

ASPEKTY OBRÓBKOWE SKRAWANIA GRAFITU

Mirosław Dalak, Robert Polasik

*Zakład Inżynierii Produkcji
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy*

Streszczenie

W artykule przedstawiono niektóre aspekty obróbkowe grafitu oraz wybrane zalecenia umożliwiające ekonomiczne przeprowadzenie procesu jego skrawania. Odniesiono się do frezowania, jak też do stosowanych materiałów narzędziowych.

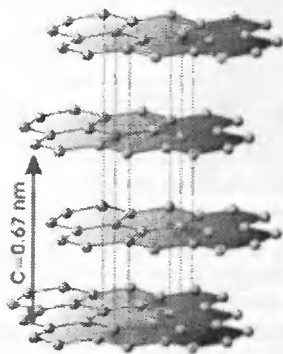
1. WSTĘP

Spośród dostępnych na rynku materiałów, coraz częściej do nowych rozwiązań technologicznych stosuje się grafit. Jego właściwości sprawiają, że jest on materiałem ekologicznym i nowoczesnym.

W artykule przedstawiono wybrane aspekty skrawania grafitu, szczególnym w zastosowaniu do produkcji elektrod, z uwzględnieniem zarówno procesów produkcji, jak i obróbki skrawaniem.

2. WŁASNOŚCI, WŁAŚCIWOŚCI I ZASTOSOWANIE GRAFITU

Grafit jest polimorficzną odmianą węgla o strukturze krystalicznej i budowie heksagonalnej typu A9 o uporządkowaniu ABABAB, a warstwy atomów (A i B) są przesunięte względem siebie o 0,142 nm (1,42 Å). Poszczególne atomy węgla tworzą budowę siatkowo-warstwową. Odległość pomiędzy równoległymi płaszczyznami wynosi 3,345 Å (1 Å = 0,1 nm). Na każdej płaszczyźnie atomy węgla tworzą foremne sześciokąty o bokach długości 1,417 Å. Płaszczyzny sieciowe, położone w odległości 6,69 Å (0,67 nm) od siebie, są symetryczne, natomiast sąsiednie płaszczyzny sieciowe są nieco przesunięte względem siebie [1]. Strukturę grafitu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura grafitu



Rys. 2. Warstwowa budowa grafitu

Pomiędzy jonami węgla w płaskich warstwach atomów istnieją silne wiązania kowalencyjne (homeopolarne), których energia wynosi 420 ± 500 kJ/mol, natomiast między poszczególnymi warstwami występują słabe wiązania molekularne zbliżone do wiązań van der Waalsa (4 ± 10 kJ/mol) [1].

Konsekwencją warstwowej budowy grafitu (rys. 2) oraz różnicy energii wiązań atomowych w pojedynczych warstwach i między warstwami jest znaczna anizotropia właściwości grafitu, wyrażająca się m.in. tym, że jego twardość i wytrzymałość w kierunku równoległym do głównej osi heksagonalnej przewyższają wielokrotnie wartości tych parametrów w kierunku prostopadłym do tejże osi. Charakter budowy przestrzennej grafitu powoduje łatwość zrywania wiązań pomiędzy sąsiednimi płaszczyznami, czyli tworzenie struktury łuskowatej, nawet przy największym rozdrobnieniu [1].

Podstawowe właściwości grafitu to: wysokie przewodnictwo cieplne (ze względu na niski opór elektryczny właściwy), wysoka przewodność cieplna (ok. 100 W/m²°C), niski współczynnik rozszerzalności cieplnej ($10^{-6} \pm 25 \cdot 10^{-6}$ /°C) w zależności od kierunku, wysoka odporność chemiczna i termiczna, doskonale właściwości smarne. Ponadto grafit i wyroby grafitowe są materiałami porowatymi, chemicznie obojętnymi, łatwo dają się składować i wykorzystać oraz nie wpływają negatywnie na środowisko. Dzięki tym cechom grafit zyskał miano materiału nowoczesnego i ekologicznego [1]. Jego właściwości i zastosowanie przedstawiono w tabelicy 1.

Tabela 1. Właściwości i zastosowanie grafitu [2]

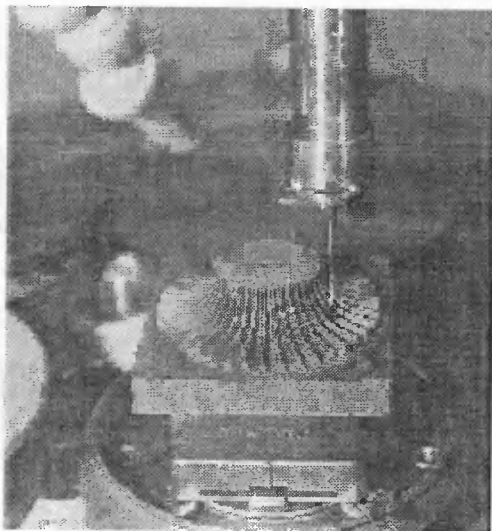
Lp.	Właściwość	Zastosowanie
1	Wysoka temperatura topnienia (3650°C)	Materiały ogniotrwałe, tygle
2	Dobry przewodnik elektryczności	Szczotki węglowe, kolektory napięcia, odbieraki prądu, taśmy przewodzące i podkładziny
3	Dobrze smarujący powierzchnie	Smary, wypełnienia
4	Rozszerzalność	Podkładki, paski i pierścienie używane w warunkach wysokich temperatur, folie
5	Odporność na reakcje chemiczne	Zastosowanie w środowiskach korozyjnych
6	Wysoka przewodność cieplna, spowalnianie spalania, zdolność do zachowania struktury w wysokich temperaturach	Łączenie stali i metali nieżelaznych, tygle odlewnicze i materiały okładzinowe
7	Redukcja współczynnika zużycia, redukcja współczynnika tarcia – smarowania	Składniki okładzin hamulcowych
8	Miękka konsystencja, niskie tarcie, nieaktywny, odporność na wysokie temperatury	Smary
9	Nieaktywny chemicznie, stabilny w normalnych temperaturach, wysoka przewodność elektryczna, wzrost w elektrochemicznej wymianie ładunków	Zastosowanie w bateriach, do suchych ogniw
10	Własności niekorozyjne	Farby dla zabezpieczenia powłok ochronnych powierzchni metalowych
11	Przewodność i kolor	Farby do ekranów elektrycznych
12	Własności antystatyczne	Antystatyczne pokrycia podłóg dla redukcji elektryczności statycznej
13	Wysoka przewodność cieplna i wysoka odporność na temperaturę	Materiały ogniotrwałe (90-95% C)
14	Własności smarujące	Dodatki do wiercenia, smary samochodowe, samosmarujące części mechaniczne, takie jak łożyska, podkładki itd.
15	Kontrola spalania	Materiały wybuchowe, w których grafit kontroluje bezdymne spalanie prochu
16	Spowalnia neutrony bez ich przechwytywania	Opóźnia neutrony w reaktorach jądrowych

Ze względu na budowę krystaliczną oraz wynikające z niej własności technologiczne grafity naturalne dzieli się na płatkowe i amorficzne (przemienione). Obydwa rodzaje grafitu są klasyfikowane według zawartości węgla oraz ziarnistości określanej na podstawie analizy sitowej. W procesach przetwórczych wytwarza się całą gamę innych rodzajów grafitu: ekspandujący, elastyczny, izostatyczny, elektrotechniczny, koloidalny, mikroproszki oraz kompozyty metalografitowe i węglografitowe. W procesie grafityzacji substancji bogatych w węgiel wytwarzany jest syntetyczny elektrografit. Posiada on nieco gorsze właściwości, ale jest często stosowany w przemyśle elektrodowym i metalurgii.

Istnieje szereg procesów stosowanych do produkcji szerokiej gamy produktów z węgla i grafitu. Elektrody węglowe lub grafitowe (anody i katody) oraz ogniotrwałe wyłożenia pieca są produkowane dla różnorodnych procesów produkcji metali żelaznych i nieżelaznych, a w szczególności przy pierwotnym wytapianiu aluminium oraz produkcji żelazostopów i stali. Ponad 200 produktów różnych wielkości, kształtów i własności wytwarza się dla innych zastosowań. We wszystkich procesach stosowany jest koks, węgiel i inne surowce, takie jak smoła czy pak węglowy, do produkcji past, elektrod i kształtek [3, 6, 7].

3. KSZTAŁTOWANIE PRODUKTÓW GRAFITOWYCH

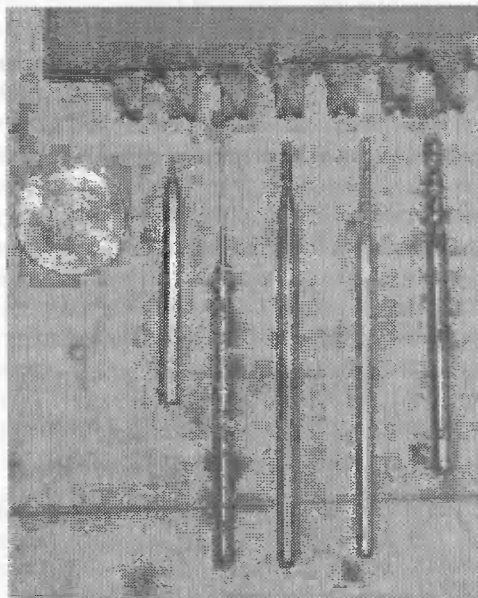
Do obróbki kształtek grafitowych stosuje się piłowanie, toczenie, wiercenie i mienienie oraz temu podobne procesy. Produkt finalny jest następnie polerowany. Pyły powstające przy tych procesach są zbierane i ponownie wykorzystywane w maksymalnym stopniu. Przebieg konkretnych procesów zależy od produktu końcowego [4]. Obróbkę elektrod grafitowych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wykonywanie żeber elektrody grafitowej

Grafit zachowuje się podczas obróbki skrawaniem inaczej niż większość materiałów. Jego warstwowa budowa powoduje, że podczas skrawania nie powstają wióry, lecz czarny pył. Powoduje to zwiększenie tarcia w strefie skrawania i wzrost temperatury, co przyspiesza zużycie narzędzia. Podstawową wadą grafitu jako materiału do obrabiania nie jest jego twardość, lecz kruchość i ścierność. Firma Keystone Tool & Machine z po-

wodzeniem stosuje w obróbce grafitu narzędzia węglikowe z warstwą diamentową [5] – rysunek 4.



Rys. 4. Narzędzia z pokryciami diamentowymi używane do obróbki grafitu. o średnicach od 0.010" do 0.125"

Warunki obróbki grafitu ustala się często doświadczalnie. Małe gabaryty narzędzia sprawiają, że maleje obciążenie wywierane przez naddatek obróbkowy na ostrze, co powoduje raczej wypolerowanie powierzchni niż jej skrawanie.

4. PARAMETRY OBRÓBKI


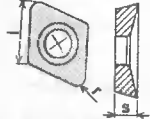
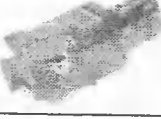


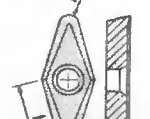

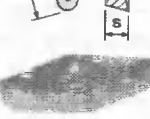

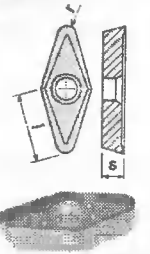
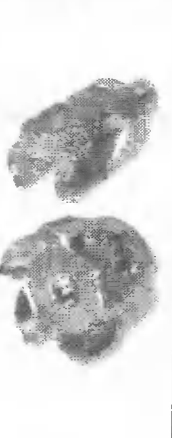

Prędkość skrawania zależna jest od rodzaju materiału narzędzia: dla narzędzi węglkowych i diamentowych stosuje się odpowiednio od 150 do 200 i od 152 do 600 m/min.

5. NIEKTÓRE WYTYCZNE FREZOWANIA ELEKTROD GRAFITOWYCH

Dużym problemem podczas obróbki grafitu jest unoszący się pył grafitowy. Może on skutecznie utrudnić pracę roznosząc się po pomieszczeniu oraz wnikając w podzespoły maszyn. Aby temu zapobiec stosuje się przeważnie dwie metody. Jedną z nich jest zastosowanie do obrabiarki wyciągu, często próżniowego. Druga metoda polega na stosowaniu dielektrycznego płynu chłodzącego, zatrzymującego rozprzestrzenianie się pyłu grafitowego. Jako płyn chłodzący stosuje się także naftę [5].

Wśród szerokiego asortymentu narzędzi przeznaczonych do obróbki grafitu stosowane są narzędzia firmy WWT POKOLM, działającej w Polsce, dystrybutora frezów (zarówno głowic frezarskich, jak i wymiennych płytek) – tablica 2 [8].

Tablica 2. Głowice frezarskie i parametry obróbki grafitu

Lp.	Typ głowicy	Typ wymiennej płytki	Parametry obróbki		
			prędkość skrawania v_c m/min	posuw f_z mm/ostre	grubość warstwy skrawanej a_p mm
1	2	3	4	5	6
1			do 800	0.1-0.35	0.1-1.0
					
2			do 800	0.05-0.2	0.1-2.0
					
3			do 800	0.1-0.6	O32-42
					0.1-4.0
					O52-66
					0.1-5.0
O66-125					
0.1-6.0					
4			do 800	0.1-0.6	O32-42
					0.1-4.0
					O52-66
					0.1-5.0
					O66-125
0.1-6.0					

Podczas obróbki grafitu istnieje ryzyko jego wykruszenia się w strefie obróbki. Można temu zapobiec stosując następujące warunki obróbki:

- rozpocząć frezowania w jednym końcu elementu i prowadzić narzędzie przez cały tor obróbki w taki sposób, by nie opuściło materiału,
- stosować mniejsze głębokości frezowania ($a_{pwyj} = 1/3 a_p$) i zredukowane posuwy przy wyjściu narzędzia z materiału (0.08-0.13/ostrze), jak też narzędzia o większej trwałości ostrza,
- stosować frezy o dwóch rowkach, co ułatwi odprowadzenie wiórów z miejsca skrawania,
- stosować frezowanie współbieżne,
- stosować płytki kwadratowe z małym promieniem naroża $r_{in} = 0,2-0,4$ mm.

Do obróbki kształtującej i wykończeniowej dobiera się podobne wartości prędkości skrawania. Różną dokładność powierzchni obrabianej uzyskuje się poprzez dobranie odpowiedniego materiału na płytki wieloostrowe. Do obróbki zgrubnej oraz średnio dokładnej stosuje się niepowlekane materiały, np. na bazie WC-Co. Do obróbki wykończeniowej natomiast stosuje się płytki powlekane np. powłoką z azotku tytanu, taką jak PVD-TiAlN.

6. PODSUMOWANIE

Grafitowe profile są wykończane przez toczenie, wiercenie, mielenie itp., w zależności od wymagań klientów. Produkty końcowe są następnie polerowane. Pyły generowane podczas tych procesów są zbierane i ponownie wykorzystywane w maksymalnym możliwym stopniu. Przebieg konkretnego procesu zależy od produktu końcowego.

Warstwowa budowa grafitu powoduje, że podczas skrawania nie powstają wióry, lecz czarny pył, dlatego zachowuje się inaczej niż większość materiałów podczas obróbki skrawaniem. W celu jego obróbki często stosowane są odpowiednie warunki ustalane doświadczalnie.

LITERATURA

- [1] Grafit. Elektrody grafitowe – Sinograf. www.sinograf.pl (25.09.2009).
- [2] Grafit – Wikipedia.
- [3] Tworzywa samosmarne. www.materspec.com.pl (25.09.2009).
- [4] Metale nieżelazne rozdz. 12 – „Procesy produkcji elektrod węglowych i grafitowych”. [ippe.mos.gov.pl/preview/custom/BAT met niez r12.pdf](http://ippe.mos.gov.pl/preview/custom/BAT%20met%20niez%20r12.pdf)
- [5] Kennedy B. – Black art. www.ctemag.com (25.09.2009).
- [6] Sherman J. – Grading Graphite. www.ctemag.com(25.09.2009).
- [7] Woods S. – Electrode Choice. www.ctemag.com(25.09.2009).
- [8] Głowice frezarskie z płytkami wymiennymi + głowice do frezowania profilowego – POKOLM katalog 2006

GRAPHITE MACHINING CONSIDERATIONS

Summary

Paper deals with graphite machining operations and economical choice abilities. Graphite behaves differently than most other materials when cut. It forms black, dust-like particles – not chips. As a result, little heat or friction that can damage tools is generated in the cutting zone. If the chip load per tooth is too low, the tool will burnish rather than cut the graphite. Climb milling, where the mill cuts in the same direction as the table feed, is recommended. It's also a good idea to rough with 2-flute endmills. It was taken into account features and applications that ecological and modern material.