajności masowej obróbki wskazuje, że po pierwszych 20 min trwania procesu wartość $\Delta m/t$ wynosi 73,8 mg/godz. Jest to wartość dwukrotnie większa niż osiągane na kolejnych etapach procesu. Analogicznie przedstawia się wydajność objętościowa $\Delta V/t$ – dla pierwszych 20 min wynosi 9,40 mm³/godz, a na kolejnych etapach obróbki osiąga wartości w granicach 5,5 mm³/godz. Można więc stwierdzić, że na pierwszym etapie obróbki usuwanych jest najwięcej ostrej krawędzi, zadziarów i największych nierówności powierzchni.

W celu zobrazowania zmiany masy partii próbek sporządzono wykres (rys. 2) przedstawiający ubytek masowy w funkcji czasu obróbki. Jak widać, z upływem czasu obróbki ubytek masowy rośnie i jest to zależność niemalże liniowa. Aby móc określić, jak zmieniał się ubytek masowy w pojedynczych próbkach, odpowiednie wyniki z tabl. II należało odnieść do liczby próbek w partii (w analizowanym przypadku partia zawierała 5 próbek). Policzono również zmiany ubytku masy pomiędzy kolejnymi, 20-minutowymi okresami trwania obróbki (tabl. III).

Można zauważyć, że największy ubytek masy następuje w czasie pierwszych 20 min trwania procesu – w rozpatrywanym przypadku wyniósł on 4,92 mg. Dla kolejnego okresu, tj. od 20. do 40. minuty, różnica mas przed obróbką i po obróbce była blisko czterokrotnie mniejsza niż dla pierwszego okresu. Kolejne okresy charakteryzują się już prawie liniową zależnością ubytku masy w odniesieniu do okresu poprzedzającego – dla badanego elementu ubytek masy osiąga wartość w granicach 2,5 mg. Potwierdza to tezę, że na pierwszym etapie obróbki usuwanych jest najwięcej zadziarów i nierówności powierzchni.

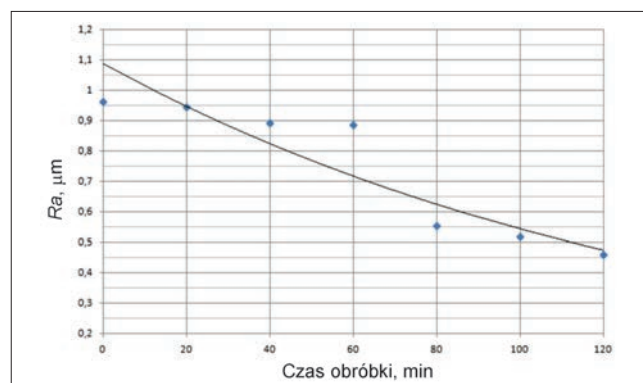
Obróbkę wibrościerną prowadzi się z zastosowaniem relatywnie prostych urządzeń technologicznych. W wielu przypadkach ta metoda może stanowić rozwiązanie problemów technologicznych związanych z obróbką wykończeniową części maszyn o skomplikowanych kształtach. Uzyskane wyniki badań chropowatości powierzchni w funkcji czasu obróbki pozwoliły na sporządzenie wykresu (rys. 3). W celu aproksymacji wyników wykorzystano linię trendu typu wykładniczego, która stanowi najlepsze przybliżenie zależności zmian chropowatości powierzchni w funkcji czasu trwania procesu wygładzania.



Rys. 2. Zależność ubytku masy w funkcji czasu obróbki

TABLICA III. Ubytek masowy pojedynczych próbek oraz ubytek masowy w kolejnych interwałach czasu

Czas obróbki, min	Ubytek masy, mg	Ubytek masy w kolejnych interwałach czasowych (20 min), mg
20	4,92	4,92
40	6,24	1,32
60	8,68	2,44
80	11,28	2,60
100	13,86	2,58
120	16,48	2,62



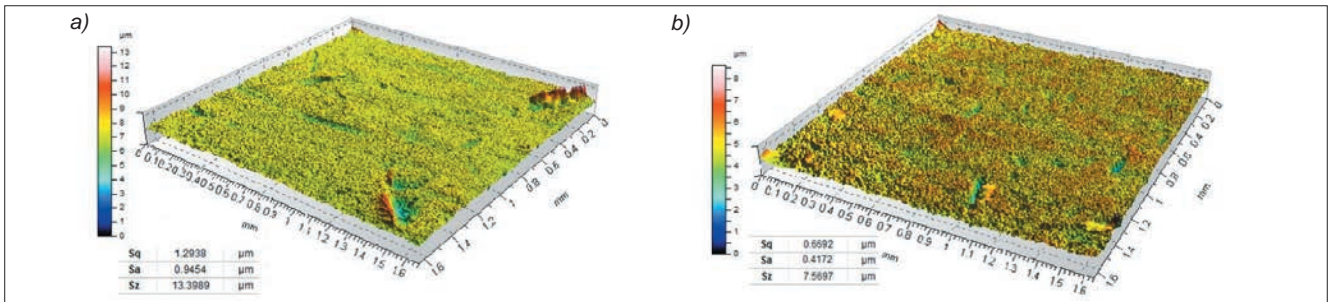
Rys. 3. Zależność chropowatości powierzchni Ra od czasu obróbki

Struktura geometryczna powierzchni

Wstępnej oceny topografii powierzchni dokonano z wykorzystaniem techniki mikroskopowej (makroskopii). Na podstawie obserwacji makroskopowych powierzchni można stwierdzić występowanie nieregularnie rozłożonych rys, zorientowanych na powierzchni w sposób losowy. Ponadto na powierzchni widoczne są ślady po obróbce plastycznej (walcowaniu) blach, z których wykonano badane pierścienie. Planując obróbkę wykończeniową, trzeba zadbać o odpowiednią jakość materiałów wyjściowych, z których będą wykonywane przedmioty, ponieważ wady pochodzące z poprzedzających etapów wytwarzania mogą wydłużać czas wygładzania i podnosić koszty obróbki.

Do pomiarów topografii 3D powierzchni wykorzystano profilometr optyczny Talysurf CCI Lite firmy Taylor Hobson.

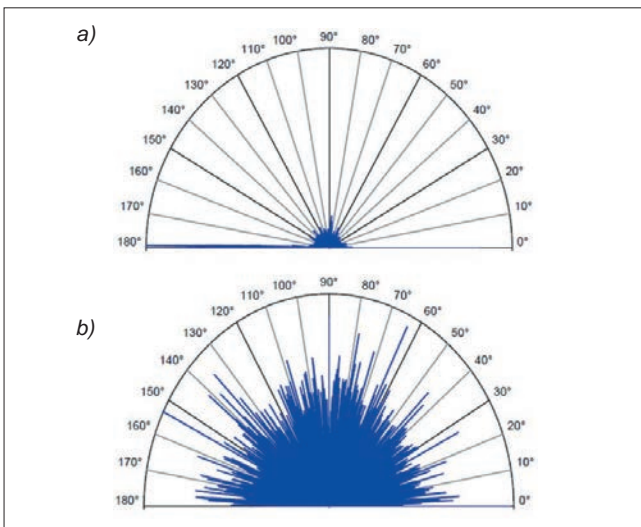
Analiza 3D powierzchni pierścieni obrobionych metodą wibrościerną pozwala stwierdzić (rys. 4), że w wyniku obróbki próbek przez 120 min otrzymano średnią



Rys. 4. Struktura geometryczna powierzchni 3D elementów: a) przed obróbką wibrościerną, b) po 120 min obróbki wibrościerniej

arytmetyczną wysokość powierzchni Sa [22] wynoszącą $0,42 \mu\text{m}$, podczas gdy dla próbki w stanie wyjściowym parametr ten wynosił $0,95 \mu\text{m}$. Również maksymalna wysokość powierzchni Sz zmniejszyła się z $13,40 \mu\text{m}$ do $7,57 \mu\text{m}$ po 120 min obróbki.

Rozkłady kierunkowe SGP we współrzędnych biegunowych pokazano na rys. 5. Rozkład nierówności przed procesem wygładzania (rys. 5a) wskazuje, że SGP jest jednokierunkowa – w toku analizy ujawniono cechy mikrogeometryczne powierzchni wynikające z oddziaływań narzędzi w procesie walcowania (są to ślady równoległe do kierunku walcowania). Wskutek oddziaływań kształtek w warunkach wygładzania pojemnikowego (należy podkreślić, że w objętości wsadu oddziaływanie mikrokrawędzi ziaren ściernych z powierzchnią obrabianą ma charakter losowy) konstytuowana jest niezdeterminowana (losowa) struktura geometryczna powierzchni. Przykładowy rozkład biegunowy mikronierówności powierzchni po wygładzaniu przedstawiono na rys. 5b. Analiza wykresu biegunowego wskazuje na występowanie równomiernego rozkładu kierunkowego mikronierówności. Można więc stwierdzić, że powierzchnia po obróbce luźnymi kształtkami charakteryzuje się izotropową strukturą geometryczną – nie ma uprzywilejowanych orientacji i kierunków nierówności.



Rys. 5. Wykres biegunowy kierunkowości struktury: a) przed obróbką wibrościerną – izotropia ok. 10%, b) po 120 min obróbki wibrościerniej – izotropia ok. 77%

Podsumowanie

Obróbka wibracyjna z zastosowaniem luźnych kształtek jest efektywnym sposobem obróbki wykończeniowej – zarówno prostych, jak i bardziej skomplikowanych (pod względem geometrii) elementów.

Największy ubytek masowy, a zarazem największą efektywność wygładzania, osiąga się na początkowym

etapie procesu wygładzania. W przypadku pierwszych 20 min obróbki ubytek ten dla pojedynczej próbki wyniósł $4,92 \text{ mg}$. Dalszy przebieg procesu charakteryzuje się liniowym ubytkiem masy w funkcji czasu obróbki. Ubytek masy w kolejnych 20-minutowych okresach wynosi ok. $2,5 \text{ mg}$.

Badania chropowatości powierzchni potwierdziły, że dzięki odpowiedniemu doborowi parametrów obróbki wartość parametru Ra można zmniejszyć ok. dwukrotnie – z $0,97 \mu\text{m}$ do $0,46 \mu\text{m}$.

W wyniku obróbki wibrościerniej uzyskuje się powierzchnię o losowym rozkładzie mikronierówności.

LITERATURA

- Bańkowski D., Spadło S. "Influence of the smoothing conditions in vibro-abrasive for technically dry friction the parts made of steel X160Cr-MoV121". *Metal 2016: 25th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials* (2016): s. 1019–1024.
- Bańkowski D., Spadło S. "The application of vibro-abrasive machining for smoothing of castings". *Archives of Foundry Engineering*. 17, 1 (2017): s. 169–173, DOI: 10.1515/afe-2017-0031.
- Bańkowski D., Spadło S. "Influence of the smoothing conditions in vibro-abrasive finishing and deburring process for geometric structure of the surface machine parts made of aluminum alloys EN AW-2017A". *Metal 2015: 24th International Conference on Metallurgy and Materials* (2015): s. 1062–1068.
- Davidson D.A. "Mass finishing processes". *2002 Metal Finishing Guidebook and Directory*. New York: Elsevier Science, 2002.
- Rao Suren B. "Repair of aircraft transmission gears via isotropic superfinishing". *Gear Technology*. May (2009).
- Brinksmeier E., Giwerczew A. "Hard gear finishing viewed as a process of abrasive wear". *Wear*. 258 (2005).
- Harasymowicz J., Wanatuch E. "Obróbka gładkościowa". Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 1994.
- Górski E. "Obróbka gładkościowa". Warszawa: WNT, 1963.
- Woźniak K. "Obróbka powierzchni w wygładzarkach pojemnikowych". Warszawa: WNT, 2017.
- Nowicki B., Stefko A., Szulc S. "Obróbka powierzchniowa". Warszawa: PWN, 1970.
- Filipowski R., Marcinak M. "Techniki obróbki mechanicznej i erozyjnej". Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000, s. 304–308.
- Oryński F., Synajewski R., Bechciński G. "Fizyczny model szlifowania wibracyjnego płaszczyzn w kierunku poprzecznym". *Mechanik*. 86, 1 (2013): s. 30–34.
- www.rollwasch.it/en, Vibro Dry Experience PL, Rollwasch Italiana S.p.a (dostęp: 18.04.2017).
- Kacalak W., Tandecka K. "Effect of superfinishing methods kinematic features on the machined surface". *Journal of Mechanical Engineering*. 4 (2012): s. 35–48.
- Starosta R. "Obróbka powierzchniowa". Gdynia: Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, 2008.
- Bańkowski D., Spadło S. "Investigations of influence of vibration smoothing conditions of geometrical structure on machined surfaces". *4th International Conference Recent Trends in Structural Materials*. COMAT 2016. T. 179 (2017), DOI: 10.1088/1757-899X/179/1/012002.
- Matuszewski M. "Nośność powierzchni a rodzaj jej obróbki". *Tribologia*. 6 (2011): s. 143–150.
- Gillespie L.K. "Deburring and Edge Finishing Handbook". Society of Manufacturing Engineers, 1999.
- Aurich J.C., Dornfeld D., Arrazola P.J., Franke V., Leitz La S. "Burrs – Analysis, control and removal". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 58 (2009): s. 519–542.
- 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 (2004): s. 1162–1169.
- Mikołajczyk T., Borboni A., Mackowski D., Matuszewski M. "Example of tool with two numerical controlled axes". *Applied Mechanics and Materials*. 772 (2015): s. 224–228.
- Adamczak S. "Pomiary geometryczne powierzchni". Warszawa: WNT, 2009.