

INNOWACYJNE METODY MODELOWANIA DIAMENTOWYCH NARZĘDZI OBRÓBCZYCH DO SZLIFOWANIA POWIERZCHNI KAMIENIA OKŁADZINOWEGO

Marcin KNAPIŃSKI, Paweł RAJCZYK

Streszczenie: W pracy przedstawiono prototypowanie narzędzi do obróbki powierzchni w operacji technologicznej szlifowania płyt granitowych. Przedstawiono zależność skuteczności ścierniej od geometrii elementów trących przy zadanych parametrach kinematycznych w procesie szlifowania. Omówiono cechy elementów konstrukcji tarczy diamentowej do szlifowania powierzchni. Przedstawiono sposób oceny efektywnej pracy tarczy ścierniej, wynikający z rozkładu materiału ściernego na powierzchni roboczej narzędzia.

Słowo kluczowe: Prototypowanie, narzędzia ściernie, szlifowanie powierzchni kamiennych.

1. Wstęp

Kamień naturalny to materiał o dużej liczbie odmian charakteryzujących się indywidualnymi właściwościami fizycznymi, mechanicznymi i użytkowymi, a także bogactwem kolorów oraz możliwych do uzyskania faktur powierzchni o zróżnicowanej dynamice wzorów użytkowych. Nowe rozwiązania technologiczne wpływają na wzrost wydajności, wzrost jakości, wzrost bezpieczeństwa pracy oraz obniżenie kosztów. W chwili obecnej, jak wynika z publikacji [13, 20], w gospodarce światowej następuje duże zainteresowanie oraz wzrost produkcji narzędzi produkowanych na bazie syntetycznych proszków diamentowych. Część tnącą lub ścierną narzędzi diamentowych wykonuje się w postaci segmentów o różnych konfiguracjach geometrycznych wytwarzanych na spoiwach metalicznych lub syntetycznych. Proces wytwarzania segmentów ściernych na spoiwach metalicznych jest procesem złożonym i kosztownym, dlatego aktualnym jest poszukiwanie nowych rozwiązań materiałowych dla konstruowania tnących elementów ściernych w narzędziach diamentowych wykorzystywanych przy obróbce materiałów kamiennych [2, 11, 17, 19].

2. Narzędzia stosowane do szlifowania powierzchni materiałów mineralnych

2.1. Charakterystyka ogólna



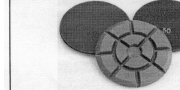
Narzędzia diamentowe do powierzchniowej obróbki płyt kamiennych – granitów, pełnią dominującą rolę w mechanizacji i automatyzacji procesów szlifowania oraz wykonywania operacji wspomagających [12, 13]. Stosowanie narzędzi diamentowych do obróbki kamienia w Polsce sięga roku 1965. Początki rozwoju przemysłu obróbki kamienia związane były z importem narzędzi diamentowych, których wiodące role pełniła firma Diamant Board. W końcu lat 70. minionego wieku, ważnym krokiem rozwoju w technologii

produkcji narzędzi ściernych, było podjęcie produkcji krajowych segmentów diamentowych, które z różnym powodzeniem były produkowane. Stosowanie narzędzi diamentowych przynosi określone korzyści do których należą: automatyzacja procesu obróbczego, wysoka wydajność, wysoka jakość wyrobu po obróbce. Optymalne parametry pracy mają wpływ na wydajność, zużycie narzędzia, jakość obrabianej powierzchni, które przy minimalnej liczbie przejść tarczy po obrabianym materiale, powinny zapewnić jednorodność powierzchni. Miernikiem jakości płyt granitowych jest jej trwałość, jednorodność chropowatości na całej obrabianej powierzchni oraz długotrwałe zachowanie zadanych cech faktury. Jakość diamentowych tarcz szlifierskich zależy w pierwszej kolejności od parametrów ustalonych przez producenta, takich jak: średnica tarczy, wymiary i ilość segmentów, ich geometria, rodzaj, granulacja i koncentracja diamentu, rodzaj i twardość spoiwa. Jakość segmentu narzędzia wyrażona jest siłą utrzymania ziarna ściernego w spoiwie. Efekty pracy tarczy ścierniej zależą głównie od użytkownika, przy założeniu, że narzędzie jest odpowiednio dobrane do obrabianego materiału, parametrów maszyny, kwalifikacji i umiejętności obsługi. Do głównych czynników wpływających na efektywność szlifowania, zaliczyć należy konfigurację rozmieszczenia segmentów ściernych na powierzchni głowicy obróbczej. Jako wiodące uznano również parametry materiałowe segmentów diamentowych, czyli granulacją proszku diamentowego, koncentrację diamentu oraz rodzaj i twardość spoiwa.

2.2. Tarcze szlifierskie z diamentowym materiałem ściernym

Do procesu obróbki powierzchni kamiennych stosowane są tarcze wyposażone w segmenty ściernie, przykłady rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiono w tabeli 1. Oprócz przedstawionych rozwiązań konstrukcji tarcz szlifierskich z segmentami diamentowymi na spoiwie metalicznym, w budownictwie przy obróbce betonu i granitu stosowane są rozwiązania tarcz z wkładkami segmentów diamentowych na spoiwach syntetycznych mocowane na tarczy bazowej. Przykładowe rozwiązania geometrii takich segmentów diamentowych przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne tarcz ściernych do obróbki powierzchni płyt kamiennych

	Typ SD	Średnica (mm)	Granulacja proszku diamentowego
		100	#30/40
		125	#30/40
		150	#30/40
	Typ STA	Średnica (mm)	Granulacja proszku diamentowego
		100	#40/50
		100	#100
	Typ ZL-16K	100	#50-800

Źródło: [10, 16]

2.3. Charakterystyka ogólna materiałów do produkcji segmentów ściernych

Głównym materiałem do produkcji segmentów diamentowych są ziarna kryształów diamentowych, rozmieszczone są nie tylko na powierzchni segmentów, jak np. w narzędziach produkowanych w technologii galwanicznej, a rozłożone są w całej objętości segmentu ściernego w spoiwie. Spoiwo powinno służyć jako środowisko utrzymujące diament. Twardość segmentu kształtuje stopień ścierania oraz utrzymania w spoiwie matrycy segmentu kryształu proszku diamentowego. Spoiwo w znacznym stopniu określa warunki efektywności ścierniej. Podstawowe rodzaje spoiwa to: spoiwa miękkie – brąz, średnie – kobalt, stal oraz twarde – stal, wolfram. Pośrednie twardości segmentów ściernych, uzyskuje się przez mieszanie różnych typów proszków metali. Obróbka materiału miękkiego z zastosowaniem segmentu miękkiego, prowadzi do przyspieszonego procesu ścierania i odwrotnie, obróbka materiału twardego segmentem twardym prowadzi do zjawiska obniżenia zdolności ścierniej. Zużycie spoiwa zależy od jego twardości.

Koncentracja ziaren diamentowych, rozmiar kryształów i twardość samego ziarna diamentowego, powinna być dobrana do twardości obrabianego materiału i parametrów pracy narzędzia.

Szczegóły procesu technologicznego stanowią ściśle chronioną tajemnicę producentów narzędzi oraz producentów urządzeń technologicznych do ich wytwarzania. Tajemnice związane z recepturami kompozycji materiałowej, obejmują także narzędzia produkowane na spoiwach syntetycznych, głównie mieszankach wypełnień oraz samej technologii ich wbudowania w segment ścierny.

2.4. Charakterystyka ścierniwa - proszku diamentowego do tarcz szlifierskich

Diament który wykorzystywany jest do produkcji segmentów jest najtwardszym materiałem, posiada twardość 10 w skali Mohsa i może zostać zarysowany tylko poprzez inny diament. Granit natomiast posiada twardość na poziomie 6 – 7 w skali Mohsa, co oznacza, że diament pod różnymi postaciami jest idealnym materiałem do jego obróbki.

W oparciu o przeprowadzone badania literaturowe [3, 5, 8] wykazano, że granulacja proszku diamentowego, posiada związek z wydajnością obróbczą i ma wpływ na wielkość zużycia samego narzędzia diamentowego. Zależność ta determinowana jest twardością obrabianego materiału. W czasie obróbki granitu, najwyższe wydajności przy szlifowaniu i najniższe wskaźniki zużycia segmentów diamentowych, uzyskano przy stosowaniu proszku diamentowego o granulacji od 250 do 400 na spoiwach metalicznych. Z analizy literatury [13] wynika, że zaleca się stosowanie drobnego ziarna proszków diamentowych przy obróbce materiałów twardych. Koncentracja diamentu w segmencie ściernym określana jest jako stuprocentowa, przy założeniu, że zawartość proszku diamentowego w ilości 4,4 karata (0,88 g diamentu) jest w 1 cm³ segmentu warstwy roboczej. W oparciu o tę zależność, określa się procentową koncentrację diamentu w segmencie ściernym.

Syntetyczny proszek diamentowy oceniany jest według parametrów ziarnistości i wytrzymałości, co podlega uporządkowaniu w określonych światowych normach.

Ziarnistość proszków diamentowych w zależności od rozmiaru ziarna kryształów, dzieli się na trzy grupy: szlifierskie od 2500 do 40 mkm, mikro proszki od 40 do 1 mkm i submikro proszki od 1 do 0,1 mkm i poniżej 0,1 mkm, kwalifikuje się do nano proszków. Normy charakteryzujące materiał proszków diamentowych w różnych państwach na świecie, w różny sposób oznaczają ziarnistość proszków diamentowych. Przykładowo

w USA ziarnistość oznacza się w jednostkach Mesh, to jest liczbą oczek w sicie przypadających na jeden cal. W Europie ziarnistość oznacza się rozmiarem granulacji na sicie w mikrometrach. W tabeli 2. przedstawiono oznaczenie ziarnistości proszków diamentowych, porównanych dla różnych norm. Wytrzymałość proszku diamentowego na ściskanie stanowi ważny wskaźnik jego charakterystyki, który należy uwzględnić przy projektowaniu segmentu ściernego dla narzędzia obróbczego. Wytrzymałość statyczna określa się wartością obciążenia, przy której ulega zniszczeniu pojedynczy kryształ proszku diamentowego. Diamentowe proszki ściernie, w zależności od pochodzenia surowca, oznaczane są indeksami literaturowymi, gdzie; duża litera A oznacza diament naturalny, AC oznacza diament syntetyczny, ACP oznacza diament syntetyczny polikryształowy. Dla diamentów naturalnych pierwsza cyfra określa ziarna formy izometrycznej, druga liczba oznacza wytrzymałość w N, np. A5K100 oznacza 50% ziaren formy izometrycznej przy średniej wytrzymałości ziarna 100 N. Dla ziaren proszków syntetycznych, średnią wartość wytrzymałości na ściskanie dla danej marki określa się w N, np. AC100. Dla narzędzi z segmentami na spoiwie syntetycznym, wykorzystuje się proszki marki AC2 – AC6. Dla segmentów na spoiwach metalicznych stosuje się proszki marki AC15 – AC160 i wyżej.

Tab. 2. Ziarnistość proszku diamentowego

Rodzaj obróbki	Standard ISO 565 [mkm]	Standard USA ANSI 74-16 [mesh]	Standard FEPA
Szlifowanie zgrubne	425/365	40/45	D 426
	300/250	50/60	D 301
	250/212	60/70	D 251
	121/180	70/80	D 213
	180/150	80/100	D 181
Szlifowanie czyste	105/125	100/120	D 151
	125/106	120/140	D 126
	106/90	140/170	D 107
Szlifowanie dokładne	90/75	170/200	D 91
	75/63	200/230	D 76
	63/53	230/270	D 64
	53/45	270/325	D 54
	45/38	325/400	D 46
Szlifowanie bardzo dokładne, polerowanie		500	M 63
		550	M 40
		650	M 25
		1100	M 16
		1500	M 16
		1700	M 10
		3000	M 0,3
	4000	M 4,0	
Polerowanie ultra	nano proszki diamentowe		

Źródło: [14]

2.5. Charakterystyka materiału nośnego – spoiwo w segmentach ściernych tarcz szlifierskich

Zadaniem spoiwa w segmencie ściernym, jest przestrzenne ułożenie i związanie ziaren materiału ściernego w postaci konglomeratu segmentu o żądanym układzie geometrii oddziaływania, tak, aby w czasie procesu obróbczego narzędzie zachowało jak najdłużej właściwości ściernie, to jest zdolność utrzymywania się w strukturze spoiwa. Ziarno ściernie zawarte w segmencie, powinno generować jednorodność struktury geometrycznej powierzchni. Zdolność ta zależy od optymalnych parametrów przy których oddziałuje na obrabianą powierzchnię, a która zależy od geometrii powierzchni ścierniej segmentu i parametrów kinematycznych obróbki. Dobór składników wiązania ziarna ze spoiwem, zależy głównie od przeznaczenia, to znaczy od rodzaju materiału obrabianego. Ze względu na to, że skały różnią się podatnością na obróbkę, od tego zależy dobór składnika spoiwa. Musi ono być takie, aby odpowiadało przyjętemu przedziałowi twardości, w zależności od twardości obrabianego materiału i wzajemnej ścieralności. W technologii produkcji segmentów diamentowych, stosowane są spoiwa: ceramiczne (C), sylikatowe (S), magnezowe (M), bakelitowe (B), żywiczne (Ż) i metaliczne (Met).

Technologia wytwarzania segmentów różni się od siebie, w zależności od rodzaju zastosowanego spoiwa do segmentów ściernych. Wiodąca jest technologia metalurgii proszkowej do wytwarzania segmentów ściernych na spoiwie metalicznym. Proces ten jest skomplikowany i bardzo kosztowny. Jednym z argumentów przemawiających za możliwością modelowania narzędzi z wykorzystaniem technologii druku 3D, jest dynamika rozwoju materiałów do drukowania w technologii 3D, co przyczynia się do oszczędności kosztów badań oraz małoseryjnej produkcji narzędzi. Dużą oszczędność czasu i możliwość przeprowadzenia zmian na etapie badań w modelowaniu nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Te argumenty przemawiają za prowadzeniem badań nowych konstrukcji narzędzi diamentowych z wykorzystaniem technologii druku 3D.

3. Sposób modelowania geometrii segmentu tarczy szlifierskiej do obróbki granitu

W analizie literatury [4, 7] w zakresie pracy tarczy ścierniej w obróbce powierzchni, wskazuje się na różnorodność występujących zjawisk oraz sposobów modelowania i analizy narzędzi dla efektywnego procesu obróbki powierzchniowej. W pierwszym etapie prac, jako zadanie badawcze zdefiniowano potrzebę określenia wskaźnika skuteczności ścierniej dla tarcz z segmentami diamentowymi znanych konstrukcji drukowanych w systemie 3D. Zadania badawcze dotyczą tarcz wykorzystywanych do szlifowania płyt kamiennych. Określając wpływ zmiennych, tj. geometrii segmentów ściernych, charakterystyki materiału ściernego – ścierniwa to jest: granulacji oraz koncentracji w spoiwie, wiodącym zadaniem jest określenie sposobu analizy trajektorii śladu ziarna ściernego na obrabianym materiale w funkcji czasu jego oddziaływania.

Przydatnym narzędziem do projektowania konstrukcji tarcz o optymalnym doborze parametrów konstrukcyjnych, wykorzystywany jest program komputerowy opracowany na Wydziale Budownictwa Politechniki Częstochowskiej, który umożliwia zamodelowanie narzędzi obróbczych dla określonych parametrów pracy. Takie rozwiązanie przyspieszy proces projektowania również narzędzi diamentowych do obróbki powierzchni mineralnych, ponieważ program przewiduje dopełnienie jego możliwości w procedury obliczeniowe, umożliwiające analizowanie pracy pojedynczego ziarna. Wyjściowym w modelowaniu konstrukcji tarczy ścierniej według wspomnianej metody, jest sprawdzenie

wpływu geometrii narzędzia w czasie ruchu na efektywność jego pracy, co opisano w publikacji [5]. Praca poświęcona jest analizowaniu efektywności oddziaływania narzędzi obróbczych do zacierania plastycznych mieszanek betonowych. Przytoczona w publikacji metodyka analizy jako bazowa, jest przydatna w sposobie określenia skuteczności ścierniej tarcz szlifierskich. Ogólna skuteczność ścierna S_{sc} , zależy od średnicy tarczy ścierniej obracającej się z prędkością n m/s i przemieszczającej się po zadanej trajektorii ruchu V_t m/s, która opisana jest funkcją trzech zmiennych;

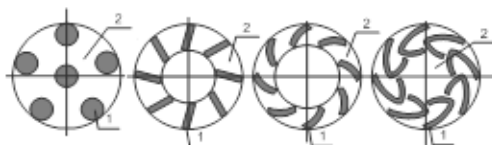
$$S_{sc} = f(\omega V_p (R - R_1)) \quad (1)$$

gdzie: ω – prędkość kątowna; V_p – prędkość postępową tarczy; $R - R_1$ – parametr związany z geometrią pierścienia utworzonego z segmentów ściernych.

Z analizy literatury [4, 7] w zakresie oceny czynników wpływających na pracę tarczy ścierniej przy obróbce powierzchni, wskazuje się na różnorodność występujących zależności dla efektywnego procesu obróbki powierzchniowej. W pierwszym etapie prac, jako zadanie określono potrzebę sprawdzenia zachowania się nowych materiałów w prototypowym kształtowaniu nowej geometrii tarczy ścierniej. W zakresie określenia skuteczności ścierniej, zależnej od geometrii dla konstrukcji geometrycznych segmentów diamentowych tarcz na spoiwach syntetycznych, obliczono wpływ zmiennych - geometrii segmentów ściernych. Zadaniem pierwszym jest analiza sposobów ustalenia wpływu formy geometrycznej segmentów ściernych, ich rozmiarów i ich rozmieszczenia na powierzchni nośnej tarczy bazowej, w celu określenia sposobu sprawdzenia skuteczności ścierniej zależnej od formy geometrycznej segmentu. Analiza literaturowa [4, 7] pozwala postawić wstępną hipotezę, iż skuteczność ścierna wyrażona jest równomiernością rozkładu rys powstałych od ziarna na materiale obrabianym po przejściu tarczy na kwadracie bazowej powierzchni o boku równym średnicy tarczy (D).

Z analizy rynku narzędziowego [20] wynika, że segmenty rozmieszczone są na okrągłej powierzchni bazowej tarczy, mogą mieć różną formę oraz w różny sposób mogą być rozmieszczone na bazie. Wskazuje to na zasadność poszukiwania zwiększenia skuteczności ścierniej w nowych konstrukcjach, przez badanie nowych kształtów segmentów ściernych.

Segmenty ściernie rozmieszczone na powierzchni bazowej tarczy mogą posiadać różne formy geometryczne, jak na rys.1.



Rys. 1. Zmienne formy geometryczne segmentów ściernych tarcz szlifierskich

Źródło: [7]

Efektywna obróbka powierzchni tarczowym narzędziem roboczym, obracającym się z prędkością ω , wprowadzonym najczęściej w ruch postępowy z prędkością V_p , uwarunkowana jest wyjściowym zbiorem zależności kinematycznych. Program komputerowy do modelowania opisany w pracy [7], pozwala również na uwzględnienie wszystkich rodzajów ruchu, poprzez sformułowanie trasy przemieszczeń tarczy. Charakterystyka toru ruchu tarczy zawiera określenie położenia środka tarczy oraz jej

parametrów kinematycznych (prędkości ruchu postępowego i ruchu obrotowego), na początku i w końcu kolejnego etapu ruchu. Nieruchome pole elementarne ΔS obrabianej powierzchni poddawane jest działaniu różnych punktów elementów roboczych tarczy, w których występują różne pod względem wielkości i kierunku wypadkowe prędkości ruchów składowych tarczy. Wypadkowe prędkości oddziaływania wybranych elementarnych powierzchni tarczy na różne punkty elementarne obrabianej powierzchni będą zmienne. Wielkość i kierunek prędkości ruchu postępowego wszystkich punktów powierzchni roboczej tarczy V_p są takie same. Wartość liczbowa prędkości obrotowej $V_{OR} = \omega_o r_i$ maleje w miarę zmian $r_i = R$ do $r_i = 0$ i na obwodzie tarczy wynosi $V_{OR} = \omega_o R$, natomiast w środku tarczy spada do zera. Ponieważ wektory tej prędkości są prostopadłe do promienia r_i i mają kierunek zgodny z kierunkiem obrotu tarczy, to wypadkowe tych prędkości także zmieniają kierunek.

Przedstawiona zależność kinematyki oddziaływania punktów powierzchni roboczej tarczy określa zasady budowy programu komputerowego dla obliczeń skuteczności obróbczej. Omawiany program komputerowy daje możliwość dopełnienia w procedury obliczeniowe uwzględniające analizę oddziaływania cyklografów, to jest rys powstałych na obrabianym materiale po ziarnach ściernych segmentu diamentowego. W programie tym zadaje się kwant czasu dt (sensory ułożone na linii pozornej poziomej przez które przechodzi modelowana geometria tarczy), dla którego zapamiętywane są sensory $L_i = (V_p + V_{ori\phi_i}) dt$, a na jego końcu wyznaczane są wartości parametrów układu, tzn. $\bar{V}_p + \bar{V}_{ori}$,

i położenie środka tarczy dla kolejnego sensora. Program komputerowy oblicza długość linii kontaktu pomiędzy elementarnym polem obliczeniowym, a elementarnym polem narzędzia w czasie ruchu narzędzia. Wynikiem obliczeń są wykresy skuteczności

oddziaływania narzędzia roboczego $S_o = \sum_{i=1}^n \cdot L_i [m]$, określone w postaci punktów tworzących linie oddziaływania wszystkich punktów powierzchni roboczej tarczy.

Inne podejście w ocenie i kształtowaniu efektywności obróbczej tarczy ściernej, prezentuje szkoła stworzona przez prof. Wojciecha Kacalaka opisana częściowo w pracy [4], gdzie proces szlifowania z zastosowaniem ściernic o modyfikowanej strukturze przestrzennej, można ocenić w drodze analiz topografii powierzchni czynnej narzędzia. Program pozwala analizować różne rozwiązania geometryczne segmentów ściernych. Wspomniana metoda również jest skuteczna, lecz na pierwszym etapie pracy badawczej jest czasochłonna i kosztowna. Opracowana metodyka polega na identyfikacji zmian stanu powierzchni czynnej narzędzia w wyniku ścierania wierzchołków ziaren oraz zalepiania powierzchni materiałem obrabianym. Zużycie tarczy ściernej jest procesem złożonym, w którym występuje wiele zjawisk, np. destrukcja ziaren na powierzchni narzędzia roboczego oraz na powierzchni obrabianej. Złożoność procesów jest trudna do zidentyfikowania. Pomimo opracowania wielu metod pomiaru oraz dostępności przetwarzania danych i możliwości wyznaczania znacznej liczby parametrów charakteryzujących powierzchnie narzędzi ściernych, nadal trudnym jest określenie wpływu wszystkich czynników mających wpływ na zużycie tarczy.

3.1. Teoretyczna analiza obliczeń skuteczności ścierniej wybranych geometrii tarcz ściernych

Analizując wpływ formy segmentu na wskaźnik skuteczności oddziaływania ściernego na obrabianą powierzchnię zależną od geometrii segmentu tarczy, dla celów obliczeń przyjęto jej średnicę $d=0.1\text{m}$ i parametry kinematyczne $V_p=0.01\text{m/s}$ oraz $n=1660\text{obr/min}$. Obliczony został wariant trasy ruchu środka tarczy według zasady oddziaływania ruchu posuwistego. Dla danej średnicy tarczy dobierany jest kwant czasu dt [s] równy $1,25 \cdot 10^{-3}\text{s}$. Odległość między sensorami wynosi 0.001m . Program komputerowy, w analizie wpływu parametrów wyjściowych średnicy i prędkości, określa średnią skuteczność oddziaływania na szerokości pasma obróbczego, gdzie średnia skuteczność S_o tarczy ścierniej określa się jako długość linii kontaktu elementarnej powierzchni segmentu ściernego ziarna diamentowego, względem elementarnej powierzchni obrabianego materiału (linii sensorów). Co określono w zależności:

$$S_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{oi} \quad (2)$$

gdzie: S_{oi} – wartość oddziaływania skuteczności według sensorów.

W procesie oceny tarczy ścierniej i parametrów kinematycznych, wiodącym jest wskaźnik odchylenia standardowego skuteczności oddziaływania. Wskaźnik odchylenia standardowego σ wyznaczany jest ze stosunku odchylenia standardowego i średniej skuteczności oddziaływania tarczy i określa się go z zależności:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_{oi} - \bar{S}_o)^2}}{\bar{S}_o} \quad (3)$$

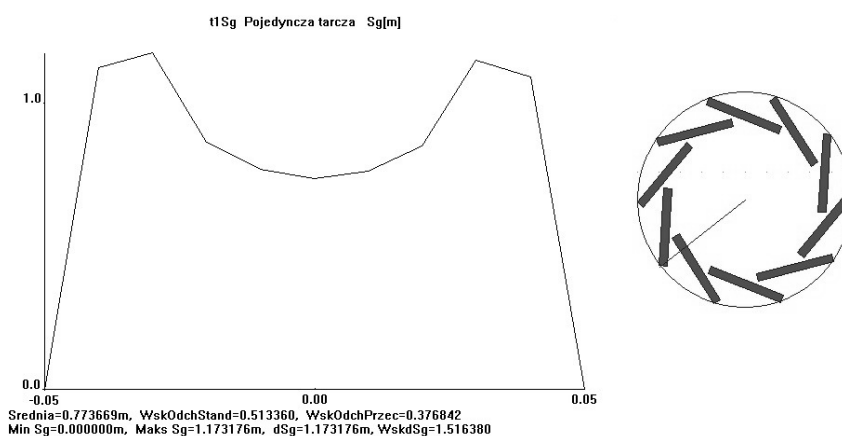
Wartość wskaźnika odchylenia standardowego oraz parametr skuteczności oddziaływania, stanowi kryterium oceny jakościowej struktur geometrycznych tarczy szlifierskiej. Oprócz wartości średniej skuteczności oddziaływania S_o , wskaźnika odchylenia standardowego skuteczności maksymalnej i minimalnej ($S_{o\max}$ i $S_{o\min}$), wyniki obliczeń pozwalają określić wskaźnik odchylenia względnego ε , który określa się z zależności:

$$\varepsilon = \frac{S_{o\max} - S_{o\min}}{\bar{S}_o} \quad (4)$$

Wskaźnik odchylenia względnego daje informacje o równomierności rozkładu S_o i stanowi on kryterium oceny oddziaływania geometrycznego narzędzia tarczy na obrabianą powierzchnię.

Dla celów prototypowania efektywności ścierniej nowych rozwiązań konstrukcyjnych tarcz przeprowadzono obliczenia, dla których przyjęto w wariancie pierwszym ułożone w polu R-R₁ (R=50mm, R₁=32.5mm) 10 segmentów o wymiarze 5x36mm, jak na rysunku 2. W drugim wariancie ułożono w polu R-R₁ (R=50mm, R₁=17.5mm) 6 wyoblanych segmentów o wymiarach 8x36mm jak na rysunku 3. Do obliczeń wykorzystano metodę oceny skuteczności oddziaływania rozwiązań geometrii segmentów ściernych według

programu opisanego w pkt. 4.3. W ocenie rozwiązań porównano skuteczność oddziaływania. W programie komputerowym do ich analizy została określona skuteczność geometryczna S_g , co zaznaczono na wykresach, dla której określono minimalną, średnią i maksymalną skuteczność geometryczną oraz wskaźnik odchylenia standardowego i wskaźnik odchylenia względnego. Poniżej przedstawiono wykresy z przeprowadzonych obliczeń efektywności geometrycznej oddziaływania trącej powierzchni segmentów względem obrabianej powierzchni.



Rys. 2. Konstrukcja tarczy ścierniej z 10 prostokątnymi segmentami diamentowymi w postaci belek rozmieszczonych po obwodzie tarczy R-R₁ (R=50mm i R₁=32.5mm) o wymiarze 5x36mm z prezentacją z lewej strony na wykresie rozkładu skuteczności oddziaływania przy jednym przejściu tarczy po linii sensorów odpowiadającej średnicy tarczy z określeniem średniej skuteczności oddziaływania jako kryterium oceny skuteczności ścierniej



Rys. 3. Konstrukcja tarczy ścierniej z 6 wyoblonymi segmentami diamentowymi o wymiarach 8x36mm rozmieszczonych po obwodzie tarczy R-R₁ (R=50mm i R₁=32.5mm) z wykresem rozkładu skuteczności oddziaływania segmentów diamentowych określonej na osi pionowej, przy jednym przejściu tarczy po linii sensorów rozmieszczonej na osi poziomej, odpowiadającej średnicy tarczy.

Na osi poziomej odpowiadającej średnicy tarczy umieszczono linię sensorów, na osi pionowej oznaczono wartość skuteczności oddziaływania segmentów diamentowych wyrażone długością linii kontaktu ziaren diamentowych z obrabianą powierzchnią z ukazaniem ich wartości na całej średnicy tarczy.

Analizę przeprowadzono dla ruchu posuwistego przy założeniu: 166 obr/min i prędkości postępowej $V_p=0,01$ m/s. Dla wszystkich analizowanych przypadków tarczowych narzędzi roboczych, charakterystyczna jest zerowa skuteczność oddziaływania na brzegach strefy obróbki o szerokości równej średnicy tarczy. Wynika to z warunków brzegowych przyjętych w programie komputerowym. Analiza porównawcza danych na wykresach wskazuje na możliwość analizowania układów geometrii segmentów diamentowych, co jest przydatne przy ocenie wpływu rozwiązania nowoprojektowanych geometrii segmentów diamentowych z uwzględnieniem ich rozmieszczenia na bazowej tarczy.

4. Wnioski

Przeprowadzona analiza stanu wiedzy w zakresie technologii i rozwoju narzędzi diamentowych oraz przeprowadzone obliczenia modelowania skuteczności ścierniej tarcz szlifierskich pozwalają stwierdzić, że podjęta tematyka wpisuje się w aktualność prowadzonych badań.

Przeprowadzone obliczenia skuteczności ścierniej rozwiązań geometrii segmentów diamentowych przedstawionych na rys. 2. i rys. 3. wskazują, że konstrukcje o większej efektywności obróbczej, to segmenty wyoblane. Wskazuje to na prawidłowość podjętego kierunku badań.

Stosowanie narzędzi diamentowych przynosi określone korzyści do których należą: wysoka wydajność, wysoka jakość wyrobu po obróbce.

W chwili obecnej na światowych rynkach narzędzi do obróbki materiałów mineralnych, produkowanych z proszków diamentowych, pojawia się bardzo dużo nowych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych, w tym tarcz szlifierskich na spoiwach syntetycznych.

Analiza literaturowa oraz prezentacje z targów branżowych, wskazują na intensywnie rozwijającą się technologię produkcji narzędzi diamentowych na spoiwach syntetycznych oraz na spoiwach metalicznych.

Celowym jest doskonalenie konstrukcji tarcz ściernych w zakresie zwiększenia efektywności ścierniej z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć technologicznych, obejmujących: produkcję proszków diamentowych, technologię wydruku 3D oraz technologię metalurgii proszkowej z uwzględnieniem indywidualnego podejścia w projektowaniu oraz małą seryjną produkcję.

Pojawiające się na rynku nowe rodzaje filamentów kompozytowych stanowią interesującą ofertę w zakresie wykorzystania ich w prototypowaniu tarcz szlifierskich.

Wskazane są dalsze działania w celu rozbudowy narzędzi informatycznych, służących do prognozowania skuteczności ścierniej projektowanych tarcz szlifierskich.

Literatura

1. Adamczak S.: Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu falistości i chropowatości, WNT, Warszawa, 2009.
2. Borkowska M., Smulikowski K.: Minerality skalotwórcze, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1973.

3. Jaworska L., Razmas M., Twardowska A., Królicka B.: Kompozyty diamentowe z ceramiczną fazą wiążącą - modyfikacja mikrostruktury w aspekcie łączenia z korpusem narzędzia, *Kompozyty*, nr. 6, 2006, s. 3-7.
4. Kacalak W., Tandecka K., Lipiński D.: Metody identyfikacji zmian stanu czynnej powierzchni ściernic w wyniku starcia, zalepienia lub wykruszenia ziarn, *Mechanik*, nr 9, 2014.
5. Oczóś K., Porzycki J.: *Szlifowanie Podstawy i Technika*, WNT, Warszawa, 1986.
6. Przyniosło S.: *Krajowa baza kamienia naturalnego, Kamień naturalny w budownictwie*, Wyd. PIG, Warszawa, 1998, s. 120.
7. Rajczyk J.: *Podstawy naukowe doboru struktury i kinematyki tarczowych narzędzi maszyn do obróbki powierzchni betonu plastycznego*, Monografia, Wyd. PCz, Częstochowa, 2004.
8. Rosieńkiewicz M.: *Innowacje w obszarze techniki wytwarzania metodą ścierną*, Wyd. PW, Warszawa, 2004.
9. Żarczyński R.: *Efekty obróbki powierzchniowej wybranych materiałów granitowych*, Praca dyplomowa, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2015.
10. *Katalog firmy Diamtrade, Technika diamentowa*, Warszawa – Wołomin, 2016.
11. *Katalog firmy Scanstone*, Strzegom, 2012.
12. *Świat kamienia*, nr. 3, 2002.
13. *Świat kamienia*, nr. 2, 2012.
14. www.abrasives-diamond.ru
15. www.bartalmaz.ru
16. www.fihufeng.com
17. www.granitystrzegomskie.pl
18. www.instrumer.ru
19. www.magma.net.pl
20. www.sklep-kamieniarski.eu

Dr hab. inż. Marcin KNAPIŃSKI, prof. PCz.

Mgr inż. Paweł RAJCZYK

Institut Przeróbki Plastycznej i Inżynierii Bezpieczeństwa

Politechnika Częstochowska

42-200 Częstochowa, al. Armii Krajowej 19

tel.: +48 34 3250 790

+48 34 3250 685

e-mail: knapinski.marcin@wip.pcz.pl

rajczyk.pawel@wip.pcz.pl