



ANALIZA NOWYCH KONSTRUKCJI SEGMENTOWYCH TARCZ ŚCIERNYCH PRZEZNACZONYCH DO SZLIFOWANIA GRANITU

Paweł Rajczyk

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Poland

Corresponding author:

Paweł Rajczyk

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów

Al. Armii Krajowej 19, 42-201 Częstochowa, Poland

phone: (+48) 343250-685

e-mail: rajczyk.pawel@wip.pcz.pl

ANALYSIS OF NEW SEGMENT CONSTRUCTIONS OF ABRASIVE SHIELDS FOR GRINDING GRANITE

ABSTRACT

The purpose of the work is to develop a new effective construction and material for the granite abrasive grinding wheel. The task was undertaken in order to shorten the time of surface grinding machining operations by providing for a given cycle a homogeneous post-processing surface of high quality, shortening the time for a given group of granularity of abrasive segments. For the purpose of the work, an analysis of the effectiveness of the working surface of the disc's surface of known geometric solutions and a new disc geometry solution was carried out. The recipes of the material composition and the technology of making prototypes of discs with new geometry of abrasive segments for which laboratory tests were carried out were developed. The evaluation of the effectiveness of their work for the production conditions has been tested in laboratory conditions, where discs with a diameter of 100 mm were tested operating at constant kinematic parameters $\omega = 960$ rpm and at a constant pressure of the 20 N disc to the surface to be machined. Effectiveness of the impact was verified by the distribution of surface roughness on the treatment floor of the width corresponding to the diameter of the disc left on the surface of the granite slab. Initial tests were carried out on the author's stand, ensuring: rotational speed measurement, constant pressure of the disc to the material being processed, surface roughness measurement after each of the three cycles of the disc impact using the Mitutoyo roughness tester.

KEYWORDS

Grinding wheel, mechanical treatment of mineral surfaces, diamond discs, surface roughness.

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. Oczekiwania skierowane są na nowe rozwiązania technologiczne, które wpływają na wzrost wydajności, wzrost jakości, wzrost bezpieczeństwa pracy oraz obniżenie kosztów obróbki powierzchni użytkowej. W chwili obecnej, jak wynika z publikacji [16, 19], w gospodarce światowej następuje duże zainteresowanie oraz wzrost produkcji narzędzi produkowanych na bazie syntetycznych proszków diamentowych na spoiwach syntetycznych. Część roboczą – ścierną narzędzi diamentowych wykonuje się w postaci segmentów o różnych konfiguracjach geometrycznych. Historyczne stosowanie diamentu jako materiału ściernego do obróbki bazaltu i granitu wykorzystano już w Starożytnym Egipcie, świadczą o tym ślady po nacięciach w kamieniu na budowach w Gizie. Źródła egipskie informują, że 3000 lat p.n.e. w państwie faraonów wykorzystywano jako ścierniwo ziarenka naturalnego diamentu zwane amo-

deusami, natomiast do polerowania proszek powstały ze zmielenia łupin orzechów [2, 7]. W naszej erze udokumentowany publikacjami rozwój narzędzi ściernych nastąpił w XIX wieku, gdzie z opisu wynika, że we Francji dokonano syntezy węgliku krzemu. W 1900 roku Hall i Higgins uruchomili produkcję elektrokorundu z boksytu. W 1934 Ridgway przeprowadził syntezę węgliku boru. Wspomniane ścierniwa są do chwili obecnej stosowane w przemyśle do wyrobu narzędzi ściernych. Osiągnięcia te przyczyniły się do intensyfikacji badań w zakresie wytwarzania syntetycznych proszków diamentowych. W roku 1953 Platen B w Szwecji przeprowadził po raz pierwszy syntezę diamentu, również w 1953 roku Generall Eletric uruchomił przemysłową produkcję syntetycznych diamentów. W roku 1965 w Rosji oprowadniono również produkcję diamentów syntetycznych. Od lat 90 w swoim rozwoju technicznym Chiny stały się największym producentem proszków diamentowych w świecie, co przyczyniło się do obniżenia kosztów ich produkcji oraz ceny i dostępności samego proszku diamentowego. W chwili obecnej dominującym kierunkiem rozwoju technologii tarcz szlifierskich, do robót wykończenia powierzchni mającej na celu uzyskanie małej i równomiernej chropowatości przy obróbce gra-

nitu są kierunki związane z dynamicznie rozwijającymi się badaniami wykorzystania w produkcji tarcz szlifierskich spoiw syntetycznych.

2. Powierzchniowa obróbka granitu

Z literatury [11, 13] omawiającej rozwój technologii obróbki twardych materiałów w ujęciu historycznym występuje wiele wątków i hipotez. Jeden z kierunków badań to analiza poziomu zaawansowania technologicznego społeczeństwa w danym czasie, którą głównie prowadzi się za pośrednictwem analizy stosowanych w danym okresie narzędzi. Twardość granitu wynosi według stosowanej skali twardości 7 Msh, gdzie 10 Msh odpowiada najtwardszemu minerałowi jaki występuje w przyrodzie, tj. diamentom. W pracy [9] Petrie w 1880 roku stwierdził na niezrozumiałość posiadania wówczas tak efektywnych narzędzi w okresie powstawania budowli w Gizie. W pracy [3] autor informuje na podstawie oceny badań archeologicznych przeprowadzonych w Egipcie o odkryciu wioski robotników w której istniały tak zwane warsztaty miedzi, gdzie powstawały tysiące narzędzi miedzianych, które to były prawdopodobnie pierwszymi wytworami segmentów diamentowych. Z pozyskanej wiedzy literaturowej w zakresie właściwości narzędzi diamentowych do obróbki granitu. Technologiczny rozwój narzędzi z segmentami diamentowymi nastąpił w XX wieku szczególnie w zakresie produkcji syntetycznych proszków diamentowych oraz technologii wytwarzania segmentów diamentowych, jako wyposażenie narzędzi do obróbki granitu. Osiągnięcia pozwalają postawić hipotezę, że w okresie rozwoju brązu wspomniana wioska robotników miała wkład w rozwój technologii narzędzi diamentowych.

Narzędzia diamentowe do powierzchniowej obróbki płyt kamiennych – granitów, pełnią dominującą rolę w mechanizacji procesów szlifowania oraz wykonywania operacji wspomagających [8, 15, 16]. Stosowanie narzędzi diamentowych do obróbki kamienia w Polsce sięga roku 1965. Początki rozwoju przemysłu obróbki kamienia związane były z importem narzędzi diamentowych, gdzie wiodącym role pełniła firma Diamant Board z RPA. W końcu lat 70 minionego wieku, ważnym krokiem rozwoju w technologii produkcji narzędzi ściernych, było podjęcie produkcji krajowych segmentów diamentowych. Stosowanie narzędzi diamentowych przynosi określone korzyści do których należą: wysoka wydajność, wysoka jakość wyrobu po obróbce. Optymalne parametry pracy mają wpływ na wydajność, zużycie ściernych narzędzi, jakość obrobionej powierzchni, które przy minimalnej liczbie przejść tarczy po obrabianym materiale powinny zapewnić jednorodną jakość obrabianej powierzchni, która na szerokość oddziaływania tarczy przy jednym przejściu po powierzchni granitu zapewni na długości promienia tarczy jednorodną chropowatość powierzchni w danym przypadku dla ziarnistości 50#, gdzie rozkład chropowatości na długości promienia tarczy powinna wynieść $R_a = 0,32 \mu\text{m}$. Miernikiem jakości powierzchni płyt granitowych jest

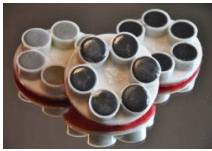


jednorodność jej chropowatości dla szlifowania wykończeniowego lub stopień poleru mierzony ilością odbitego światła od powierzchni na całej obrabianej powierzchni płyty granitowej oraz na długotrwałe zachowanie zadanych cech danej faktury. Jakość diamentowych tarcz szlifierskich zależy w pierwszej kolejności 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 dodatkowo parametrem siły utrzymania ziarna ściernego w spoiwie [12]. Do głównych czynników wpływających na efektywność szlifowania, zaliczyć należy konfigurację rozmieszczenia samych segmentów ściernych na powierzchni głowicy obróbczej. Jako wiodący czynnik wzrostu efektywności ścierniej uznano również parametry materiałowe segmentów diamentowych, tj. granulacje proszku diamentowego, koncentrację diamentu w segmencie ściernym, typ proszku diamentowego, twardość spoiwa oraz zadane parametry kinematyczne pracy tarczy.

3. Tarcze szlifierskie ze ścierniwem diamentowym na spoiwach syntetycznych

Do procesu obróbki powierzchni kamiennych stosowane są tarcze wyposażone w segmenty ściernie, przykłady rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiono w tabeli 1. Przedstawione rozwiązania konstrukcji geometrycznej segmentów tarcz przeznaczonych do szlifowania wykończeniowego granitu stosowane są tarcze z segmentami na spoiwach z żywic syntetycznych z dodatkami w składzie regulującymi twardość, udział koncentracji diamentu – ścierniwa w segmencie wynosi 20–50%.

Tabela 1

Znane rozwiązania konstrukcyjne tarcz szlifierskich przeznaczonych do wykończeniowej obróbki powierzchni granitowych na spoiwach żywicy syntetycznych [17–19].

Fotografia	Nazwa	D [mm]	Z^*
	Zdriery plastikowe	100	#50
	Zdriery rzep	100	#50
		100	#100
	Typ ZL-16K	100	#50

D – średnica, Z^* – ziarnistość proszku diamentowego.

Z literatury [5, 10] dla oceny efektywnej pracy tarczy ścierniej do obróbki powierzchni wynika, że wpływ ma wiele zależności. W pierwszym etapie prac, jako zadanie wyjściowe określono potrzebę sprawdzenia zachowania się nowych geometrii powierzchni ścierniej tarczy. Celem w zakresie określenia skuteczności oddziaływania ściernego, zależnego od elementów ściernych dla konstrukcji okrągłych geometrii segmentów diamentowych tarcz na spoiwach syntetycznych, było przeprowadzenie obliczeń wpływu zmiennych – wymiarów oraz rozmieszczenia segmentów ściernych na powierzchni bazowej tarczy. Na podstawie analizy literatury [5, 10] postawiono wstępną hipotezę, która mówi, że skuteczność ścierna tarczy szlifierskiej wyrażona jest równomiernością rozkładu rys, tj. chropowatość powierzchni wyznaczona parametrem R_a powstałej od ziarna na materiale obrabianym po przejściu tarczy na kwadracie bazowej powierzchni o boku równym średnicy tarczy (D).

Segmenty rozmieszczone na okrągłej powierzchni bazowej tarczy, mogą mieć różną formę oraz w różny sposób mogą być rozmieszczone na baizie tarczy. Wskazuje to na zasadność poszukiwania nowego rozwiązania dla zwiększenia skuteczności ścierniej w nowych konstrukcjach, w drodze racjonalizacji parametrów zależności formy geometrycznej i rozmiarów elementów ściernych segmentów. Działania te powinny być poprzedzone obliczeniem geometrycznej skuteczności oddziaływania nowych kształtów geometrycznych elementów trących tarcz z ich oceną i weryfikacją na stanowisku badań ściernych weryfikowanych rozkładem chropowatości poobróbkowej na obrabianej powierzchni, przy ocenie powierzchni obrobionej przez tarcze na szerokości średnicy jej oddziaływania.

Głównym materiałem ściernym do produkcji segmentów są syntetyczne proszki diamentowe. Spoiwo służy jako środowisko utrzymujące ziarna diamentu. Twardość segmentu kształtuje stopień ścierania oraz utrzymania w spoiwie matrycy segmentu ziaren proszków diamentowych. Spoiwo również w znacznym stopniu określa warunki efektywności ścierniej. Zadane regulowania twardości segmentów ściernych, uzyskuje się przez mieszanie różnych typów dodatków modyfikujących do składu bazowego osnowy segmentów. Z doświadczeń praktycznych oraz wyników badań naukowych [1, 4] wynika, że obróbka materiału miękkiego z zastosowaniem segmentu miękkiego, prowadzi do przyspieszonego procesu ścierania narzędzia i odwrotnie, obróbka materiału twardego segmentem twardym prowadzi do zjawiska obniżenia zdolności ścierniej. Wartość zużycia spoiwa zależy od jego twardości, koncentracji proszku diamentowego oraz modyfikatorów odprowadzających ciepło z otoczenia ziarna diamentowego.

Koncentracja ziaren diamentowych, rozmiar oraz twardość spoiwa, powinna być dobrana do twardości obrabianego materiału dla zadanej klasy chropowatości powierzchni z uwzględnieniem parametrów kinematycznych pracy narzędzia.

Szczegóły procesu technologicznego stanowią ściśle chronioną tajemnicę producentów narzędzi oraz pro-

ducentów urządzeń technologicznych do ich wytwarzania. Tajemnice szczególnie obejmują receptury kompozycji materiałowej, w tym narzędzi produkowanych na spoiwach syntetycznych, głównie mieszkankach wypełnień oraz samej technologii produkcji tarcz.

Z badań wynika, że zadaniem spoiwa w segmencie ściernym jest ułożenie i związanie ziaren materiału ściernego w postaci konglomeratu segmentu o zadanym układzie geometrii oddziaływania, tak aby w czasie pracy narzędzie zachowywało jak najdłużej właściwości ściernie, w tym: zdolność utrzymania ziaren w strukturze spoiwa. Ziarna ściernie zawarte w matrycy segmentu powinny generować jednorodność tekstury geometrycznej obrabianej powierzchni. Zdolność ta zależy od optymalnych parametrów procesu przy których oddziałuje się na obrabianą powierzchnię i która w znaczącym stopniu zależy od geometrii rozmieszczonych segmentów ściernych na bazowej powierzchni tarczy oraz parametrów kinematycznych procesu. Dobór składników wiązania ziarna ze spoiwem zależy głównie od przeznaczenia, tj. właściwości materiału obrabianego. Ze względu na to, że skały różnią się podatnością na obróbkę, to od tej cechy zależny jest dobór składników spoiwa. Musi być tak dobrane aby odpowiadał przyjętemu przedziałowi twardości oraz wzajemnej ścieralności spoiwa segmentu i obrabianego materiału. Wiodącą w produkcji segmentów diamentowych dla tarcz szlifierskich do granitu do niedawna była technologia metalurgii proszkowej, nie mniej proces ten jest skomplikowany i bardzo kosztowny. Jest to jeden z argumentów przemawiających za możliwością wytwarzania narzędzi na spoiwach syntetycznych, których technologie w obecnym czasie są bardzo zaawansowane. Taki kierunek rozwoju przyczynia się do oszczędności kosztów produkcji narzędzi w tym kosztów badań. Podejście to argumentowane jest również tym, że w ostatnim dziesięcioleciu zasługą rozwijających się technologii w Chinach, który znacząco obniża koszty produkcji syntetycznych proszków diamentowych oraz pojawiające się możliwości technologiczne dynamicznie rozwijającej się technologii materiałów syntetycznych.

4. Modelowanie geometrii tarczy szlifierskiej do obróbki granitu

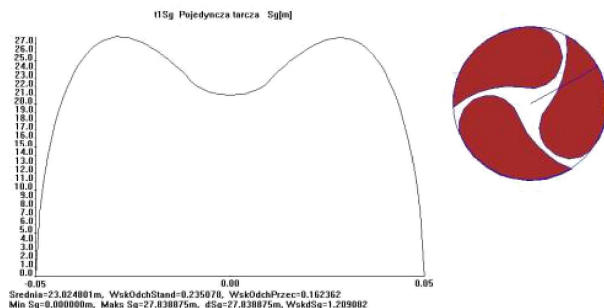
Modelowanie geometrii tarczy szlifierskiej do obróbki granitu wskazuje na różnorodność występujących zjawisk oraz sposobów modelowania w tym analizie narzędzi dla efektywnego procesu obróbki powierzchniowej. Jako pierwsze zadanie badawcze określono potrzebę obliczenia wskaźników geometrycznej skuteczności oddziaływania na obrabianą powierzchnię okrągłych segmentów diamentowych.

Przydatnym narzędziem do geometrycznej analizy konstrukcji tarcz szlifierskich o zadanych parametrach konstrukcyjnych, wykorzystywany jest program komputerowy opracowany w Politechnice Częstochowskiej [6, 10], który umożliwia zamodelowanie geometrii roboczej narzędzi obróbczych dla określonych parametrów

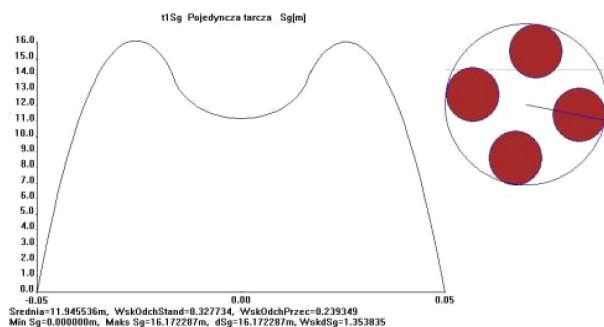
pracy tarczy. Wyjściowym w modelowaniu konstrukcji tarczy według metody, jest sprawdzenie wpływu geometrii roboczej narzędzia w czasie ruchu na skuteczność oddziaływania na obrabianą powierzchnię. Metodyka jest bardzo przydatna w sposobie określenia skuteczności ścierniej tarcz szlifierskich.

Program do modelowania pozwala 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 na końcu kolejnego etapu ruchu. Szczegółowy opis programu komputerowego do analizy skuteczności geometrycznego oddziaływania tarcz przedstawiono w publikacjach [6, 10].

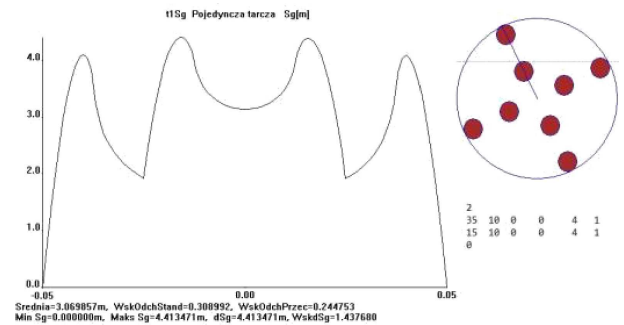
Dla celów oceny skuteczności oddziaływania różnych rozwiązań geometrii tarcz przeprowadzono obliczenia oraz porównano geometryczne skuteczności oddziaływania segmentów ściernych określając wartość geometrycznej skuteczności oddziaływania (S_g) tarczy o średnicy 100 mm, dla 4 wariantów geometrii segmentów trących przedstawiono na rys. 1–4, dla każdego z wariantów tarczy o średnicy 100 mm z wewnętrznym otworem $d = 15$ mm, gdzie na powierzchni tworzącej pierścień rozłożono 4 warianty segmentów ściernych, przy założeniu obciążenia kinematycznego $\omega = 960$ obr/min oraz prędkości postępowej $V_p = 0,01$ m/s.



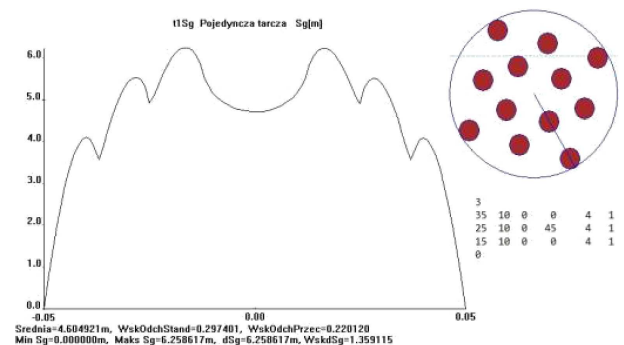
Rys. 1. Wykres skuteczności oddziaływania geometrii w kształcie łezek rozmieszczonych na tarczy o średnicy 100 mm.



Rys. 2. Wykres skuteczności oddziaływania geometrii w kształcie okręgów rozmieszczonych na tarczy o średnicy 100 mm.



Rys. 3. Wykres skuteczności oddziaływania geometrii w kształcie okręgów rozmieszczonych na tarczy o średnicy 100 mm.



Rys. 4. Wykres skuteczności oddziaływania geometrii w kształcie okręgów rozmieszczonych na tarczy o średnicy 100 mm.

W obliczeniach została określona skuteczność geometrycznego oddziaływania S_g , przedstawiona na wykresach, dla której określono minimalną, średnią i maksymalną skuteczność geometryczną oraz wskaźnik odchylenia standardowego i wskaźnik odchylenia względnego.

Wyniki obliczeń, które zilustrowano na wykresach przedstawiają geometryczną skuteczność oddziaływania trącej powierzchni segmentów względem obrabianej powierzchni odniesionej do linii sensorów ułożonej na powierzchni obrabianej, które zczytują długość linii kontaktu i wskazują, że wysoko efektywnym rozwiązaniem w zakresie skuteczności oddziaływania posiada wariant jak na rys. 1, wykres S_g określony względem linii sensorów wykazuje na wysoką efektywność oddziaływania powierzchni roboczej na powierzchni obrabianej. Celowym jest zwrócenie uwagi na to, że okrągłe geometrie segmentów diamentowych tarcz szlifierskich wykazują wpływ na równomierny rozkład wykresu skuteczności ściernego oddziaływania tarcz szlifierskich.

Na rys. 2 przedstawiono segmenty ściernie dla których geometryczna skuteczność oddziaływania jest niższa o 52% od konstrukcji przedstawionej na rys. 1. Rysunek 3 wykazuje o 80% niższą skuteczność oddziaływania w porównaniu z konstrukcją przedstawioną na rys. 1. Konstrukcja charakteryzuje się falowym rozkładem kontaktu segmentów ściernych z obrabianą powierzchnią, wykazując równomierny rozkład chropowatości poobróbce na długości promienia tarczy. Na rys. 4 geometryczna skuteczność ściernego oddziaływania jest wyższa niż konstrukcji na rys. 2 i 3 z charak-

terystycznym równomiernym falowym rozkładem skuteczności oddziaływania gwarantującej efekt w postaci równomiernego rozkładu chropowatości obrabianej powierzchni na długości promienia tarczy w czasie badań przy jednym przejściu tarczy po obrabianym materiale.

Przy uwzględnieniu warunków technologicznych oraz efektywności ekonomicznej celem jest prowadzenie badań w zakresie kształtowania okrągłych segmentów ściernych z ich wykorzystaniem do znalezienia racjonalnych zależności zwiększenia efektywności procesu szlifowania.

5. Instrumentalna ocena efektywności ściernej nowych konstrukcji tarcz na spoiwach syntetycznych

W celu weryfikacji efektywności oddziaływania ściernego nowych konstrukcji tarcz szlifierskich wytwarzanych w procesie obliczeń średniej geometrycznej skuteczności oddziaływania wytworzonych na spoiwach syntetycznych (żywicy epoksydowej oraz żywicy poliestrowej) z 50% wypełnieniem mineralnym, z dodatkami kształtującymi twardość, która powinna wynieść 20–30% twardość niższej niż twardość obrabianego materiału, z koncentracją 20–30% diamentowego proszku syntetycznego typu MBD o ziarnistości 40/45#, z ukształtowanymi segmentami w kształcie okręgów, rozmieszczonych na bazowej średnicy 100 mm. Prowadzone były badania skuteczności oddziaływania nowej konstrukcyjno-materiałowej tarczy szlifierskiej przedstawionej na rys. 5, badanej na autorskim stanowisku, jak na rys. 6, gdzie zapewniono możliwość regulacji prędkości obrotowej (300–1200 obr/min).



Rys. 5. Nowe rozwiązanie konstrukcji tarczy przeznaczanej do szlifowania wykończeniowego powierzchni granitowych [opracowanie własne w oparciu o [14]].

Stanowisko badawcze jest wyposażone w pomiar prędkości obrotowej, za pomocą tachometru dynamicznego oraz mechanizmu kontrolowanego docisku tarczy do powierzchni próbki za pomocą mechanizmu wagowo-sprężynowego o stałym docisku 20 N na powierzchnię próbki w procesie pracy ściernej. Badanie polegało na oddziaływaniu tarczy na powierzchnię wypolerowanej płyty granitowej o wymiarach 150 × 150 mm o twardości 850 HLD (pomiar wg. metody Leeba). Czas pra-

cy ściernej tarczy na powierzchnię wypolerowanej płyty granitowej wynosił 30 s bez ruchu posuwowego.



Rys. 6. Autorskie stanowisko do badań efektywności ściernej nowych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych tarcz szlifierskich.

W badaniach sprawdzono efektywność ścierną tarczy w zakresie rozkładu chropowatości na śladzie pozostawionych na wypolerowanej powierzchni płyty granitowej na pełnej średnicy tarczy na długości 10–50 mm.

Pomiar rozkładu chropowatości określany był od środka tarczy w 5 odcinkach na długości pomiarowej 0,8 mm na pełnej długości promienia tarczy szlifierskiej, jak na rys. 7.



Rys. 7. Pomiar rozkładu chropowatości.

Przy ocenie stosowane były parametry opisujące chropowatość powierzchni zgodnie z Polską Normą. Do oceny chropowatości powierzchni wykorzystuje się mierzalne parametry, takie jak R_a – średnie autentyczne odchylenie profilu od średniej linii [μm],

W celu weryfikacji przeprowadzonych badań jako wiodący parameter oceny określono R_a . Pomiar profilu po pracy nowej konstrukcji tarczy prowadzony był elektronicznym narzędziem pomiarowym firmy Mitutoyo typ JS-21. Wyniki pomiaru chropowatości prototypów i znanych konstrukcji zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2
Wyniki pomiaru chropowatości śladu poobróbczego znanych i nowych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych tarcz szlifierskich do obróbki granitu.

Rodzaj tarczy	Twardość [HLD]	S_g [m]	R_a [μm]				
1	560	15,66	3,43	3,55	3,59	3,58	3,60
2	550	15,66	3,56	3,59	3,61	3,61	3,62
3	630	13,55	3,28	2,33	2,25	2,29	1,07

1 – prototyp tarczy na spoiwie z żywicy poliestrowej

2 – prototyp tarczy na spoiwie z żywicy epoksydowej

3 – konstrukcja przemysłowa tarczy na spoiwie z żywicy poliestrowej

Oddziaływanie tarczy badano na 3 próbkach dla każdego rodzaju tarczy. Oddziaływanie procesu ściernego wykonano bez udziału chłodziwa dla każdej tarczy w czasie 30 s bez ruchu posuwowego.

Z pomiarów chropowatości wynika, że autorskie prototypy tarcz szlifierskich posiadają skuteczność oddziaływania gwarantującą równomierny rozkład chropowatości w porównaniu ze znaną z rynku konstrukcją przemysłową. Ze względu na brak posuwu podczas eksperymentalnych prób oddziaływania tarcz szlifierskich na obrabianą powierzchnię wypolerowanej płyty granitowej o chropowatości $0,21 \mu\text{m}$ zagłębienie pozostawione po oddziaływaniu badanych prototypów tarcz było większe od konstrukcji przemysłowych, co skutkuje wysokim parametrem R_a .

Z analizy mikroskopowej wykonanej po cyklu badawczym pod mikroskopem Nikon Eclipse MA 200 przy powiększeniu $50\times$, wykazano, że osadzanie ziaren w spoiwie syntetycznym (poliestrowym i epoksydowym), przedstawione na rys. 8 i rys. 9, charakteryzują się trwale utrzymującym się osadzeniem ziarna w każdej z badanych tarcz prototypowych.



Rys. 8. Analiza mikroskopowa tarczy prototypowej na spoiwie z żywicy poliestrowej przy powiększeniu $50\times$.



Rys. 9. Analiza mikroskopowa tarczy prototypowej na spoiwie z żywicy epoksydowej przy powiększeniu $50\times$.

Analiza mikroskopowa obejmowała ocenę ziarna w matrycy segmentu stanu utrzymania ziarna diamentowego z jednoczesnym występowaniem ściernego zużycia ziarna, tj. występowania pęknięć, wykruszenia, starcia krawędzi ściernej.

Z fotografii wynika, że krawędzie ziaren diamentowych charakteryzują się regularnie zaostrozonymi płaszczyznami.

Nowa forma geometryczna tarczy okazuje jednorodny wpływ na obrabianą powierzchnię, co potwierdza rozkład chropowatości powierzchni określony w procesie badań dla powyżej określonych warunków i parametrów procesu szlifowania. Zastosowana forma geometryczna ukształtowana z okrągłych segmentów diamentowych i sposób ich rozmieszczenia, osiąga korzystne wartości skuteczności ściernej ocenianej parametrami rozkładu chropowatości na szerokości obrabianej powierzchni płyty granitowej, co świadczy o wysokiej efektywności ściernej narzędzia. Poza formą geometryczną oraz rozkładem chropowatości po procesie szlifowania kolejnym decydującym czynnikiem jest uzyskanie twardości segmentu diamentowego dla nowej kompozycji materiałowej na spoiwie żywicznym, którego twardość powinna wynosić około 30% niższą twardość niż twardość płyty granitowej, co ma wpływ na wartość poobróbczej chropowatości powierzchni. Zwiększenie twardości segmentu diamentowego odnośnie wartości optymalnych procesu z uwzględnieniem twardości obrabianego materiału powoduje zwiększenie parametrów chropowatości. W przypadku pracy segmentów odpowiadających twardości obrabianego materiału dochodzi do zjawiska zasolenia powierzchni roboczej segment I utraty zdolności ściernej. Zwiększenie prędkości obrotowej przy szlifowaniu zmniejsza chropowatość powierzchni ale przyczynia się do znaczącego zwiększenia zużycia narzędzia diamentowego, dlatego uzasadnionym jest prowadzenie badań w przedstawionym obszarze zależności.

6. Wnioski

Przeprowadzone obliczenia geometrycznej efektywności oddziaływania wskazują na celowość prowadzenia dalszych badań dla geometrii okrągłych segmentów trących wpisujących się w powierzchnię łezki.

Obliczenia efektywności oddziaływania geometrycznego tarcz o okrągłych segmentach wykazują wysoką wartość oddziaływania, potwierdził to pomiar chro-

powatości powierzchni poobróbkowej, badaniami instrumentalnymi na pięciu odcinkach pomiaru każdy po 0,8 mm na długości promienia tarczy 50 mm, dla których wykazano jednorodny rozkład chropowatości, który wynosi $R_a = 3,61 \mu\text{m}$, przy pracy tarczy z segmentami z ziarnem syntetycznego proszku diamentowego o ziarnistości 40/45#, przy 30% koncentracji ziarna osadzonego w segmentach na spoiwie poliestrowym o twardości 460 HLD.

Analiza mikroskopowa w miejscach osadzenia ziaren w spoiwie poliestrowym oraz epoksydowym, wykazała zadawalająco wysoką trwałość osadzenia ziaren diamentowych, które charakteryzują się regularnie zaostrzonymi krawędziami tnącymi.

Nowe rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe tarczy szlifierskiej ma równomierniejszy rozkład chropowatości poobróbkowej oraz posiada wyższą skuteczność oddziaływania w porównaniu z rozwiązaniami konstrukcyjno-materiałowymi znanymi z rynku narzędzi do obróbki granitu.

Literatura

- [1] Bakoń A., Barylski A., *Ziarna i mikroziarna diamentowe – rodzaje ścierniw i przykłady zastosowania*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2017.
- [2] Chrzanowski W., Zalewski F., *Jak robili to nasi poprzednicy*, Rynek Kamieniarski, nr 5, 2008.
- [3] Dunn Ch., *The Giza Power Plant Technologies of Ancient Egypt*, 2000.
- [4] Jaworska L., *Diament otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem*, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2017.
- [5] Kacalak W., Tandecka K., Lipiński D., *Metody identyfikacji zmian stanu czynnej powierzchni ściernic w wyniku starcia, zalepienia lub wykruszenia ziarn*, Mechanik, nr 9, 2014.
- [6] Knapiński M., Rajczyk P., *Innowacyjne metody modelowania diamentowych narzędzi obróbowych do szlifowania powierzchni kamienia okładzinowego*, Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji 2018, T. 1 Knosala R. [red.], Opole: Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją (PTZP), Opole, 2018.
- [7] Lipiński J., Koziński W., *Cywilizacja miedzi i kamienia technika Starożytnego Egiptu*, PWN, 1997.
- [8] Oczóś K., Porzycki J., *Szlifowanie. Podstawy i Technika*, WNT, Warszawa, 1986.
- [9] Petrie W.M.F., *The Building of Pyramid Ancient Egypt*, Part 2, 1930.
- [10] Rajczyk J., *Podstawy naukowe doboru struktury i kinematyki tarczowych narzędzi maszyn do obróbki powierzchni betonu plastycznego*, Monografia, Wyd. PCz, Częstochowa, 2004.
- [11] Rajczyk P., *Ewolucja rozwoju narzędzi diamentowych zapoczątkowana w starożytnym Egipcie*, Poszerzamy horyzonty, T. 7, Bogusz M., Wojcieszak M., Rachwał P. [red.], Słupsk, 2018.
- [12] Rajczyk P., *Analiza mechanizmu zużycia segmentu ściernego narzędzia do obróbki powierzchni materiałów mineralnych*, Potencjał Innowacyjny w Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Częstochowa, 2018.
- [13] Tajduś A., Mikoś T., Chmura J., Pawlikowski M., *Kamieniolomy z czasów faraonów w Kairze w aspekcie adaptacji i zabezpieczenia podziemnych obiektów zabytkowych*, Górnictwo Inżynieria, zeszyt 1, 2007.
- [14] Zgłoszenie patentowe nr P.426045 do UP RP (opracowanie autorskie).
- [15] Świat kamienia, nr 3, 2002.
- [16] Świat kamienia, nr 2, 2012.
- [17] www.fhhuifeng.com
- [18] www.poldiam.pl
- [19] www.sklep-kamieniarski.eu