



Obróbka ubytkowa części maszyn

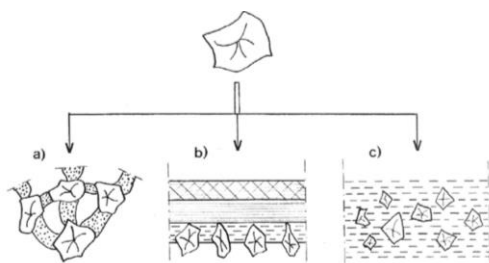
Obróbka ścierna

Wstęp

Wśród technik obróbki skrawaniem wyróżnić można *obróbkę wiórową* (np. frezowanie) oraz *obróbkę ścierną* (np. szlifowanie). Obróbka wiórowa realizowana jest przez narzędzie o określonej ilości ostrzy oraz z góry ustalonej geometrii. Obróbkę ścierną charakteryzuje wykorzystanie narzędzia, w postaci ziaren ściernych, dla których liczba ostrzy skrawających i geometria są niezdefiniowane. Ze względu na przypadkowość geometrii oraz rozmieszczenia kontakt poszczególnych ziaren ściernych z materiałem obrabianym jest różny, w związku z tym tylko część z nich skrawa, inne plastycznie zarysowują powierzchnię obrabianą, niektóre wywołują tylko silne tarcie, a jeszcze inne mogą w ogóle nie mieć kontaktu z materiałem obrabianym. Obróbka ścierna charakteryzuje się najczęściej bardzo małą głębokością skrawania oraz wysokimi szybkościami skrawania. Znajduje zastosowanie najczęściej w obróbce metali (zarówno twardych jak i miękkich) na końcu procesu technologicznego, stanowiąc *obróbkę wykańczającą*.

Klasyfikacja metod obróbki ścierniej

Klasyfikacji metod obróbki ścierniej dokonuje się głównie ze względu na rodzaj używanego narzędzia, i tak wyróżniamy:

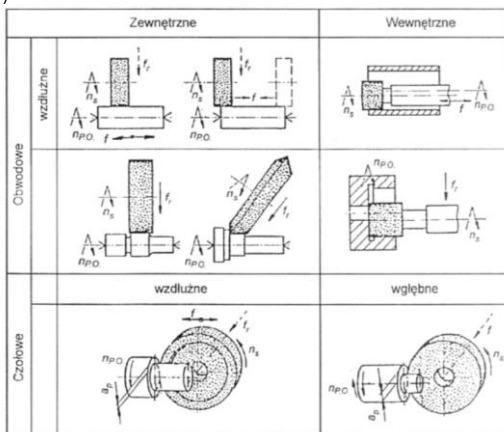


Rys. 1. Ziarna ściernie w różnych narzędziach:
a) spojonych, b) nasypanych, c) w pastach ściernych.

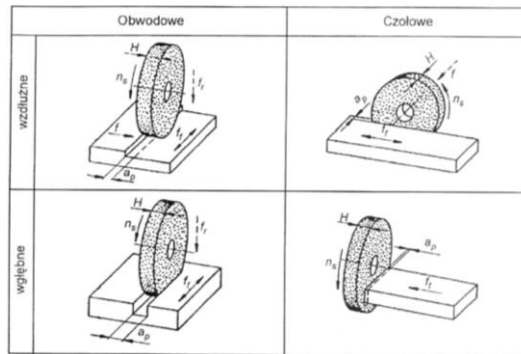
- **Obróbkę narzędziami spojonymi** – ziarna ściernie są ze sobą związane za pomocą spoiwa. Do grupy tej zaliczamy takie narzędzia jak: ściernice, segmenty, pilniki i osetki ściernie, kształtki oraz tzw. pastylki, druty i taśmy metalowe z warstwą ścierną diamentową lub borazonową.
 - **Szlifowanie** – proces realizowany za pomocą ściernicy i segmentów ściernych, które wykonują ruch główny obrotowy z dużymi prędkościami skrawania. Szlifowanie jest najbardziej rozpowszechnioną metodą, stosowane jest do obróbki różnych powierzchni: płaskich, powierzchni obrotowych, śrubowych, i innych.
 - **Szlifowanie powierzchni walcowych zewnętrznych (wałków)**
 - Osiowe – posuw przedmiotu odbywa się równoległe do osi ściernicy
 - Promieniowe – posuw tarczy ścierniej odbywa się poprzecznie do osi przedmiotu
 - **Szlifowanie powierzchni walcowych wewnętrznych (otworów)**
 - Osiowe
 - Promieniowe
 - **Szlifowanie powierzchni płaskich**
 - Obwodem ściernicy
 - Czołem ściernicy
 - **Inne** – szlifowanie gwintów, kół zębatych...

- **Gładzenie i dogładanie** – w procesie tym stosowane są osetki elastycznie dociskane do powierzchni obrabianej. Stosowane do obróbki powierzchni obrotowych przy głównym ruchu obrotowym z małą prędkością skrawania oraz jednoczesnym ruchem postępowo-zwrotnym osetek w kierunku osiowym. Ruch ten może mieć duży skok i małą częstotliwość (gładzenie) bądź mały skok i dużą częstotliwość (dogładanie).
- **Obróbkę narzędziami nasypowymi** – ziarna ścierna przyklejone są do elastycznego podłoża tworząc cienką warstwę (papiery, płótna ścierna, taśmy ścierna, krążki oraz tarcze listkowe). Stosowane są do obróbki powierzchni o złożonych kształtach, gdy wymagana jest mała chropowatość przy dużych tolerancjach wymiaru i kształtów.
- **Obróbkę luźnymi ziarnami ściernymi** – ziarna ścierna stanowią zawieszinę w ośrodku (łączniku) o konsystencji stałej, ciekłej lub pośredniej. Stosowane są do docierania, polerowania, obróbkę strumieniowo-ścierną i innych.

a)



b)



Rys. 2. Przykładowe odmiany szlifowania:
a) powierzchni obrotowych;
b) płaszczyzn.

Oznaczenia: n_s , n_{p0} - odpowiednio prędkość obrotowa ściernicy i przedmiotu, f - posuw wzdłużny ściernicy lub przedmiotu, f_r - posuw względny ściernicy, a_p - głębokość skrawania (dosuw), f_i - posuw wzdłużny stołu, H - wysokość ściernicy.

Materiały ścierna

Narzędzia ścierna stanowią materiały ścierna (ścierniwa) w postaci ziaren. Charakteryzować się powinny odpornością na ścieranie, dużą twardością, dużą wytrzymałością na zginanie i ściskanie, ostrymi krawędziami i narożami ziaren, dobrą łupliwością, dobrą przewodnością cieplną, odpornością na wysoką temperaturę, nie tworzeniem związków chemicznych i roztworów stałych z materiałem obrabianym. Materiały ścierna dzielą się na dwie grupy (wg PN-84/M-59100): naturalne i sztuczne.

Grupa	Rodzaj	Gatunek	Typ	Odmiana	
Naturalne	Krzemień	KM			
	Granat	G			
	Korund	AN			
	Szmergel	N			
	Diament naturalny	D			
Sztuczne	Elektrokorund	zwykły	95A		
		półszlachetny	97A		
		szlachetny	99A		
		monokorund	MA		
		spiekany szlachetny	96SA		
		niskosodowy	99NSA		
		stopowy		cyrkonowy	ZrA
				tytanowy	TiA
				niskotytanowy	wysokotytanowy
				chromowy	CrA
			rubinowy	różowy	
	Węglik krzemu	C	zielony	99C	
			czarny	98C	
	Węglik boru	BC			
	Regularny azotek boru	B			
	Diament syntetyczny	DS			
	Kompozyt ¹⁾	K	diamentu	KD	
			regularnego azotku boru	KB	

¹⁾ Materiał wieloskładnikowy otrzymywany w wyniku odpowiedniego doboru składników i technologii w celu uzyskania bardzo dobrych parametrów mechanicznych (głównie twardości i odporności na ścieranie).

Tab. 1. Podział szlifierskich materiałów ściernych wg PN-84/M-59100.

Diament naturalny, będący alotropową odmianą węgla, jest najtwardszym spośród wszystkich znanych materiałów. Oprócz diamentu jako materiały ścierna stosuje się proste związki chemiczne takie jak tlenki, węgliki azotki metali. Wszystkie te związki występuje w przyrodzie jako naturalne oraz są wytwarzane syntetycznie. Materiały naturalne charakteryzuje niska jakość, zaś syntetyczne materiały ścierna wytwarza się przemysłowo, w taki sposób, by uzyskać najkorzystniejsze właściwości obróbkowe.

Do najczęściej stosowanych i używanych materiałów ściernych zalicza się:

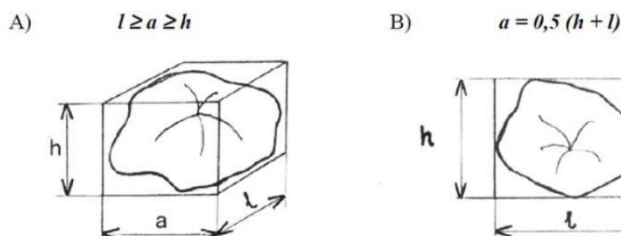
- **Elektrokorund** – jest materiałem sztucznym otrzymywanym z elektrokorundu naturalnego. W zależności od zawartości tlenku glinu (Al_2O_3) elektrokorund ma różne zabarwienie, strukturę i właściwości. Twardość elektrokorundu wg. Skali Mohsa wynosi 9, a wg. Knoopa HK = 16.35 –21.5 GPa
- **Węglik krzemu SiC** (karborund) jest kolejnym powszechnie stosowanym materiałem ściernym o twardości 9,5 wg Mohsa, a wg. Knoopa HK=24,5 GPa. Wyróżnia się węglik krzemu zielony i czarny oznaczone kolejno 99C i 98C. Pod względem twardości ustępuje tylko diamentowi i CBN.
- **Diament**, o twardości wg. Mohsa 10, a wg. Knoopa HK=70 GPa, charakteryzuje się niezwykle wysoką odpornością na ścieranie, a jego ostre krawędzie długo zachowują swoje własności skrawne.
- **Regularny azotek boru** (CBN) jest to związek chemiczny o właściwościach fizycznych zbliżonych do właściwości diamentu, lecz o większej odporności na wysoką temperaturę. Jego twardość jest nieco mniejsza od diamentu i wynosi wg. Knoopa HK=47GPa.

Parametr	Jednostka	$\alpha-Al_2O_3$	$\alpha-SiC$	$\beta-BN$	Diament
Graniczna odporność temperaturowa	°C	1700÷1900	1300÷1400	1200÷1600	700÷900
Twardość w skali Mohsa	-	9,0	9,2÷9,5	~10,0	10,0
Mikrotwardość w skali Knoopa	GPa	17÷23	24÷30	46÷47	50÷60

Tab. 2. Właściwości głównych materiałów ściernych szlifierskich

Wielkość i kształt ziarna

Ziarna mogą mieć strukturę monokryształów i ich odłamków, kryształów bliźniaczych lub polikrystaliczną. Mają kształt regularnych lub nieregularnych brył o wielu narożach, podobnych do piramid. Podstawowym kryterium klasyfikacyjnym są wymiary ziarna lub mikroziarna, a ściślej tzw. wymiar charakterystyczny, który jest szerokością prostopadłościanu opisanego na ziarnie lub dla materiałów supertwardych średnią boków prostokąta opisanego na mierzonym ziarnie w płaszczyźnie obserwacji



Rys. 3. Wielkość ziarna: A) wymiar charakterystyczny jako szerokość prostopadłościanu, B) jako średnia boków prostokąta

Wielkość ziaren o szerokości $a \geq 53 \mu m$ określa się metodą przesiewania przez standardowe sита o znormalizowanej grubości drutu i wielkości oczek.

Wielkość mikroziaren o szerokości $a \leq 53 \mu m$ określa się metodą sedymentacji.

MAKROZIARNA				MIKROZIARNA	
Oznaczenie FEPA	Średnie wymiary ziarna [mm]	Oznaczenie FEPA	Średnie wymiary ziarna [mm]	Oznaczenie FEPA	Średnie wymiary mikroziarna [μm]
F4	5,600 - 4,750	F36	0,600 - 0,500	F230	56,0 - 50,0
F5	4,750 - 4,000	F40	0,500 - 0,425	F240	46,5 - 42,5
F6	4,000 - 3,350	F46	0,425 - 0,355	F280	38,5 - 35,0
F7	3,350 - 2,800	F54	0,355 - 0,300	F320	30,7 - 27,7
F8	2,800 - 2,360	F60	0,300 - 0,250	F360	24,3 - 21,3
F10	2,360 - 2,000	F70	0,250 - 0,212	F400	18,3 - 16,3
F12	2,000 - 1,700	F80	0,212 - 0,180	F500	13,8 - 11,8
F14	1,700 - 1,400	F90	0,180 - 0,150	F600	10,3 - 8,3
F16	1,400 - 1,180	F100	0,150 - 0,125	F800	7,5 - 5,5
F20	1,180 - 1,000	F120	0,125 - 0,106	F1000	5,3 - 3,7
F22	1,000 - 0,850	F150	0,106 - 0,075	F1200	3,5 - 2,5
F24	0,850 - 0,710	F180	0,090 - 0,063	-	-
F30	0,710 - 0,600	F220	0,075 - 0,053	-	-

Tab. 3. Oznaczenia i wymiary charakterystyczne ziarna ściernego dla materiałów konwencjonalnych.

Symbol mikroziarna składa się z trzech znaków, np. F500/13, gdzie F – mikroziarno do narzędzi spojonych, past ściernych i ścierniwa luzem; 500 – symbol rozszerzonej skali Nortona; 13 – średnia wartość wymiaru (w tym

wypadku $a = 11,8 - 13,8$).

W zależności od stosunku $l:a:h$ wyróżnia się następujące kształty ziaren: a) izometryczne (1:1:1), b) blaszkowate (1:1:0,33), c) iglaste (1:0,33:0,33).

Spoiwa

Spoiwo jest składnikiem ściernic a jego zadaniem jest powiązanie poszczególnych ziaren ściernych w porowate ciało stałe. Spoiwo powinno cechować się: Odpowiednią wytrzymałością w zależności od zastosowanego materiału ściernego; odpornością na wpływy chemiczne i wilgoć; zdolnością do tworzenia porów spełniających rolę rowków wiórowych. Materiały spoiwa dzieli się na dwie główne grupy:

- **Spoiwa nieorganiczne:** ceramiczne (V), magnezytowe (Mg), metalowe galwaniczne (G), metalowe spiekane (M), krzemianowe albo silikatowe (K).
- **Spoiwa organiczne:** żywiczne sztuczne (B), gumowe (R), z żywicy naturalnej - szelaku (E), klejowe do narzędzi nasypowych (K).

Oznaczenia

Twardość

Twardość narzędzia definiuje się jako odporność na wrywanie ziaren ściernych ze spoiwa. Twardość ściernicy zależy od przyczepności spoiwa (nie zależy od twardości materiału ściernego) do ziarna oraz wytrzymałości mostków spoiwa.

Twardość ściernicy	Oznaczenie twardości	Wskaźnik t	Objętość porów V_p , %
Bardzo miękka	E	0	49,5
	F	1	48,0
	G	2	46,5
Miękka	H	3	45,0
	I	4	43,5
	J	5	42,0
	K	6	40,5
Średnia	L	7	39,0
	M	8	37,5
	N	9	36,0
	O	10	34,5
Twarda	P	11	33,0
	Q	12	31,5
	R	13	30,0
	S	14	28,5
Bardzo twarda	T	15	27,0
	U	16	25,5
	W	17	24,0
	Z	18	22,5

Tab. 4. Oznaczenia twardości ściernic oraz odpowiadająca jej porowatość.

Struktura

W objętości ściernicy konwencjonalnej znajdują się ziarna ściernic, spoiwo i pory. Objętość całkowita:

$$V_c = V_z + V_s + V_p = 100\%$$

Gdzie: V_z - objętość ziaren ściernych; V_s - objętość spoiwa; V_p - objętość porów.

Procentowy udział ziarna w objętości narzędzia decyduje o strukturze narzędzia, która określana jest umownym numerem N, będącym liczbą całkowitą ze zbioru (0÷14). Odpowiednia zależność ma postać:

$$V_z = (62 - 2N) \%$$

Za strukturę 0 przyjęto narzędzie o 62% udziale ścierniwa. Każdy następny numer struktury odpowiada zmniejszeniu się objętości procentowej ścierniwa o 2%.

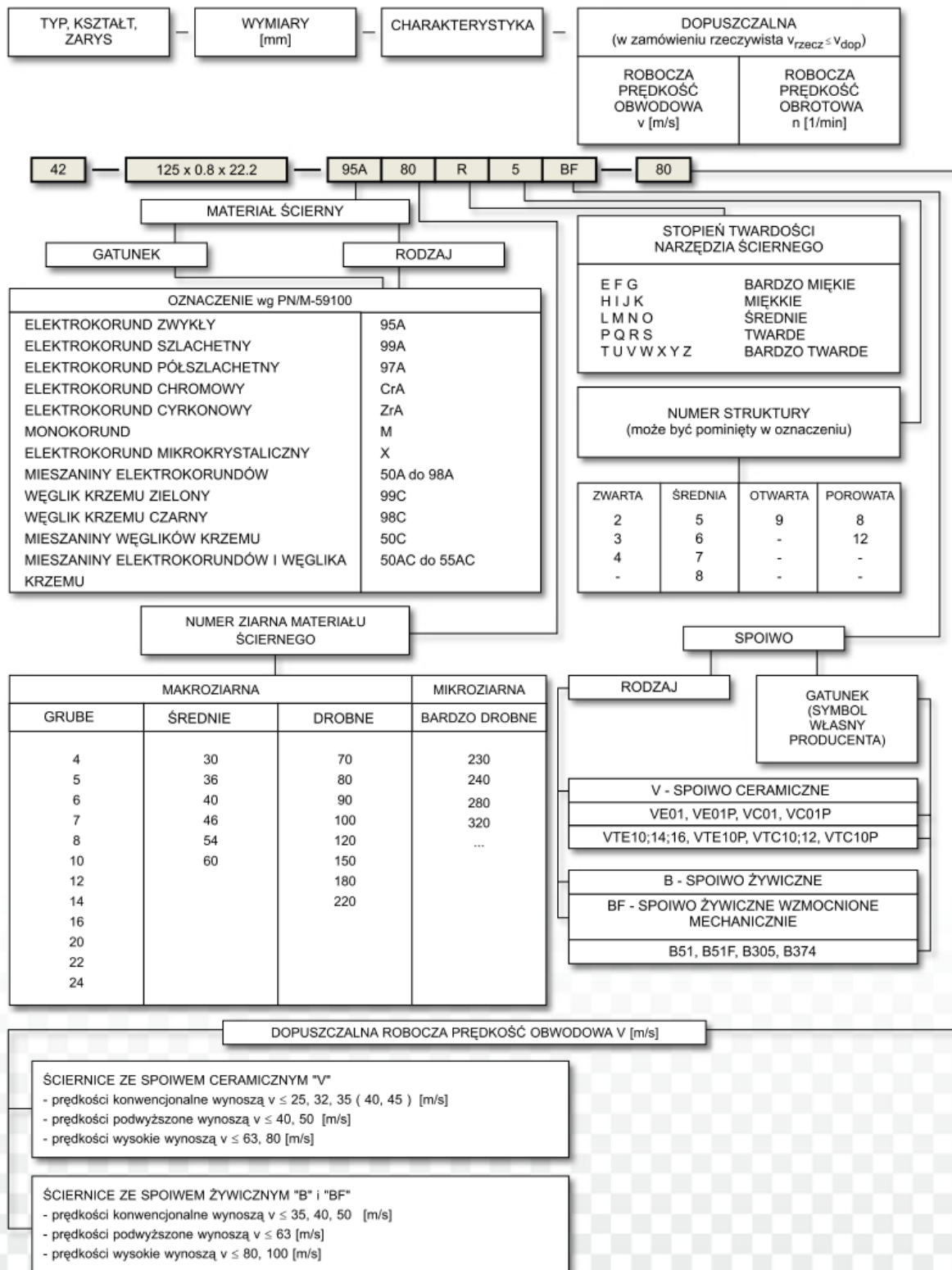
Nazwa struktury	Zwarta				Średnia				Otwarta						
Numer struktury N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Udział ścierniwa [V_s %]	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34

Tab. 5. Oznaczenia struktury ściernic i odpowiadająca jej objętość ziarna.

Oznaczenia ściernic konwencjonalnych

Symbol ściernicy powinien zawierać wszystkie dane charakteryzujące właściwości narzędzia, zwłaszcza trudne do bezpośredniej identyfikacji. Kolejność informacji w oznaczeniu jest następująca:

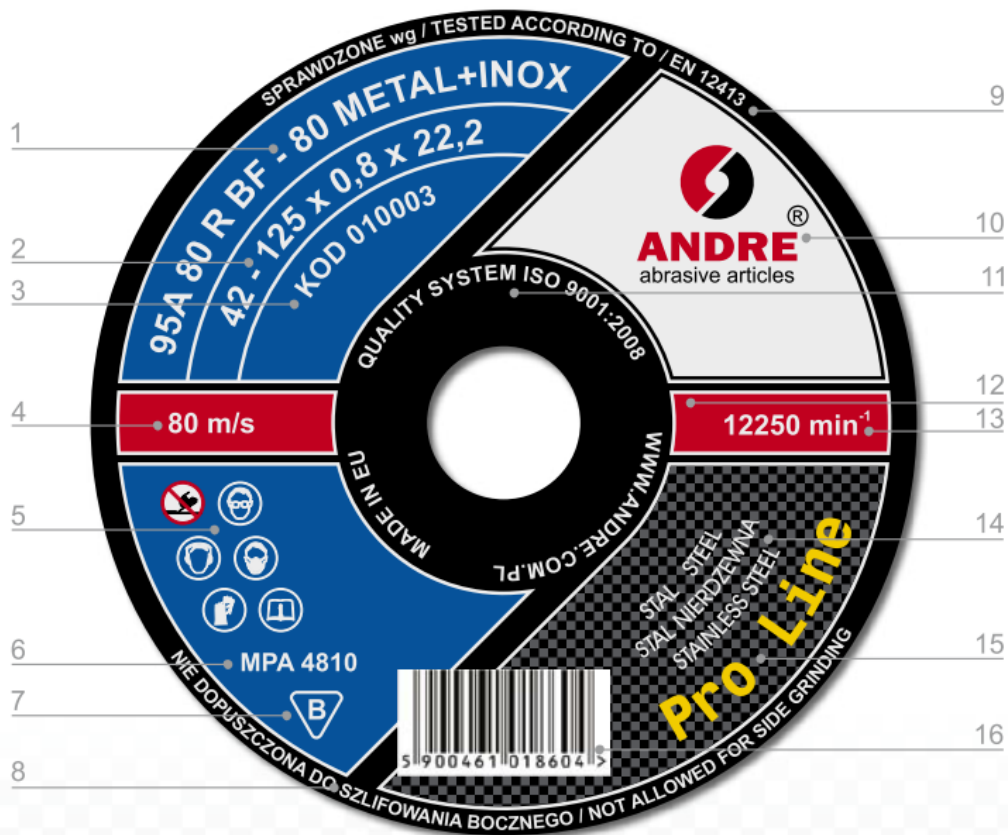
Gatunek i rodzaj materiału ściernego – numer ziarna – twardość ściernicy – numer struktury ściernicy – rodzaj spoiwa – oznaczenia własne producenta



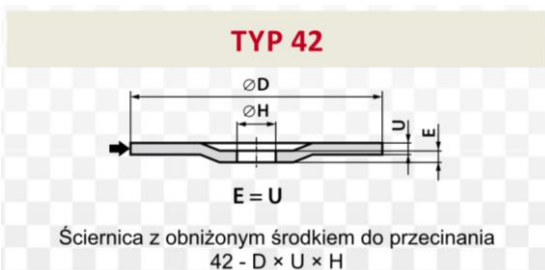
Przykład (wg ISO-525):

Ściernica z obniżonym środkiem do przecinania typu 42 o wymiarach $D = 125$ mm, $U = 0,8$ mm, $H = 22,2$ mm i charakterystyce technicznej 95A 80 R BF, maksymalnej obwodowej prędkości roboczej $v = 80$ m/s, wykonana w wersji Metal + Inox

42 - 125 x 0,8 x 22,2 - 95A 80 R BF - 80 METAL + INOX



1 - Charakterystyka techniczna ściernicy z maksymalną prędkością obwodową, 2 - Typ / wymiary ściernicy, 3 - Kod artykułu, 4 - Maksymalna dopuszczalna prędkość obwodowa [m/s] = [m·s⁻¹], 5 - Piktogramy / symbole bezpieczeństwa, 6 - Numer atestu bezpieczeństwa MPA, 7 - Znak / certyfikat bezpieczeństwa B, 8 - Ograniczenia w zastosowaniu, 9 - Numer normy bezpieczeństwa. Deklaracja zgodności, 10 - Nazwa i znak producenta, 11 - System jakości. Numer normy ISO, 12 - Barwny pas według kodu barw, 13 - Maksymalna dopuszczalna prędkość obrotowa [1/min] = [min⁻¹] = [obr/min], 14 - Przeznaczenie / zastosowanie / materiał obrabiany, 15 - Linia produktowa. Dodatkowa opisowa cecha ściernicy, 16 - Kod EAN.



	PN-HSO 603-1/2001	- T1	- 300 × 50 × 127	- 99A-80	K	4	V
Numer normy przedmiotowej							
Typ ściernicy							
Srednica zewnętrzna D							
Szerokość H							
Srednica otworu d							
Rodzaj ścierniwa							
Wielkość ziarna							
Twardość ściernicy							
Struktura							
Rodzaj spoiwa							

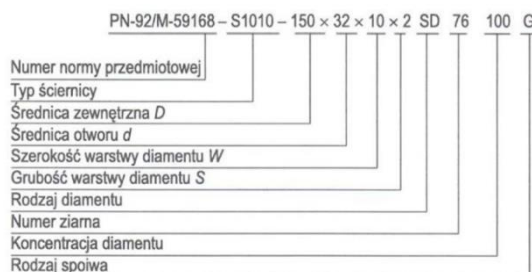
Oznaczenia ściernic z materiałów twardych

Ściernice, w których zastosowano materiał ścierny supertwardy, na ogół posiadają metalowy korpus, na którym nałożona jest cienka warstwa ścierna. Oznaczenia właściwości są podobne do ściernic konwencjonalnych, ale występuje kilka istotnych różnic. Wielkość ziarna opisuje się liczbą ułamkową, w której licznik oznacza górny, a mianownik dolny wymiar charakterystyczny ziarna z frakcji podstawowej [µm]. Ilość ziarna ściernego oznacza się tzw. koncentracją. Przyjęto, że

koncentracja 100 to jest 4,4 karata ziaren diamentowych lub borazonowych (azotku boru) w cm³ warstwy ścierniej, co bezwzględnie odpowiada udziałowi objętościowemu około 25%.

Oznaczenie koncentracji	19	25	38	50	75	100	125	150	175	200
Masa materiału supertwardego w karatach w 1 cm ³ warstwy ścierniej, kr/cm ³	0,8	1,1	1,7	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	7,7	8,8

Tab. 6. Oznaczenia koncentracji i odpowiadająca jej masa ziarna supertwardego.



Rys. 4. Oznaczenie objaśnienia ściernicy diamentowej.

Orientacyjna zależność chropowości powierzchni od numeru ziarna ściernego

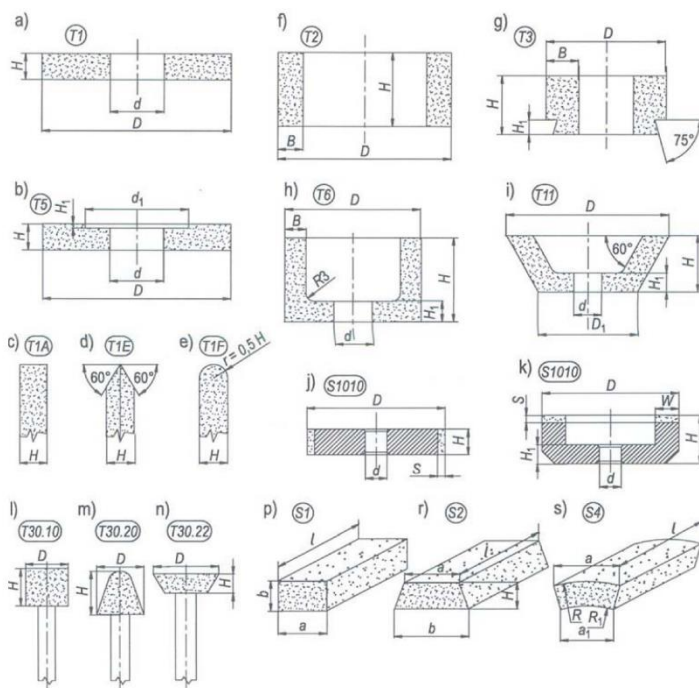
Chropowość powierzchni - cecha powierzchni ciała stałego oznaczająca rozpoznawalne optyczne lub wyczuwalne mechaniczne nierówności powierzchni. Wielkość chropowości powierzchni zależy od rodzaju materiału i przede wszystkim od rodzaju jego obróbki.

Klasa chropowości	Ra [μm]	Numer ziarna								Rz [μm]
		46	60	80	100	120	150	180	220	
7	1,25	x								6,3
8	0,63	x	x							3,2
9	0,32		x	x	x					1,6
10	0,16				x	x	x			0,8
11	0,08						x	x		0,4

Tab. 7. Zależność klasy chropowości od numeru ziarna.

Kształt i wymiary ściernic

Sposób oznaczania kształtu ściernicy i wszystkich pozostałych cech jest ściśle określony w polskich normach.



Rys. 5. Przykłady kształtów ściernic:

a) płaska, b) płaska z jednostronnym wybraniem, c) płaska prostokątna, d) płaska do gwintów, e) płaska zaokrąglona, f) pierścieniowa, g) pierścieniowa z podcięciem, h) garnkowa walcowa, i) garnkowa stożkowa, j) płaska diamentowa, k) garnkowa diamentowa, l) trzpieniowa walcowa, m) trzpieniowa stożkowa zaokrąglona, n) trzpieniowa stożkowa odwrócona, p) segment ścierny płaski, r) segment ścierny płaski trapezowy, s) segment ścierny łukowy

Literatura

1. W. Olszak „Obróbka skrawaniem” WNT, Warszawa 2009
2. W. Pietruszewicz „Obróbka ścierna” Politechnika Szczecińska, Szczecin 1994
3. Białek M.: Zajęcia praktyczne z obróbki skrawaniem. Skrypt OW PW, Warszawa 1996
4. Obróbka skrawaniem i narzędzia – szlifowanie – instrukcja do ćwiczeń Politechnika Rzeszowska
5. Podstawy technik wytwarzania I – „Narzędzia ściernie i szlifowanie” - instrukcja do ćwiczeń Politechnika Warszawska
6. <http://www.andre.com.pl>

7. <https://sites.google.com/site/mateuszisim/home/obrobka-ścierna>
8. <http://www.pentlar.pl/system-oznaczenia-ściernic/>
9. PN – 84/M-59100