

Prof. dr hab. inż. Eugene FELDSHTEIN (Uniwersytet Zielonogórski)
mgr inż. Yuliya LISOVSKAYA (Instytut Metalurgii Proszków, Mińsk, Białoruś):

EFEKTYWNOŚĆ POWŁOK NANOWARSTWOWYCH PRZY WIERCENIU OTWORÓW PRZELOTOWYCH W BLACHACH ZE STOPÓW NIEŻELAZNYCH

Streszczenie

Omówiono efekty wiercenia otworów przelotowych w blachach z siluminu AC- AlSi9Cu3(Fe) oraz mosiądzu Cu- Zn39Pb3 . Zastosowano wiertła NWKa o średnicy $\varnothing 6$ mm ze stali szybkoobrotowej i powlekanie nanowarstwową powłoką PVD składającą się z 40 kolejno ułożonych bloków zawierających po cztery warstwy nanometryczne. Testy wykonano na 5-osiowym centrum frezarskim DMU 70 przy prędkości skrawania ok. 75 m/min i posuwie 0,06 mm/obr (warunki chłodzenia strefy obróbki: sprężone powietrze). Przeprowadzono ocenę zadziorów na wyjściu wiertel z otworów, obliczono wskaźniki strefy tworzenia wióra, określono postać i intensywność zużycia ostrzy oraz parametry chropowatości powierzchni. Wiertła powlekane wykazały zdecydowaną przewagę nad wiertłami bez powłok. Ich zastosowanie ograniczyło powstawanie zadziorów, które miały znacznie mniejsze wymiary i bardziej korzystną postać. Na podstawie obliczeń zarejestrowano wzrost kąta ścinania oraz zmniejszenie współczynników zgrubienia wióra i tarcia. Intensywność zużycia wiertel z powłokami zwiększyła się (w porównaniu z wiertłami niepowlekanymi) ok. 2,5-krotnie w przypadku obróbki siluminu AC- AlSi9Cu3(Fe) i 1,8-krotnie w przypadku obróbki mosiądzu Cu Zn39Pb3 .

Słowa kluczowe: powłoki nanowarstwowe, wiercenie, stopy nieżelazne

THE EFFECTIVENESS OF NANOLAYER COATINGS WHEN DRILLING THROUGH HOLES IN THE PLATES OF UN-FERROUS ALLOYS

Abstract

The paper presents the results of drilling of holes in plates of AC- AlSi9Cu3(Fe) silumin and Cu Zn39Pb3 brass. NWKa drills of high speed steel of 6 mm diameter were used as well as coated with the nanolayer coating PVD. The total PVD coating consists of 40 sequentially stacked blocks, each of which has four nanolayers. Tests were realized using 5-axis machining center DMU 70 with cutting speed of ~ 75 m/min and feed rate of 0.06 mm/rev. The pressured air was used for cooling. Some drilling process factors were investigated, such as burrs, parameters of cutting zone, shape and wear rate of drills and surface roughness. Coated drills showed the clear advantage compared with uncoated drills. There are no burrs when using coated drills, or burrs have much smaller dimensions and a more useful shape. On the basis of calculations the increase the shear angle and a decrease in the chip compression ratio and the coefficient of friction were registered. The wear rate of the coated drills for AC- AlSi9Cu3(Fe) silumin increased approximately 2.5 times and for Cu Zn39Pb3 brass - 1.8 times in comparison with uncoated drills.

Keywords: nanolayer coatings, drilling, non-ferrous alloys

EFEKTYWNOŚĆ POWŁOK NANOWARSTWOWYCH PRZY WIERCENIU OTWORÓW PRZELOTOWYCH W BLACHACH ZE STOPÓW NIEŻELAZNYCH

Eugene FELDSHTEIN¹, Yuliya LISOVSKAYA²

1. WPROWADZENIE

Powlekanie narzędzia skrawające są obecnie bardzo szeroko wykorzystywane, ponieważ zapewniają zdecydowany wzrost wydajności produkcji i trwałości narzędzia [1]. Stosowane są różne rodzaje powłok, które można podzielić [2–7]:

- w zależności od stosowanej technologii powlekania – na powłoki PVD, CVD, plazmowe, elektrolityczne etc.,
- w zależności od składu – na bazie węglików, azotków, tlenków, ich mieszanin itp.,
- w zależności od struktury i budowy – jedno- i wielowarstwowe, gradientowe, metastabilne, nanokrystaliczne i inne.

Najczęściej obecnie stosuje się powłoki wielowarstwowe, co zapewnia większe możliwości użytkowe, ponieważ każda odrębna warstwa może posiadać inne właściwości. Powlekanie najczęściej odbywa się metodami PVD i CVD, przy czym metody CVD skierowane są przeważnie na narzędzia z węglików spiekanych, ponieważ podczas procesu powlekania występują wysokie temperatury, rzędu 800–1000°C. Metody PVD są bardziej uniwersalne, bo realizowane w temperaturach niższych od temperatury przemian fazowo-strukturalnych w stalach szybko tnących.

Pośród różnych powłok od wielu lat stosuje się powłoki DLC (diamond like carbon) [4]. Powlekanie odbywa się głównie metodami CVD [2], co uniemożliwia po-

¹ Uniwersytet Zielonogórski, Ul. Prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra

² Instytut Metalurgii Proszków, ул. Платонова 41, 220071 Minsk, Białoruś

wlekaniu narzędzi ze stali szybko tnącej, a także inicjuje duże naprężenia w materiale powłoki oraz w podłożu.

Ważnym trendem w rozwoju narzędzi z powłokami jest zastosowanie powłok samosmarujących. Są one stosowane w warunkach skrawania na sucho i zapewniają zmniejszenie tarcia i ciepła generowanego przy skrawaniu. Dobre wyniki w takich warunkach wykazały zarówno powłoki DLC jak i powłoki na bazie dwusiarczku molibdenu MoS_2 [3,4,8,9].

Obecnie znana jest efektywność powłok o strukturze nanometrycznej z przemianymi warstwami o grubości nanometrycznej, o różnych składach i przeznaczeniu funkcjonalnym [10]. W badaniach [11, 12] rozpatrzono struktury takich powłok wielowarstwowych i zaproponowano najlepsze kompozycje. Powłoki nanometryczne zapewniają znaczący wzrost właściwości eksploatacyjnych narzędzi skrawających.

Poniżej przedstawiono wyniki badań procesu wiercenia przelotowego siluminu AC-AlSi9Cu3(Fe) oraz mosiądzu CuZn39Pb3 wiertłami z kompozycyjną powłoką wielowarstwową.

2. WARUNKI I METODYKA BADAŃ

Użyto wiertel krętych z chwytem walcowym NWKa o średnicy 6 mm ze stali szybko tnącej, powlekanych oraz dla porównania niepowlekanych z tej samej partii produkcyjnej. Badanie realizowano na 5-osiowym centrum frezarskim DMU 70 przy prędkości skrawania 75,3 m/min (prędkość obrotowa 4000 obr/min) i posuwie 0,06 mm/obr. Warunki chłodzenia strefy obróbki – sprężone powietrze.

Jako materiały do badań zastosowano odlewniczy stop aluminium AC-AlSi9Cu3(Fe) EN 1706:2010 oraz mosiądz CuZn39Pb3 (EN-CW614N). Pierwszy z tych materiałów jest szeroko stosowany w przemyśle samochodowym. Powierzchnie odlewów najpierw frezowano w celu zapewnienia ich płaskości, a następnie wiercono przelotowo. Grubość próbek wynosiła 8 mm, liczba otworów w każdej próbce 40, liczba próbek 5.

Drugi materiał stosuje się w produkcji elementów złącznych, elementów armatury, elementów łożysk i zamków, śrub, nakrętek, uchwytów, zacisków kablowych, listew zaciskowych, części dla elektrotechniki i in. Półfabrykat miał kształt płaskownika o grubości 10 mm i szerokości 50 mm, pociętego na odcinki, w każdym z których wiercono 60 otworów.

Skład chemiczny i właściwości materiałów przedstawiono w tab. 1.

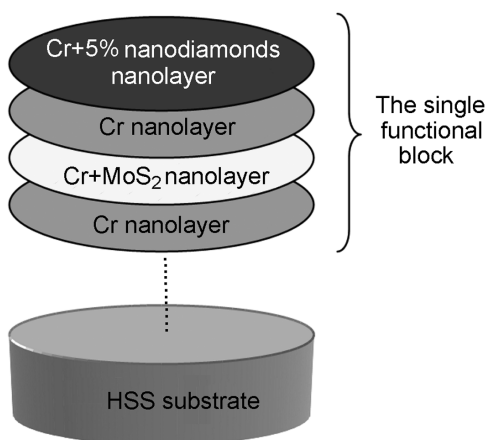
Powłokę na wiertło ze stali szybko tnącej nanoszono metodą PVD. Budowę pojedynczego bloku warstwowego przedstawiono na rys. 1. Nanowarstwa chromu (Cr) zapewnia elastyczność bloku, kompozycja Cr+5 % ND – twardość, natomiast kompozycja Cr+ MoS_2 – funkcjonuje jako twardy smar i zmniejsza siły tarcia w strefie skrawania. Multinanowarstwowa powłoka zawierała czterdzieści powtarzających się pojedynczych bloków warstwowch osadzanych jeden na drugim. Przeprowadzone

wcześniej badania wytypowały warstwę czterdziestoblokową jako najlepszą ze względu na warunki tarcia [13].

Analizowano powstawanie zadziorów, warunki tworzenia wióra, chropowatość powierzchni otworów oraz intensywność zużycia wiertel.

Tabela 1. Skład i właściwości materiałów obrabianych

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Rm, MPa	Rp0.2, MPa	A, %	HB
Skład chemiczny (%) i właściwości stopu AC- AlSi9Cu3(Fe)															
Reszta	8,0–11,0	1,3	2,0–4,0	0,55	0,05–0,55	0,15	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25	240	140	1	80
Skład chemiczny (%) i właściwości mosiądzu CuZn39Pb3															
0,05 (max.)	–	0,3 (max.)	57,0–59,0	–	–	–	0,3 (max.)	Reszta	2,5–3,5	0,3 (max.)	–	380	160	18	90



Rys. 1. Budowa bloku warstwowego [13]

2. WYNIKI BADAŃ

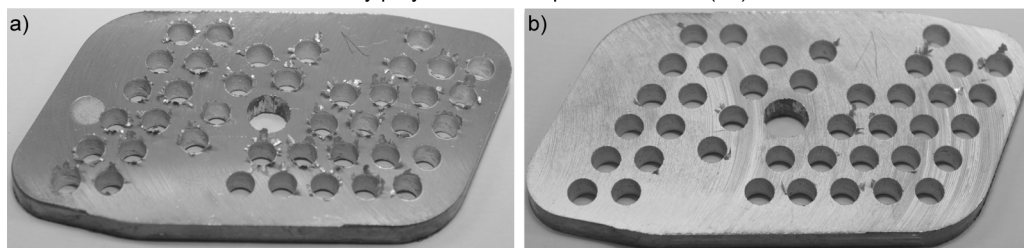
Zadziory formujące się przy wierceniu na wyjściu wiertła z otworu stanowią duży problem w technologii mechanicznej, ponieważ płaszczyzny lub krawędzie, na których zostały utworzone zadziory wymagają dodatkowych operacji obróbki wykończeniowej. Takie dodatkowe zabiegi skutkują dłuższym czasem produkowania elementu a także większymi kosztami produkcji.

Na rys. 2 przedstawiono wyjściowe krawędzie otworów wykonanych za pomocą wiertel bez powłoki i z powłoką.

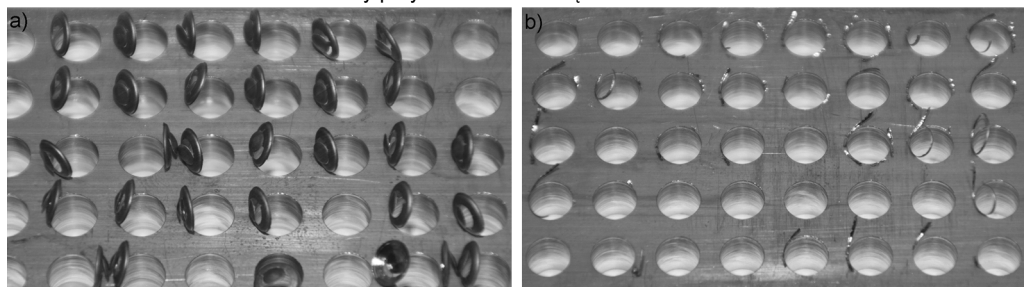
Przy wierceniu siluminu wiertłami niepowlekanymi na wyjściu wiertła z otworu w większości przypadków powstają zadziory, najczęściej o kształcie rozerwanych płatków tworzących koronę. Przy zastosowaniu wiertel powlekanych zdecydowana większość otworów nie posiada zadziorów, a jeśli nawet – to o znacznie mniejszych wymiarach (tab. 2);

Przy wierceniu mosiądzu wiertłami niepowlekanymi na wyjściu wiertła z otworu w zdecydowanej większości powstają zadziory o kształcie kapturków dwupoziomowych; liczba otworów bez zadziorów maleje w miarę wzrostu zużycia wiertła. Przy zastosowaniu wiertel powlekanych zdecydowana większość otworów ma zadziory o kształcie bardzo cienkich i łatwo usuwalnych tasiemek (tab. 3). Większą liczbę otworów bez zadziorów zaobserwowano na początku i na końcu cyklu zużycia wiertła.

Zadziory przy wierceniu stopu AC-AISi9Cu3(Fe)



Zadziory przy wierceniu mosiądzu CuZn39Pb3



Rys. 2. Zadziory po wierceniu wiertłami bez powłoki (a) i z powłoką (b)

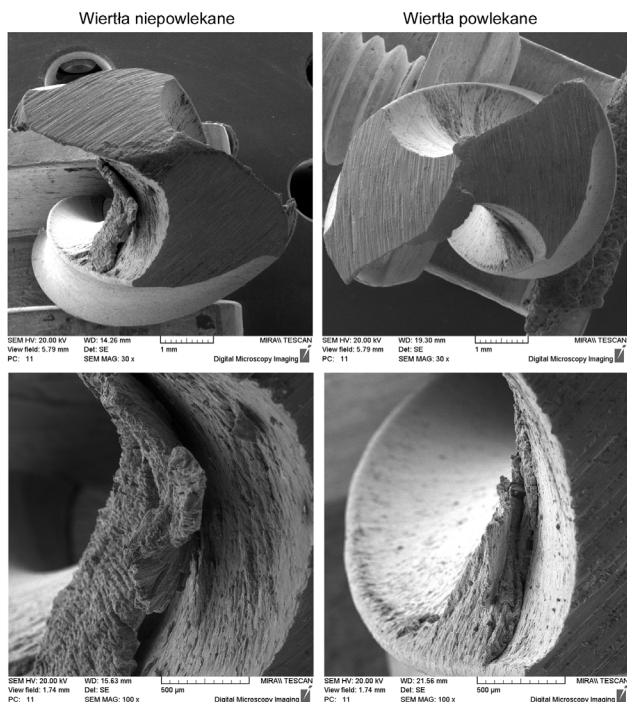
Tabela 2. Szczegóły kształtowania zadziorów przy wierceniu siluminu

Rodzaj wiertła	Liczba otworów z zadziorami przy czasie pracy, s				
	80	160	240	320	400
Niepowlekane	100 %				
Powlekane	13 %	14 %	16 %	19 %	20 %

Tabela 3. Szczegóły kształtowania zadziorów przy wierceniu mosiądzu

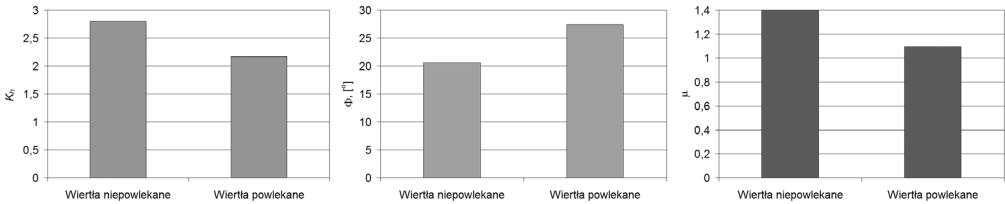
Rodzaj wiertła	Liczby otworów bez zadziorów / z zadziorami przy czasie pracy wiertła, min			
	2,5	5	7,5	10
Niepowlekane	24/36	26/34	15/45	8/52
Powlekane	14/46	5/55	5/55	17/43

Podczas wiercenia siluminu wiertłami niepowlekanymi obserwuje się duże nalepy na powierzchni rowków wiórowych, wzdłuż głównych krawędzi skrawających tworzy się narost. Na powierzchniach wiertel powlekanych liczba i wymiary nalepień są znacznie mniejsze (rys. 3). Przy wierceniu mosiądzu nalepy nie powstają.



Rys. 3. Nalepy na wiertłach po obróbce siluminu

Na podstawie pomiarów grubości wióra przy wierceniu mosiądzu CuZn39Pb3 określono wybrane wskaźniki strefy tworzenia wióra wg wzorów przedstawionych w [14]. Porównanie wymienionych wskaźników jednoznacznie wskazuje na przewagę wiertel powlekanych (rys. 4).



Rys. 4. Porównanie współczynników zgrubienia wióra, kątów ścinania i współczynników tarcia na powierzchni natarcia przy wierceniu mosiądzu CuZn39Pb3

Przy wierceniu siluminu zużycie wiertel zachodzi przeważnie w miejscach styku głównych krawędzi skrawających i krawędzi łysinek (narożach) i ma postać zaokrąglenia. Wartości zużycia wiertel niepowlkanych wyniosły 0,7 mm, natomiast wiertel z powłoką nanowarstwową – 0,2 – 0,35 mm (rys. 5). Intensywność zużycia wyniosła odpowiednio 1,75 $\mu\text{m/s}$ i 0,68 $\mu\text{m/s}$. Oznacza to, że trwałość wiertel z powłokami przy obróbce siluminu zwiększa się około 2,5 razy w stosunku do wiertel niepowlkanych.

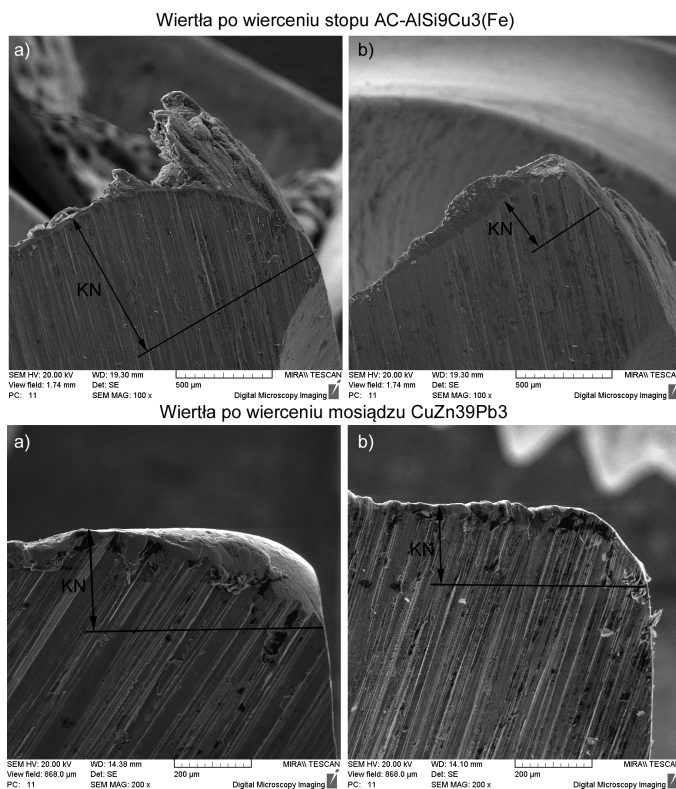
Przy obróbce mosiądzu zużycie wiertel niepowlkanych obejmuje, również powierzchnie łysinek, osiągając wartość 1 mm. Zużycie wiertel powlekanych zachodzi przeważnie w miejscach styku głównych krawędzi skrawających i krawędzi łysinek (narożach) i ma postać zaokrąglenia, wartość zużycia 0,55 mm (rys. 5). Intensywność zużycia wyniosła odpowiednio 0,92 $\mu\text{m/s}$ i 1,67 $\mu\text{m/s}$. Oznacza to, że trwałość wiertel z powłoką nanowarstwową zwiększa się około 1,8 razy w stosunku do wiertel niepowlkanych. Warto zaznaczyć, że uszkodzenie łysinek w sposób znaczący zmniejsza całkowity okres trwałości wiertel, ponieważ zmniejsza się dopuszczalna liczba ostrzeń.

Analizy chropowatości powierzchni otworów dokonano porównując parametry średniej arytmetycznej rzędnych profilu Ra , największej wysokości profilu Rz , wysokości najwyższego wzniesienia profilu Rp , głębokości najniższego wgłębienia profilu Rv oraz średniej szerokości rowków profilu RSm . Różnice w parametrach są niewielkie.

4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie powłoki nanowarstwowej na wiertłach przy wierceniu przelotowym otworów w siluminie AC- AlSi9Cu3(Fe) oraz w mosiądzu CuZn39Pb3 korzystnie wpływa na kształty powstających zadziórów, intensywność nalepiania wióra, wskaź-

niki strefy tworzenia wióra oraz intensywność zużycia krawędzi skrawających. Zmiany parametrów chropowatości powierzchni są niewielkie.



Rys. 5. Zużycie wiertel: a) niepowlekanych, b) powlekanych

LITERATURA

- [1] KUPCZYK M., *Wytwarzanie i eksploatacja narzędzi skrawających z powłokami przeciwozużyciowymi*, Poznań, Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2009.
- [2] BYRNE G., DORNFELD D., DENKENA B., *Advancing Cutting Technology*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2003, 52 (2), p. 483–507.
- [3] BOUZAKIS K.-D., MICHAILIDIS N., SKORDARIS G., BOUZAKIS E., BIERMANN D., M'SAOUBI R., *Cutting with coated tools: Coating technologies, characterization methods and performance optimization*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2012, 61 (2), p. 703–723.
- [4] LI F., ZHANG S., KONG J., ZHANG Y., HANG W., *Multilayer DLC coatings via alternating bias during magnetron sputtering*, Thin Solid Films, 2011, 519 (15), p. 4910–4916.
- [5] DAHOTRE N.B., NAYAK S. *Nanocoatings for engine application*, Surface & Coatings Technology, 2005, 194 (1), p. 58–67.

- [6] BEWILOGUA K., HOFMANN D., *History of diamond-like carbon films – From first experiments to worldwide applications*, Surface & Coatings Technology, 2014, 242 ,p. 214–225.
- [7] MANDICH N.V., DENNIS J.K., *Derivation of exact equation for current efficiency under periodic reverse current conditions*, Metal Finishing, 2001, 99 (6), p. 117–119.
- [8] HAIDER J., RAHMAN M., CORCORAN B., HASHMI M.S.J., *Deposition and characterization of hard-solid lubricant coating by closed-field magnetron sputtering*, Surface & Coatings Technology, 2005, 200 (1–4), p. 1080–1083.
- [9] JIAN X.G., SHI L.D., CHEN M., SUN F.H., *Tribological studies on ultra-fine diamond composite coatings deposited on tungsten carbide*, Diamond and Related Materials, 2006, 15 (2–3), p. 313 – 316.
- [10] КУРОЧКИН А.В., *Технологические особенности многофункциональных наноструктурированных покрытий для режущего инструмента*, Вестник РГТА имени П.А. Соловьева, 2010, 3, с. 166–172.
- [11] LEYLAND A., MATTHEWS A., *On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating approach to optimised tribological behaviour*, Wear, 2000, 246 (1-2), p.1–11.
- [12] MATTHEWS A., FRANKLIN S., HOLMBERG K., *Tribological coatings: contact mechanisms and selection*, Journal of Physics D-Applied Physics, 2007, 40(18), p. 63–75.
- [13] ILYUSCHENKO A.P., EUGENE E. FELDSHTEIN E.E., LISOVSKAYA Y.O., MARKOVA L.V., ANDREYEV M.A., LEWANDOWSKI A., *On the properties of PVD coating based on nanodiamond and molybdenum disulfide nanolayers and its efficiency when drilling of aluminum alloy*, Surface & Coatings Technology, 2015, 270, p. 190–196.
- [14] FELDSHTEIN E., *Wybrane zagadnienia obróbki skrawaniem*, Zielona Góra, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2013.