

Zagadnienia hydrostrumieniowego kształtowania materiałów stosowanych w lotnictwie

Issues of water jet shaping of materials used in aviation

PRZEMYSŁAW BORKOWSKI
JÓZEF BORKOWSKI
MICHAŁ BIELECKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.243

Przedstawiono istotne zagadnienia dotyczące stosowania wysokociśnieniowej strugi wodno-ściernej do kształtowania struktur materiałowych typu plaster miodu oraz spienione aluminium, które są używane w konstrukcjach lotniczych. Zastosowana metoda pozwala na jednozabiegowe wycinanie przestrzennych półfabrykatów o poosiowo zmiennych kształtach poligonalnych. Zaprezentowane efekty kształtowania takich obiektów oraz wyniki badań (SEM, SGP) jakości obróbeni powierzchni uprawniają do pozytywnej oceny przydatności tej metody obróbkowej.

SŁOWA KLUCZOWE: struga wodno-ścierna, obróbka materiałów lotniczych, plaster miodu, spienione aluminium

The paper presents important issues of high-pressure abrasive-water jet cutting of materials' structures shaping (e.g. honeycomb and aluminum foam), which are used in aircraft constructions. The applied method allows the spatial single cutting of semi-finished products of axially variable polygonal shapes. Presented effects of such objects' forming, as well as the results of the quality of the machined surface (SEM and SGP), allow for a positive assessment of the usefulness of such a method of machining.

KEYWORDS: abrasive-water jet, processing of aircraft materials, honeycomb, aluminum foam

Użycie do budowy kadłubów samolotowych nowoczesnych materiałów kompozytowych, zwykle o przestrzennej strukturze typu plaster miodu [4, 5], a także spienionego aluminium [2] czy innych kompozytów [3, 6] jest bardzo pożądane. Jest to podyktowane koniecznością zmniejszania masy konstrukcji lotniczych i zwiększania ich niezawodności z zachowaniem najlepszego stosunku wytrzymałości i sztywności do masy oraz z jednoczesnym obniżeniem kosztów wytwarzania.

Za wielką rewolucją materiałową, jaka dokonała się w zakresie takich kompozytów, nie nadążyły technologie ich obróbki. Tradycyjne metody obróbkowe, takie jak cięcie, wiercenie czy frezowanie, na ogół wywołują stosunkowo duże naciski i wysoką temperaturę, a ich zastosowanie do obróbki kompozytów często powoduje delaminację warstw i strzępienie krawędzi [2], a nawet przypalenia materiału. Do obróbki tego rodzaju materiałów specjalnych i kompozytowych należałoby więc stosować wysokociśnieniową strugę wodno-ścierną [6], która praktycznie nie generuje temperatury [2] i wywołuje jedynie znikome naciski mechaniczne [1] na obrabiany materiał.

Z tych względów cięcie wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną jest obiecującą i wiarygodną technologią, która nieustannie jest dostosowywana do nowo pojawiających się procesów i aplikacji [3÷5]. Jej przemysłowe zastosowania co kilka lat ulegają zwielokrotnieniu, dzięki dużej

elastyczności i stosunkowo łatwemu przekształcaniu tej unikalnej metody.

Najbardziej odpowiedzialne zastosowania tej obróbki i bardzo trudny, lecz udany jej rozwój, nastąpiły w przemyśle lotniczym dopiero w kilkunastu ostatnich latach [2÷5]. Mimo to użycie tej technologii do obróbki kompozytów i innych struktur typu plaster miodu jest stosunkowo nowe i nadal pozostawia nierozwiązane problemy [2].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie najistotniejszych kwestii dotyczących stosowania wysokociśnieniowej strugi wodno-ściernej (AWJ) do kształtowania materiałów kompozytowych używanych we współczesnych konstrukcjach lotniczych.

Materiały, sprzęt technologiczny i aparatura badawcza

Badania przeprowadzono na próbkach przestrzennych struktur materiałowych z kompozytów, stopów aluminium AlMg1SiMn i tytanu Ti-6Al-4V. Materiały typu plaster miodu odznaczają się znikomą gęstością objętościową. Badano trzy rodzaje kompozytów z włókna szklanego i żywicy epoksydowej – o gęstości 23, 25 i 34 mg/cm³, dwa rodzaje kompozytów z włókna węglowego sklejonego żywicą aramidową – o gęstości 16 i 18 mg/cm³ – oraz dwa rodzaje takich struktur wykonanych z aluminium – o gęstości 50 i 62 mg/cm³. Próbki spienionego aluminium mają znacznie większą gęstość – odpowiednio 200 i 250 mg/cm³.

Do przecinania tych materiałów używano hydrostrumieniowej obrabiarki OMAX Jet Machining Center typu 55100 wyposażonej w dynamiczną głowicę roboczą typu Tilt-A-Jet, która ułatwia kształtowanie obiektów o złożonych kształtach.

Mikroskopowe badania powierzchni przecięcia realizowano na skaningowym mikroskopie elektronowym QU-ANTA 200 Mark II, wyposażonym w analizator chemiczny EDAX Genesis XM 2i, przeznaczony do analizy próbek w mikroobszarach spektrometrii energetycznej EDS.

Strukturę geometryczną powierzchni (SGP) ciętych materiałów badano z użyciem profilografometru przestrzennego Talysurf CLI 2000 (Taylor Hobson), wyposażonego w dwie głowice bezstykowe – laserową i CLA Confocal Gauge na spolaryzowane promieniowanie świetlne – oraz głowicę indukcyjną. Najczęściej używano głowicy laserowej.

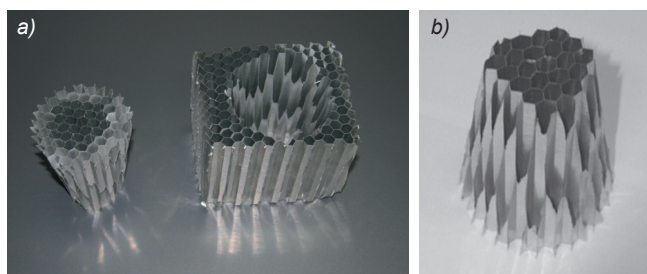
Mikrotopografię mierzonych obszarów analizowano w profesjonalnym programie TalyMap Universal 3.1.

Cięcie kształtujące struktury typu plaster miodu

Obróbka wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną kompozytowych struktur materiałowych typu plaster miodu o wysokości nieprzekraczającej 100 mm nie stanowi większego problemu. Wszystkie towarzyszące temu zjawiska można prześledzić na przykładzie wycinania ze struktury aluminiowego plastra miodu quasi-stożkowej

* Prof. dr hab. inż. Przemysław Borkowski (pborkowski@cuprum.wroc.pl) – KGHM Cuprum CBR; prof. dr hab. inż. Józef Borkowski (josef.borkowski@tu.koszalin.pl), dr inż. Michał Bielecki (michal.bielecki@tu.koszalin.pl) – Politechnika Koszalińska

bryły o trójkątnym kształcie poligonalnym. W zasadzie geometria otrzymanego przestrzennego kształtu jest poprawna, o czym świadczą regularne przecięcia poszczególnych komórek tej struktury materiałowej (rys. 1).

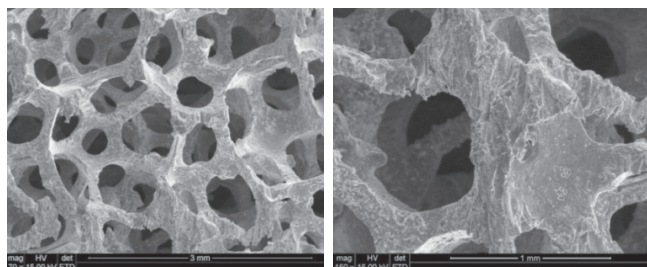


Rys. 1. Przykładowe obrazy wyciętego obiektu o quasi-stożkowym kształcie poligonalnym (a) i szczegółów przecięcia krawędzi (b) w strukturze plastra miodu ze stopu aluminium AlMg1SiMn

Wraz ze wzrostem wysokości (grubości) oraz prędkości przecinania kompozytowych struktur typu plaster miodu następuje jednak pogorszenie jakości obróbennej powierzchni. Dotyczy to zwłaszcza kompozytów z tworzyw sztucznych, w których może dojść do rozrywania naroży plastra miodu, a dodatkowo do złuszczeń i delaminacji. Ponadto mogą występować niedokładności odwzorowania wycinanego kształtu.

Przecinanie spienionego aluminium

Sam proces przecinania wysokociśnieniową strugą AWJ struktur materiałowych typu spienione stopy aluminium nie nastręcza trudności, zwłaszcza w aspekcie wydajności obróbki. Typowe przykłady budowy wewnętrznej takiego materiału po przecięciu go w ten sposób pokazano na obrazach SEM (rys. 2).



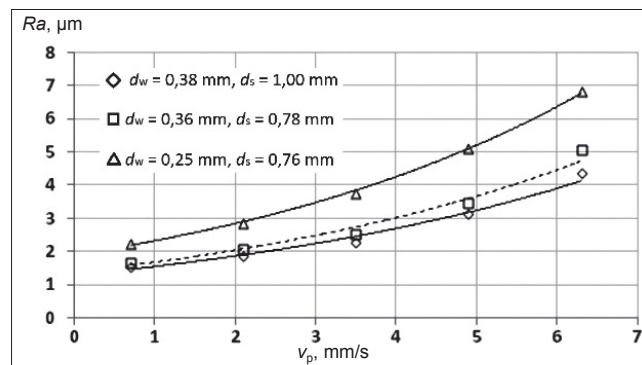
Rys. 2. Obrazy SEM struktury spienionego stopu AlMg1SiMn przeciętej strugą AWJ ($p = 380$ MPa, garnet #80, $v_p = 2,85$ mm/s)

Właśnie z uwagi na specyficzną budowę wewnętrzną takiej struktury wokół strefy oddziaływania strugi tnącej pojawiają się problemy związane z jakością. Podczas szczegółowych oględzin takich struktur stwierdzono przypadki więźnięcia w materiale ziaren ściernych. Należy jednak podkreślić, że pod wpływem kawitacji te ziarna dają się stosunkowo łatwo usunąć.

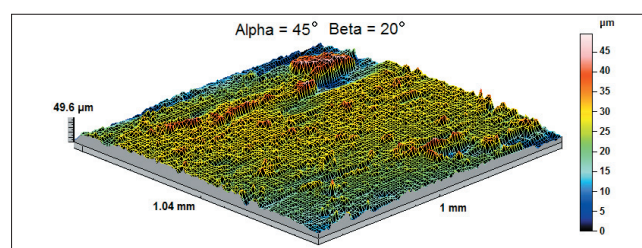
Jakość obróbenych powierzchni

Jakość powierzchni przecięcia przestrzennych struktur typu plaster miodu jest bardzo istotna, gdyż decyduje o skuteczności następnych operacji oklejania lub łączenia poszczególnych półwyrobów. Oczywiście podczas badań stwierdzono, że w miarę zwiększania się długości strugi tnącej, a także wzrostu prędkości posuwowej głowicy roboczej, jakość powierzchni przecięcia ulega pogorszeniu. Uśrednione wyniki występujących zależności w funkcji prędkości posuwowej głowicy roboczej przedstawiono

na rys. 3. Na wykresach tych zauważalne jest oddziaływanie charakterystyki głowicy roboczej, a zwłaszcza użytych dysz (wodnej i ogniskującej). Mimo dostrzeżenia jednostkowych przypadków odchyżeń jakość powierzchni przecięcia metodą AWJ jest dość jednorodna, co ilustrują przykłady SGP (rys. 4).



Rys. 3. Wpływ prędkości posuwu na chropowatość powierzchni stopu AlMg1SiMn, ciętego strugą AWJ ($p = 385$ MPa, garnet #80)



Rys. 4. Przykład struktury geometrycznej powierzchni przecięcia plastra miodu ze stopu AlMg1SiMn strugą AWJ ($p = 385$ MPa, garnet #80, $v_p = 15$ mm/s)

Podsumowanie

Opracowana metoda obróbkowa umożliwia stosowanie wysokociśnieniowej strugi wodno-ścierniej do trójwymiarowego kształtowania struktur materiałowych typu plaster miodu oraz spienione aluminium, które są używane w nowoczesnych konstrukcjach lotniczych. Pozwala ona na jednoprzeciściowe wycinanie bryłowych półfabrykatów o posoiowo zmiennych kształtach poligonalnych. Wyniki badań jakości obróbenych powierzchni (SEM i SGP) potwierdzają pozytywną ocenę przydatności technologicznego sprzętu i ogólnie obróbki wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną.

Zasygnalizowane wcześniej pojedyncze uchybienia, występujące niekiedy w obróbce strugą AWJ, nikną na tle zalet tej technologii i nie stanowią istotnej przeszkody w rozwoju jej zastosowań. Istnieją zatem realne przesłanki dla praktycznego stosowania obróbki wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną w przemyśle lotniczym.

LITERATURA

- Arola D., Ramulu M. "Material removal in abrasive waterjet machining of metals. Surface integrity and texture". *Wear*. 210, 2 (1997): pp. 50-58.
- Borkowski P., Borkowski J., Bielecki M. "Aircraft honeycomb composites machining with AWJ method". *Unconventional and hydro-jetting technologies*. Koszalin, 2009, pp. 471-482.
- Chen F.L. et al. "Shape machining of aerospace composite components using robot integrated abrasive waterjet". *5th Int. Conf. Frontiers of Design & Manufacturing*. Dalian, 2002: pp. 279-285.
- Conner I., Hashish M., Ramulu M. "Abrasive water jet machining of aerospace structural sheet and thin plate materials". *2003 WJTA American Waterjet Conf. Paper 1-G Houston, Texas, 2003*.
- Liu H.-T. "Machining honeycomb composites abrasive waterjets". *18th Int. Conf. WaterJetting, BHRGroup*. Gdansk, 2006: pp. 153-165.
- Ramulu M., Arola D. "The influence of abrasive waterjet cutting conditions on the surface quality of graphite/epoxy laminates". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 34, 3 (1994): pp. 295-313.