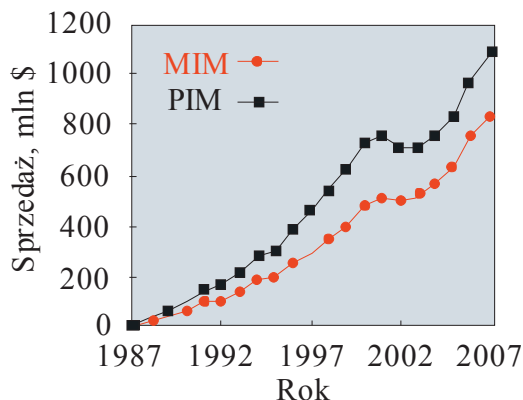


1. Wprowadzenie

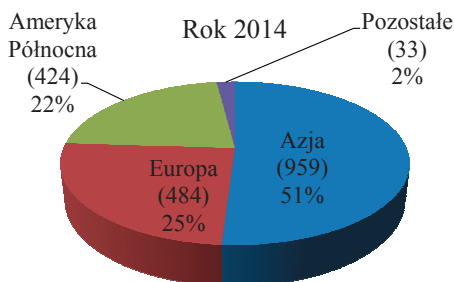
Rozwój technik wytwarzania spiekanych materiałów narzędziowych stwarza możliwość opracowania i wytworzenia uniwersalnych narzędzi, których niekomplementarne dotąd własności takie jak wysoka twardość i odporność na zużycie powierzchni z relatywnie wysoką ciągliwością rdzenia można łączyć dzięki nowoczesnym metodom formowania i konsolidacji proszków. Formowanie i spiekanie proszków ceramicznych lub metalowych jest wykorzystywane do produkcji wielu materiałów inżynierskich, w tym kompozytowych [11, 20, 63, 68-70, 129, 130, 132, 139, 153]. Ponadto metalurgia proszków stosowana jest wtedy, gdy klasycznego odlewania metali i stopów nie można zastosować [3, 21, 27, 28, 30, 34, 51, 60, 83, 91, 104, 109, 128, 131, 142, 161, 165, 190, 204, 208]. Metoda ta powoduje częściowe ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie obróbki skrawaniem oraz obróbki plastycznej i silnie wpływa na rozwój technologii „near-net-shape” lub przyrostowych „additive manufacturing” co wiąże się z możliwością obniżenia kosztów produkcji. W przypadku metali i stopów odlewanych konwencjonalnie, obniżenie kosztów produkcji związane jest ze zwiększeniem efektywności obróbki skrawaniem przez np. zwiększenie szybkości skrawania i zmniejszenie liczby przestojów technologicznych związanych z wymianą narzędzi, co z kolei wpływa na konieczność poszukiwania materiałów narzędziowych o lepszych własnościach użytkowych. W tym celu wiele ośrodków naukowo-badawczych prowadzi intensywne badania nad poprawą własności użytkowych narzędzi [7, 8, 31, 35, 38, 46, 55, 62, 66, 80, 81, 85, 88, 97, 103, 131, 151, 189, 213]. Wyniki tych badań publikowane są w wielu czasopismach naukowych i przedstawiane na konferencjach dotyczących wyłącznie problematyki narzędzi, a wiele konferencji poświęca tym zagadnieniom specjalne sesje naukowe.

Ciągłe dążenie projektantów i wytwórców materiałów narzędziowych do zwiększenia ich własności skierowane jest w ostatnich latach w stronę materiałów o strukturze warstwowej lub gradientowej, których pierwowzorem są materiały występujące w środowisku naturalnym. Dzięki gradientowej strukturze ich własności znacznie przewyższają własności materiałów jednorodnych. W ten sposób rozpoczęto, inspirowane przez naturę, badania nad funkcjonalnymi materiałami gradientowymi określanymi jako FGM (ang. Functionally Gradient Materials) [72, 87, 90, 141, 162, 163]. Ich koncepcja powstała już w latach 70-tych ubiegłego stulecia, lecz pierwsze kompleksowe badania rozpoczęto pod koniec lat 80-tych w Japonii a następnie w Niemczech. Ta idea została również zastosowana do wytwarzania materiałów

narzędziowych, które czasami określa się jako narzędziowe materiały gradientowe TGM (ang. Tool Gradient Materials) [41, 44, 47]. Jako pierwsza swój sukces odniosła japońska firma Sumitomo wprowadzając na rynek cermetowe materiały skrawające. Również w Polsce prowadzono badania materiałów o strukturze gradientowej w ramach grantu zamawianego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego [42]. Projektując i badając materiały narzędziowe, niewątpliwie można zauważyć, że zastosowanie struktury warstwowej lub gradientowej narzędzia umożliwia znaczne zwiększenie jego własności użytkowych. Wydaje się, że oprócz metod PVD i CVD [45, 127] oraz natryskiwania cieplnego, które umożliwiają otrzymanie struktury warstwowej lub gradientowej jedynie samych powłok, najbardziej popularną techniką wytwarzania TGM jest ogólnie rozumiana metalurgia proszków, która w tym przypadku dotyczy również proszków ceramicznych [87, 88, 162, 163]. Nieznaczna modyfikacja klasycznego prasowania proszków w matrycy umożliwia wytworzenie materiału narzędziowego o strukturze gradientowej ciągłej lub dyskretniej w całej jego objętości. Jednym z założeń nowoczesnych technik wytwarzania materiałów spiekanych jest produkcja masowa lub wielkoseryjna. Formowanie proszków w matrycach zamkniętych, w taki sposób, by spiek charakteryzował się strukturą warstwową lub gradientową jest technologicznie trudne. Ponadto takie formowanie proszków pozwala uzyskać wypraski o nieskomplikowanych kształtach [5, 47, 163]. Elementy małogabarytowe o rozbudowanej powierzchni można natomiast wytwarzać dzięki dynamicznie rozwijającej się technologii formowania wtryskowego proszku PIM (ang. Powder Injection Moulding) [10, 13, 14, 19, 33, 37, 48, 61, 67, 79, 110, 112, 122, 125, 193]. Z uwagi na duże koszty inwestycyjne związane z koniecznością stosowania wysokiej klasy urządzeń, technologia ta jest przewidziana wyłącznie do produkcji masowej. Mimo wysokich kosztów metoda PIM rozwija się wyjątkowo szybko, zwłaszcza w Ameryce Północnej, Niemczech, Japonii a w ostatnim czasie Chinach [17, 18, 36, 37, 56-61, 107, 113, 145, 147, 148, 152, 191, 199]. Przedstawione na rysunku 1.1 dane dotyczące sprzedaży elementów wytwarzanych techniką PIM w latach od 1987 do 2007 jednoznacznie dowodzą jak silny jest rozwój tej metody. Szczególnie znaczenie ma formowanie proszku metalicznego MIM (ang. Metal Injection Moulding). Sumę sprzedanych elementów ceramicznych, metalowych i kompozytowych reprezentuje krzywa oznaczona jako PIM. Przedstawione na rysunku 1.2. prognozy na rok 2014 dotyczą formowania wtryskowego proszków metalowych z podziałem na różne regiony świata, których sumaryczna wartość wytworzonych produktów będzie wynosić 1,9 miliarda dolarów amerykańskich, a wskaźnik wzrostu wyniesie 13,9%.



Rysunek 1.1. Sprzedaż elementów wytworzonych metodą formowania wtryskowego proszku metalowego – MIM oraz metalowego i ceramicznego łącznie – PIM [56]



Rysunek 1.2. Prognozy rozwoju z podziałem na regiony świata – w nawiasie podano wartości w milionach dolarów amerykańskich [201]

Dla materiałów ceramicznych wartość produkcji i wskaźnik wzrostu będą wynosić odpowiednio 801 milionów dolarów amerykańskich i 15,2%. W głównej mierze spieki wytwarzane tą metodą charakteryzują się jednorodną strukturą, a jedynie proces spiekania [144, 171] lub wtryskiwanie sekwencyjne i natryskiwanie powłok na podłożu umożliwią otrzymanie struktury warstwowej [12, 22, 106].

Możliwość otrzymywania struktury wielowarstwowej lub gradientowej materiału narzędziowego zapewnia zaproponowana metoda formowania bezcisnieniowego powłok o rosnącym udziale twardych cząstek ceramicznych w kierunku powierzchni narzędzia, na materiale podłoża wytwarzanym w tym samym procesie technologicznym metodą PIM lub na innym materiale.

Największy udział w stosowanych materiałach narzędziowych stanowią węgliki spiekane oraz stale szybko tnące [15, 16, 46, 50, 80, 86, 94, 115, 151, 173, 183, 208]. Podjęte przez

autora badania dotyczą zatem nowych materiałów narzędziowych o zmieniającej się strukturze od stali w rdzeniu do węglkostali na powierzchni, w celu zachowania możliwie wysokiej ciągliwości rdzenia i względnie wysokiej twardości warstwy powierzchniowej wzmocnionej twardymi węglkami.

Celem pracy jest wyjaśnienie wpływu lepiszcza, stosowanego w nowoczesnych metodach formowania proszków i warunków jego usuwania, na wzrost stężenia węgla aktywującego proces spiekania, co pozwala na wytwarzanie materiałów narzędziowych o strukturze warstwowej lub gradientowej. Węglkostalowa warstwa powierzchniowa wytworzonych materiałów powinna charakteryzować się wysoką twardością i odpornością na zużycie, natomiast stalowe podłoże wysoką wytrzymałością na zginanie. Na uwagę zasługuje zastosowanie formowania bezcisnieniowego do wytwarzania powłok na gotowych lub wytwarzanych w tym samym procesie technologicznym narzędziach.