

ANALIZA CZASOCHŁONNOŚCI DOCIERANIA TECHNOLOGICZNEGO POWIERZCHNI PŁASKICH W OPERACJACH MONTAŻOWYCH

Analysis of time consumption of plane surfaces lapping in assembly operations

Adam BARYLSKI

Streszczenie: Przedstawiono wyniki analiz docierania i mikroszlifowania elementów płaskich na docierarce jednotarczowej mikroziarnami węglika krzemu. Obrabiano elementy ze stali 100Cr6 oraz z tlenkowej ceramiki technicznej Al_2O_3 . Analizowano czas obróbki i koszty operacji.

Słowa kluczowe: docieranie, mikroszlifowanie, technologia, koszty, analiza

Abstract: Analysis of lapping and microgrinding with carborundum micrograins on single-disc lapping machine are presented in the paper. Machining components are built from steel 100Cr6 and oxide technical ceramics Al_2O_3 . Machining time and costs operation are subjected to analysis.

Keywords: lapping, microgrinding, production engineering, costs, analysis

Wprowadzenie

Jednym ze sposobów obróbki ściernej wykorzystywanym w montażu zespołów maszyn jest docieranie. Obróbka ta stosunkowo często (oprócz szlifowania) stosowana jest podczas montażu z kompensacją technologiczną lub przy wykorzystaniu indywidualnego dopasowania elementów. W praktyce nie ma ograniczeń w zakresie możliwości docierania materiałów metalowych i niemetalowych. W przypadku docierania maszynowego przeważa obróbka powierzchni płaskich i płasko-równoległych na docierarkach jedno – i dwutarczowych. W ostatnim okresie wdrażane są także technologie mikroszlifowania na docierarkach, nazywane również szlifowaniem (lub gładzeniem) z kinematyką docierania [1, 3, 6].

Na przebieg i wynik obróbki mają wpływ czynniki związane z przedmiotem docieranym (rodzaj i stan materiału, właściwości warstwy wierzchniej, konstrukcja przedmiotu, odchyłki kształtu przed docieraniem, wartość naddatku), środkiem docierającym (rodzaj, właściwości i wielkość mikroziaren ściernych, rodzaj i właściwości składników płynnych, dawkowanie), docierakiem (konstrukcja, rodzaj i właściwości materiału, kształt powierzchni roboczej) oraz warunki procesu (kinematyka i prędkość docierania, nacisk jednostkowy). W przypadku mikroszlifowania narzędziem jest ściernica, najczęściej segmentowa, zaś podczas operacji podawany jest zalewowo jedynie płyn obróbkowy [2, 5].

Poniżej przedstawiono porównanie docierania i mikroszlifowania elementu metalowego (stal 100Cr6) i ceramicznego (Al_2O_3 -98%). Podstawą porównania była analiza czasochłonności operacji oraz kosztów.

Technologia docierania i mikroszlifowania

Docieranie i mikroszlifowanie kołowych elementów płaskich (o średnicy 30 mm i wysokości 10 mm) realizowane będzie na docierarce jednotarczowej Abbralap 380 (rys. 1), wyposażonej w trzy pierścienie prowadzące (3), poruszające się na promieniowo rowkowanej żeliwnej tarczy docierającej (2) pokazanej na rys. 2a. Zawiesina ścierna (lub płyn obróbkowy podczas mikroszlifowania) podawana jest w sposób ciągły dozownikiem (4), ze zbiornika (1). W przypadku mikroszlifowania stosowana jest tarcza ścierno-metalowa (rys. 2b).

Czynnik roboczy stosowany do docierania stanowi mieszanina zielonego węglika krzemu F400 (koszt 40 zł/kg) i oleju maszynowego (koszt 11,8 zł/l), przygotowana w stosunku: 0,25 kg ścierniwa i 0,75 l oleju (koszt 1 kg zawiesiny 18,85 zł). Średnia prędkość docierania elementów ze stali 100Cr6 wynosi 0,5 m/s, a dla ceramiki Al_2O_3 – 0,6 m/s. Ilość dawki dawki zawiesiny ścierniej lub płynu obróbkowego to 48 ml/min. Przy naddatku wynoszącym 0,06 mm czas docierania to odpowiednio: 7,43 (dla stali 100Cr6) i 3,75 min (dla ceramiki Al_2O_3), zaś w przypadku mikroszlifowania czas obróbki jednego wypełnienia trzech separatorów (łącznie 12 elementów) to 3,02 (100Cr6) i 1,61 min (Al_2O_3) [7].

Czasochłonność i koszty obróbki

Znając warunki docierania i mikroszlifowania oraz koszty jednostkowe narzędzi, ścierniwa i płynu obróbkowego wyznaczyć można koszty roboczogodziny stanowiska (tab. 1) oraz porównać koszty operacji obróbki



Rys. 1. Docieraka jednotarczowa – Abralap 380
 Fig. 1. Single-disk lapping machine – Abralap 380



a)



b)

Rys. 2. Narzędzia: a) docierak – średnica 380 mm, b) ściernica segmentowa (ścierno-metalowa)
 Fig. 2. Tools: a) lapping tool – diameter 380 mm, b) segmental grinding wheel (abrasive-metallic)

stali (tab. 2) i ceramiki (tab. 3). Z analizy kosztów wynika, że stosując docieranie jednym narzędziem wykonać można ok. 10400 elementów stalowych, 20800 ceramicznych (docierak żeliwny, możliwe zużycie 26

mm), a stosując mikroszlifowanie (zużycie narzędzia 6 mm) ok. 11900 stalowych i 22300 elementów ceramicznych. W tab. 1, 2 i 3 przedstawiono niezbędne dane.

Tabela 1. Koszty roboczogodziny dla docierania i mikroszlifowania
 Table 1. Costs of man-hour for lapping and microgrinding

KALKULACJA KOSZTÓW OGÓLNYCH I CENY C WYBRANEJ OPERACJI (dla jednej sztuki), zł			
W oparciu o koszty roboczogodziny stanowiska technologicznego.			WERSJA I
STANOWISKOWA			
Tabela 1. Koszt roboczogodziny: DOCIERARKI JEDNOTARCZOWEJ			
Lp	Wyszczególnienie		Wartość
1.0	GODZINOWA PŁACA PERSONELU BEZPOŚREDNIEJ		
	OBSŁUGI STANOWISKA, k_b (poz. 1.1 * poz. 1.2),		zł/h 36,90
1.1	Stawka godzinowa (dane źródłowe), S_1	zł/h	30,00
1.2	Współczynnik (dane źródłowe - UMOWA O PRACĘ), (dodatki do płac, podatki, ZUS, fundusze socjalne i in.), W_1	zł/h	1,23
2.0	GODZINOWA PŁACA PERSONELU POMOCNICZEGO POŚREDNIO		
	PRZYPADAJĄCA NA STANOWISKO, k_p (poz. 2.5 * poz. 2.4/poz.2.6),		zł/h 33,69
2.1	Stawka godzinowa (dane źródłowe),	zł/h	35,00
2.2	Współczynnik (dane źródłowe), (dodatki do płac, podatki, ZUS i in.),	zł/h	1,23
2.3	Liczba osób, (dane źródłowe),		10,00
2.4	Godzinowa płaca personelu pomoc. (poz. 2.1 * poz. 2.2 * poz. 2.3),	zł/h	430,50
2.5	Powierzchnia zajmowana przez stanowisko, (poz. 3.4.1),	m ²	9,00
2.6	Powierzchnia całkowita hali wydziału, (dane źródłowe),	m ²	115,00
3.0	GODZINOWE KOSZTY MASZYNOWE, k_{mh}		
	(poz. 3.2 + poz. 3.3 + poz. 3.4 + poz. 3.5 + poz. 3.6)		zł/h 5,19
3.1	Efektywny fundusz czasu pracy, (dane źródłowe),	h/r	3168,00
3.2	Godzinowe koszty odpisów amortyzacyjnych, k_A (poz. 3.2.1/ (poz. 3.2.2 * poz. 3.1))	zł/h	3,16
3.2.1	koszt nabycia nowego urządzenia, (dane źródłowe),	zł	80000,00
3.2.2	okres użytkowania, (dane źródłowe),	liczba lat	8,00
3.2.3	rodzaj odpisu amortyzacyjnego, (dane źródłowe),		liniowy
3.3	Godzinowe koszty odsetek kalkulacyjnych, (0,5poz. 3.2.1*10%/poz.3.1),	zł/h	1,26
3.4	Godzinowe koszty lokalowe, k_L , (poz. 3.4.5/(poz. 3.1/12))	zł/h	0,48
3.4.1	całkowita powierzchnia produkcyjna zajmowana przez maszynę (poz. 3.4.2 + poz. 3.4.3)	m ²	9
3.4.2	podstawowa, (dane źródłowe),	m ²	4
3.4.3	pomocnicza, (dane źródłowe),	m ²	5
3.4.4	miesięczny koszt utrzymania (dzierżawy) powierzchni, (dane źródłowe),	zł/m ₂ *m-c	14
3.4.5	miesięczny koszt utrzymania (dzierżawy) powierzchni całkowitej stanowiska, (poz. 3.4.1 * poz. 3.4.4),	zł/m-c	126
3.5	Godzinowe koszty utrzymania maszyny w ruchu, k_p (poz. 3.2 * poz. 3.5.2),	zł/h	0,20
3.5.1	roczny koszt utrzymania urządzenia w ruchu i jej konserwacja, (dane źródłowe),	zł/rok	5000
3.5.2	współczynnik, (poz. 3.5.1/3.2.1),	-	0,06
3.6	Godzinowe koszty energii, k_E , (poz. 3.6.3 * poz. 3.6.4),	zł/h	1,36
3.6.1	moc silnika, (dane źródłowe),	kW	7,5
3.6.2	współczynnik wykorzystania mocy, (dane źródłowe),	-	0,55
3.6.3	moc silnika efektywna, (poz. 3.6.1 * poz. 3.6.2),	kW	4,13
3.6.4	cena energii elektrycznej, (dane źródłowe),	zł/kWh	0,33
4.0	KOSZT ROBOCZOGODZINY STANOWISKA, k_s,		
	(poz. 1.0 + poz. 2.0 + poz. 3.0),		zł/h 75,78

Tabela 2. Koszty operacji docierania i mikroszlifowania stali 100Cr6
 Table 2. Costs of lapping and microgrinding operation of 100Cr6 steel

PORÓWNANIE KALKULACJI KOSZTÓW DLA JEDNEJ PARTII (n=12)			
W oparciu o koszty roboczogodziny stanowiska technologicznego:			
DOCIERARKI JEDNOTARCZOWEJ			
Tablica nr 1. Dane porządkowe			
Material próbki:	stal 100Cr6		
Numer operacji:	Nazwa operacji: DOCIERANIE I MIKROSZLIFOWANIE		
Tablica nr 2. Dane wejściowe			
Lp.	Wyszczególnienie	Wartość	
		DOCIE	MIKRO
1	Czas jednostkowy t_j , min	7,43	3,02
2	Czas przyg.- zakoń. T_{pz} , min	20	20
3	Liczba sztuk w partii: n	12	12
4	Koszty materiałów, zł	6,73	3,73
5	Usługi obce (kooperacja), zł	0	0
6	Stopa zysku, zł	0	0
Tablica nr 3. Obliczenia kosztów			
Lp.	Wyszczególnienie	Wartość	
		DOCIE	MIKRO
1.1	Koszt robocizny bezpośredniej R_b	5,59	2,88
1.2	Koszt robocizny pośredniej K_{pb}	5,11	2,63
1.3	Koszt maszynowy K_m	0,79	0,41
1.0	Koszt stanowiskowy K_s	11,49	5,92
2.0	Koszt materiałów M	6,73	3,73
3.0	Koszt kooperacji	0,00	0,00
4.0	KOSZTY OGÓLEM	18,22	9,65
5.0	Zysk Z	0,00	0,00
6.0	CENA	18,22	9,65

Kategoria	DOCIE (zł)	MIKRO (zł)
Koszt robocizny bezpośredniej R_b	5,59	2,88
Koszt robocizny pośredniej K_{pb}	5,11	2,63
Koszt maszynowy K_m	0,79	0,41
Koszt stanowiskowy K_s	11,49	5,92
Koszt materiałów M	6,73	3,73
Koszt kooperacji	0,00	0,00
KOSZTY OGÓLEM	18,22	9,65
Zysk Z	0,00	0,00
CENA	18,22	9,65

Tabela 3. Koszty operacji docierania i mikroszlifowania ceramiki Al_2O_3
 Table 3. Costs of lapping and microgrinding operation of Al_2O_3 ceramics

PORÓWNANIE KALKULACJI KOSZTÓW DLA JEDNEJ PARTII (n=12)			
W oparciu o koszty roboczogodziny stanowiska technologicznego:			
DOCIERARKI JEDNTARCZOWEJ			
Tablica nr 1. Dane porządkowe			
Material próbki:	Ceramika Al_2O_3		
Numer operacji:	Nazwa operacji: DOCIERANIE I MIKROSZLIFOWANIE		
Tablica nr 2. Dane wejściowe			
Lp.	Wyszczególnienie	Wartość	
		DOCIE	MIKRO
1	Czas jednostkowy t_1 , min	3,75	1,61
2	Czas przyg. - zakoń. T_{pz} , min	20	20
3	Liczba sztuk w partii: n	12	12
4	Koszty materiałów, zł	3,39	1,46
5	Usługi obce (kooperacja), zł	0	0
6	Stopa zysku, zł	0	0
Tablica nr 3. Obliczenia kosztów			
Lp.	Wyszczególnienie	Wartość	
		DOCIE	MIKRO
1.1	Koszt robocizny bezpośredniej R_b	3,33	2,02
1.2	Koszt robocizny pośredniej K_p	3,04	1,84
1.3	Koszt maszynowy K_{mh}	0,47	0,28
1.0	Koszt stanowiskowy K_s	6,84	4,14
2.0	Koszt materiałów M	3,39	1,46
3.0	Koszt kooperacji	0,00	0,00
4.0	KOSZTY OGÓLEM	10,23	5,60
5.0	Zysk Z	0,00	0,00
6.0	CENA	10,23	5,60

Składnik	DOCIE (zł)	MIKRO (zł)
Koszt robocizny bezpośredniej R_b	3,33	2,02
Koszt robocizny pośredniej K_p	3,04	1,84
Koszt maszynowy K_{mh}	0,47	0,28
Koszt stanowiskowy K_s	6,84	4,14
Koszt materiałów M	3,39	1,46
Koszt kooperacji	0,00	0,00
KOSZTY OGÓLEM	10,23	5,60
Zysk Z	0,00	0,00
CENA	10,23	5,60

Podsumowanie

Z przeprowadzonych analiz wynika, iż wprowadzenie mikroszlifowania jest szczególnie zasadne w przypadku względnie dużej liczby obrabianych elementów, co w operacjach montażowych z kompensacją technologiczną lub indywidualnym dopasowaniem nie ma większego zastosowania w praktyce, tym bardziej, że koszty takich narzędzi, szczególnie ściernic diamentowych lub z CBN [8, 10] są nadal wysokie. W przypadku wkładek (segmentów) z materiałów ściernych konwencjonalnych (węgiel krzemu, elektrokorund) koszt tarczowych narzędzi ścierno-metalowych jest porównywalny z docierakami żeliwnymi, o odpowiedniej jakości ich struktury i twardości. Docieranie jest obróbką konkurencyjną, szczególnie wtedy, gdy nie ma potrzeby wymiany zawiesziny ścierniej (rodzaju i wielkości mikroziaren), gdy nie dysponujemy odpowiednią liczbą obrabiarek, na których można wykonać operacje obróbkowe dla różnych pod względem materiałowym i wymiarowym elementów oraz o odmiennych wymaganiach dokładności i jakości powierzchni, narzuconych przez konstruktora. Jedynie w przypadku, gdy szkodliwym zjawiskiem jest, w późniejszej eksploatacji zespołu, skażenie powierzchni obrabianej ścierniwem – mikroszlifowanie może być obróbką zalecaną w technologiach montażowych [4].

Przytoczone wyniki analiz mogą być pomocne m.in. podczas przygotowywania kosztorysów operacji docierania i mikroszlifowania powierzchni płaskich elementów metalowych i ceramicznych.

LITERATURA

- [1] Baryłski A. 2006. „Modułowe narzędzia tarczowe do mikroszlifowania powierzchni płaskich”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (3): 27–28.
- [2] Baryłski A. 2002. „Narzędzia dla docierarek jednotarczowych. Modułowe konstrukcje i ich analiza”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 33–37.
- [3] Baryłski A. 2000. „Narzędzia składane do docierarek tarczowych”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 32–35.
- [4] Baryłski A. 2013. „Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach”. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [5] Feng J. et. al. 2007. “Investigation of Tool Wear in Microgrinding of Ceramic Materials with Sintered Metal bonded Wheel”. 2nd International Conference in Micromanufacturing. Greenville.
- [6] Feng J. 2010. “Microgrinding of ceramic materials”. Michigan.
- [7] Jabłońska K. 2013. „Analiza kosztów obróbki elementów na docierarce jednotarczowej”. Prowadz. pracę Baryłski A., Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej.
- [8] Stähli A.W., B. Stähli. 2005. “Microfinishing – yesterday – today and tomorrow from Micron to Nano and Angstrom”.
- [9] Wook Park H. 2008. “Development of micro-grinding mechanics and machine tools”. Georgia.
- [10] www.kemet.co.uk, dostęp 15.03.2017.

prof. dr hab. inż. Adam Baryłski, prof. zw. PG – Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: abarylsk@pg.edu.pl