

Kryteria doboru i własności wybranych ścierniw stosowanych w obróbce strumieniowo-ścierniej

dr inż. Ryszard SOBCZAK, dr inż. Jarosław PRAŻMO

Streszczenie

W artykule opisano wybrane ścierniwa (naturalne jak i syntetyczne) stosowane w obróbce strumieniowo-ścierniej, ich podstawowe własności jak twardość, kształt ziarna oraz składy granulometryczne. Zwrócono także uwagę na aspekt prawny związany z możliwością stosowania ścierniw w technologii suchej jak i mokrej.

1. Wstęp

Do obróbki strumieniowo-ścierniej przynależy zarówno cięcie jak i obróbka powierzchniowa - kształtowanie i czyszczenie. Podstawowymi cechami opisującymi proces obróbkowy są parametry technologiczne, takie jak ciśnienie i wydatek medium (wody, powietrza, wody+powietrze) odległość dyszy od materiału i prędkość posuwowa, oraz własności strukturalne strumienia - jego kształt, skład, rodzaj i udział ścierniwa, wielkość i kształt ziaren ściernych. Z uwagi na fakt, że w obróbce strumieniowo-ścierniej to właśnie rozpędzone do dużej prędkości ziarna ściernie w kontakcie z obrabianym materiałem powodują jego erozję, a od własności ścierniwa w istotny sposób zależy wydajność i jakość obróbki, w niniejszym artykule przedstawiono charakterystykę przykładowych ścierniw, które mogą być stosowanych w takiej obróbce.

Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 14 stycznia 2004r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy czyszczeniu powierzchni, malowaniu natryskowym i natryskiwaniu cieplnym [4] stanowi, że do czyszczenia powierzchni metodami strumieniowo-ściernymi powinno stosować się:

- ścierniwa metalowe, w szczególności:
 - śrut ostrokątny lub kulisty stalowy albo żeliwny,
 - cięty drut stalowy;
- ścierniwa niemetalowe, w szczególności:
 - piaski kwarcowe w metodach pneumatycznych mokrych i wilgotnych,
 - elektrokorund,
 - ścierniwa odpadowe, w tym żużel pomiedziowy, paleniskowy, wielkopieczowy,
 - rozdrobnione skały i minerały, w tym oliwin, staurolit, dolomit, granit i inne,
 - inne ścierniwa sztucznie wytworzone i organiczne.

Do czyszczenia powierzchni niedopuszczalne jest stosowanie suchego piasku kwarcowego jako ścierniwa lub dodatku do innych ścierniw.

Podczas stosowania w pomieszczeniach ścierniw z rozdrobnionych skał i minerałów, zawierających wolną krzemionkę, należy oznaczyć w tym pomieszczeniu stężenie pyłu całkowitego i respirabilnego, którego wartości nie mogą być wyższe od podanych

w załączniku nr 1 do rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [5].

W procesie przecinania wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną nie ma prawnych uwarunkowań dotyczących rodzaju stosowanego ścierniwa. Proces ten realizowany jest na mokro, więc nie występuje zjawisko pylenia, jak to ma miejsce w procesie pneumatycznego czyszczenia na sucho. Do przecinania wykorzystywane są zwykle ścierniwa pochodzenia mineralnego, a zwłaszcza granat. Do tego typu obróbki możliwe jest również stosowanie innych materiałów ściernych takich jak oliwin, szlaka pomiedziowa czy kruszone szkło.

2. Twardość ścierniwa

Twardość jest jedną z najważniejszych cech decydujących o przydatności ścierniwa do obróbki materiałów. W zdecydowanej większości procesów obróbkowych wykorzystywana jest różnica twardości pomiędzy materiałem ściernym a obrabianym, tylko w obróbce diamentów materiał ścierny i obrabiany jest tej samej klasy. Uproszczoną skalę twardości przedstawił w 1812r Fryderyk Mohs. Jest to 10 stopniowa skala (Tab.1.), ułożona z wykorzystaniem wzorcowych minerałów. Twardość 1 stopnia wyznacza talk, a górną granicę na poziomie 10 stopnia określa najtwardszy minerał - diament. Skala Mohsa, w swej górnej części, została zmodyfikowana przez Ridgweya w 1933r, który rozszerzył ją do 15 stopni w celu uwypuklenia różnic między najtwardszymi materiałami. Próbkę modyfikacji tej skali podjęli również w 1963r. rosjanie Chruszczow i Powariennych.

Tabela 1. Twardość materiałów ściernych [1,6]

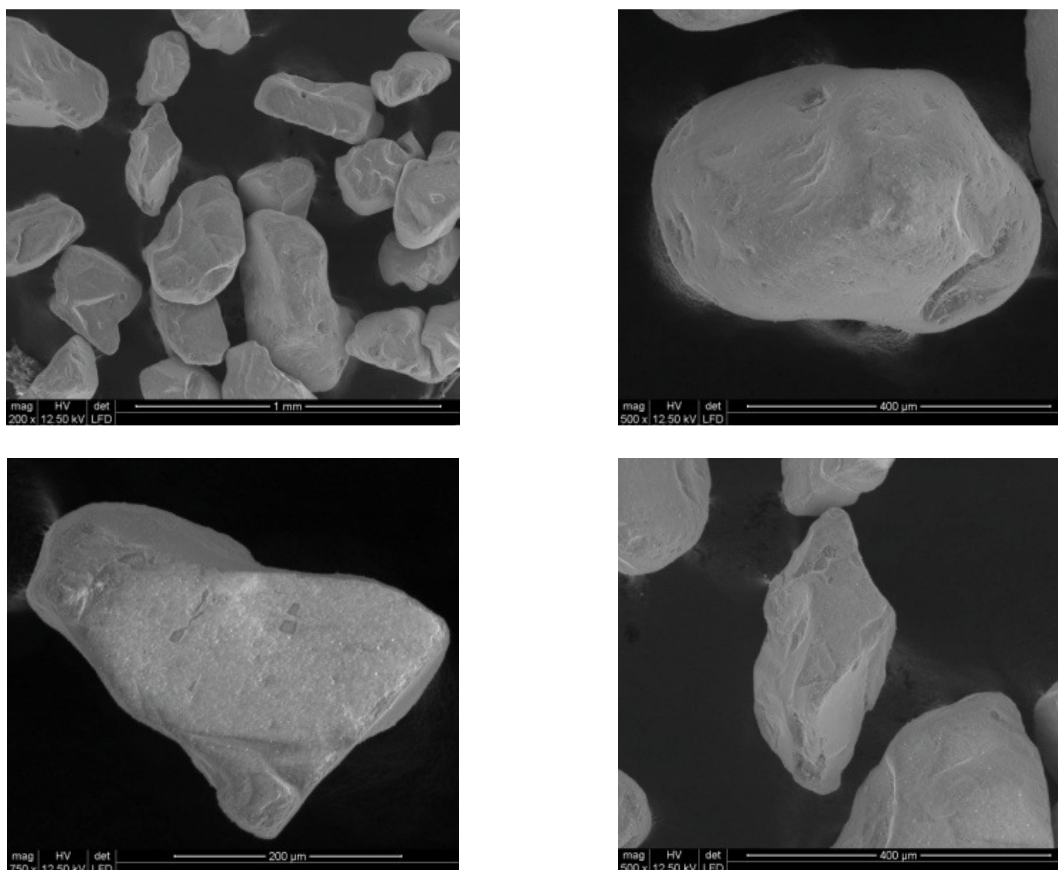
Klasyczna Mohsa (1812r)		Rozszerzona Ridgweya (1933r)		Mikrotwardość
wzorzec	skala diament = 10 talk = 1	wzorzec	skala diament = 15 talk = 1	HV [GPa]
diament	10	diament	15	98,7
		węglik boru B ₄ C	14	54,9 - 56,9
		węglik krzemu czarny SiC	13	26,0-29,5
korund	9	korund	12	20,1 - 21,6
		tlenek cyrkonu ZrO ₂	11	12,8
		topaz	10	11
topaz	8	granat	9	10,3
		kwarc	8	9,8
		szkło kwarcowe	7	8,6 - 9,8
kwarc	7	ortoklaz	6	5,9 - 7,4
ortoklaz	6	apatyt	5	4,1
apatyt	5	fluoryt	4	1,5
fluoryt	4	kalcyt	3	1,2
kalcyt	3	gips	2	0,35
gips	2	talk	1	0,2
talk	1			

Typowymi metodami pomiaru mikrotwardości ziaren ściernych są metoda Vickersa i Knoopa. Polegają one na wgniataniu w badany materiał diamentowych wgłębników o różnym kształcie i pomiarze powstałego wgniecenia. W metodzie Vickersa wykorzystywana jest tetragonalna a w metodzie Knoopa rombowa piramidka.

3. Kształt ziarna

Kształt ziaren i ich jednorodność wymiarowa są istotnymi parametrami określającym jakość ścierniwa. Jednorodność wymiarowa decyduje o przydatności ścierniwa, szczególnie w procesie precyzyjnego przecinania, gdzie struga wytwarzana jest w dyszy o małej średnicy otworu formującego i występuje ryzyko jej zaczopowania nadwymiarowym ziarnem. Najmniej wymagającym pod względem jednorodności wymiarowej ścierniwa jest proces czyszczenia hydro-strumieniowego.

Każde ziarno ścierne można opisać trzema wymiarami tj. długość, szerokość, grubość. Ze względu na proporcje tych trzech wymiarów, kształt ziarna można określić jako: izometryczny (1:1:1), blaszkowaty (1:1:0,33), płytkowaty (1:1:0,66), słupkowaty (1:0,66:0,66), mieczykowaty (1:0,66:0,33), iglasty (1:0,33:0,33) [1]. W obróbce strumieniowo-ścierniej najbardziej cenione jest ścierniwo o izometrycznym kształcie i dużej liczbie ostrych krawędzi. Ziarna o ostrych krawędziach mają większą zdolność obróbkową od otaczaków o obłych powierzchniach.



Rys.1. Widok ogólny ziaren ściernych o różnych kształtach

4. Klasyfikacja wymiarowa ścierniwa

Klasyfikację wymiarową ścierniwa wytwarzanych przemysłowo dokonuje się z wykorzystaniem metody analizy sitowej lub metod sedymentacyjnych - stosowanych

w przypadku mikroziaren ($a < 40 \mu\text{m}$). W uogólniony sposób (ze względu na wielkość ziarna) ścierniwo dzieli się na: ziarna ścierne, proszki ścierne i mikroproszki ścierne. Europejska Federacja Producentów Narzędzi Ściernych (FEPA) określiła skład granulometryczny ścierniw zapisany w normie PN-ISO 8486-1:1998 (Tab. 2).

Tab.2. Skład granulometryczny ścierniw [3]

Oznaczenie ziarna	sito 1		sito 2		sito 3		sita 3 i 4		sita 3, 4 i 5		Suma pozostałości w pojemniku max
	wielkość oczek W1	pozostałość Q1	wielkość oczek W2	pozostałość Q2 max	wielkość oczek W3	pozostałość Q3 min	wielkość oczek W4	pozostałość Q3+ Q4 min	wielkość oczek W5	pozostałość Q3+Q4 +Q5 min	
	μm	%	μm	%	μm	%	μm	%	μm	%	
F16	2000	0	1400	20	1180	45	1000	70	850	1)	3
F20	1700		1180		1000		850		710		
F22	1400		1000		850		710		600		
F24	1180		850	25	710		600	65	500		
F30	1000	0	710	25	600	45	500	65	425	1)	3
F36	850		600		500		425		355		
F40	710		500	30	425		355		300		
F46	600		425		355	40	300		250		
F54	500	0	355	30	300	40	250	65	212	1)	3
F60	425		300		250		212		180		
F70	355		250	25	212		180		150		
F80	300		212		180		150		125		
F90	250	0	180	20	150	40	125	65	106	1)	3
F100	212		150		125		106		90		
F120	180		125		106		90		75		
F150	150		106	15	90		75		63		
F180	125	0	90	15	75	1)	63	40	53	65	1)
F220	106		75		63		53		45	60	

1) nie określone

W praktyce często operuje się parametrem - średni wymiar ziarna, który wyznaczany jest metodą sedymentacji lub analizy sitowej. W Tab.3 przedstawiono wartość średniego wymiaru ziarna dla najczęściej stosowanego zakresu ziarnistości ścierniwa.

Tab.3. Średni wymiar ziarna dla wybranych ścierniw

Oznaczenie FEPA	Średni wymiar ziarna [μm]
F36	600-500
F40	500-425
F46	425-355
F54	355-300
F60	300-250
F70	250-212
F80	212-180
F90	180-150
F100	150-125
F120	125-106
F150	106-75
F180	90-63
F220	75-53

5. Naturalne materiały ścierne

W przyrodzie występuje szereg minerałów, które mogą być stosowane jako materiał ścierny. Poniżej przedstawiono charakterystykę podstawowych minerałów, które mogą być stosowane jako ścierniwo w obróbce strumieniowo-ścierniej.

Piasek kwarcowy

Kwarc jest najbardziej rozpowszechnionym w przyrodzie minerałem. W temperaturze poniżej 537°C krystalizuje w układzie trygonalnym, a powyżej tej temperatury w układzie heksagonalnym. Jest odmianą grubokrystalicznej krzemionki SiO_2 . Czysty kwarc jest bezbarwny, natomiast zanieczyszczony przyjmuje szare zabarwienie. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z 14.01.2004 r. piasek kwarcowy może być stosowany w metodach pneumatycznych mokrych i wilgotnych strumieniowo-ściernego czyszczenia powierzchni. Niedopuszczalne jest jednak stosowanie suchego piasku kwarcowego jako ścierniwa lub dodatku do innych ścierniw.

Właściwości kwarcu [1]:

gęstość:	2650 kg/m ³
gęstość nasypowa:	1280 - 1460 kg/m ³
twardość w skali Mohsa:	7



Piasek kwarcowy

Piasek oliwinowy

Piasek oliwinowy (ortokrzemian magnezowo-żelazowy) jest ścierniwem dużo droższym od piasku kwarcowego i rzadziej od niego stosowanym. Zaletą tego ścierniwa jest brak pylenia krzemionkowego, co umożliwia jego stosowanie w obróbce strumieniowo-ścierniej na sucho (bez osłony wodnej).

Właściwości piasku oliwinowego [2]:

gęstość:	3300 - 4200 kg/m ³
gęstość nasypowa:	b.d.
twardość w skali Mohsa:	6 - 7,5



Piasek oliwinowy [8]

Staurolit

Staurolit jest minerałem z gromady krzemianów o czarnej, brązowej lub czerwonej barwie. W ujęciu chemicznym jest on zasadowym krzemianem glinu i żelaza. W Polsce występuje w Górach Opawskich, Sudetach i Masywie Śnieżnika.

Właściwości staurolitu [2]:

gęstość: 3600 kg/m³
gęstość nasypowa: b.d.
twardość w skali Mohsa: 7 - 7,5



Staurolit [9]

Krzemień

Krzemień jest minerałem, który jako jeden z pierwszych był wykorzystywany przez człowieka do wyrobu narzędzi. Obecnie wykorzystywany jest między innymi do produkcji materiałów ściernych. Jest on odmianą skały kwarcowej o zabarwieniu szarym lub brązowym.

Właściwości krzemienia [10]:

gęstość: 2600 - 2900 kg/m³
gęstość nasypowa: 1200 - 1500 kg/m³
twardość w skali Mohsa: 5,5 - 7



Krzemień [10]

Pumeks

Pumeks jest minerałem pochodzenia wulkanicznego o porowatej budowie. Głównym składnikiem (ok. 70%) pumeksu jest SiO₂ w postaci amorficznej krzemionki. W obróbce strumieniowo-ścierniej stosowany jest głównie do usuwania zanieczyszczeń przy jednoczesnym braku erozji czyszczonej powierzchni (np. szkła lub polerowanych, kamiennych powierzchni).

Właściwości pumeksu [7]:

gęstość: 2300 - 2400 kg/m³
gęstość nasypowa: b.d.
twardość w skali Mohsa: 6 - 6,5



Pumeks [11]

Dolomit

Dolomit (węglan wapnia i magnezu) w Polsce występuje w Górach Świętokrzyskich i na dolnym Śląsku. Powstaje w wyniku procesu dolomityzacji skał wapiennych. Krystalizuje w układzie trygonalnym i posiada kolor biały, bezbarwny, żółtawy lub szary.

Właściwości dolomitu [2]:

gęstość: 2700 kg/m³
gęstość nasypowa: b.d.
twardość w skali Mohsa: 4 - 5



Dolomit [12]

Granat (garnet)

W przyrodzie występuje wiele odmian granatów, różniących się składem chemicznym. W wyniku tego przyjmują różne barwy, najczęściej odcienie barwy pomarańczowo-czerwonej, czerwonej i fioletowo-czerwonej. Kopalnie tego ścierniwa występują w pokładach skał metamorficznych i magmowych, głównie w Indiach, Australii, Afryce, Stanach Zjednoczonych, Nowej Zelandii, Chinach, Kanadzie, Brazylii i Urugwaju. Miejsca występowania w Polsce to: Góry Sowie, Masyw Śnieżnika.

Kopalinę stanowią zlepki kryształów 12 ściennych (Dodecadendrony) i sporadycznie 24 ściennych (Trapezoedry) w układzie regularnym z ostrym przełomem muszlowym powstającym w wyniku rozbicia się ziarna ściernego. Jako materiał ścierny stosowane są odmiany granatu **Almandyn** $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, **Pirop** $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, **Spessartyn** $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$.

Właściwości granatu [1]:

gęstość: 3500 - 4250 kg/m³
gęstość nasypowa: 2200 - 2500 kg/m³
twardość w skali Mohsa: 7 - 7,5



Granat (almandyn) [13]

Korund

Korund w przyrodzie występuje w odmianie zwykłej - zwanej techniczną, oraz odmianach szlachetnych tj. szafir, rubin, szmaragd, topaz, które wykorzystywane są w przemyśle jubilerskim. Zanieczyszczenia korundu powodują jego zabarwienie w odcieniach

kolorów czerwonego, czarnego i niebieskiego. Jest to minerał krystalizujący w układzie trygonalnym.

Właściwości korundu [1]:

gęstość: 3950 - 4110 kg/m³
gęstość nasypowa: 2400 kg/m³
twardość w skali Mohsa: 9



Korund [14]

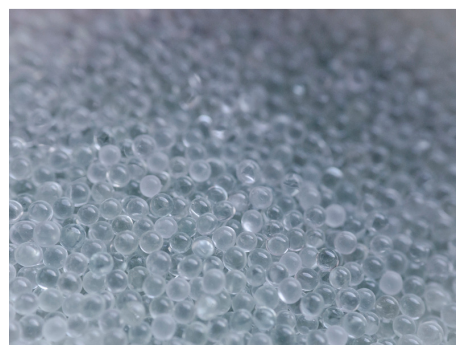
6. Syntetyczne materiały ścierne

Mikrokulki szklane

Mikrokulki szklane charakteryzują się okrągłym kształtem i gładką powierzchnią oraz są obojętne chemicznie. Takie własności mikrokulek szklanych sprawiają, że mogą one być stosowane do czyszczenia precyzyjnych i delikatnych elementów bez uszkodzenia czyszczonej powierzchni. Jest to ścierniwo wielokrotnego użytku stosowane głównie w przemyśle lotniczym oraz do utwardzania.

Właściwości mikrokulek szklanych [2]:

gęstość: 2500 kg/m³
gęstość nasypowa: 1400 - 1500 kg/m³
twardość w skali Mohsa: 5 - 7



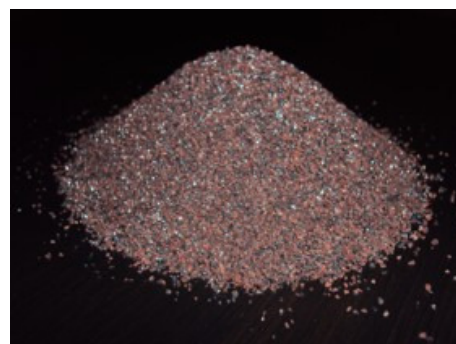
Mikrokulki szklane

Żużel pomiedziowy

Żużel pomiedziowy powstaje w trakcie wytopienia miedzi w piecach szybowych. Dostępne w sprzedaży ścierniwa, produkowane z wykorzystaniem żużlu pomiedziowego, nie zawierają wolnej krzemionki.

Właściwości żużlu pomiedziowego [2]:

gęstość: 3300 - 3900 kg/m³
gęstość nasypowa: 1500 - 1700 kg/m³
twardość w skali Mohsa: 6 - 8



Żużel pomiedziowy [15]

Elektrokorund

Elektrokorund wytwarza się poprzez stopienie boksytu w piecu łukowym w temperaturze powyżej 2000°C. Jest on odpowiednikiem minerału występującego w przyrodzie (korundu). Elektrokorund, zależnie od ilości zanieczyszczeń, dzieli się na zwykły i szlachetny. Zwykły zawiera powyżej 95% Al_2O_3 , a szlachetny powyżej 99% Al_2O_3 . W technice najczęściej stosuje się elektrokorund zwykły, który niewiele ustępuje własnościami elektrokorundowi szlachetnemu, a jest od niego znacznie tańszy.

Właściwości elektrokorundu zwykłego [1]:

gęstość: 3900 - 4000 kg/m³
gęstość nasypowa: 1550 - 1900 kg/m³
twardość w skali Mohsa: 9



Elektrokorund zwykły [16]

Elektrokorund regenerowany

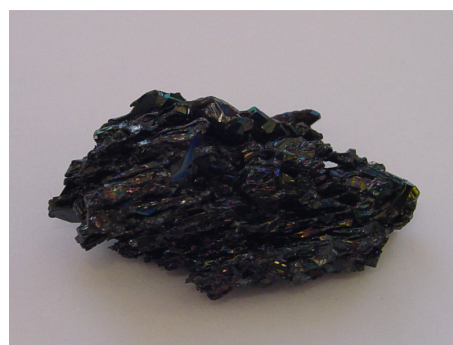
Elektrokorund regenerowany wytwarzany jest poprzez kruszenie zużytych narzędzi ściernych. Ścierniwo to jest więc zanieczyszczone lepiszczem stosowanym w procesie produkcji narzędzi i zawiera około 75% Al_2O_3 . Elektrokorund regenerowany jest niższej jakości od elektrokorundu zwykłego ale jest od niego tańszy.

Węglik krzemu

Węglik krzemu otrzymuje się w oporowych piecach elektrycznych w wyniku reakcji krzemionki i węgla. W czystej postaci jest bezbarwny, w wyniku zanieczyszczeń przyjmuje barwę zieloną lub czarną. Węglik krzemu używany jest głównie do produkcji narzędzi ściernych przeznaczonych do obróbki materiałów twardych i kruchych.

Właściwości węglika krzemu [1]:

gęstość: 3120 - 3220 kg/m³
gęstość nasypowa: 1340 - 1480 kg/m³
twardość w skali Mohsa: 9,2



Węglik krzemu

7. Podsumowanie

Przy doborze materiału ściernego do konkretnych zadań obróbki strumieniowo-ścierniej należy wziąć pod uwagę prawne uwarunkowania możliwości stosowania określonych ścierniw, własności fizyczne ziaren ściernych oraz uwarunkowania ekonomiczne. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej [4] piasek kwarcowy może

być stosowany w metodach pneumatycznych mokrych i wilgotnych strumieniowo-ściernego czyszczenia powierzchni. Niedopuszczalne jest jednak stosowanie suchego piasku kwarcowego jako ścierniwa lub dodatku do innych ścierniw.

W obróbce strumieniowo-ścierniej najbardziej cenione jest ścierniwo o dużej twardości, wysokiej gęstości i o izometrycznym kształcie oraz dużej liczbie ostrych krawędzi. Zastosowanie w procesie obróbkowym ziaren ściernych o takich własnościach korzystnie wpływa na wydajność obróbki zależną od energii kinetycznej ziaren (związaną z ich masą i prędkością) oraz ich kształtem, ponieważ ziarna o ostrych krawędziach mają większą zdolność obróbkową od otaczaków o obłych powierzchniach, a negatywnym skutkiem jest zwiększenie kosztocłonności obróbki wskutek przyśpieszonego zużycia dysz formujących i wyższej ceny zakupu ścierniwa. Istotnym kryterium w analizie ekonomicznej procesu obróbkowego jest możliwa krotność powtórnego wykorzystania ścierniwa.

W procesie przecinania strugą wodno-ścierną najczęściej stosowanym ścierniwem jest granat, zaś w procesie czyszczenia powierzchni elektrokorund zwykły lub ścierniwa odpadowe w postaci żużli pomiedziowych.

LITERATURA

- [1] Jankowski E., Skupiński S. "Materiały i wyroby ścierne" WNT Warszawa 1971r.
- [2] Marcinkowski M. "Zakaz stosowania piasku kwarcowego i jego mieszanek z innymi ścierniwami w obróbce strumieniowo-ścierniej na sucho" Ochrona przed korozją 7/2003r.
- [3] PN-ISO 8486-1:1998 "Wyroby ścierne spojone-Wyznaczenie i oznaczanie składu ziarnowego"
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 14 stycznia 2004r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy czyszczeniu powierzchni, malowaniu natryskowym i natryskiwaniu cieplnym Dz. U. z dnia 4 lutego 2004 r.
- [5] Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. Nr 217, poz. 1833).
- [6] Woźniak K. "Materiały ścierne wytwarzanie i własności" WNT Warszawa 1982r.
- [7] www.korund.pl
- [8] www.pulsarplanet.pl
- [9] www.amuletta.pl
- [10] www.agh.edu.pl
- [11] www.wikipedia.com
- [12] www.geo.weide.webd.pl
- [13] www.geology.com
- [14] www.geologie.vsb.cz
- [15] www.eko-glass.pl
- [16] www.tazmaniac.pl