



DIAMANT

A JEHO APLIKACE V PRŮMYSLUVÝCH VÝROBCÍCH A TECHNOLOGIÍCH

mezinárodní odborná konference Ostrava 2008

2. Diamant a jeho užití při výrobě drátu

/NOTA Polsko/

**VŠB – Technická universita Ostrava
12. 12. 2008**

SPIS TREŚCI:

- 1. SKRÓCONA HISTORIA TECHNOLOGII PRODUKCJI DRUTU.**
- 2. NARZĘDZIA STOSOWANE W PROCESIE CIĄNIĘCIA DRUTU.**
- 3. BUDOWA I WYMAGANIA STAWIANE NOWOCZESNYM CIĄGADŁOM MONOLITYCZNYM.**
- 4. DIAMENT - REMEDIUM NA NIEKTÓRE PROBLEMY WYSTĘPUJĄCE W CIĄGARSTWIE.**
- 5. DIAMENT NATURALNY I SYNTETYCZNY, RODZAJE I PODZIAŁ.**
- 6. PODZIAŁ MATERIAŁÓW POLIKRYSTALICZNYCH STOSOWANYCH W PRODUKCJI CIAGADEŁ.**
- 7. PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI CIAGADEŁ DIAMENTOWYCH Z CIĄGADŁAMI Z WĘGLIKÓW SPIEKANYCH.**
- 8. ZASADY DOBORU CIAGADEŁ DIAMENTOWYCH DO PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH PRODUKCJI DRUTU.**
- 9. ZASADY PRACY Z CIĄGADŁAMI DIAMENTOWYMI.**
- 10. PODSUMOWANIE.**
- 11. LITERATURA.**

1.SKRÓCONA HISTORIA TECHNOLOGII PRODUKCJI DRUTU.

DRUT: wyrób hutniczy walcowany lub ciągniony na zimno lub na gorąco o znacznej długości, niewielkim stałym przekroju poprzecznym (najczęściej okrągłym, bywa też owalny, prostokątny, sześciokątny itp.); rozróżnia się: druty ze stali (węglowej lub stopowej)- niekiedy cynkowane, miedziowane, cynowane lub niklowane; druty z metali i stopów nieżelaznych oraz druty bimetalowe w których rdzeń jest z innego niż pancerz metalu. [1]

Drut wykazuje wiele zalet, z których najważniejsze to:

- izotropowość własności,
- wysoka dokładność wymiarów i kształtu przekroju poprzecznego,
- wysoka gładkość powierzchni. [2]

Pierwsze ślady posługiwania się wyrobami metalowymi w postaci drutu pochodzą z okresu ok. 3000 lat p.n.e. Były to druty z metali szlachetnych, używane najczęściej na ozdoby i otrzymywane były metodą ciągnięcia. [3].

Rozwój naukowo-techniczny społeczeństw stwarzał zapotrzebowanie na coraz większe ilości drutu wykonanego z różnych materiałów i o coraz bardziej zróżnicowanych parametrach technicznych. Dzisiaj trudno znaleźć dziedzinę życia w, której drut nie byłby używany, od najprostszych zastosowań jak drut na siatki ogrodzeniowe aż po druty do produkcji stendów w medycynie, spiral w żarówkach i lampach czy siatek katalitycznych.

Wymagania stawiane drutom są coraz wyższe, dotyczy to zarówno parametrów wytrzymałościowych jak i jakości powierzchni i dokładności wymiarów. Jeśli przyjąć, że górna granica pomiędzy prętem a drutem przebiega przy średnicy 8-10 mm to trudno określić dolną, która zależy już tylko od technicznych możliwości wykonania narzędzi, prowadzenia procesu technologicznego i potrzeb odbiorców.

Aby sprostać wymaganiom rynku wprowadzano nowe procesy technologiczne (przygotowania materiału wsadowego oraz technologii ciągnięcia) i nowe typy maszyn ciągarskich. Postęp ten dotyczył również ciągadeł

2. NARZĘDZIA STOSOWANE W PROCESIE CIĄNIĘCIA DRUTU.

Od rodzaju materiału ciągadła, jego geometrii i dokładności wykonania zależą odchyłki wymiarowe i jakość powierzchni wyrobu, siła ciągnięcia oraz wydajność procesu ciągnięcia.

Mając na względzie wymagania stawiane jakości drutu i technologii produkcji takie jak: tolerancja wymiarów i kształtu na całej długości wyrobu, jakość powierzchni i wydajność procesu (prędkość ciągnięcia oraz częstość wymiany ciągadeł) dążono do wyprodukowania takich ciągadeł, dzięki którym można by było te wymagania spełnić.

Ze względu na budowę, ciągadła stosowane do ciągnięcia drutów okrągłych i profilowych dzieli się na:

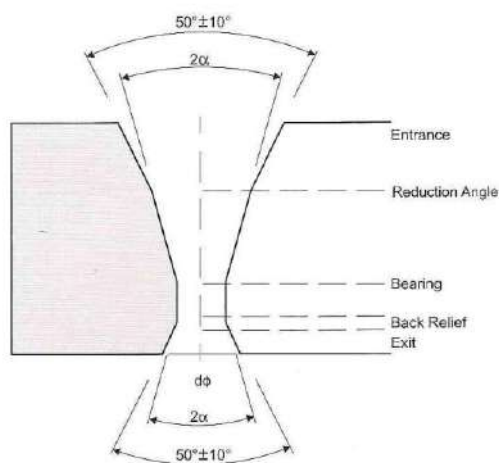
- ciągadła monolityczne, nazywane także oczkowymi,
- ciągadła składane, nazywane segmentowymi,
- ciągadła rolkowe. [2].

W niniejszym referacie będziemy zajmować się tylko ciągadłami monolitycznymi.

3. BUDOWA I WYMAGANIA STAWIANE NOWOCZESNYM CIĄGADŁOM MONOLITYCZNYM .

Typowe ciągadło monolityczne składa się z dwóch elementów wzajemnie ze sobą połączonych:

- oczka (części roboczej ciągadła) stanowiącego monolityczną bryłę materiału zdolnego do przeniesienia dużych nacisków i zapewniającego uzyskanie drutów o wysokiej gładkości powierzchni; monolityczność oczka jest umowna, co wyniknie przy omawianiu materiałów służących do jego budowy.
- oprawy metalowej (części konstrukcyjnej ciągadła) zabezpieczającej oczko przed zniszczeniem i umożliwiającej zamocowanie ciągadła w gnieździe ciagarki oraz skuteczne odprowadzanie ciepła. [2].



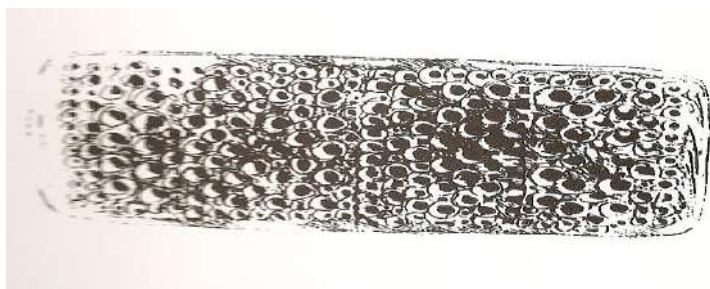
Rys.3.1. Geometria standardowego ciągadła okrągłego do ciągnięcia drutu.

4. DIAMENT-REMEDIUUM NA NIEKTÓRE PROBLEMY WYSTĘPUJĄCE W CIĄGARSTWIE.

Materiał z, którego zbudowano ciągadło powinien spełniać następujące wymagania:

- mieć wysoką twardość
- dużą wytrzymałość,
- dobre odprowadzanie ciepła ze strefy zgniotu,
- małą chropowatość powierzchni,
- ekonomiczna cena,
- łatwość regeneracji.

Uważa się, że pierwsze ciągadła zastosowano dopiero w XII wieku n.e. - było to kilka otworów o różnych średnicach wykonanych w płycie stalowej.



Rys. 4.1. Płyta ciągadłowa stalowa z XII w

Kolejnym materiałem, który używano do produkcji ciągadeł w 19 wieku były kamienie, również szlachetne takie jak szafir. Pozwoliło to już ciągać druty ze stali twardych.



Rys 4.2 [4]. Ciągadło szafirowe z XIX wieku

Dzięki dwu materiałom dokonała się „rewolucja” w ciągnięciu drutów. Pierwszy to węgiel wolframu, który posiadał wysoką twardość i dużą wytrzymałość. Drugim był **diament naturalny**. Wysoka twardość diamentu, która umożliwiała utrzymanie dokładnej tolerancji wyrobu oraz lustrzana powierzchnia robocza, która pozwalała uzyskać wysoką jakość powierzchni drutu czyniły z niego idealny materiał na ciągadła.

5. DIAMENT NATURALNY I SYNTETYCZNY, RODZAJE I PODZIAŁ.

Diament to minerał z gromady pierwiastków rodzimych. Jest najtwardszą substancją z występujących w przyrodzie.

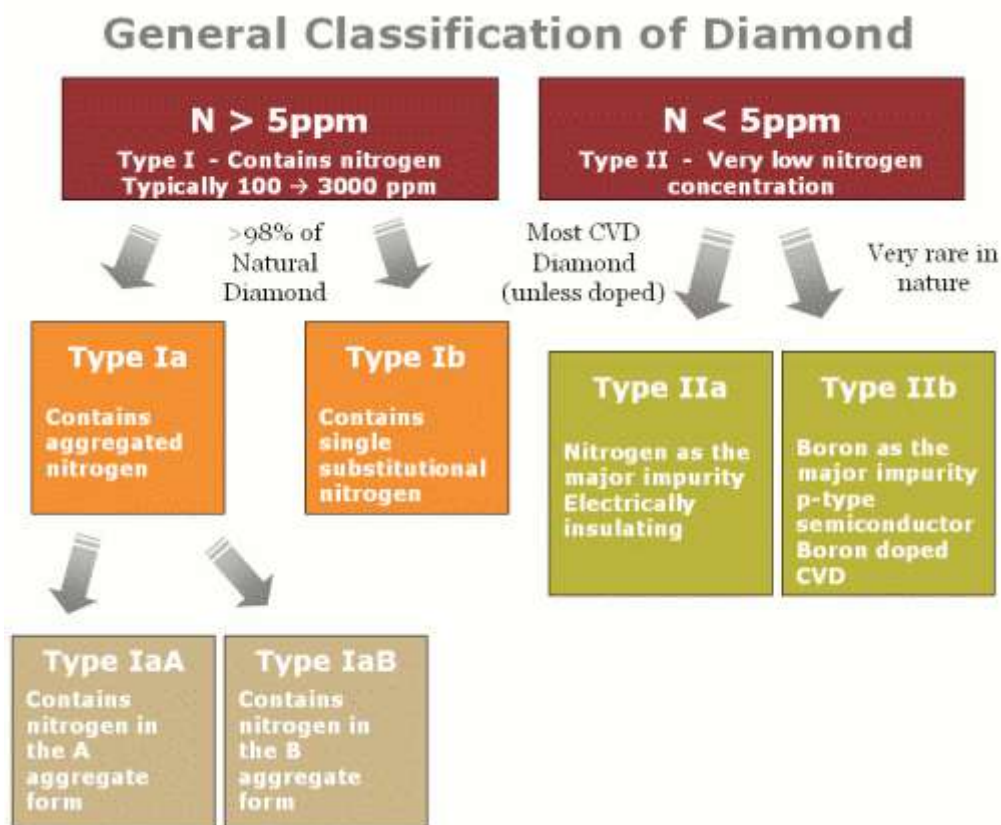
Interesujące nas właściwości diamentu:

- układ krystalograficzny-regularny;
- twardość w skali Mohsa-10, najtwardszy znany materiał,
- twardość w skali Vickersa 10,000 kg.mm⁻²
- łupliwość-wyraźna według ścian ośmiościanu,
- moduł Younga- 1000-1100 Gpa
- dobra przewodność cieplna:900-2000 W/(m·K)
- połysk-diaamentowy na ścianach, na przełomie matowy,
- jest trudno topliwy i odporny na działanie kwasów i zasad (poza stopionym węglanem sodu).
- ma wysoką odporność na udar cieplny,

- łatwy w utylizacji, po spaleniu pozostaje tylko CO₂
- współczynnik tarcia 0,3-0,1

5.1 Diamenty naturalne monokrystaliczne klasyfikuje się na cztery grupy:

- **Typ Ia** - Stanowi 98% całkowitego wydobycia. Zawiera znaczne ilości azotu (około 1%) stanowiącego zanieczyszczenie. Silnie absorbują ultrafiolet, są optycznie przezroczyste dla fal o długości ponad 320 nm, przewodnictwo cieplne 900 W/(m*K), rezystywność elektryczna $>10^{16}\Omega\text{ cm}$
- **Typ Ib** - Stanowi 1% całkowitego wydobycia. Zawiera do 0,2% azotu równomiernie rozproszonego w objętości kryształu. Własności optyczne, cieplne i elektryczne jak typ Ia. Do tej grupy należą prawie wszystkie diamenty syntetyczne.
- **Typ IIa** - Prawie nie zawiera azotu. Rzadko występuje w przyrodzie. Przewodnictwo cieplne 2600 W/(m*K), rezystywność elektryczna $>10^{16}\Omega\text{ cm}$
- **Typ IIb** - Zawiera domieszkę boru. Błękitna barwa, rezystywność elektryczna $>10\text{-}1000\ \Omega\text{ cm}$, są półprzewodnikami .



Rys. 5.1.1 Klasyfikacja diamentu (elementsix).

5.2. Diament syntetyczny monokrystaliczny.

Diament naturalny, który wydawałoby się, że ma same zalety jako materiał do produkcji ciągadeł ma jednak też wady:

- koszt pozyskania go ze źródeł występowania jest duży, poza tym im większy kryształ tym większa cena,
- kryształ diamentu naturalnego jako produkt natury jest wysoce zmienny w jego właściwościach, wielkości i jakości, jest często zanieczyszczony różnymi wtrąceniami, co uniemożliwia jego pełne wykorzystanie, zmniejsza wytrzymałość mechaniczną, zwiększa podatność na pęknięcia co z kolei skraca wydatnie żywotność ciągadeł.

Ta zmienność właściwości diamentu naturalnego stała się jedną z głównych przyczyn poszukiwania technologii produkcji diamentu syntetycznego o ściśle określonych i powtarzalnych właściwościach i żądanej wielkości.

Pierwsze próby otrzymywania diamentu z gazu prowadzono w Europie w 1911 roku. Gazem wyjściowym był acetylen w obecności par rtęci w temperaturze 1000C. W latach 1950 inny naukowiec H. Meincke przeprowadził serię eksperymentów używając węglowych tygli.

Obecnie syntetyczne diamenty monokrystaliczne produkowane są dwiema metodami:

1. High Pressure High Temperature (HPHT)
2. Synteza CVD

Metoda HPHT naśladuje warunki, w których diament powstał na Ziemi. W obecności katalizatorów (np. żelaza, kobaltu, tytanu) pod ciśnieniem minimum 50 kbar i w temperaturze około 1400 C następuje przemiana grafitu w diament. Skład mieszniny poddanej tak ekstremalnym warunkom zależy od tego co chcemy uzyskać. Jeśli chcemy uzyskać dużo małych diamentów w formie umieszczamy katalizator, proszek grafitu i ewentualnie małe kryształki diamentu celem ułatwienia i przyspieszenia procesu.

Aby otrzymać diamenty większe niż 2 mm w formie umieszcza się mały kryształ diamentu tzw. zarodek, który jest przykrywany mieszaniną katalizatora i grafitu.

Metoda CVD jest wszechstronnym procesem tworzenia cienkich stałych filmów w wyniku deponowania materiału stałego z gazu lub mieszaniny gazów na substracie (podkładzie). Aby otrzymać pojedynczy kryształ, substrat musi być pojedynczym kryształem diamentu i na nim odkładana jest nowa warstwa diamentowa przyjmująca strukturę kraty i orientację identyczną jak substrat. Przy otrzymywaniu CVD polikrystalicznego używa się podkładu z materiałów: węgiel krzemu, węgiel molibdenu oraz wolframu. Proces jest prowadzony pod atmosferycznym ciśnieniem w temperaturze 700-1200 C.

Otrzymane syntetyczne monokryształy właściwościami odpowiadają kryształom lb z przedstawionego wcześniej podziału. Mają doskonałe przewodnictwo cieplne (4 x większe od miedzi) i są wolne od wtrąceń metali w krytycznej strefie roboczej.

Właściwości ich przewyższają właściwości diamentu naturalnego i zapewniają szybkie usunięcie ciepła ze strefy pracy narzędzia diamentowego (noża tokarskiego lub ciągadła) i przyczyniają się do znacznego zwiększenia jego żywotności. Syntetyczne monokryształy mają identyczny układ krystalograficzny jak diament naturalny i są termicznie stabilne do 1000 C (w nieutleniającym środowisku). Oferowany jest szeroki wybór wielkości kryształów i płytek, umożliwiając stosowanie ich w narzędziach do różnych zastosowań.



Rys.5.2.1 Zdjęcie kolumnowej struktury kryształu CVDD [GE].

Materiały z syntetycznego diamentu monokrystalicznego mogą być dostarczane jako zorientowane według następujących kierunków osi krystalograficznych:



Rys.5.2.2 Kryształy MONODIE 100 [De Beers].

- **[100]** – jest to tak zwany kierunek miękki, używane przede wszystkim do produkcji narzędzi do obróbki kamienia, drewna oraz na obciążacze do ściernic;

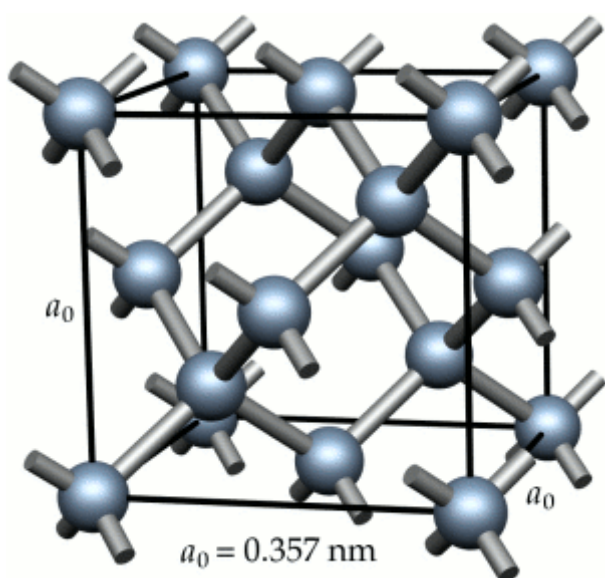


Rys. 5.2.3 Kryształy MONODIE 111 [De Beers].

- **[111]** – jest to tak zwany kierunek twardy, używane do produkcji ciągadeł do ciągnięcia drutu, gdzie do tej pory diament naturalny był jedynym wyborem; materiał jest tak zorientowany aby strafa robocza ciągadła znajdowała się na najtwardszych kierunkach kryształu.

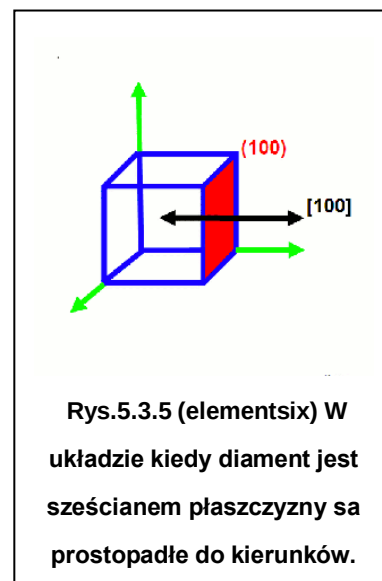
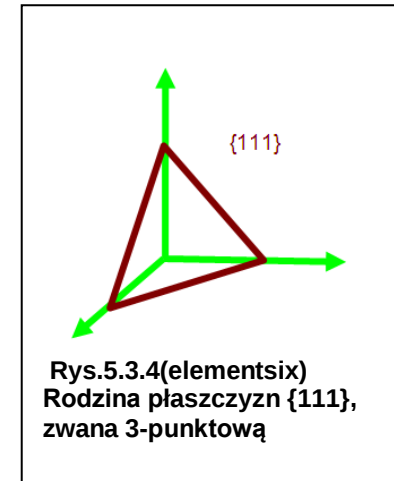
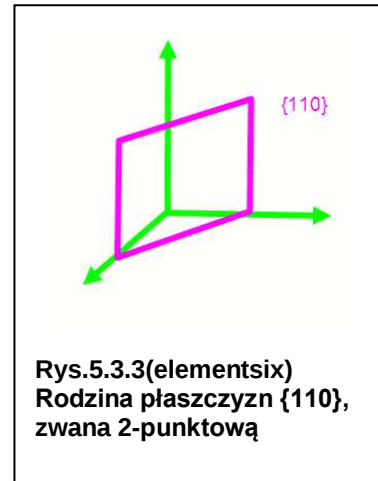
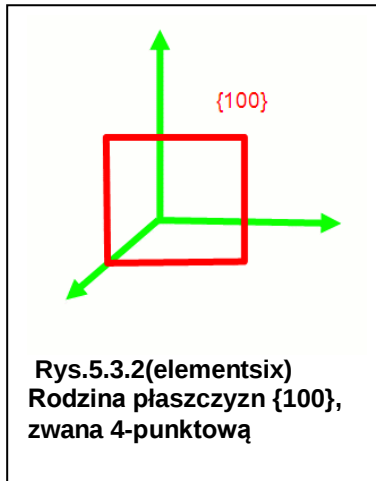
5.3 Krystalografia diamentu.

W komórce elementarnej diamentu znajduje się osiem atomów węgla, każdy połączony z czterema sąsiadami. Sieć diamentu dzięki szczególnie gęstemu upakowaniu przestrzennemu atomów i dzięki wiązaniom kowalencyjnym między nimi jest odpowiedzialna za jego najwyższą twardość i bardzo dużą gęstość.



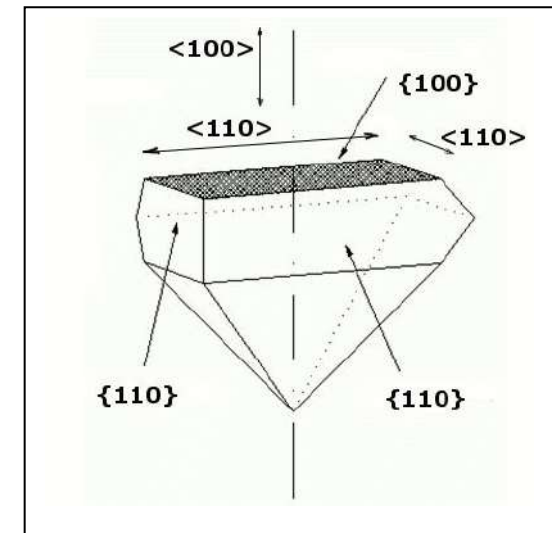
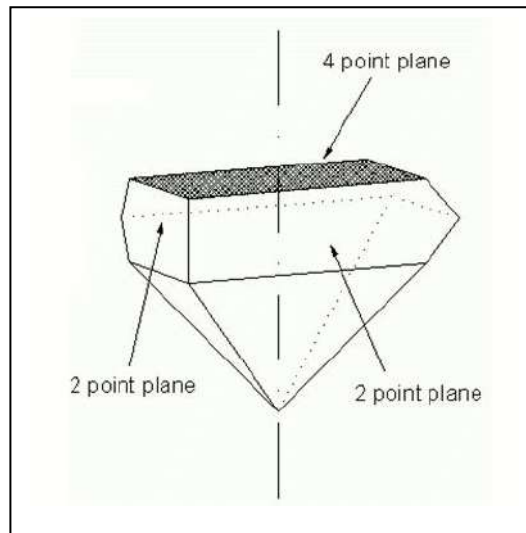
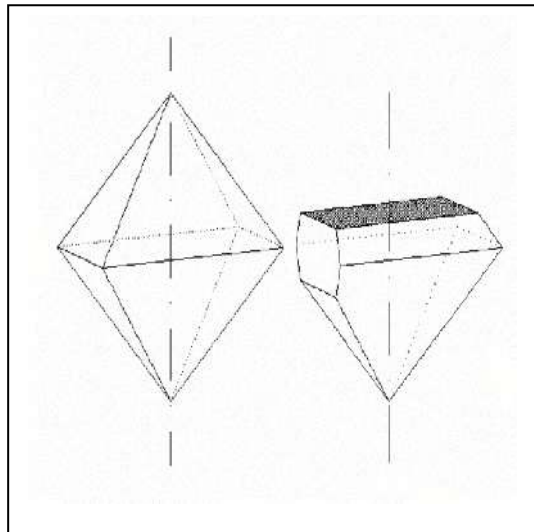
Rys.5.3.1 Struktura krystalograficzna diamentu [elementsix]

W sześciennym kryształe możemy odnaleźć 3 płaszczyzny krystalograficzne, które mogą być użyte aby opisać jego strukturę. Rodzina równoważnych płaszczyzn jest wskazana przez nawias: { }



Określone płaszczyzny oznaczone są nawiasami (), określone kierunki oznaczone są nawiasami []. Rodziny określonych kierunków oznaczone są przez nawiasy < >.

Rys.5.3.6 (elementsix) Poniższe rysunki pokazują umiejscowienie poszczególnych rodzin płaszczyzn i kierunków na regularnym oktaedralnym kryształach.



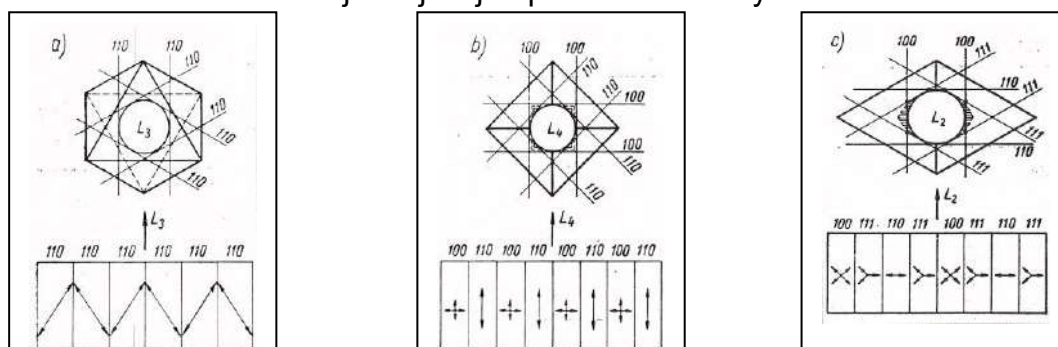
Płaszczyzny, które obrabiamy w diamencie mają różne stopnie twardości i łatwości polerowania zależnie od orientacji obrabianej płaszczyzny. Najbardziej „miękki” jest kierunek $\langle 100 \rangle$ w płaszczyźnie $\{100\}$. Najtwardszy jest kierunek $\langle 111 \rangle$ w płaszczyźnie $\{111\}$.



Rysunek 5.3.7 (elementsix) 3 wymiarowy kryształ diamentu z zaznaczonymi rodzinami płaszczyzn na powierzchni.

5.4. Orientacja krysztalu diamentu w ciągadle.

Orientacja osi otworu ciągadła względem krystalograficznych osi diamentu ma duży wpływ na zużycie wymiarów i zmianę kształtu otworów ciągadła. Walcowy otwór ciągadła może przyjąć kształt owalu, trójkąta lub kwadratu. Na rysunku 5.4.1 podano trzy przykłady usytuowania osi otworu ciągadła diamentowego do trzech podstawowych płaskich sieci krysztalu diamentu. Na rozwinięciu strzałkami zaznaczono kierunki najmniejszej odporności na zużycie.



Rys. 5.4.1 Usytuowanie osi otworu ciągadła diamentowego prostopadle do trzech podstawowych płaskich sieci krysztalu diamentu o postaci ośmiościanu: a) ośmiościanu; b) sześcianu; c) dwunastościanu. [6]

Powierzchnia otworu ciągadła prostopadłego do płaskiej sieci sześcianu (wzdłuż czterokrotnej osi symetrii rys. 5.4.1.b) styka się z czterema płaskimi sieciami sześcianu {100} i czterema- dwunastościanu rombowego {110}. Kierunek ciągnięcia drutu będzie się pokrywał z kierunkiem najmniejszej odporności diamentu na zużycie w płaskiej siatce dwunastościanu i sześcianu. Wynikiem będzie duże zużycie ciągadła. Ponieważ zużycie diamentu w „miękkim” kierunku sieci dwunastościanu jest około 1,7 razy większe [7] niż w miękkim kierunku sieci sześcianu, to w czasie eksploatacji otwór ciągadła będzie dążył do przyjęcia kształtu kwadratu.

Przy ustawieniu otworu ciągadła prostopadle do płaskiej sieci dwunastościanu {110} (rys.5.4.1.c) tj. wzdłuż dwukrotnej osi symetrii, powierzchnia otworu styka się z czterema płaskimi sieciami ośmiościanu {111}, z dwoma sieciami dwunastościanu {110} i dwoma sieciami sześcianu {100}. Kierunek ciągnięcia w tym przypadku będzie pokrywał się z kierunkiem największej odporności na zużycie w płasiej sieci dwunastościanu, prostopadłym do kierunku najmniejszej odporności na zużycie wg rys.5.4.1.b w płaskiej sieci {110}. W tym przypadku kierunek ciągnięcia pokrywa się również z kierunkami największej odporności na zużycie płaskich sieciach sześcianu i ośmiościanu. Takie ciągadło wykazuje dużą trwałość a jego cylindryczny otwór będzie dążył do przyjęcia kształtu elipsy, ponieważ ze wszystkich trzech płaskich sieci, sieć sześcianu ma najmniejszą odporność na zużycie.

Przy usytuowaniu osi otworu ciągadła prostopadle do płaskiej sieci ośmiościanu tj. wzdłuż trójkątnej osi symetrii krysztalu diamentu (rys 5.4.1.a), powierzchnia otworu ciągadła styka się z sześcioma płaskimi sieciami dwunastoscianu {110}, które [6], powinny zużywać się jednakowo, a więc otwór ciągadła powinien przybierać kształt sześciokąta. Praktyka wykazała, że w takich przypadkach otwór przyjmuje kształt

trójkąta. Przepuszczalnie w tym przypadku decydujący wpływ na zużycie nie mają płaskie sieci dwunastościanu {110}, lecz płaskie sieci ośmiościanu {111} pochylone względem osi ciągadła, ponieważ w tym przypadku, względem tworzących otworu ciągadła jest położonych sześć płaskich sieci ośmiościanu w dwóch wzajemnie przeciwległych kierunkach. Takie pozycjonowanie krzysztálu diamentu do wykonania ciągadła zapewnia mu największą trwałość w porównaniu z dwoma poprzednio omówionymi przypadkami [8].

5.5 Diament syntetyczny polikrystaliczny.

W 1973 roku firma General Electric przedstawiła nowy materiał diamentowy do produkcji narzędzi obrabiających w technologii obróbki skrawaniem materiałów kolorowych a w 1974 przedstawiono wkładki diamentowe COMPAX do produkcji ciągaadeł [9]. Była to kombinacja dwóch materiałów stanowiących integralną całość. Pierścień z węgliku spiekanego otaczał cylinder spiekanego proszku diamentowego, nadając mu jednocześnie wstępne naprężenia ściskające. Odpowiednio wyselekcjonowane syntetyczne ziarno diamentowe wraz z katalizatorem, którym był kobalt poddawano wysokiemu ciśnieniu i temperaturze. Tak otrzymany materiał pozbawiony był wad diamentu monokrystalicznego, czyli występowania kierunków „twardych” i „miękkich”. Były to wkładki gruboziarniste (30-50 mikronów) i z racji domieszki kobaltu mogące pracować do 650 C. Jakość powierzchni kanału roboczego ciągadła ustępowała jednak jakości w ciągadle z monokrystału. W 1981 r GE wyprodukowało wkładki drobnoziarniste (5 mikronów) bez pierścienia z węgliku spiekanego, bez dodatku kobaltu i termostabilne (zachowują swoje własności do temperatury 1100 C w atmosferze nieutleniającej), materiał ten mógł z powodzeniem zastąpić diament monokrystaliczny. Następnym krokiem były wkładki submikronowe. W latach 70 ubiegłego wieku jeszcze dwie firmy wypuściły na rynek wkładki ciągaadłowe z diamentu polikrystalicznego: De Beers i Sumitomo (firmy znane również jako producenci syntetycznego diamentu monokrystalicznego, a De Beers również z dostawy diamentu naturalnego). Ciekawym materiałem wyprodukowanym przez koncern De Beers była wkładka NTB wykonana z proszku diamentu naturalnego, dostępna tylko z ziarnem 20 mikronów, termostabilana do 1200 C w neutralnej atmosferze.

6. PODZIAŁ MATERIAŁÓW POLIKRYSTALICZNYCH STOSOWANYCH W PRODUKCJI CIAGADEŁ.

Wkładki z diamentu syntetycznego polikrystalicznego używane do produkcji ciągadeł można podzielić wg następujących kryteriów:

1/ odporności na temperaturę:

- termostabilne (do 1200 C w obojętnej atmosferze),
- nietermostabilne (do 650 C),

2/ zastosowanego spoiwa:

- bez spoiwa (np. GE 5010)- tylko te wkładki są termostabilne,
- spoiwo z kobaltem
- spoiwo z krzemem

3/ kształtu podstawy:

- -heksagonalna,
- -kołowa,

4/ przewodnictwa prądu:

- przewodzące (możliwość obróbki na maszynach EDM),
- nieprzewodzące-wkładki nie zawierające spoiwa,

5/ budowy:

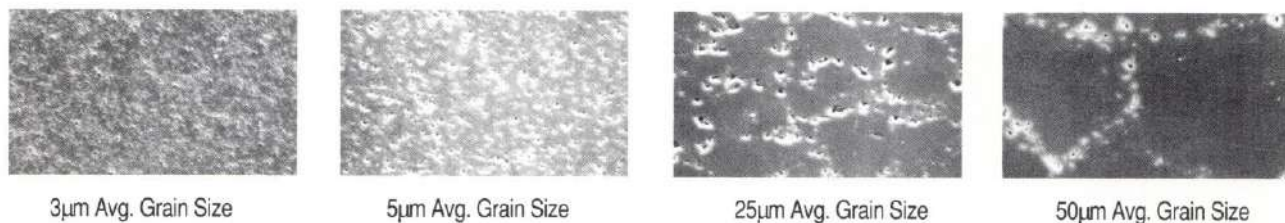
- -w pierścieniu wzmacniającym z węgla spiekanego,
- -bez pierścienia

6/ wielkości:

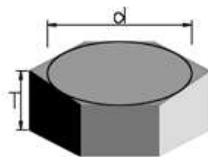
w celu uproszczenia i standaryzacji wielkości wkładek stosuje się standard ADDMA (American Diamond Die Manufacturer Association), wielkości wkładek określa się symbolami od D4 poprzez np. D18 do D37, oczywiście producenci mogą dostarczać wkładki wg specyfikacji zamawiającego.

7/ wielkości ziarna:

- U- super drobne (ultrafine) – ziarno 0-2 mikrona (np 5010SM)
- F- drobne- (fine)- 3-10 mikronów
- M- średnie- (medium)- 11-29 mikrona
- C- grube- (coarse)- 30 mikronów i większe



Rys.6.1. Wielkość ziarna we wkładkach diamentowych wg GE.



Self-Supported heksagonal Die Blanks

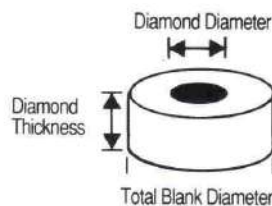
ADDMA Code	PRODUCT DIMENSIONS (mm)			PARALLELISM (mm)	ROUNDNESS (mm)	PERPENDICULARITY	CONCENTRICITY (mm)	MAXIMUM RECOMMENDED WIRE SIZE (mm)
	TOTAL BLANK DIAMETER	DIAMOND DIAMETER d	DIAMOND THICKNESS T					
D	(Not applicable)	2.0±0.3	1.0±0.10				(Not applicable)	--
D6		2.5±0.3	1.0±0.10					0,4
D12		3.2 ±0.3	1.5±0.10					1.0
D15		5.2±0.5	2.5±0.10					1.5
D18		5.2±0.5	3.5±0.10					2.0

Rys. 6.1. Wkładki o podstawie heksagonalnej, maksymalna średnica drutu podana dla Cu, dla stali



Self-Supported Die Blanks

PRODUCT NUMBER	PRODUCT DIMENSIONS (mm)			PARALLELISM (mm)	ROUNDNESS (mm)	PERPENDICULARITY	CONCENTRICITY (mm)	MAXIMUM RECOMMENDED WIRE SIZE (mm)
	TOTAL BLANK DIAMETER	DIAMOND DIAMETER	DIAMOND THICKNESS					
D6	(Not applicable)	3.1±0.3	1.0±0.10	0.05	0.3	10°	(Not applicable)	0.5
D12		3.1±0.3	1.5±0.10	0.05	0.3	10°		1.0
D15		5.2±0.5	2.5±0.10	0.05	0.5	7°		1.5
D18		5.2±0.5	3.5±0.10	0.05	0.5	7°		2.0



Tungsten Carbide Supported Die Blanks

D12	3.99±0.013	1.5±0.20	1.50±0.10	0.05	0.010	1°	0.25	0.8
D15	8.12±0.013	4.0±0.20	2.30±0.13	0.05	0.010	1°	0.35	1.8
D18	8.12±0.013	4.0±0.20	2.90±0.13	0.05	0.010	1°	0.35	2.3
D21	13.65±0.013	7.0±0.20	4.00±0.20	0.05	0.010	1°	0.46	3.5
D24	13.65±0.013	7.0±0.20	5.30±0.25	0.05	0.010	1°	0.46	4.6
D27	24.13±0.025	13.00±0.30	8.70±0.25	0.10	0.050	1°	0.50	5.8
D30	24.13±0.025	13.00±0.30	11.60±0.25	0.10	0.050	1°	0.50	7.6

Rys. 6.2. Wkładki o podstawie kołowej bez pierścienia i w pierścieniu wzmacniającym z węgla spiekanego, maksymalna średnica drutu podana dla Cu, dla stali 65%

7. PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI CIĄGADEŁ DIAMENTOWYCH Z CIĄGADŁAMI Z WĘGLIKÓW SPIEKANYCH.

Parametr	Diament polikrystaliczny	Diament naturalny i syntetyczny monokrystaliczny	Węglik wolframu
Twardość Knoop (kg/mm ²)	6000-8000	8000- 12000	1700-1800
Wytrzymałość na obciążenia poprzeczne (kg/mm ²)	180	30	180
Wytrzymałość na ściskanie (kg/mm ²)	734	220-875	610
Moduł Younga (x10 ⁴ /kg/mm ²)	8,8	11,9	6,3
Przewodnictwo cieplne (W/ cmk)	0,3-0,5	1,7-2,2	0,17-0,19

Rys. 7.1. Porównanie właściwości fizycznych



Rys. 7.2. Porównanie kosztów ciągadeł w wyrobie na 1 tone drutu w zależności od średnicy i materiału ciągadła [Diamond Innovations].

Właściwość	Diament Naturalny	Diament syntetyczny monokrystaliczny	Diament syntetyczny polikrystaliczny	Weglik wolframu
Koszt narzędzia	Wysoki	Wysoki	Wysoki	Mały
Częstość wymiany ciągadła	Mała	Mała	Mała	Duża
Koszt narzędzia w jednostce wyrobu	Niski	Niski	Bardzo niski	Wysoki
Wydajność z jednego ciągadła	Duża	Duża	Bardzo duża	Mała
Prędkość ciągnięcia	Duża	Duża	Duża	Mała
Ilość regeneracji	Mała	Mała	Duża	Duża
Ekonomiczny i techniczny zakres stosowania	0,010mm-0,5mm	0,010mm-0,5mm	0,050- 30mm	0,150- 100mm
Anizotropia	Tak	Tak	Nie	Nie

Rys. 7.3. Porównanie niektórych parametrów ciągadeł z różnych materiałów

Typ drutu	Zakres średnic mm	Zgniot jednostkowy %	Kąt stożka redukcyjnego	Długość kalibra %	Predkość ciągnięcia m/min	Więcej X od TC	Więcej X od SCD
Miedź	1,84-7,6	20-35	16-25	10-25	600-2500	200-500X	-----
Miedź	0,05-2,05	18-21	16-20	10-25	600-3300	-----	5-15X
Aluminium	1,84-7,60	18-30	16-25	10-25	600-1500	100-200X	-----
Aluminium	0,20-2,05	15-21	16-20	10-25	600-2000	-----	3-5X
Nickel 200	0,33-1,65	20-30	16-20	15-30	200-500	-----	6-10X
Wolffram	0,12-0,62	18-22	12-16	20-40	30-80	-----	3-6X
Molibden	0,12-1,02	18-22	12-16	20-40	30-80	50-80X	3-6X
Stal wysoko-węglowa	0,24-1,05	15-20	10-14	20-40	400-800	30-50X	-----
Stal niskowęglowa	0,88-2,10	18-21	8-14	20-40	400-800	30-70X	-----
Ni-Cr-Fe	0,20-1,20	18-26	10-14	20-40	200-600	30-50X	4-5X
Stal 316	0,18-1,60	18-21	10-14	20-40	200-600	10-20X	4-8X
Stal 302	0,24-1,60	18-21	10-14	20-40	200-600	8-15X	2-4X
Kord	0,17-0,40	18-21	10-16	20-40	600-1000	10-30X	-----

PCD- diament syntetyczny spiekany, SCD- diament monokrystaliczny, TC- węgiel wolframu

Rys. 7.4. Porównanie wydajności ciagań PCD, SCD i TC przy ciągnięciu niektórych materiałów.

8. ZASADY DOBORU CIĄGADEŁ DIAMENTOWYCH DO PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH PRODUKCJI DRUTU.

Zasadą doboru ciągadeł do danego procesu technologicznego jest maksymalne wykorzystanie zalet technicznych nowego materiału w połączeniu z parametrami ekonomicznymi.

8.1. Ciągadła z diamentu monokrystalicznego stosuje się najczęściej do:

- drutów, w których wymagana jest bardzo wysoka jakość powierzchni końcowej,
 - drutów z metali kolorowych (miedź, brąz, aluminium)
 - drutów z metali drogocennych (złoto, platyna, rod, srebro)
 - drutów z metali trudnościowych (wolfram, molibden),
 - drutów ze stali nierdzewnej i kwasoodpornej (303, 304, 316),
 - drutów niklowych i ze stali węglowej.[De Beers]
- Z reguły ciągadła z diamentu monokrystalicznego stosuje się jako ciągadła końcowe stabilizujące jakość powierzchni drutu. Wyjątkiem są druty sprężynowe, gdzie z uwagi na ogromne znaczenie karbów i wszelkich nieciągłości powierzchni drutu ciągadła te stosuje się w maksymalnym zakresie.
 - Ciągadła z diamentu monokrystalicznego mają duży współczynnik przewodnictwa cieplnego i doskonale nadają się do ciągnięcia wolframu na gorąco,
 - Z uwagi, że cena ciągadła rośnie gwałtownie wraz z wielkością kryształu, ciągadła te stosuje się z reguły do średnicy 0,4mm.
 - Monokryształ diamentu jest izolatorem, nie może być zatem obrabiany na EDM,
 - Należy pamiętać o mniejszej wydajności ciągadeł monokrystalicznych od ciągadeł z PCD.

8.2. Ciągadła z diamentu polikrystalicznego bez pierscienia.

Diament syntetyczny polikrystaliczny dzięki swojej budowie ma jednakowe właściwości we wszystkich kierunkach (brak jest kierunków twardych i miękkich).

8.2.1 Ciągadła z diamentu polikrystalicznego termostabilnego:

- diament nie zawiera metalicznego katalizatora,
- diament może być oprawiany w wysokiej temperaturze do 1100 C,
- ciągadło może być użyte do procesu przebiegającego w wysokiej temperaturze,
- nie przewodzi prądu, czyli może być obrabiane laserem, ultradźwiękami lub mechanicznie,
- wkładki są dostarczane w wielkościach od D6 do D18, czyli maksymalna średnica ciągniętego drutu miedzianego 3mm

- Może być dostarczony z ziarnem:
 - U (ultradrobne)- zapewniają wysoką jakość powierzchni lecz krótszą żywotność,
 - F (drobne 3-5 mikrona) – zapewniającą akceptowalną jakość powierzchni drutu i dużą żywotność;

Proponowane do ciągnięcia drutów z:

- metali kolorowych
- stali wysokowęglowej, niskowęglowej, nierdzewnej
- kordu (preferowna wkładka o ziarnie U –ultrafine)- dla małych średnic,
- do ciągnięcia na gorąco wolframu i molibdenu- dla małych średnic,

8.2.2. Ciągadła z diamentu polikrystalicznego nietermostabilnego:

- diament zawiera cząsteczki katalizatora metalicznego (kobalt), jego struktura jest stabilna do temp 650 C,
- wkładka przewodzi prąd elektryczny, może być obrabiana na EDM,
- wkładki mogą być dostarczane w całym spektrum ziarna i wielkości od D4 do D30, z uwagi jednak na sposób oprawiania wątpliwe jest używanie wkładek powyżej wielkości D18,
- użycie tak jak w punkcie 8.2.1 poza pracą w wysokich temperaturach.

8.3. Ciągadła z diamentu polikrystalicznego w pierścieniu.

Ciągadła z diamentu polikrystalicznego w pierścieniu z węglika:

- diament zawiera w swojej strukturze cząsteczki katalizatora metalicznego (kobalt), jej struktura jest stabilna do temp 650-700 C (uwaga na oprawianie i temperaturę pracy)
- wkładka ciągadłowa przewodzi prąd elektryczny, czyli może być obrabiana na obrabiarkach EDM, jak również laserem, ultradźwiękami lub metodami mechanicznymi.
- dzięki pierścieniowi z węglika spiekanego ciągadło dobrze znosi duże obciążenia radialne, dobrze daje sobie radę przy ciągnięciu drutów o dużej twardości, w procesach o dużym zgniocie jednostkowym oraz przy ciągnięciu dużych średnic (np. 28 mm),



9. ZASADY PRACY Z CIĄGADŁAMI DIAMENTOWYMI.

- 1) Nie należy przekraczać maksymalnych średnic rekomandowanych przez producentów wkładek dla danej wielkości wkładki, gdyż nie da się zbudować pełnej geometrii ciągadła.
- 2) Maksymalna średnica dla drutów twardych stalowych nie powinna przekraczać 65% średnicy rekomendowanej dla danej wielkości wkładki gdyż grozi to zniszczeniem narzędzia.
- 3) Ciągadło powinno być poddane procesowi przepolerowania już w momencie stwierdzenia zmatowienia w miejscu styku materiału z ciągadłem na stożku roboczym, pozwoli to na wydłużenie czasu pracy ciągadła; dopuszczanie do powstawania głębokiego pierścienia zgniotowego prowadzi do konieczności dużej zmiany średnicy podczas regeneracji lub do pęknięcia ciągadła,
- 4) Należy stale filtrować emulsję smarującą w ciagarce i kontrolować jej skład a przedłuży się znacznie żywotność ciągadeł i zapewni wysoką jakość powierzchni drutu,
- 5) Przy ciągnięciu drutu z dużymi prędkościami należy zmniejszyć długość kalibra,
- 6) Ciągadła z wkładkami drobnoziarnistymi proponuje się używać do ciągnięcia na gotowo gdy ważna jest jakość powierzchni drutu oraz przy ciągnięciu drutów stalowych i pokrywanych (np. druty spawalnicze)
- 7) Ciągadła z wkładkami gruboziarnistymi proponuje się stosować do ciągnięcia dużych średnic drutów kolorowych, pozwoli to uzyskać dużą wydajność z jednego ciągadła,
- 8) W procesie ciągnięcia wolframu i molibdenu na gorąco atmosfera redukcyjna w strefie pracy ciągadła zminimalizuje efekt utleniania diamentu i zwiększy jego żywotność,

10. PODSUMOWANIE.

- 1) Diament zastosowany do produkcji ciągadeł stworzył nowe możliwości oraz rozwiązał wiele problemów technologicznych w procesie ciągnięcia drutów między innymi:
 - Możliwa stała się produkcja cienkich i supercienkich drutów właściwie ze wszystkich metali w tym z wolframu i molibdenu- również na gorąco,
 - Uzyskano wysoką jakość powierzchni drutu,
 - Wysoka odporność na ścieranie umożliwiła otrzymywanie bardzo długich odcinków drutu mieszczących się w zadanej tolerancji, wpływa to na zdecydowanie na poprawę jakości wyrobów oraz wzrost wydajności poprzez zdecydowane skrócenie czasów związanych z wymianą ciągadeł (proszę sobie wyobrazić częstość i czas wymiany ciągadeł węglkowych w maszynie wielobieęgowej do miedzi o 320 ciągadłach,
 - Kilukrotnie zwiększono predkość ciągnięcia bez pogorszenia własności wyrobu,

- Zmniejszyły się znacznie koszty jednostkowe ciągadła w jednostce wyrobu,

2) Różnorodność materiału diamentowego o różnych właściwościach pozwala dobierać go do konkretnych zastosowań.

3) Materiał diamentowy ma też swoje ograniczenia (np. maksymalna temperatura pracy do 1000 C w atmosferze nieutleniającej) oraz wady (np. niejednorodność właściwości diamentu monokrystalicznego w zależności od kierunków krystalograficznych), ich znajomość pozwala ustrzec się wielu błędów.

4) Dopóki rynek będzie potrzebował wyrobu zwanego drutem i jak długo nie zmieni się technologia jego produkcji to narzędzia zwane ciągadłami dalej będą niezbędne choć diament zostanie może zastąpiony nowymi rodzajami materiałów. Obecnie jest to dalej najlepszy materiał do produkcji ciągadeł

