

	Organizatorzy:	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKİ ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	Politechnika Łódzka		
	Wydział Mechaniczny		
• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn			

Modelowanie wpływu obróbki strumieniowo ścierniej na umocnienie warstwy wierzchniej

Modelling the impact of abrasive blasting to strengthen the surface layer

PAULINA BYCZKOWSKA
 JACEK SAWICKI
 LESZEK KLIMEK
 SEBASTIAN LIPA *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.343

Niniejsza praca przedstawia numeryczny model obróbki strumieniowo - ścierniej oraz wpływ jaki wywiera ścierniwo wyrzucane przy pomocy strumienia sprężonego powietrza w kierunku oczyszczanej a zarazem modyfikowanej powierzchni. Analizę numeryczną przeprowadzono dla procesu obróbki elektrokorundem uwzględniając takie parametry jak: kąt nachylenia strumienia ścierniwa, odległość dyszy od powierzchni, granulacja ścierniwa. Przeprowadzona symulacja komputerowa pozwoliła na analizę rozkładu odkształceń, naprężeń oraz głębokość ich zasięgu w zależności od parametrów procesu obróbki strumieniowo-ścierniej.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka strumieniowo - ścierna, elektrokorund, modelowanie numeryczne, Ansys LS-Dyna

This paper presents a method of modeling blast – abrasive treatment and the influence of the abrasive driven by a jet of compressed air on modified surface. Numerical analysis was performed for the corundum treatment process and took into account parameters such as angle of the abrasive flow, nozzle-surface distance and abrasive size. Conducted computer simulation allowed the analysis of the distribution of deformation, stress and the depth of their coverage, depending on the blast – abrasive treatment parameters.

KEYWORDS: Abrasive blasting processing, aloxite, numerical modeling, Ansys LS-Dyna

Wstęp

Procesy obróbek powierzchniowych stosowane są w wielu procesach produkcyjnych. Ich cele mogą być różne np. nadanie im odpowiednich właściwości użytkowych, oczyszczanie powierzchni, przygotowanie powierzchni do dalszych obróbek. Z uwagi na tak różnorodne cele istnieje bardzo szeroka gama obróbek powierzchniowych [1, 2, 3, 4, 5]. Wiele z nich ma na celu oczyszczenie powierzchni elementów. Najczęściej zagadnienie to występuje w odlewniach (oczyszczanie odlewów z resztek masy formierskiej) oraz oczyszczanie elementów z produktów korozji przed pokrywaniem ich różnorodnymi powłokami ochronnymi [6, 7, 8]. W tych procesach, jako jedną z najskuteczniejszych obróbek, stosuje się obróbkę strumieniowo-ścierną. Jako materiał ścierny najczęściej stosowany jest korund, węgiel krzemu oraz śrut o różnym kształcie. Oprócz usunięcia z powierzchni produktów korozji, resztek mas formierskich i innych zanieczyszczeń w obrabianym elemencie zachodzą także zmiany w obrębie jego warstwy wierzchniej. Zmiany właściwości mogą mieć istotne znaczenie dla dalszych procesów technologicznych.

W trosce o środowisko naturalne coraz częściej w przemyśle podejmuje się prace dotyczące przywrócenia cech użytkowych odpadom poprodukcyjnym m.in. w postaci taśm/blach stalowych. Są one poddawane walcowaniu, aby uzyskać wymaganą grubość, a następnie kształtowane na gotowe elementy i powlekane powłokami ochronnymi. Podczas składowania tych odpadowych blach są one narażone na korozję atmosferyczną. Aby można je było poddać powtórnej przeróbce plastycznej należy przeprowadzić proces oczyszczania. Ponieważ obróbka strumieniowo-ścierna jest jedną z najskuteczniejszych obróbek oczyszczających wykorzystuje się ją w procesie oczyszczania przed walcowaniem. Ponieważ padające ziarna materiału obróbczego niosą ze sobą pewną energię, to w wyniku ich uderzenia o powierzchnię metalu następuje jego odkształcenie plastycz-

* mgr inż. Paulina Byczkowska (paulina.byczkowska@dokt.p.lodz.pl),
 dr hab. inż. Jacek Sawicki (jacek.sawicki@p.lodz.pl),
 prof. dr hab. inż. Leszek Klimek (leszek.klimek@p.lodz.pl),
 dr inż. Sebastian Lipa (sebastian.lipa@p.lodz.pl)

ne (zgniot warstwy przypowierzchniowej) Efektem tego jest zmiana jej właściwości mechanicznych – umocnienie. W zależności od tego, jakie zostaną zastosowane parametry obróbki strumieniowo-ścierniej (kąta padania, rodzaj, wielkość ziarna materiału ściernego, ciśnienie czynnika roboczego), wielkość i zasięg umocnienia materiału oraz głębokość załęgania naprężeń może być różna. Wielkości te mają zasadniczy wpływ na dobór właściwych parametrów obróbki plastycznej. Istotna jest, więc możliwość ich przewidywania w zależności od zastosowanych parametrów obróbki strumieniowo-ścierniej. Jedną z metod, która może ułatwić rozwiązanie tego zagadnienia jest wykorzystanie analiz numerycznych.

Definicja modelu numerycznego

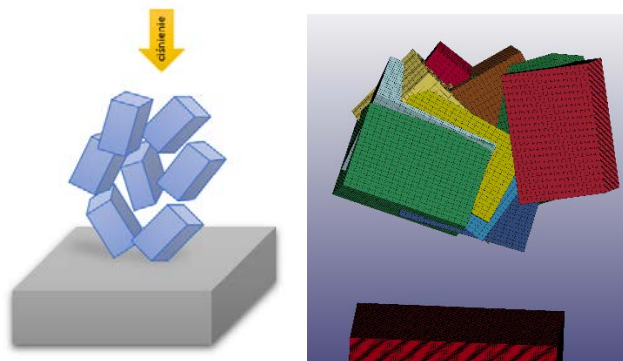
Na podstawie dostępnej granulacji materiału ściernego jakim jest elektrokorund (Tab. 1) wybrano trzy średnice FEPA08, FEPA24, FEPA70, dla których przeprowadzono analizy numeryczne.

Tab. 1. Najczęściej wykorzystywane granulacje materiału ściernego [9]

Granulacja elektrokorundu	Średnia wielkość ziarna elektrokorundu
FEPA08	2800 μm – 2360 μm
FEPA10	2360 μm – 2000 μm
FEPA12	2000 μm – 1700 μm
FEPA14	1700 μm – 1400 μm
FEPA16	1400 μm – 1180 μm
FEPA20	1180 μm – 1000 μm
FEPA22	1000 μm – 850 μm
FEPA24	850 μm – 710 μm
FEPA30	710 μm – 600 μm
FEPA36	600 μm – 500 μm
FEPA40	500 μm – 425 μm
FEPA46	425 μm – 355 μm
FEPA54	355 μm – 300 μm
FEPA60	300 μm – 250 μm
FEPA70	250 μm – 212 μm
FEPA80	212 μm – 180 μm
FEPA90	180 μm – 150 μm
FEPA100	150 μm – 125 μm
FEPA120	125 μm – 106 μm
FEPA150	106 μm – 90 μm
FEPA180	90 μm – 75 μm
FEPA220	75 μm – 53 μm

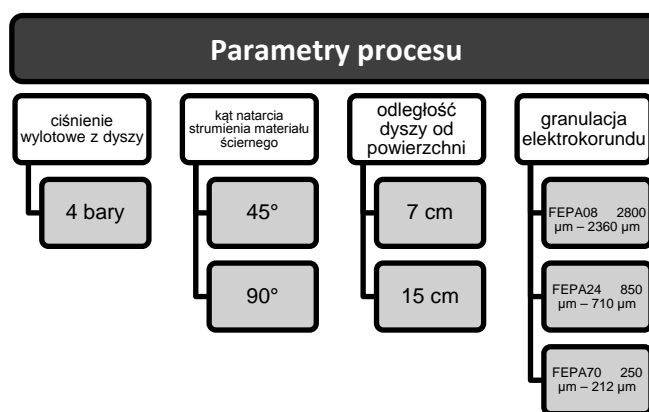
Model numeryczny został przygotowany w oparciu o proces umacniania powierzchniowego na drodze obróbki strumieniowo-ścierniej. Model numeryczny składał się z próbki powierzchni obrabianej i materiału ściernego- 11 ziaren elektrokorundu. Ziarna elektrokorundu zostały zamodelowane w sposób uproszczony jako prostopadłościany (Rys. 1). Długości boków dla prostopadłościanów przyjęte zostały w sposób losowy z przedziału średniej wielkości ziarna elektrokorundu określonego w danej granulacji (Tab. 1). Losowe

było również ułożenie ziaren w stosunku do obrabianej powierzchni.



Rys. 1. Model geometryczny i dyskretny analizowanego procesu

Podczas analizy numerycznej uwzględnione zostały takie parametry obróbki jak: kąt nachylenia strumienia ścierniwa, odległość dyszy od powierzchni, granulacja ścierniwa (Rys.2).



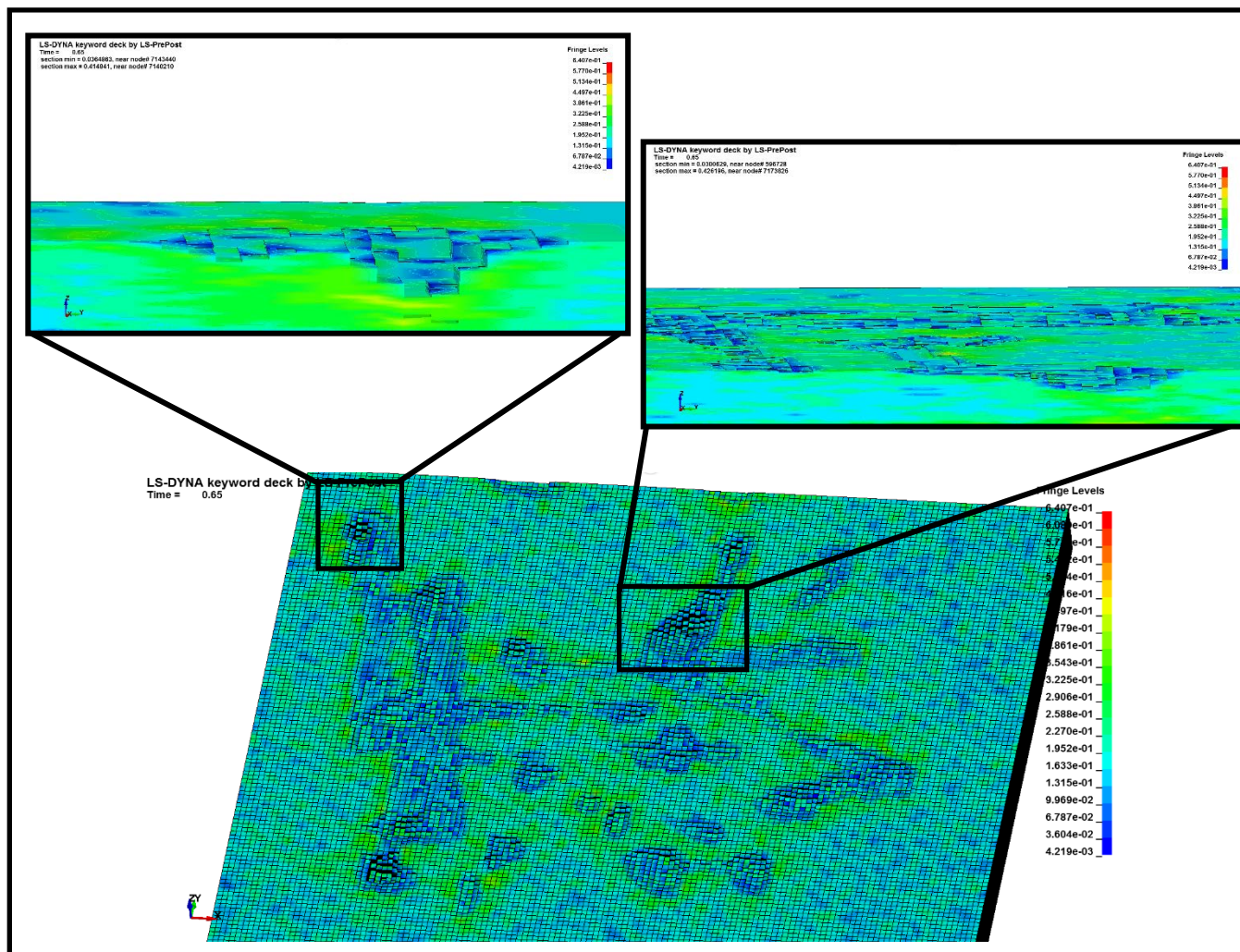
Rys. 2. Warunki brzegowe analizowanego procesu

Do każdego ziarna elektrokorundu przyłożono ciśnienie o wartości 4 bary.

Materiał próbki (Czyste żelazo Armco) został zdefiniowany jako sprężysto- plastyczny, natomiast materiał ścierniwa (elektrokorund) zdefiniowano jako nieodkształczany. Właściwości fizyczne przyjęte w modelu numerycznym przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Właściwości fizyczne założone w modelu numerycznym [10]

Materiał elementu	Moduł Younga E	Współczynnik Poissona	Gęstość
Elektrokorund (Al_2O_3)	71,7 GPa	0,33	2810 kg/m^3
Żelazo Armco	205 GPa	0,30	7850 kg/m^3



Rys. 3. Mapa rozkładu naprężeń Von Misesa dla symulacji numerycznej procesu obróbki strumieniowo ścierniej z wykorzystaniem śrutu FE-PA08, odległość powierzchni próbki od dysz roboczych 70 mm, kąt natarcia strumienia materiału ściernego 90°, ciśnienie 4 bary

Jako pre- i post- procesor wykorzystane zostało oprogramowanie LS-PrePost 4.1, natomiast obliczenia wykonano w oparciu o solver ANSYS LS-Dyna.

Analiza wyników prowadzona została pod kątem uwidocznienia rozkładu naprężeń powstałych na skutek uderzenia materiału ściernego o powierzchnię. Określono również wielkości maksymalnych naprężeń zredukowanych Von Misesa (max VM) oraz maksymalne i minimalne wartości głównych naprężeń ściskających (min Z, max Z) w zależności od parametrów procesu.

Drugim aspektem analiz numerycznych było określenie erozji jaką powodują ziarna materiału ściernego w kontakcie z obrabianą powierzchnią.

Analiza numeryczna stanu naprężeń i erozji

Na rysunku 3 przedstawiono przykładową mapę rozkładu naprężeń zredukowanych Von Misesa. Rysunek 4 pokazuje wyniki analiz numerycznych procesu obróbki strumieniowo ścierniej przeprowadzonej pod ciśnieniem 4 bary przy kącie natarcia strumienia materiału ściernego 90° i zmiennych takich jak: odległość próbki od dyszy i granulacja elektrokorundu. Natomiast na rysunku 5 zaprezentowane zostały wyniki dla analiz numerycznych przeprowadzone dla stałych parametrów obróbki strumieniowo ścierniej: 4 bary i kąt na

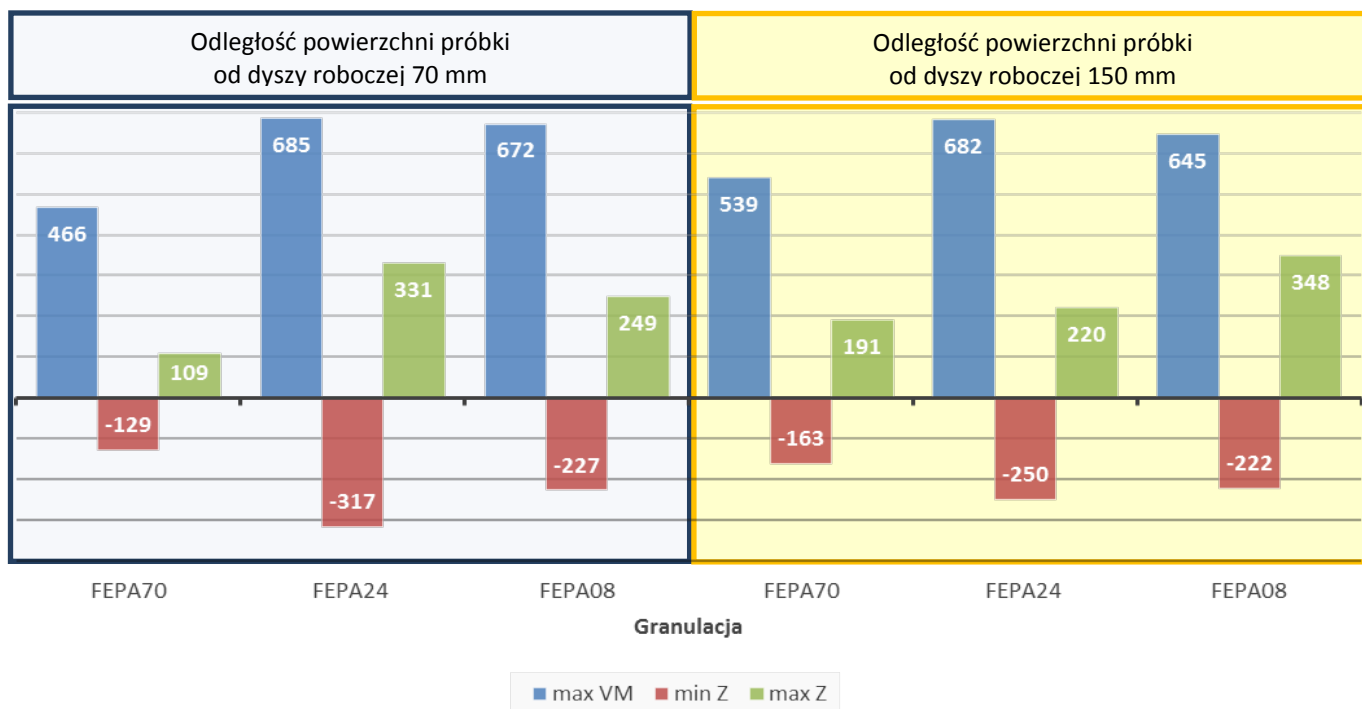
tarcia strumienia materiału ściernego 45° i zmiennych odległość próbki od dyszy i granulacja elektrokorundu.

Z rozkładu wartości naprężeń Von Misesa oraz naprężeń ściskających w funkcji granulacji elektrokorundu oraz zmiennej wartości odległości dyszy powierzchni próbki przy kącie natarcia 90° (Rys. 4) oraz 45° (Rys. 5) zauważyć można brak wyraźnej tendencji wzrostu średniej wielkości ziaren materiału ściernego na wzrost naprężeń.

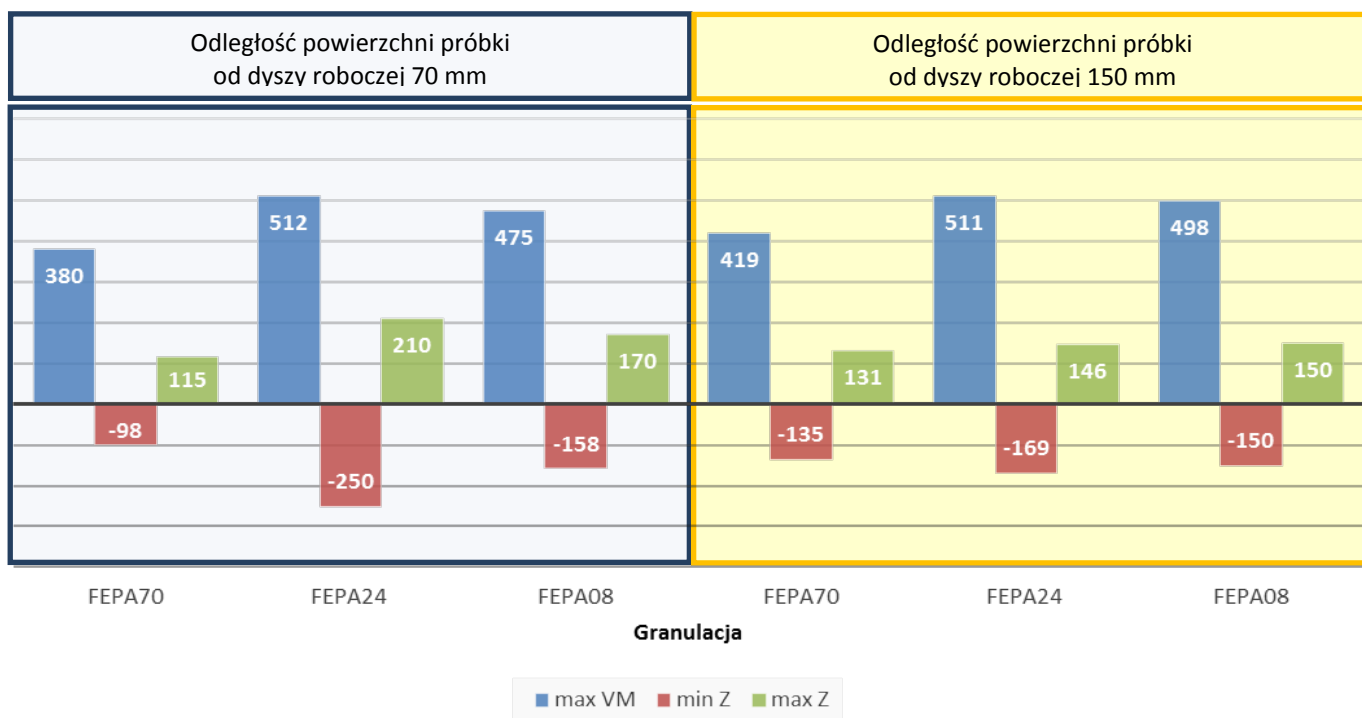
Największe naprężenia ściskające uzyskać można poprzez zastosowanie obróbki materiałem ściernym o granulacji FEPA24 pod kątem 90° i odległości 70 mm (Rys. 4).

Zauważalny jest spadek wartości naprężeń dla obróbki pod kątem 45° w stosunku do obróbki pod kątem 90°. Spadek wartości naprężeń zredukowanych von Misesa oscyluje w przedziale 20÷30% uwzględniając wszystkie typy granulacji elektrokorundu oraz obie odległości dyszy od powierzchni próbki, natomiast wartość naprężeń ściskających spada o 18÷32% w zależności od granulacji materiału ściernego oraz odległości dyszy od powierzchni próbki.

Zastosowanie większej granulacji w analizowanych przypadkach powodowało wzrost naprężeń rozciągających, co jest wynikiem kumulacji naprężeń wywołanych trwałym odkształceniem.



Rys. 4. Kąt natarcia strumienia materiału ściernego 90°



Rys. 5. Kąt natarcia strumienia materiału ściernego 45°

Uderzenie materiału ściernego w wyniku obróbki strumieniowo ścierniej o powierzchni stali powoduje trwałe odkształcenie plastyczne powierzchni materiału oraz ubytek materiału obrabianego (Tab. 3). Większą erozję uzyskać można przez zastosowanie materiału ściernego o większej granulacji. Użycie elektrokorundu o granulacji FEPA24 i FEPA08 nie wykazuje znaczących różnic w wielkości wartości naprężeń zredukowanych zauważalna jest jednak różnica w ilości ubytku materiału (Tab. 3).

Tab. 3. Procentowy udział ubytku materiału obrabianego i jego głębokość w zależności od założonych parametrów [9]

		Procentowy udział ubytku materiału		Max głębokość ubytku materiału [μm]
90°	7cm	FEPA70	0,09%	12
		FEPA24	4,40%	24
		FEPA08	26,67%	150
	15 cm	FEPA70	3,79%	18
		FEPA24	5,93%	24
		FEPA08	9,83%	78
45°	7cm	FEPA70	0,02%	6
		FEPA24	3,10%	6
		FEPA08	5,80%	18
	15 cm	FEPA70	1,20%	6
		FEPA24	2,10%	12
		FEPA08	8,80%	66

Podsumowanie

Opracowanie metodyki budowy i rozwiązywania modeli procesu obróbki strumieniowo ścierniej jest kluczowym zagadnieniem pozwalającym panować nad procesami technologicznymi. Wykorzystując symulacje komputerowe możemy zgłębić wiedzę dotyczącą zjawisk fizycznych, zachodzących podczas kontaktu ziarno elektrokorundu-próbka oraz ich wpływu na właściwości obrabianego materiału. Analiza tych zjawisk umożliwi dobranie optymalnych parametrów procesu oraz sprawdzenie założeń i eliminację błędów już na etapie symulacji komputerowej, co pozwala na znaczne skrócenie czasu wdrożenia procesu oraz obniżenia jego kosztów.

W kolejnym etapie badań autorzy przeprowadzą symulację dla rzeczywistych modeli numerycznych ziaren elektrokorundu ułożonych w sposób losowy. Model numeryczny ziaren elektrokorundu stworzony zostanie przy użyciu skanerów 3D.

Wnioski

Przeprowadzona symulacja numeryczna procesu obróbki strumieniowo ścierniej wykazuje, że wartości naprężeń i ubytków w warstwie wierzchniej obrabianego materiału są zależne od założonych parametrów wyjściowych tj.:

- wraz ze wzrostem granulacji elektrokorundu następuje wzrost odkształceń i erozji materiału obrabianego,
- istotny wpływ na wartość naprężeń ma kąt natarcia strumienia materiału ściernego,
- wykonanie obróbki strumieniowo ścierniej pod kątem 45° powoduje spadek naprężeń w granicach 18÷32%,
- występuje wyraźna zależność wzrostu wielkości ziarna elektrokorundu na ubytek erozyjny materiału obrabianego,
- największe naprężenia ściskające uzyskane zostały przy parametrach: granulacja elektrokorundu FEPA24, odległość dyszy od powierzchni próbki 70 mm, kąt natarcia strumienia 90° przy ciśnieniu 4 bary.

Praca została realizowana w ramach projektu „Opracowanie i wdrożenie technologii recyklingu poprodukcyjnych odpadów taśmy stalowej” i sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach Generatora Koncepcji Ekologicznych – GEKON przyznanych na podstawie decyzji numer: DZP/GEKON-I/664/2014 ”

LITERATURA

1. Burakowski T., Wierzchoń T., Inżynieria powierzchni metali. WNT, Warszawa, 1995.
2. Karwala K., Kształtowanie jakości technologicznej elementów zestawów kołowych za pomocą kulowania. Problemy eksploatacji, 2, 43 – 54, 2007.
3. Andziak J., Niekonwencjonalne sposoby oczyszczania i przygotowania powierzchni. Ochrona przed korozją, 5, 1999.
4. Napadtek W., Bąkała L., Wybrane aplikacje oczyszczania laserowego stali stopowych chromowo-niklowych. Prace Instytutu Pojazdów Mechanicznych i Transportu, 2006.
5. Pietnicki K., Wołowicz E., Klimek L., The effect of abrasive blasting on the strength of a joint between dental porcelain and metal base” Acta of Bioengineering and Biomechanics Vol. 16, No. 1, 63 – 68, 2014.
6. Fedoryszyn T., Problematyka badawcza metod oczyszczania powierzchni odlewów i oprzyrządowania. Acta Metallurgica Slovaca, nr 3, rocznik 7, tom 1, 134, Košice, 2001
7. Kaczmarek J.: Znaczenie Obróbki Strumieniowo-Ścierniej W Ochronie Przed Korozją – Sympozjum Instytutu Mechaniki Precyzyjnej Hajnówka 2001.
8. Andziak J.: Strumieniowo-Ściernie Przygotowanie Podłoża Stalowych Przed Nanoszeniem Powłok Ochronnych Zagadnienia Techniczne i Normalizacyjne – Sympozjum Instytutu Mechaniki Precyzyjnej Hajnówka 2001.
9. <http://www.alumetal-technik.com/pl/produkty-elektrokorund-zwykly-brazowy.php>
10. <http://www.matweb.com>