

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Ekonomiczne i techniczne aspekty stosowania kobaltu w narzędziach metaliczno-diaamentowych

JAN LACHOWSKI¹, JOANNA BOROWIECKA-JAMROZEK²

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, ¹WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA I MODELOWANIA KOMPUTEROWEGO,
²WYDZIAŁ MECHATRONIKI I BUDOWY MASZYN

Słowa kluczowe: kobalt, diamenty przemysłowe, spieki, narzędzia metaliczno-diaamentowe

STRESZCZENIE

W prezentowanej pracy przeprowadzono analizę dynamiki wydobycia, produkcji i cen rynkowych kobaltu na przestrzeni lat 1900-2010. Kobalt jest stosowany jako podstawowy materiał na osnowę w narzędziach metaliczno-diaamentowych służących do cięcia kamieni naturalnych i materiałów budowlanych. Charakteryzuje się wyjątkowo dobrą retencją cząstek diaamentowych. Powoduje to duże zapotrzebowanie na kobalt i w wyniku tego utrzymuje się wysoka cena tego materiału. Analizuje się możliwości zastąpienia kobaltu innym, tańszym surowcem, który jako materiał osnowy zapewniłby podobne własności użytkowe narzędzi przy niższych kosztach ich wytwarzania.

Economical and technical aspects of using of cobalt in diamond impregnated tools

Keywords: cobalt, industrial diamond, sinters, diamond impregnated tools

ABSTRACT

In the paper the analysis of dynamics of mining, production and prices of cobalt was performed during 1900-2010 years. Cobalt is using as a based material used for matrix of diamond impregnated tools for cutting of natural stones and building materials. Cobalt is characterizing a very special retention of diamond particles. The possibility of substitution of cobalt with the other cheaper alloys was considered which as a matrix material gives similar utilizing properties.

1. WPROWADZENIE

W przemyśle narzędzi metaliczno-diaamentowych do cięcia materiałów budowlanych i kamieni naturalnych stosowane są piły tarczowe z warstwą roboczą w postaci segmentów przylutowanych do stalowej tarczy pomiędzy specjalnymi wrębami (Rys. 1). Segmenty stanowią elementy robocze piły i wytwarzane są za pomocą technologii metalurgii proszków.



Rysunek 1 Nowoczesne narzędzia metaliczno-diaamentowe

Figure 1 Modern metallic-diamond tools

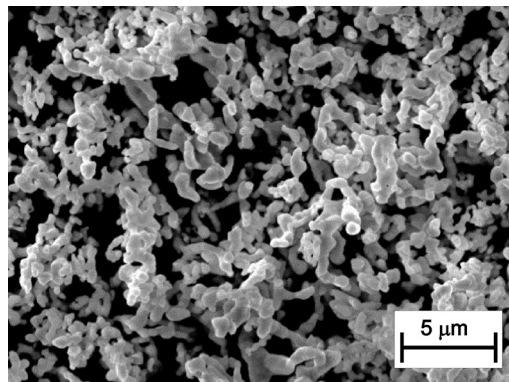
Proces wytwarzania spieków metaliczno-diaamentowych polega na wymieszaniu proszku stanowiącego metaliczną osnowę (Rys. 2) z proszkiem diaamentowym syntetycznym lub naturalnym (Rys. 3), prasowaniu kształtek, a następnie ich spiekaniu lub prasowaniu na gorąco. W wyniku tych operacji otrzymuje się spiek popularnie nazywany segmentem metaliczno-diaamentowym. Segmenty lutuje się do stalowych tarcz (Rys. 1) i stanowią one elementy tnące pił tarczowych służących do cięcia materiałów [1,2].

Postęp technologiczny w produkcji nowoczesnych narzędzi metaliczno-diaamentowych wyraża się dążeniem producentów do wytwarzania narzędzi o coraz to lepszych właściwościach użytkowych przy zastosowaniu coraz niższych kosztów ich wytwarzania. Na dobrą jakość narzędzia składają się przede wszystkim:

- poprawna konstrukcja narzędzia,
- odpowiedni dobór materiału osnowy,
- odpowiedni dobór i rozmieszczenie cząstek diaamentów w materiale osnowy.

Materiałem najczęściej stosowanym na osnowę spieków metaliczno-diaamentowych jest kobalt. Jednak cena tego surowca jest wysoka i jednocześnie niestabilna. Sytuacja ekonomiczna zmusza producentów do poszukiwania możliwości zastąpienia kobaltu innym, tańszym surowcem, który

jako materiał osnowy zapewniłby podobne właściwości użytkowe narzędzi przy niższych kosztach ich wytwarzania.



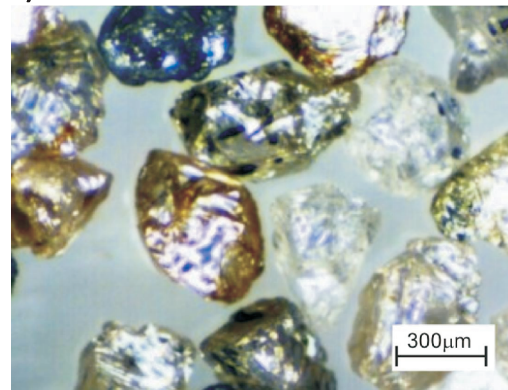
Rysunek 2 Proszek kobaltu SMS

Figure 2 Powder of SMS kobalt

a)



b)



Rysunek 3 Diaamenty syntetyczne a) diaamenty naturalne, b) [1,2]

Figure 3 Synthetic diamonds, a) natural diamonds b) [1,2]

2. ZASTOSOWANIE DIAAMENTÓW W WYTWARZANIU NARZĘDZI

Zawartość diaamentu w segmencie narzędzia określa się przez tzw. koncentrację, którą definiuje się w następujący sposób: koncentracja 100 odpowiada 4,4 karatom diaamentu w 1 cm³, co

stanowi 25% objętości. Inne wartości koncentracji diamentu ustala się proporcjonalnie do podstawowej wartości 100 [1]. W produkcji narzędzi najczęściej stosuje się koncentrację wynoszącą 20-25.

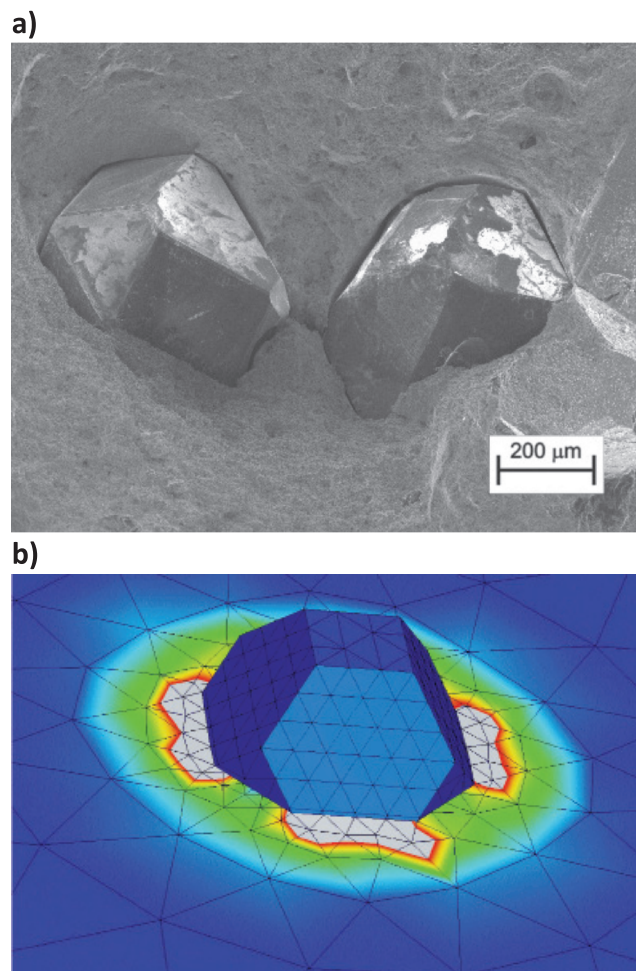
W przeszłości zastosowanie diamentu w charakterze materiału narzędziowego ograniczało się do jego naturalnej odmiany (Rys. 3b). W wyniku kruszenia i sortowania diamentowego bortu, otrzymywano proszki diamentu o różnych rozmiarach cząstek.

Dopiero możliwość produkcji diamentu syntetycznego pozwoliła na kontrolowaną modyfikację kształtu i własności cząstek, od bardzo drobnych, używanych do szlifowania i polerowania, do dużych, wytrzymałych kryształów o regularnym, wielościennym kształcie (Rys. 3a), stosowanych do cięcia najtrudniej obrabialnych kamieni i materiałów ceramicznych.

Technologię produkcji diamentów syntetycznych opanowano w co najmniej 15 krajach [3]. Cena syntetycznych diamentów nie rośnie wykładniczo ze wzrostem masy wyrażonym w karatach (0.2 g), jak ma to miejsce dla diamentów naturalnych. Ze względu na cenę diamenty syntetyczne stanowią ponad 90% wszystkich diamentów przemysłowych, mimo tego że posiadają gorsze własności użytkowe.

3. RETENCJA CZĄSKI DIAMENTU W OSNOWIE METALICZNEJ

Istotną właściwością materiału osnowy jest retencja - tzn. utrzymywanie (Rys. 4) cząstek diamentu podczas pracy narzędzia metaliczno-diamentowego. Cząstki diamentu są utrzymywane w osnowie dzięki połączeniom mechanicznym lub chemicznym, albo poprzez działanie obu tych połączeń jednocześnie [1,4]. Połączenie mechaniczne uzyskuje się w trakcie chłodzenia po procesie prasowania na gorąco. Ponieważ diament ma bardzo mały współczynnik rozszerzalności cieplnej w porównaniu z metalami, cząstki diamentu są ściskane przez kurczącą się osnowę [5]. Uzyskanie odpowiedniego połączenia mechanicznego zależy od własności sprężystych i plastycznych materiału osnowy. Analiza retencji cząstki diamentu w zależności od właściwości mechanicznych osnowy była prowadzona w pracach [4, 6-8]. Najbardziej istotnymi parametrami oceny skuteczności retencji są energia sprężysta i energia plastyczna odkształconej osnowy wokół cząstki diamentu (Rys. 4b) [9].



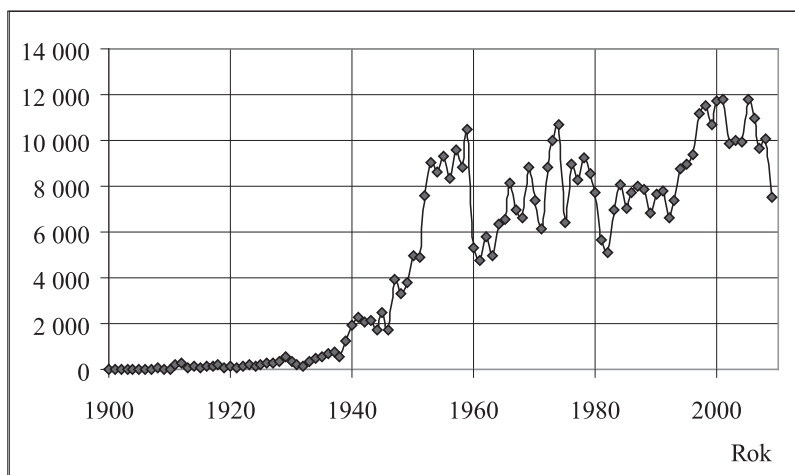
Rysunek 4 Przełom segmentu z cząstkami diamentowymi **a)**, numeryczny model cząstki diamentu z otaczającą sferą plastyczną **b)** [4,5]

Figure 4 Fractured surface of a segment with diamond particles **a)**, numerical model of a diamond particle with the surrounding plastic sphere **b)** [4,5]

4. POZIOM WYDOBYCIA I PRODUKCJI KOBALTU W LATACH 1900-2010

Statystyczne dane dotyczące produkcji i cen kobaltu są gromadzone od roku 1900 [10]. Analizując produkcję i zużycie kobaltu można zaobserwować dwa okresy (Rys. 5). W pierwszym okresie od 1900 roku do 1938 roku zużycie kobaltu nie było wysokie. Następnie od roku 1939 (wybuch II wojny światowej) nastąpił szybki wzrost zużycia kobaltu. Od momentu, kiedy opracowano technologię otrzymywania syntetycznych diamentów na skalę przemysłową, zastosowanie narzędzi metaliczno-diamentowych znacznie wzrosło [2], gdyż cena syntetycznych diamentów jest zdecydowanie niższa od ceny diamentów naturalnych. To spowodowało dalszy wzrost zapotrzebowania na kobalt; gwałtownie wzrosła produkcja i zużycie kobaltu.

Jeżeli w okresie do 1938 r. średnie zużycie w USA wynosiło 204 tony rocznie, to w latach 1950-2009 średnie zużycie wyniosło już 8243 tony. Wydobycie kobaltu w roku 2009 wyniosło w sumie 72 300 ton i jest skoncentrowane w niewielkiej grupie krajów, głównie w: Kongo (Zair), Rosji, Chinach, Zambii, Australii, Kanadzie i Kubie. Udział poszczególnych krajów w wydobyciu przedstawia Rysunek 6 i Tabela 1. W roku 2010 nastąpił dalszy silny wzrost wydobycia, które jest szacowane na 88 tys. ton.



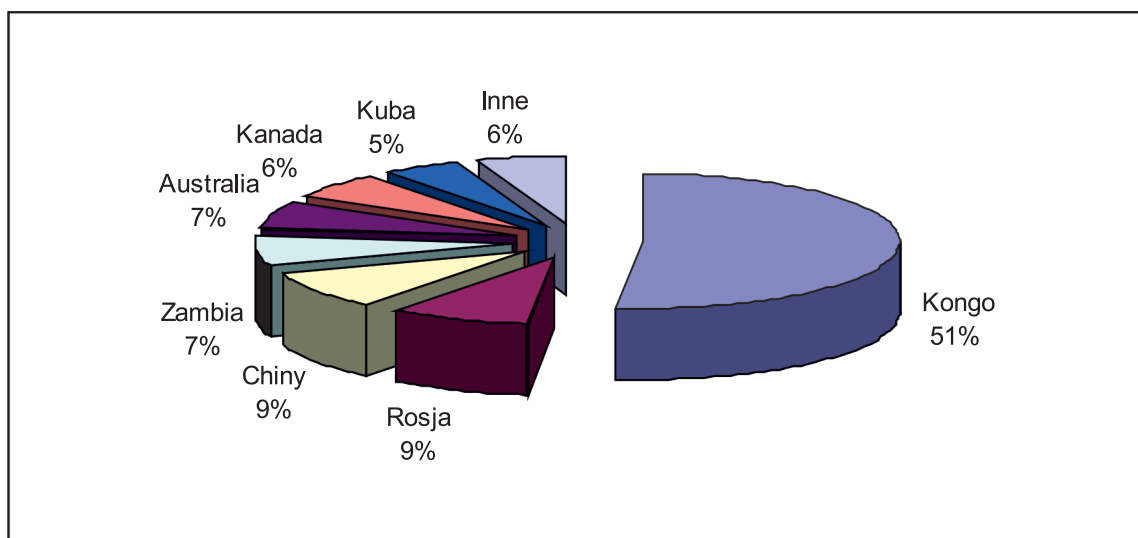
Rysunek 5 Wielkość zużycia kobaltu w USA (w tonach) począwszy od 1900 roku

Figure 5 The amount of the cobalt consumption in the USA (in tonnes) starting in 1900

Tabela 1 Wielkość wydobycia kobaltu w roku 2009

Table 1 The amount of the cobalt mining in 2009

Kraj	Kongo	Rosja	Chiny	Zambia	Australia	Kanada	Kuba	Maroko	Brazylia	Nowa Kaledonia
Wydobycie w tys. ton	35,5	6,1	6	5	4,6	4,1	3,5	1,6	1,2	1

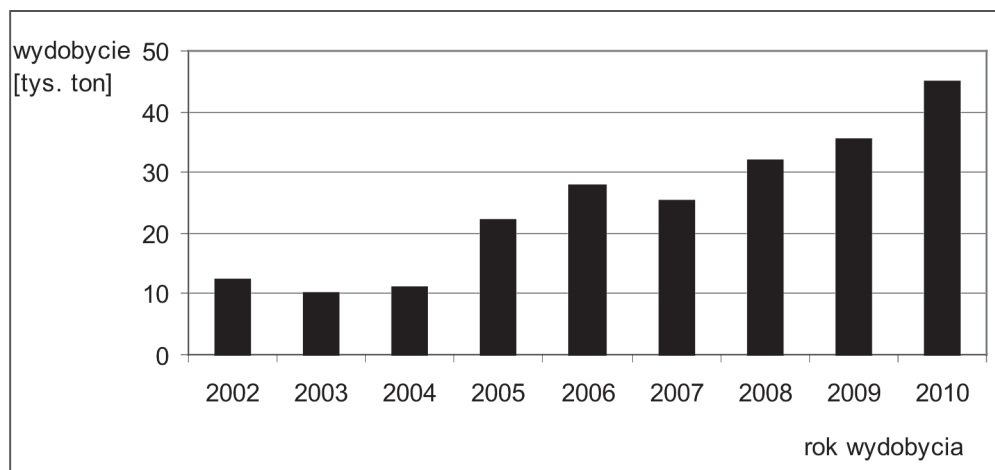


Rysunek 6 Udział procentowy poszczególnych krajów w wydobyciu kobaltu w roku 2009

Figure 6 The percentage share of individual countries in the mining of cobalt

Najwyższy wzrost wydobycia kobaltu w ostatnim dziesięcioleciu zanotowany był w Kongo (Rys. 7): od ok. 10 tys. ton w latach 2002-2003, aż do szacowanych 45 tys. ton w 2010 roku. W latach 1994-1995 wydobycie w tym rejonie wynosiło tyl-

ko ok. 3,4 tys. ton. Oprócz dużych uczestników wydobycia kobaltu, mają również znaczenie produkcji metalicznego kobaltu. Około 31% produkcji metalicznego kobaltu ma miejsce w krajach, w których nie ma wydobycia.



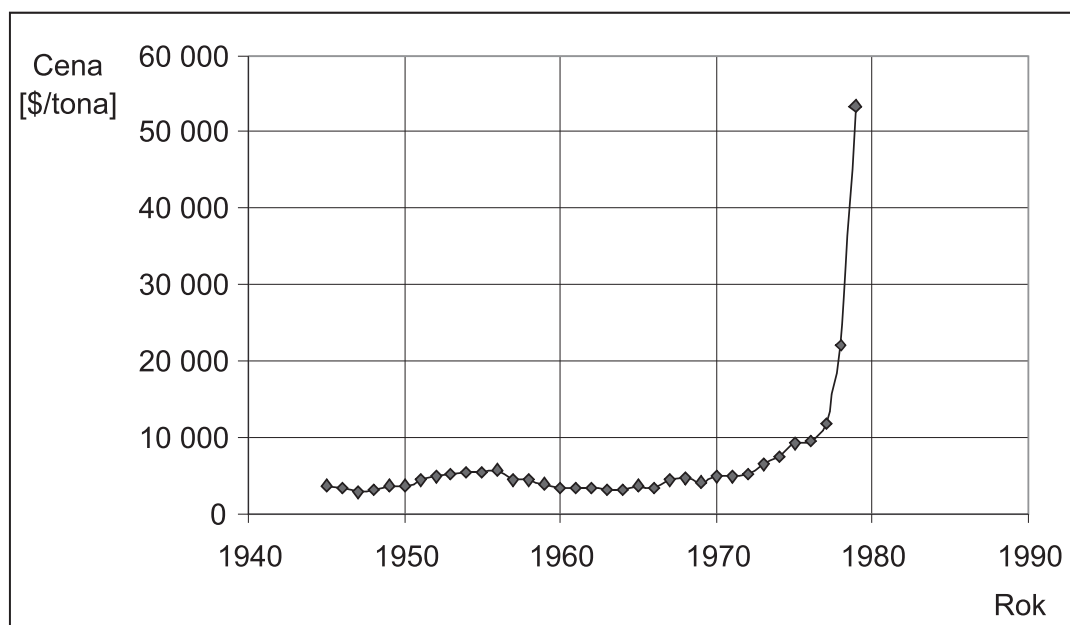
Rysunek 7 Dynamika wydobycia kobaltu w Kongo w ostatnim dziesięcioleciu
Figure 7 The dynamics of the mining of cobalt in Congo in the last decade

Potwierdzone światowe zasoby kobaltu wynoszą około 15 milionów ton. Większość tych zasobów jest zlokalizowana w Australii, Kanadzie, Rosji, Kongo i Zambii [3]. Duże ilości kobaltu występują także na dnie Oceanu Spokojnego [11-13] w metalicznych bułach manganowych, ale ich wydobycie jest nieopłacalne przy obecnie stosowanych technologiach. Zasoby oceaniczne kobaltu są szacowane na 2,5 – 10 milionów ton [12].

5. POZIOM CEN KOBALTU W LATACH 1900-2010

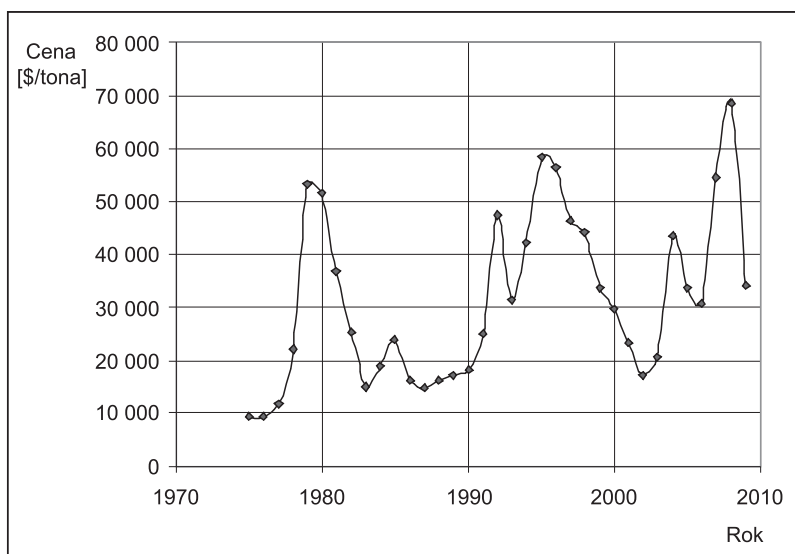
W pierwszym rozpatrywanym okresie (do 1938 r.) cena kobaltu wykazywała większą stabilność

i oscylowała wokół wartości średniej wynoszącej 4045 \$/tona. Zakres zmiany ceny zawierał się w przedziale od 230 \$/tona (1908 r.) do 6590 \$/tona (1922 r.). Po II wojnie światowej cena kobaltu utrzymywała się na zrównoważonym poziomie, aż do połowy lat siedemdziesiątych, gdy nastąpił gwałtowny skok ceny (Rys. 8). Cena kobaltu wykazuje silne wahania od roku 1977 do chwili obecnej (Rys. 9). Istotny wpływ na cenę kobaltu miały wydarzenia polityczne w rejonach związanych z jego wydobyciem. W latach 1977-1978 miała miejsce rebelia w prowincji Katanga (Zair) [14]. Rebelianci bazujący w Angoli dokonali serii ataków na teren Katangi. Rebelia została opanowana z pomocą oddziałów francuskich i belgijskich.



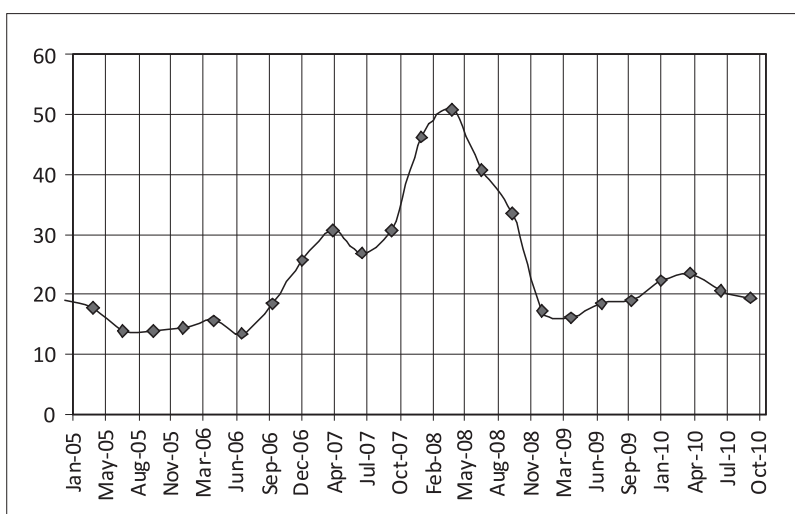
Rysunek 8 Pierwszy drastyczny skok ceny kobaltu
Figure 8 The first radical jump of the cobalt price

W roku 1996 walki etniczne pomiędzy plemionami Hutu i Tutsi w sąsiedniej Rwandzie przeniosły się na teren Zairu. Działania zbrojne nazwane Pierwszą Wojną Kongijską doprowadziły do obalenia prezydenta Mobutu i powrotu do poprzedniej nazwy kraju Kongo (*Democratic Republic of Congo*). Wydarzenia te spowodowały silny wzrost cen kobaltu w połowie lat dziewięćdziesiątych (Rys. 9). W latach 2007-2008 ponownie wystąpił bardzo silny wzrost ceny kobaltu (Rys. 10). Cena wzrosła trzykrotnie, a następnie spadła do poprzedniego poziomu [11]. W latach 2009-2010 cena była bardziej stabilna, ale wciąż jeszcze wykazywała wahania. Miesięczne zmiany ceny wskazują ciągną niepewność co do podaży i zapotrzebowania na kobalt [11].



Rysunek 9 Dynamika ceny kobaltu w latach 1975-2010

Figure 9 Dynamics of the price of cobalt in the years 1975-2010



Rysunek 10 Kwartalne wahania ceny kobaltu (\$/funt) w latach 2005-2010

Figure 10 Quarterly fluctuations of the price of cobalt (\$/kg) in the years 2005-2010

6. PODSUMOWANIE

Od roku 1977 obserwuje się zarówno wzrost, jak i silne wahania ceny kobaltu. Natomiast, w przeciwieństwie do ceny kobaltu, obserwuje się ciągły spadek ceny diamentów syntetycznych. Istotny wpływ na koszty wytwarzania narzędzi metaliczno-diaamentowych mają koszty metalicznej osnowy. Dlatego poszukiwane są nowe materiały na osnowę segmentów metaliczno-diaamentowych, aby obniżyć koszt wytwarzania narzędzia metaliczno-diaamentowego. Prowadzone są prace w tym kierunku, aby zastąpić kobalt, innymi tańszymi stopami metali, między innymi stosuje się jako osnowy spieki kobaltu z miedzią [15].

Miedź umożliwia obniżenie temperatury spiekania lub prasowania na gorąco, a przez to redukcję kosztów wytwarzania segmentów narzędzi. Globalne zużycie kobaltu w roku 2009 przedstawiało się następująco [12]: baterie litowe – 25%, nadstopy – 20%, materiały twarde – 18%, katalizatory – 10%, pozostałe zastosowania – 27%. Zapotrzebowanie na kobalt pozostanie duże, szczególnie dla zastosowań w bateriach elektrycznych. Baterie litowe, wykorzystywane w elektrycznych pojazdach hybrydowych, zawierają znaczne ilości kobaltu. Sygnalizowane przez duże firmy motoryzacyjne (Hitachi, General Motors, Honda) [12] zwiększenie produkcji pojazdów hybrydowych będzie dodatkowym czynnikiem mającym wpływ na cenę kobaltu w przyszłości. Biorąc powyższe pod uwagę, należy stwierdzić, że celowe jest poszukiwanie nowych materiałów na osnowę narzędzi metaliczno-diaamentowych, aby uniezależnić produkcję tych narzędzi od kobaltu. Obecnie autorzy prowadzą badania dotyczące własności retencyjnych stopów kobaltu, miedzi i cyny oraz kobaltu i żelaza. Wyniki badań zostaną opublikowane w najbliższym czasie.

LITERATURA

- [1] Konstany J., Powder Metallurgy Diamond Tools, Oxford, Elsevier, 2005, pp. 21-35.
- [2] Konstany J., Production and Applications of PM Diamond Tools. International Powder Metallurgy Directory, 12/2006.
- [3] US Department of Interior, US Geological Survey; URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diamond>.
- [4] Lachowski J., Borowiecka-Jamrozek J., Modelowanie komputerowe retencji i pracy cząstki diamentu w osnowie kobaltu, Symposium Terotechnologie, Kielce, wrzesień 2005, str. 29-37.
- [5] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J., Własności mechaniczne, termiczne i atomowe kobaltu – osnowy narzędzi metaliczno-diaamentowych, Symposium Terotechnologie, Kielce, wrzesień 2005, str. 39-46.
- [6] Romański A., Lachowski J., Konstany J., Diamond retention capacity – evaluation of stress field generated in a matrix by a diamond crystal, Industrial Diamond Review, Vol. 66, No. 3, 2006, pp. 43-45.
- [7] Romański A., Lachowski J., Modelowanie stanu naprężeń i odkształceń w spiekanych materiałach narzędziowych metaliczno-diaamentowych, Rudy i metale nieżelazne, R.52, nr 7, 2007, str. 402-409.
- [8] Lachowski J., Romański A., Modelowanie retencji i pracy cząstki diamentu w osnowie metalicznej, I Kongres Mechaniki Polskiej, Warszawa, 28-31 sierpnia 2007, str. 83-90.
- [9] Romański A., Lachowski J., Frydrych H., Is energy of plastic deformation a good estimator of the retentive properties of metal matrix in diamond impregnated tools? 2nd International Industrial Diamond Conference, 19-20th April 2007, Rome, Italy, pp. B.2.2.1-8.
- [10] US Department of Interior, US Geological Survey; URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cobalt>.
- [11] World Mineral Production 2005-09, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, 2011; URL: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk>.
- [12] Cobalt Development Institute; URL: <http://www.thecd.com>.
- [13] Szyborski S., Szyborski K., Wszechocean, Warszawa, Wiedza Powszechna, 1981, str. 328-334.
- [14] www.en.wikipedia.org, odczytano 10 marca 2011.
- [15] Romański A., Lachowski J., Effect of friction coefficient and mechanical properties of the matrix on its diamond retention capabilities, 5th International Powder Metallurgy Conference, October 8-12, 2008, Ankara, Turkey, pp. 298-307.