

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M133

**Joanna Borowiecka-Jamrozek
Jan Lachowski**

**SPIEKI NA BAZIE ŻELAZA
STOSOWANE NA OSNOWĘ
W NARZĘDZIOWYCH KOMPOZYTACH
METALICZNO-DIAMENTOWYCH**



Politechnika Świętokrzyska

Kielce 2020

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M133

**Joanna Borowiecka-Jamrozek
Jan Lachowski**

**SPIEKI NA BAZIE ŻELAZA
STOSOWANE NA OSNOWĘ
W NARZĘDZIOWYCH KOMPOZYTACH
METALICZNO-DIAMENTOWYCH**

Kielce 2020

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY NR M133

Redaktor Naukowy serii

INŻYNIERIA MECHANICZNA

prof. dr hab. inż. Tomasz Lech STAŃCZYK

Recenzenci

dr hab. inż. Maciej SUŁOWSKI

dr hab. inż. Krzysztof SZAFRAN

Autorzy rozdziałów

Rozdziały 1-7, 9-11, 13-15 – Joanna Borowiecka-Jamrozek

Rozdziały 8,12 – Jan Lachowski

Redakcja

Irena PRZEORSKA-IMIOŁEK

Projekt okładki

Tadeusz UBERMAN

© Copyright by Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2020

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

ISSN 1897-2691

ISBN 978-83-65719-93-5

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel./fax 41 34 24 581
e-mail: wydawca@tu.kielce.pl
www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

1. Wprowadzenie	5
2. Historia rozwoju pił tarczowych	9
3. Proces produkcji segmentowych pił tarczowych	11
3.1. Przygotowanie mieszanki proszków	12
3.2. Formowanie elementów roboczych	14
3.3. Operacje wykończeniowe	16
4. Budowa segmentowych pił tarczowych	18
5. Wymagania stawiane materiałowi osnowy	21
5.1. Właściwości retencyjne osnowy	22
5.2. Odporność osnowy na zużycie ściernie i erozyjne	23
5.3. Laboratoryjna metoda pomiaru odporności na zużycie ściernie	25
6. Właściwości i zastosowanie kobaltu jako materiału osnowy narzędzi metaliczno-diaamentowych	29
7. Zastosowanie przemysłowego diamentu naturalnego i syntetycznego w produkcji narzędzi metaliczno-diaamentowych	32
8. Ekonomiczne aspekty wytwarzania narzędzi metaliczno-diaamentowych	36
8.1. Wydobycie i produkcja kobaltu	36
8.2. Dynamika ceny kobaltu	38
8.3. Znaczenie diamentów w produkcji narzędzi	39
8.4. Cena diamentów przemysłowych	41
9. Poszukiwanie nowych materiałów osnowy w narzędziowych spiekach metaliczno-diaamentowych	43
9.1. Spieki ze stopowych proszków na bazie żelaza	43
9.2. Spieki kobaltu z żelazem	45
9.3. Spieki żelaza z miedzią lub brązem	50
9.4. Spieki żelaza z niklem i brązem	53
9.5. Spieki na bazie mielonych proszków żelaza, niklu i brązu	56
10. Wnioski z przeglądu literatury	62
11. Materiały zastosowane w eksperymentach	65

12. Badania wybranych właściwości fizycznych i technologicznych proszków zastosowanych do badań	69
12.1. Oznaczenie gęstości nasypowej i gęstości nasypowej z usadem	69
12.2. Pomiar wielkości cząstek metodą analizy sitowej	69
12.3. Pomiar wielkości cząstek metodą dyfrakcji laserowej	72
12.4. Porównanie analizy rozkładu wielkości cząstek dla metody sitowej i dyfrakcji laserowej	78
12.5. Analiza fazowa mieszanek proszków	80
13. Wytwarzanie i badanie właściwości spieków	83
13.1. Pomiar gęstości, twardości, porowatości i stopnia utlenienia	84
13.2. Badania dylatometryczne	86
13.3. Statyczna próba rozciągania	88
13.4. Badania fraktograficzne przełomów	91
13.5. Badania mikrostruktury	93
13.6. Analiza fazowa spieków	113
13.7. Badania tribologiczne	119
14. Podsumowanie badań	129
15. Wnioski	135
Literatura	137
Streszczenie	151
Summary	153

- [1] Singlalas I., Caveney J.: Diamond materials and their application, Handbook of Ceramic Hard Materiale, Weinheim 2000, t. 2, pp. 479-481.
- [2] Kukińska S.: Obrabialność kamienia budowlanego piłami diamentowymi z uwzględnieniem własności surowca skalnego na przykładzie cięcia piaskowców, Zeszyty Naukowe AGH, nr 158, 1990, s. 15-243.
- [3] Konstanty J.: Cobalt as a matrix in diamond impregnated tools for stone sawing applications. Second Edition, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, AGH, Kraków 2003.
- [4] Konstanty J.: Powder metallurgy diamond tools. Elsevier, Oxford 2005.
- [5] Konstanty J.: The materials science of stone sawing, Industrial Diamond Review, Vol. 51(1), 1991, pp. 27-31.
- [6] Tönshoff H.K., Hillmann-Apmann H., Asche J.: Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications. Diamond and Related Materials, 11/2002, pp. 736-741.
- [7] Xu P., Hong Y.B., Chen S.: Performance of diamond segments in different machining processes. Materials Science Forum, Vol. 471-472/2004, pp. 77-81.
- [8] Romański A.: Kształtowanie struktury i własności kompozytowych materiałów metaliczno-diaamentowych. Rozprawa doktorska. AGH, Kraków 2000.
- [9] Borowiecka-Jamrozek J.: Zastosowanie obróbek powierzchniowych materiału osnowy w celu poprawy własności użytkowych spieków metaliczno-diaamentowych, rozprawa doktorska. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2008.
- [10] <https://www.muratorplus.pl/technika/narzedzia-budowlane/tarcze-diaamentowe>, tarcze diaamentowe, Kreysler Piotr 2009-05-14, odczyt 19.04.2018.
- [11] <https://www.swiat-kamienia.pl>, Tarcza diaamentowa Wybrane aspekty stosowania, Świat Kamienia nr 1 (14), styczeń 2002, odczyt 20.04.2018.
- [12] Konstanty J.: Production Parameters and Materials Selection of Powder Metallurgy Diamond Tools, Powder Metallurgy, 49(4), 2006, pp. 299-306.
- [13] US department of interior, us geological survey, commodity statistics and information; na stronie <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diamond>, odczyt 19.05.2018.
- [14] Borowiecka-Jamrozek J., Szymczyk B., Lachowski J.: Analiza kosztów materiałów stosowanych w produkcji narzędzi metaliczno-diaamentowych [w:] Techniczne wyzwania rozwoju społeczno-gospodarczego kraju i regionów, ISBN: 978-83-63792-31-2, Kielce 2016, s. 168-178.
- [15] Żak-Szwed M.: Kształtowanie mikrostruktury i właściwości spieków żelazo-miedź przeznaczonych na osnowę materiałów metaliczno-diaamentowych. Praca doktorska. AGH, Kraków 2009.

- [16] Tyrała D.: Kształtowanie struktury i własności spieków Fe-Ni-Cu-Sn stanowiących osnowę w narzędziach metaliczno-diaamentowych, rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2010.
- [17] Bonneau M., Chabord S., Prost G.: Micronic pre-alloyed metal powder based on three-dimensional transition metal, US Patent 6, 613, 122 B1, September 2, 2003.
- [18] Standaert R.: Pre-alloyed, Copper containing powder, and its use in the manufacture of diamond tools, US Patent 6,312,497 B1, November 6, 2001.
- [19] Mende B., Gille G., Gries B., Aulich P., Miinchow J.: Pre-alloyed powder, US Patent 6,554,885 B1, April 29, 2003.
- [20] Kamphuis B.-J., Peersman J.: Pre-alloyed bond powders, US Patent 7,077,883B2, July 18, 2006.
- [21] Lison D., Lauwerys R., Demedts M., Nemery B.: Experimental research into the pathogenesis of cobalt/hard metal lung disease, european respiratory. Journal 9, 1996, pp. 1024-1028.
- [22] Takada T., Moriyama H.: Hard Metal Lung Disease [in:] A clinical guide to occupational and environmental lung diseases, Huang Y-C.T. et al. (Eds.), Springer Science+Business Media, New York 2012.
- [23] Borowiecka-Jamrozek J.: Microstructure and properties of hot pressed iron bronze powders, CD, 24th International Conference on Metallurgy and Materials June 3rd-5th 2015, Brno, Czech Republic, pp. 1393-1398.
- [24] Romański A.: Rozwój materiałów osnowy w narzędziowych spiekach metaliczno-diaamentowych. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, AGH, Kraków 2015.
- [25] Sikora T.: Mechanochemiczne wytwarzanie proszków ceramicznych i ceramiczno-metalicznych dla wybranych kompozytowych materiałów inżynierskich, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2015.
- [26] Borowiecka-Jamrozek J.: Engineering structure and properties of materials used as a matrix in diamond impregnated tools, Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 58, issue 1, 2013, pp. 5-8.
- [27] Borowiecka-Jamrozek J.: Microstructure and properties of hot pressed Fe-50% Co sinters, 22nd International Conference on Metallurgy and Materials, METAL2013, 2013, pp. 1432-1437.
- [28] Konstany J., Borowiecka-Jamrozek J.: Struktura i własności materiałów osnowy w narzędziowych kompozytach metaliczno-diaamentowych, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, Tom 77, Zeszyt 10, 2010, s. 593-596.
- [29] Borowiecka-Jamrozek J., Konstany J.: Kształtowanie struktury i własności materiałów stosowanych jako osnowa w narzędziach metaliczno-diaamentowych, Rudy i Metale Nieżelazne, Tom 54, 2009, s. 220-225.
- [30] Borowiecka-Jamrozek J.: Microstructura and properties of hot pressed Fe-50% Co materials Advanced manufacturing and repair technologies in vehicle industry, International Colloquium Advanced Manufacturing and Repair Technologies in Vehicle industry, Zilina-Terchova, Slovac Republic, pp. 26-30, 2012.
- [31] Borowiecka-Jamrozek J., Konstany J.: Microstructure and mechanical properties a new iron-base material used for the fabrication of sintered diamond tools, Advanced

- Materials Research Vol. 1052 (2014), pp. 520-523, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1052.520.
- [32] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: Simulation of retention of a diamond particle in a matrix of diamond-impregnated tools, *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, Vol. 63 (2016), No. 7, pp. 697-700.
- [33] Borowiecka-Jamrozek J.: Spiekane materiały FeCuRe otrzymane z komercyjnych mieszanek proszków [w:] *Wybrane Problemy w mechatronice i inżynierii materiałowej*, red. Norbert Radek i Augustin Sladek, Monografie, Studia, Rozprawy, M80, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2016, s. 48-59.
- [34] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: The effect of the properties of the metal matrix on the retention of a diamond particle, *Metalurgija*, Vol. 56 (2017), Issue 1-2, pp. 83-86.
- [35] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: Właściwości spieków otrzymanych techniką prasowania na gorąco z proszków Fe, Cu i Ni, *Mechanik* Nr 11/2017, s. 1066-1068, DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.182>.
- [36] Borowiecka-Jamrozek J.: Sintered FeCuRe alloys produced from commercially available powders, *Arch. Metall. Mater.* 62 (2017), 3, pp. 1711-1718, DOI: 10.1515/amm-2017-0261.
- [37] Hughes F.H.: The early history of diamond tools. *Industrial Diamond Review*, 1/1980, pp. 405-407.
- [38] Dygoń K.: *Diamentowe materiały narzędziowe*. Praca dyplomowa. Przygotowanie pomocy multimedialnej, AGH, Kraków 2002.
- [39] Jaworska L.: *Diament otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- [40] Jennings M., Wright D.: Guidelines for sawing stone. *Diamonds in industry – Stone*. Materiały informacyjne firmy De Beers, pp. 25-30.
- [41] Materiały reklamowe firmy Diament, <http://www.diament.com.pl/ofirmie>, odczyt 23.04.2018.
- [42] Materiały reklamowe firmy Winter, <http://www.winter-polska.pl/firma>, odczyt 23.04.2018.
- [43] Materiały reklamowe Zakładu Produkcyjno-Usługowego „Kamex” w Zabierzowie k. Krakowa.
- [44] Materiały reklamowe firmy Sar-Pol, <http://www.sarpol.poznan.pl/oferta>, odczyt 23.04.2018.
- [45] Konstanty J.: Producton and applications of pm diamond tools. *International Powder Metallurgy Directory*, 12/2006.
- [46] Yang K.H., Pan B.S., Duan L.C.: Theoretical determination and experimental verification of the structure of layered segment of diamond saw blade, *Key Enginnering Materials*, Vol. 250, 2003, pp. 99-102.
- [47] Zhan Z., Tang J.: A kind of particular segment with tapered shape and multi-layers for diamond saw blades, *Proceedings of Intertech*, Vancouver, Canada 2003.
- [48] Borowiecka-Jamrozek J., *Przeciwwżyciowe warstwy borkowe nanoszone na segmenty metaliczno-diamentowe służące do cięcia twardych materiałów*. *Problemy eksploatacji*, 1/2005, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, s. 29-34.

- [49] Borowiecka-Jamrozek J., Konstanty J.: Obróbka powierzchniowa materiałów metaliczno-diaamentowych. XIV Konferencja Sprawozdawcza PAN Polska Metalurgia 2002-2006, s. 267-272.
- [50] Borowiecka-Jamrozek J.: Antiwear layers WC-Co carried out on diamond-impregnated segments for circular sawing of hard materials, Selected problems of mechanical engineering and maintenance [in:] Edited by Norbert Radek, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2012, pp. 113-116.
- [51] del Villar M., Echebneria J., Iturriza I., Castro F.: Sintering/HIPing of cobalt powders for diamond tools, Proceedings of the Powder Metallurgy World Congress & Exhibition, Granada, Spain, Vol. 4, 1998, pp. 475-480.
- [52] Burner A.: Testing the stress in diamond circular saw blades for sawing natural stones and concrete, *Industrial Diamond Review*, Vol. 33(10), 1973, pp. 376-379.
- [53] Ersoy A., Atici U.: Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, Vol. 13(1), 2004, pp. 22-37.
- [54] Informacja o gatunkach stali przeznaczonych na tarcze pił firmy Chaland, Tensioning of a diamond blade. J. Chaland & Fils.
- [55] Collin W.D.: The influence of slot geometry and segment spacing on diamond saw performance. *Industrial Diamond Review*, Vol. 37(2), 1977, pp. 48-54.
- [56] Thakur B.N.: Examination of technical parameters involved in metal bond development for diamond impregnated products. *Industrial Diamond Review*, 3/77, pp. 91-93.
- [57] de Châlus P.A.: Metal powders for optimum grain retention. *Industrial Diamond Review*, 4/94, pp. 170-172.
- [58] Büttner A.: Diamond tools and stone. *Industrial Diamond Review*, 3/74, pp. 89-93.
- [59] Wright D.N., Tagg W.R.J.: The development of a rock classification system for use with diamond tools. *Industrial Diamond Review*, 4/98, pp. 113-119.
- [60] Borowiecka-Jamrozek., Konstanty J.: Kształtowanie struktury i własności materiałów stosowanych jako osnowa w narzędziach metaliczno-diaamentowych. *Rudy i Metale Nieżelazne R 54/nr 4/ 2009*, s. 220-225.
- [61] Karagöz S., Zeren M.: Characterisation of hot pressing behaviour of diamond cutting tools. *Proc. of the 1998 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition*, Vol. 4, pp. 208-212.
- [62] Lachowski J., Borowiecka-Jamrozek J.: Ekonomiczne i techniczne aspekty stosowania kobaltu w narzędziach metaliczno-diaamentowych, *Aparatura badawcza i dydaktyczna*, tom XVII, Nr 1/2012, s. 28-34.
- [63] Lachowski J., Borowiecka-Jamrozek J.: Modelowanie komputerowe retencji i pracy cząstki diaamentu w osnowie metalicznej, *Inżynieria Materiałowa*, Nr 5, 2012, s. 493-496.
- [64] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: Numerical modelling of stress/strain field arising in diamond-impregnated cobalt, *Archives of Metallurgy and Materials*, Volume 59/2014, issue 2, pp. 443-446, DOI: 10.2478/amm-2014-0073.
- [65] Konstanty J.: Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, pp. 146-154.
- [66] Konstanty J.: Analysis of diamond sawblade wear in stone sawing. 6th International Tribology Conference-AUSTRIB'02, Australia, 2002, pp. 241-248.

- [67] Konstanty J.: Cięcie kamieni naturalnych oraz materiałów ceramicznych przy użyciu tarczowych pił diamentowych. *Materiały Ceramiczne*, 2/2002, s. 146-154.
- [68] Bullen G.J.: Choosing the best grit for the job. *Industrial Diamond Review*, 1/82, pp. 7-12.
- [69] Davis P.R., Fish M.L., Peacock S., Wright D.N.: An indicator system for saw grit. *Industrial Diamond Review*, 3/96, pp. 78-87.
- [70] Laszlo M., Solnay Z.: Selection of diamonds for segmental saws. *Industrial Diamond Review*, 11/77, pp. 382-384.
- [71] Kompella S.: Increased profitability through diamond coatings: the impact of diamond coatings on tool-maker and end-user economics. *Diamante Applicazioni & Tecnologia*, No. 42, 2005, pp. 83-89.
- [72] Kompella S.: Selecting Superabrasive Coatings for Improved Tool Performance. *Proceedings of Intertech*, Atlanta, Georgia, USA, 2006, disk CD.
- [73] Bonneau M.: A revolutionary binder for the diamond tool industry. *Proceedings of Interantional Workshop on Diamond Tool Production, Euro PM99*, Turin, Italy, 1999, pp. 47-55.
- [74] Stachowiak G.W., Batchelor A.W.: *Engineering tribology*. Elsevier, 1993.
- [75] Gates J.D.: Two-body and three-body abrasion: A critical discussion. *Wear*, Vol. 214, issue 1, 1998, pp. 139-146.
- [76] Rabinowicz E., Dunn L.A., Russell P.G.: A study of abrasive wear under three-body conditions. *Wear*, Vol. 4, issue 5, 1961, pp. 345-355.
- [77] Trezona R.I., Allsopp D.N., Hutchings I.M.: Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. *Wear*, Vol. 225-229, part I, 1999, pp. 205-214.
- [78] Khrushov M.M.: Principles of abrasive wear. *Wear*, Vol. 28, issue 1, 1974, pp. 69-88.
- [79] Asche J., Tonshoff H.K., Friemuth T.: Cutting principles, wear and applications of diamond tools in the stone and civil engineering industry. *Proceedings of International Workshop on Diamond Tool Production, Euro PM99*, Turin, Italy, 1999, pp. 151-157.
- [80] Xu X.: Study on the thermal wear of diamond segmented tools in circular sawing of granites. *Tribology Letters*, Vol. 10, No. 4, 2001, pp. 245-250.
- [81] Konstanty J.: Developing a better understanding of the bonding and wear mechanisms involved in using diamond impregnated tools. *Proc. International Workshop on Diamond Tool Production*, 1999, pp. 97-106.
- [82] Zum Gahr K.H.: Wear by hard particles. *Tribology International*, Vol. 31, issue 10, 1998, pp. 587-596.
- [83] Konstanty J.: Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone. *Industrial Diamond Review*, Vol. 60(1), 2000, pp. 55-65.
- [84] Mechnik A.: Production of diamond-(Fe-Cu-Ni-Sn) composites with high wear resistance. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 52, No. 9-10, January, 2014, pp. 577-587.
- [85] Talia M., Lankarani H., Talia J.E.: New experimental technique for the study and analysis of solid particle erosion mechanisms. *Wear*, Vol. 225-229, part 2, 1999, pp. 1070-1077.
- [86] Finnie I.: Erosion of surfaces by solid particles. *Wear*, Vol. 3, issue 2, 1960, pp. 87-103.

- [87] Zum Gahr K.H.: Microstructure and wear of materials. Tribology 10, Elsevier, Amsterdam Oxford -New York Tokyo 1987, pp. 531-553.
- [88] Finnie I.: Some reflections on the past and future of erosion. Wear, Vol. 186 187, part 1, 1995, pp. 1-10.
- [89] Hutchings M.: Strain rate effects in microparticle impact. Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 10, No. 14, pp. L179-L184.
- [90] Konstany J., Tyrała D.: Wear mechanism of iron-base diamond-impregnated tool composites. Wear 303, (2013), pp. 533-540.
- [91] Ersoy A., Buyuksagic S., Atici U.: Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks. Wear, Vol. 258, issue 9, 2005, pp. 1422-1436.
- [92] Dwan J.D., Blake Y.: Wear properties of diamond impregnated cobalt metal. Industrial Diamond Review, Vol. 68(3), 2008, pp. 66-69.
- [93] Tónshoff H.K., Hillmann-Apmann H., Asche J.: Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and application. Diamond and Related Materials, Vol. 11, 2002, pp. 736-741.
- [94] Amaral P.M., Fernandes J.C., Rosa L.G.: Wear mechanisms in materials with granitic textures – applicability of a lateral crack system model. Wear, Vol. 266, issue 7-8, 2009, pp. 753-764.
- [95] Amaral P.M., Coelho A., Anjinho C.A., Fernandes J.C, Rosa L.G.: Evaluation of the relationship between diamond tool wear performance and the mechanical properties of the individual metallic binders. Materials Science Forum, Vol. 636, 637, 2010, pp. 1467-1474.
- [96] Boland J.N., Li X.S.: Microstructural characterisation and wear behaviour of diamond composite materials. Materials, Vol. 3, 2010, pp. 1390-1419.
- [97] Fundal E.: The Struers micro wear test, Structure, No. 3, 1989, pp. 3-4.
- [98] Micro Wear Test.: Instruction Manual, Struers Tech, 1989, pp. 10.
- [99] de Oliveira L.J., Bobrovnitchii G.S., Filgueira M.: Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 25 (2007), pp. 328-335.
- [100] Dhokey N.B., Utpat K., Gosavi A., Dhoka P.: Hot-press sintering temperature response of diamond cutting tools and its correlation with wear mechanism. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 36 (2013) pp. 289-293.
- [101] Di Ilio A., Togna A.: A theoretical wear model for diamond tools in stone cutting. International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) pp. 1171-1177.
- [102] Luo S.Y.: Effect of fillers of resin-bonded composites on diamond retention and wear behavior. Wear 236, 1999, pp. 339-349.
- [103] Konstany J.: Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. Journal of Materials Processing Technology, 123 (2002) pp. 146-154.
- [104] Ersoy A., Atici U.: Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks. Diamond and Related Materials 13 (2004), pp. 22-37.
- [105] Sulima I., Spiekane kompozyty stalowe wzmacniane dwuborkiem tytanu, Wydawnictwo Uniwersytetu Pedagogicznego, Kraków 2018.

- [106] Konstany J., Baczek E., Romanski A. & Tyrala D., Wear-resistant iron-based Mn–Cu–Sn matrix for sintered diamond tools. *Powder Metallurgy*, 2018, Vol. 61, No. 1, pp. 43-49, DOI: 10.1080/00325899.2017.1379737.
- [107] ASTM G99, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.
- [108] International Standard, Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Determination of friction and wear characteristics of monolithic ceramics by ball-on-disc method, ISO 20808:2004(E).
- [109] Meozzi M., Special use of the ball on disc standard test. *Tribology International*, 39 (6), 2006, pp. 496-505.
- [110] *Encyclopedic dictionary of condensed Matter Physics*, Ed. Ch.P. Poole jr., Elsevier Academic Press, London 2004.
- [111] *Rare Metals Handbook*, Ed. Hampel C.A., Reinhold Pub. Corporation, Chapman & Hall, Ltd, London 1961.
- [112] de Châlus P.A.: Metal powders for optimum grain retention. *Industrial Diamond Review*, 1994, 54 (4), pp. 170-172.
- [113] Hughes F.H.: The early history of diamond tools, *Industrial Diamond Review*, Vol. 11, 1980, pp. 405-407.
- [114] *Diamond materials and their applications* (edited by Singalas I. and Caveney J.), [in] *Handbook of Ceramic Hard Materials* (edited by Riedel R.), Weinheim 2000, t. 2, pp. 479-481.
- [115] Tillmann W.: Trends and market perspectives for diamond tools in the Construction Industry, European Conference on Advanced in Hard Materials Production, Turin, Italy, November 8-10, 1999, pp. 3-14.
- [116] Sung J.C., Hu S.C., Lin I.C., Tsai C.C.: The revolution of diamond synthesis technology, *Materials Science Forum*, Progress in Powder Metallurgy, Vol. 534-536, 2007, pp. 1141-1144.
- [117] Davies G.J., Chapman R.A., Hedges L.K., Nailer S.G., Moore M.: Novel synthetic diamond structures and shapes, *Industrial Diamond Review*, Vol. 67(3), 2007, pp. 58-62.
- [118] Davis P.R., Fish M.L., Peacock S., Wright D.N.: An indicator system for saw grit, *Industrial Diamond Review*, Vol. 56(3), 1996, pp. 78-87.
- [119] Bullen G.J.: The effect of temperature and matrix on the strength of synthetic diamond. *Industrial Diamond Review* 35(5), 1975, pp. 363 365.
- [120] Young B.: The graphitisation of diamond during the manufacture of diamond tools. *Diamond Information L2*, De Beers Industrial Diamond Division, London 1964.
- [121] Strong H.M., Hanneman R.E.: Crystalization of diamond and graphite. *Journal of Chemical Physics*, Vol. 46, 1967, pp. 3668-3676.
- [122] Bräuninger G.: Production and properties of synthetic diamond grit. Proc. Interantional Workshop on Diamond Tool Production, 1999, pp. 3-13.
- [123] Greene K., Egan D., Kelly S., Nailer S., Melody S.: Metal coatings on synthetic diamond and their application areas, *Industrial Diamond Review*, Vol. 66(1), 2006, pp. 57-65.

- [124] Chen S.H., Bigelow L.K., Hoggins J.T., Dung C.M.: Bonding of diamond by refractory metal coating. [w:] Saito S., Fukunaga O., Yoshikawa M.: (eds.), Science and Technology of New Diamond, Terra Scientific Publishing, Tokyo 1990, pp. 405-409.
- [125] Yu H., Neubauer E., Angerer P., Zauner R.: Investigation of microstructure and phase composition of coated diamonds used in diamond based composites, Proceedings of 2nd International Industrial Diamond Conference, Rome, Italy, 2007, disk CD.
- [126] Nozhkina A.V.: Influence of metals on diamond and nanodiamond to graphite phase transformation, Proceedings of Euro PM2004 Congress & Exhibition, Vienna, Austria, 2004, disk CD.
- [127] Egan D., Engels J.A.: The use of coated diamonds in diamond impregnated tools, Industrial Diamond Review, Vol. 64(4), 2004, pp. 34-38.
- [128] Uhlmann E., Koenig J., Durst G., Hilty B., Suess B.: Performance of diamond coated cutting tools as a function of material properties, Industrial Diamond Review, Vol. 68(2), 2008, pp. 51-55.
- [129] Xu X., Tie X., Wu H.: The effect of a Ti coating on the performance of metal-bonded diamond composites containing rare earth, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, Vol. 25, 2007, pp. 244-249.
- [130] Wright D.N., Tagg W.R.J.: The development of a rock classification system for use with diamond tools, Industrial Diamond Review, 4/98, pp. 113-119.
- [131] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: Własności mechaniczne, termiczne i atomowe kobaltu – osnovy narzędzi metaliczno-diaamentowych, Sympozjum Terotechnologie, Kielce, wrzesień 2005, s. 39-46.
- [132] US Department of Interior, US Geological Survey; URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cobalt>, odczyt 03.05.2018.
- [133] Shedd K., McCullough E., Bleiwas D.: Global trends affecting the supply security of cobalt, Mining Engineering, December 2017, Vol. 69, No. 12, pp. 37-42.
- [134] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: Economical aspects of using of diamonds and cobalt in production of metallic-diamond tools, Logistyka, 6/2011, pp. 2171-2180.
- [135] World Mineral Production 2005-09, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, 2011; URL: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk>.
- [136] US Department of Interior, US Geological Survey URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diamond>.
- [137] Clark I.E., Kamphuis B.-J.: Cobalite HDR – a new prealloyed matrix powder for diamond construction tools. Industrial Diamond Review, 3/2002, pp. 177-182.
- [138] Kamphuis B.-J., Serneels A.: Cobalt and nickel free bond powder for diamond tools: Cobalite CNF. Industrial Diamond Review, 1/2004, pp. 26-32.
- [139] Bonneau M.: NEXT and NEXT pre-mixed powders. A complete range of basis, Diamante Applicazioni & Tecnologia, No. 18, 1999, pp. 45-52.
- [140] Bonneau M., Molteni M.: Wire manufacturing and free sintering with NEXT. Industrial Diamond Review, 4/2002, pp. 263-265.
- [141] Keen – a new concept in prealloyed powders. Eurotungstene, Industrial Diamond Review, 3/2005, pp. 45-47.

- [142] Prata de Oliveira H.C., Cabral S.C., Guimaraes R.S., Soares de Freitas M., Filgueira M.: Mechanical properties of the hot pressed Cu-25%wtFe-25%wtCo alloy, *Diamante: Applicazioni & Tecnologia*, No. 64, 2011, pp. 20-25.
- [143] Molteni M.: Free sintering pre-alloyed powders: high performance binders as driver of competitiveness, *Diamante: Applicazioni & Tecnologia*, No. 74, 2013, pp. 41-48.
- [144] Clark I.E., Kamphuis B.-J.: Recent advances in prealloyed powders for diamond tooling, *Proceedings of Euro PM2002 Congress & Exhibition*, Lausanne, Switzerland, Vol. 2002, disk CD.
- [145] del Villar M., Muro P., Sanchez J.M., Iturriza I., Castro F.: Consolidation of diamond tools using Cu-Co-Fe based alloys as metallic binders. *Powder Metallurgy*, t. 44, No. 1, 2001, pp. 82-90.
- [146] Barbosa A.P., Bobrovnichii G.S., Skury A.L.D., Guimaraes R.S. and Filgueira M., *Structure, Microstructure and Mechanical Properties of PM Fe-Cu-Co Alloys*, *Materials & Design*, 2010, 31, pp. 522-526.
- [147] Romański A.: Sintered Co-Fe-Cu materials, *Proceedings of Euro PM2004 Congress & Exhibition*, Vienna, Austria, Vol. 3, 2004, pp. 691-696.
- [148] Romański A., Konstany J.: The effect of PM consolidation route on microstructure and properties of cobalt-iron-copper materials, *Proceedings of 4th International Powder Metallurgy Conference*, Sakarya, Turkey, 2005, pp. 213-221.
- [149] del Villar M., Muro P., Sanchez J.M., Iturriza I., Castro F.: Consolidation of diamond tools using Cu-Co-Fe based alloys as metallic binders, *Powder Metallurgy*, Vol. 44, No. 1, 2001, pp. 82-90.
- [150] Frydrych H., Romański A., Pawińska E.: Spiekane materiały kobalt-żelazo: ich struktura i własności, *Rudy i Metale Nieżelazne*, r. 48, nr 7, 2003, s. 326-332.
- [151] Frydrych H., Romański A., Konstany J., Kordzikowska M.: Struktura i własności wybranych spieków Co-Fe prasowanych na gorąco, *Rudy i Metale Nieżelazne*, r. 48, nr 2, 2003, s. 85-89.
- [152] Frydrych H., Romański A., Konstany J.: The influence of iron content and powder metallurgy processing route on microstructure and mechanical properties of cobalt-iron materials, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 49, issue 4, 2004, pp. 973-980.
- [153] Romański A., Frydrych H.: Analiza procesu spiekania materiałów Co-Fe. Część 1: Spiekanie w atmosferze redukującej, *Rudy i Metale Nieżelazne*, r. 51, nr 1, 2006, s. 35-41.
- [154] Romański A., Frydrych H.: Analiza procesu spiekania materiałów Co-Fe. Część 2: Spiekanie w atmosferze obojętnej, *Rudy i Metale Nieżelazne*, r. 51, nr 4, 2006, s. 219-224.
- [155] Romański A.: Sintering of cobalt – (3-25 wt.%) iron materials, *Materials Science Forum*, *Progress in Powder Metallurgy*, Vol. 534-536, 2007, pp. 1129-1132.
- [156] Romański A.: Effect of the sintering parameters on the microstructure and phase composition of the cobalt-iron materials, *Proceedings of 5th International Powder Metallurgy Conference*, Ankara, Turkey, 2008, pp. 289-297, disk CD.
- [157] Romański A.: Microstructure and phase composition of sintered cobalt-iron materials, *Archives of Metallurgy and Materials Science*, Vol. 54, issue 2, 2009, pp. 449-454.

- [158] Borowiecka-Jamrozek J., Konstanty J.: Properties of hot pressed Fe-50%-Co materials, *Inżynieria Materiałowa*, Tom 31, Zeszyt 6, 2010, pp. 1429-1432.
- [159] Konstanty J., Ratuszek W., Jamrozek J., Olszewska I.: Properties of near – stoichiometric iron-cobalt alloys obtained by hot pressing. *International Journal of Powder Metallurgy. USA*, Vol. 40, issue 1, 2004, pp. 41-51.
- [160] Konstanty J., Jamrozek J.: Własności spieków Fe-50%Co otrzymanych metodą prasowania na gorąco. *HUTNIK – Wiadomości-Hutnicze*, Rok LXXI, Nr 7-8, 2004, s. 363-366.
- [161] Jamrozek J., Lachowski J., Konstanty J.: Własności mechaniczne spieków Co oraz Co-50%Fe. *XXXII Szkoła Inżynierii Materiałowej – Krynica 28 IX-1 X 2004 r.*, s. 645-650.
- [162] Konstanty J., Ratuszek W., Jamrozek J.: Microstructures and properties of near-stoichiometric iron-cobalt alloys, *Proceedings of PM 2004 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition, Vienna, Austria, 17-21 October, 2004*, Vol. 3, pp. 669-674.
- [163] Borowiecka-Jamrozek J., Konstanty J.: Mechanical properties of hot pressed co and Co-50%Fe; 6-th european conference of young research and science workers in transport and telecommunications *TRANSCOM 2005*; Žilina, Slovak Republic; 27-29 June 2005; *Material Engineering Mechanical Engineering Technologies*; pp. 69-72.
- [164] Borowiecka-Jamrozek J., Konstanty J.: Mechanical properties of hot pressed cobalt and near – stoichiometric cobalt-iron alloy. *Materials Engineering, Slovak Republic, Issue 4/2005*, pp. 7-9.
- [165] Massalski T.B.: (Ed.), *Binary Alloy Phase Diagrams*, 1990, Vol. 2, ASM International Materials Park, Ohio, pp. 1186-1187.
- [166] Zhao L., Baker I.: The effect of grain size and Fe:CO ratio on the room temperature yielding of FeCo, *Acta Metallurgica et Materialia*, 1994, Vol. 42, No. 6, pp. 1953-1958.
- [167] George E.P., Gubbi A.N., Baker I. and Robertson L.: Mechanical properties of soft magnetic FeCo alloys, *Materials Science and Engineering*, 2002, Vol. A329-331, pp. 325-333.
- [168] Stoloff N.S., Davies R.G.: The plastic deformation of ordered FeCo and Fe₃Al alloys, *Acta Metallurgica*, 1964, Vol. 12, pp. 473-485.
- [169] Taylor A.: *X-ray Metallography*, 1961, John Willey & Sons, Inc., New York-London.
- [170] Pfeiler W.: Resistivity variations during ordering and disordering, ordering and disordering in alloys, compiled by A.R. Yavari, Elsevier Applied Science, London and New York, 1992, pp. 43-54.
- [171] Żak-Szwed M., Konstanty J., Radziszewska A.: Własności spieków Fe-Cu i Fe-Cu-Sn spełniających rolę osnowy w narzędziach metaliczno-diaamentowych, *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, r. 75, nr 4, 2008, s. 186-192.
- [172] Żak-Szwed M., Konstanty J., Zielińska-Lipec A.: Iron-base PM matrix alloys for diamond-impregnated tools, *International Journal of Powder Metallurgy*, Vol. 45, issue 3, 2009, pp. 36-43.
- [173] Żak-Szwed M., Konstanty J., Ratuszek W.: Properties of Fe-Cu matrices for diamond impregnated tools, *Industrial Diamond Review*, Vol. 68(2), 2008, pp. 29-34.
- [174] Żak-Szwed M., Konstanty J., Ratuszek W.: Properties of Fe-Cu matrices for diamond impregnated tools, *Cobalt News*, No. 09/1, 2009, pp. 3-6.

- [175] Oliveira F.A.C., Anjinho C.A., Coelho A., Amaral P.M.: PM materials selection: The key for improved performance of diamond tools, *Metal Powder Report*, Vol. 72, Number 5, September/October 2017.
- [176] Konstany J., Tyrała D., Radziszewska A.: Iron-base materials manufactured from premixed powders by the hot press process, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 54, issue 4, 2009, pp. 717-724.
- [177] Konstany J., Tyrała D., Radziszewska A., Ratuszek W.: Własności spieków na bazie żelaza wytworzonych metodą prasowania na gorąco, *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, nr 4, 2009, s. 265-268.
- [178] Tyrała D., Konstany J., Radziszewska A., Ratuszek W.: Struktura i własności spieków Fe-Ni-Cu-Sn przeznaczonych na osnowę w narzędziach metaliczno-diamentowych, [w:] J. Pacyna (red.), XXXVII Szkoła Inżynierii Materiałowej: Kraków-Krynica, 29 IX-2 X 2009 r., monografia, AGH, Kraków 2009, s. 62-65.
- [179] Tyrała D., Konstany J., Radziszewska A.: Struktura i własności spieków Fe-Ni-Cu-Sn przeznaczonych na osnowę w narzędziach metaliczno-diamentowych, *Hutnik Wiadomości Hutnicze*, r. 77, nr 4, 2010, s. 167-171.
- [180] Tyrała D., Konstany J.: Badania odporności spieków Fe-Ni-Cu-Sn na zużycie ściernie, [w:] Pacyna J. (red.), XXXVII Szkoła Inżynierii Materiałowej: Kraków-Krynica, 29 IX-2 X 2009 r., monografia, AGH, Kraków, 2010, s. 363-367.
- [181] Konstany J., Stephenson T.F., Tyrała D.: Novel Fe-Ni-Cu-Sn matrix materials for the manufacture of diamond-impregnated tools, *Diamond Tooling Journal*, issue 2, 2011, pp. 26-29.
- [182] Konstany J., Romański A.: New nanocrystalline matrix materials for sintered diamond tools, *Materials Sciences and Applications*, Vol. 3, No. 11, 2012, pp. 779-783.
- [183] Romański A., Konstany J., Ratuszek W.: New Fe-Ni and Fe-Mn powders used in manufacturing diamond tools, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 431, 2013, pp. 3-7.
- [184] Romański A., Konstany J.: Ball-milled Fe-Ni and Fe-Mn matrix powders for sintered diamond tools, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 59, issue 1, 2014, pp. 189-193.
- [185] Romański A., Tokarski T., Tyrała D.: Sintered Fe-Ni-Cu-Sn-C alloys made of ball-milled powders, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 59, issue 3, 2014, pp. 947-951.
- [186] Romański A., Tokarski T.: Badania spiekanych materiałów Fe-Ni-C z dodatkiem 8% brązu wykonanych z mielonych proszków, *Rudy i Metale Nieżelazne Recykling*, ISSN 0035-9696, 2014 R. 59 nr 5, s. 224-232.
- [187] Konstany J., Romański A., Tyrała D.: Ferrous ball-milled powders for the fabrication of sintered diamond tools, *Advanced Materials Research*; ISSN 1022-6680, 2014, Vol. 1052, s. 514-519. International Conference of Materials Engineering and Application, (ICMEA 2014): October 18-19, 2014, Hangzhou, China. Web of Science ISBN 978-3-03835-318-8.
- [188] Konstany J., Romański A., Tyrała D.: Polveri a base ferro macinate mediante mulino a palle per la fabbricazione di utensili diamantati sinterizzati, *Ferrous ball-milled powders for the fabrication of sintered diamond tools. Diamante Applicazioni & Tecnologia*, ISSN 1824-5765, 2014 A. 20, No. 79, pp. 27-32.

- [189] Konstany J., Romański A., Bączek E., Tyrała D.: New wear resistant iron-base matrix materials for the fabrication of sintered diamond tools. *Archives of Metallurgy and Materials*, ISSN 1733-3490, 2015, Vol. 60, issue 2A, pp. 633-637.
- [190] Borowiecka-Jamrozek J.: Właściwości spieków otrzymanych techniką prasowania na gorąco z proszków Fe, Cu, Ni. *Mechanik*, Tom 11/2017, s. 1066-1068.
- [191] Borowiecka-Jamrozek J.: Wpływ warunków procesu mielenia mieszaniny proszków Fe, Cu, Ni na właściwości spieków otrzymanych techniką prasowania na gorąco. *Przegląd Spawalnictwa*, Tom 90, Zeszyt 3, 2018, s. 17-20.
- [192] Staub F. i in.: *Metaloznawstwo*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Katowice 1979.
- [193] Malkiewicz T.: *Metaloznawstwo stopów żelaza*, PWN, Warszawa 1976.
- [194] Przybyłowicz K., Przybyłowicz J.: *Materiałoznawstwo w pytaniach i odpowiedziach*, WNT, Warszawa 2004.
- [195] Massalski T.B., Hiroaki O., Subramanian P.R., Kacprzak L.: *Binary Alloy Phase Diagrams*, second editio, Vol. 2, 3, ASM International, The materials information society, pp. 1481-1482.
- [196] Fürtauer S., Li D., Cupid D., Flandorfer H.: The Cu-Sn phase diagram, Part I: New experimental results, *Intermetallics* 34 (2013), pp. 142-147.
- [197] Wojtowicz R., Szatko W.: *Metodyka optycznej analizy wielkości cząstek ciała stałego*, Politechnika Krakowska, Technical Transactions, Mechanics, 2-M/2012, Issue 6, s. 497-504.
- [198] Krawczykowski D.: Zastosowanie dyfrakcyjnej analizy laserowej do kontroli uziarnienia produktów przeróbki rud metali, *Inżynieria Mineralna*, styczeń – czerwiec 2017, s. 233-240.
- [199] Krawczykowski D., Trybalski K.: *Przydatność laserowych analiz uziarnienia do bilansowania produktów klasyfikacji w hydrocyklonie*, Wyd. AGH, Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 33, Zeszyt 4, Kraków 2009.
- [200] Holtzer M., Dańko R., Skrzyński M.: Badanie skuteczności klasyfikacji w oparciu o wykorzystanie metody laserowego pomiaru wielkości ziaren, *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 12, Special Issue 1/2012, pp. 63-68.
- [201] Baliński A.: Podstawowe zagadnienia związane z pomiarem wielkości i rozkładu wielkości cząstek, *Basic issues related to the measurement of size and particle size distribution*, *Prace Instytutu Odlewnictwa*, *Transactions of Foundry Research Institute*, Volume LIII, 2013, Number 1, pp. 3-12.
- [202] Shekunov B.Y., Chattopadhyay P., Tong H.H.Y., Chow A.: *Particle size analysis in pharmaceutics: Principles, Methods and Applications*, *Pharmaceutical Research*, Vol. 24, No. 2, February 2007, pp. 203-227, DOI: 10.1007/s11095-006-9146-7.
- [203] *A Guidebook to Particle Size Analysis*, HORIBA Instruments, Inc., USA 2012.
- [204] Ostrowska-Maciejewska J.: *Podstawy mechaniki ośrodków ciągłych*, PWN, Warszawa 1982.
- [205] Guy A.G.: *Wprowadzenie do nauki o materiałach*, PWN, Warszawa 1977, tłum. z ang.: *Introduction to Materials Science*, McGraw-Hill Book Com., New York 1971.
- [206] Dassault Systemes, *Simulia User Assistance 2017*, Abaqus/Materials; Abaqus/Theory.

- [207] Kittel Ch.: Introduction to Solid State Physics, Eighth Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA 2005, pp. 23-32.
- [208] Kalinowski L.: Fizyka metali, PWN, Warszawa 1970, s. 67-89.
- [209] Pearson W.B.: A Handbook of lattice spacings and structures of metals and alloys. Belfast, Pergamon Press, 1964.
- [210] Spadło S.: Teoretyczno-eksperymentalne aspekty obróbki elektroerozyjno-mechanicznej, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2006.
- [211] Hebda M., Wachal A.: Trybologia, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978.
- [212] Płaza S., Margielewski L., Celichowski G.: Wstęp do tribologii i tribochemia, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2005.
- [213] Lawrowski Z.: Tribologia, tarcie, zużywanie i smarowanie, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [214] Ozimina D.: Eksploatacja systemów tribologicznych, M48, Kielce, Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2013.
- [215] Wyżga P., Laszkiewicz-Łukasik J., Jaworska L.: Badania odporności na zużycie ścierne potencjalnych materiałów narzędziowych, Mechanik, nr 2/2016, s. 109-112.
- [216] Laszkiewicz-Łukasik J., Jaworska L., Putyra P., Cygan S., Cyboron J.: Badania właściwości tribologicznych ceramiki borkowej w temperaturach do 800°C, Mechanik, nr 2/2015, s. 213-222.
- [217] Klimczyk P.: Badania tribologiczne ceramiki narzędziowej metodą ball-on-disc, Mechanik, nr 11/2012, s. 953-956.
- [218] Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania w Krakowie, https://www.ios.krakow.pl/279_badania-tribologiczne-metoda-ball-on-disc.htm.
- [219] Adamczak S.: Pomiar geometryczny powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość, WNT, Warszawa 2008.
- [220] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: Properties of sinters produced from commercially available powder mixtures, Archives of Foundry Engineering, 16(4), 2016, pp. 37-40.
- [221] Borowiecka-Jamrozek J., Konstany J., Lachowski J.: The application of a ball-milled Fe-Cu-Ni powder mixture to fabricate sintered diamond tools, Archives of Foundry Engineering, 18(1), 2018, pp. 5-8.
- [222] Karamchedu S.: Effect of diffusion bonded Cu and Ni on sinter hardening response of Mo prealloyed PM steel, www.researchgate.net/publication/268001833, odczyt 15.03.2019.
- [223] Wei F., Qingyuan W., Qingquan K., Chenghua S., Xiaodong Z.: Theory and technology of sintering, thermal and thermochemical treatment, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 57, Nos. 3-4, July, 2018 (Russian Original Vol. 57, No. 3-4, March-April, 2018), pp. 154-160, DOI: 10.1007/s11106-018-9963-3.
- [224] Lachowski J., Borowiecka-Jamrozek J.: Modelling thermomechanical response of a diamond particle in a metallic matrix, Engineering Transactions, 65(1), 2017, pp. 105-112.

- [225] Lachowski J., Borowiecka-Jamrozek J.: A thermomechanical model of an elastic particle in a metallic matrix, *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 18, Issue 2/2018, pp. 79-83.
- [226] Dong H.: A study of mechanical properties and microstructure of Cu-based matrixes, *Results in Physics*, 12 (2019), pp. 748-753.
- [227] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: Modelling of retention of a diamond particle in matrices based on Fe and Cu, *Procedia Engineering*, 177 (2017), pp. 289-296.
- [228] Borowiecka-Jamrozek J., Lachowski J.: Retention of a diamond particle in a metallic matrix, *Materials Research Proceedings*, 5, pp. 7-10, 2018.
- [229] Zhao X., Duan L.: A review of the diamond retention capacity of metal bond matrices, *Metals* 2018, 8, 307; doi:10.3390/met8050307.
- [230] Chen X., Huang G., Tan Y., Huang H., Guo H., Xu X.: Model establishment of a Co-based metal matrix with additives of WC and Ni by discrete element method, *Materials* 2018, 11, 2319; doi:10.3390/ma11112319.
- [231] Silva A.C.G., Oliveira H.C.P., Leal T.E., Assis P.S.: Evaluation of the influence of pre-alloyed powder Fe65Nb on the production of metal matrices by powder metallurgy, 23^o CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 04 a 08 de Novembro de 2018, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

Spieki na bazie żelaza stosowane na osnowę w narzędziowych kompozytach metaliczno-diamentowych

W pierwszej części monografii przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat własności i metod wytwarzania spieków stosowanych jako osnowy w kompozytach metaliczno-diamentowych. Do analizy wykorzystano liczne krajowe i zagraniczne materiały źródłowe.

Druga część pracy zawiera nowatorskie osiągnięcia autorów, polegające na opracowaniu nowej specyficznej mikrostruktury i składu ilościowego materiału, mogącego zastąpić kobalt jako materiał osnowy w kompozytach narzędziowych.

Myślą przewodnią pracy było przedstawienie modyfikacji technologii wytwarzania spieków metaliczno-diamentowych poprzez opracowanie wytwarzania nowych mieszanek proszków na osnowy metodą mielenia proszków elementarnych w młynie kulowym. Jako materiał wyjściowy zastosowano żelazo i miedź ze względu na dużą ich dostępność, niską cenę i możliwość modyfikacji dodatkami stopowymi.

Zastosowane w doświadczeniach materiały FeCuNi i FeCuSnNi wstępnie zmieszano, a następnie mielono przez 30, 60 i 120 godzin. Spieki wykonano techniką prasowania na gorąco w grafitowej matrycy. Zbadano wpływ parametrów procesu wytwarzania na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne spieków. Zrealizowano kompleksowe badania dotyczące charakterystyki spiekanych materiałów pod kątem ich właściwości fizycznych, mechanicznych, cieplnych i tribologicznych z uwzględnieniem podwyższonych temperatur. W szerokim zakresie przeprowadzono analizę mikrostruktury, korzystając z metod skaningowej mikroskopii elektronowej wraz z analizą składu chemicznego EDS, składu fazowego oraz analizą rentgenowską.

Wykazano, że w odpowiedzi na szybkie obniżenie ceny diamentu syntetycznego możliwa jest również redukcja kosztów osnowy w narzędziach metaliczno-diamentowych poprzez zastąpienie kobaltu tańszymi mieszkankami proszków na bazie żelaza.

Sintered iron-based materials used for the matrix in diamond-impregnated tool composites

Part One of this monograph overviews the current state of knowledge concerning the properties of diamond-impregnated metal matrix composites as well as methods of their fabrication. A wide variety of Polish and international sources were used for the literature review.

Part Two of the work describes the authors' innovative approach to the fabrication of a new material with a specific microstructure and qualitative composition that has a potential to replace cobalt as the matrix material in tool composites.

The investigations involved modifying the existing technology of production of diamond-impregnated metal matrix composites by developing a new method of preparation of powder mixtures for the matrix. The technique requires grinding elementary powders in a ball mill. The mixtures under study were iron and copper based because of the high availability and low price of these elements; the mixtures are also easy to modify with alloying additives.

The Fe-Cu-Ni and Fe-Cu-Sn-Ni powders used in the experiments were first blended and then milled for 30, 60 and 120 hours. The composites were produced by hot pressing in a graphite die. The main aim of the research was to investigate the influence of the process parameters on the microstructure and properties of the materials. Extensive analysis was performed to determine their physical, mechanical, thermal and tribological properties, also at elevated temperatures. The microstructural examinations involved scanning electron microscopy combined with energy dispersive X-ray spectroscopy for chemical characterization, phase mapping, and X-ray analysis.

With a rapid decrease in the price of synthetic diamond, the cost of the matrix in diamond-impregnated tools can also be reduced by replacing cobalt using cheaper iron-based powder mixtures.