

Rozwój obróbki materiałów trudnoskrawalnych

Developments in machining of difficult-to-cut materials

PIOTR SZABLEWSKI
EDMUND WEISS
TADEUSZ CHWALCZUK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.321

Przedstawiono główne tendencje rozwojowe w obszarze kształtowania ubytkowego materiałów trudnoskrawalnych. Omówiono technologie o szczególnym znaczeniu dla przemysłu lotniczego. Wskazano główne kierunki rozwojowe.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka skrawaniem, obróbka hybrydowa, wspomaganie obróbki skrawaniem

Main developments and trends in the area of machining technologies are presented. Discussion on technologies of particular importance for aerospace industries was conducted. Main directions of further researches were identified.

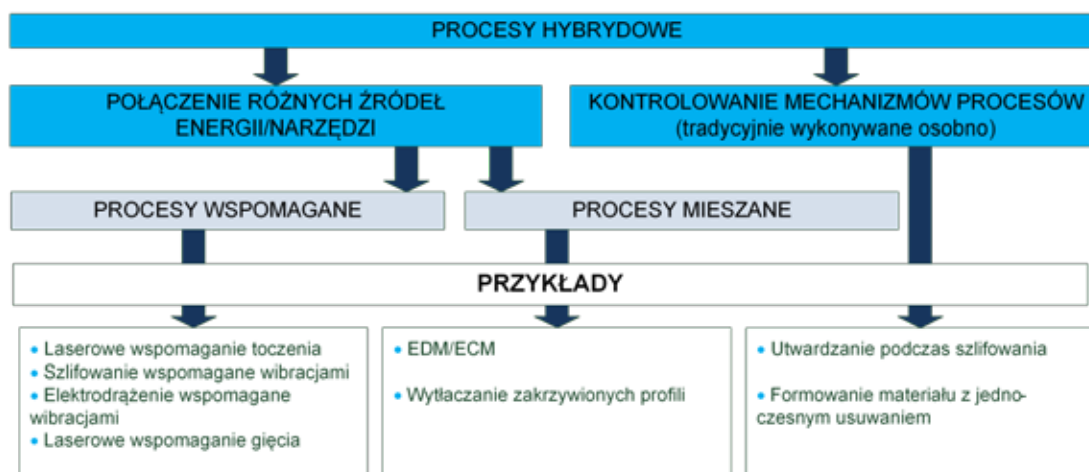
KEYWORDS: machining, hybrid machining, machining assisting processes

gólne procesy zastosowane osobno [14]. Schuh pojęcie „hybrydowy” interpretuje na kilka sposobów:

- połączenie różnych źródeł energii, które działają w tym samym czasie (np. laserowe wspomaganie toczenia),
- maszyny hybrydowe, które łączą różne procesy w obrębie jednej obrabiarki (np. centra tokarsko-frezarskie),
- produkty posiadające strukturę hybrydową, tzn. łączące różne typy materiałów (np. kompozyty metalowo-ceramiczne).

Na rys. 1 przedstawiono klasyfikację procesów hybrydowych wg Lauwersa [8].

Rajurkar [12] określa obróbkę hybrydową, jako kombinację dwóch lub większej liczby procesów w celu usunięcia materiału. Połączenie procesów pozwala zwiększyć korzy-



Rys. 1. Klasyfikacja procesów hybrydowych [9]

Materiałami stosowanymi w przemyśle lotniczym do wytwarzania poszczególnych elementów silników pracujących w wysokich temperaturach są często tzw. stopy żaroodporne HRSA (*Heat Resistant Super Alloy*) na osnowie niklu. Najczęściej zastosowanie znajdują: Inconel 718, Inconel 625, Inconel X-750, a także Waspaloy, ponieważ umożliwiają to właściwości tych materiałów, czyli duża twardość i duża wytrzymałość w wysokiej temperaturze [4, 11]. Niestety, inne właściwości tychże stopów: skłonność do reakcji z narzędziem, skłonność do umacniania się oraz mała przewodność cieplna sprawiają, że stopy te są bardzo trudno skrawalne. Poprawy warunków obróbki trudnoskrawalnych materiałów upatruje się w tzw. procesach hybrydowych. Procesy hybrydowe mają na celu zastosowanie kombinacji procesów w celu uzyskania większej skuteczności i wydajności. Głównym celem hybrydowego wytwarzania jest uzyskanie efektu „1+1=3”, co oznacza, że osiągnięty rezultat przewyższa ponad dwukrotnie poszczególne

ści i jednocześnie zminimalizować wady poszczególnych technik obróbkowych. Kozak [7] podaje, że wydajność procesów hybrydowych powinna być znacząco różna od procesów składowych w sytuacji, gdy są wykonywane oddzielnie. Wg niego procesy hybrydowe można podzielić na dwie zasadnicze kategorie: procesy, w których wszystkie zastosowane procesy składowe są bezpośrednio zaangażowane w usuwanie materiału oraz, w których tylko jeden z procesów odpowiada bezpośrednio za usunięcie materiału, natomiast drugi proces pomaga w usuwaniu materiału poprzez zmianę warunków obróbki.

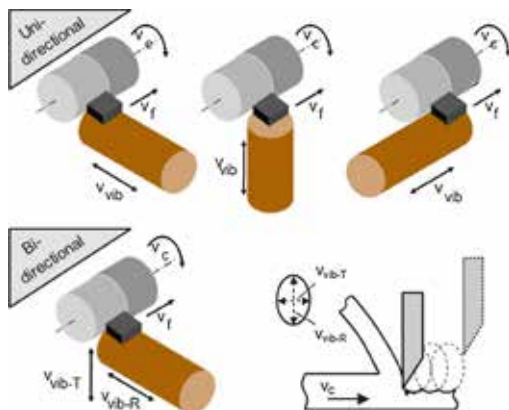
Skrawanie wspomaganie wibracjami (ultradźwiękami)

Wspomaganie skrawania wibracjami wykorzystywane jest podczas toczenia [3], frezowania [9] i wiercenia [10]. W przypadku procesu toczenia, wibracje mogą być zastosowane w jednym kierunku lub w dwóch kierunkach, generując ruch eliptyczny (rys. 2).

Schubert [13] badał wpływ wspomaganie wibracjami toczenia stopu aluminium AA2017. Zastosowanie wspomaganie wibracjami w kierunku skrawania nieznacznie zmie-

* Dr inż. Piotr Szablewski (piotr.szablewski@pwk.com.pl) – Pratt & Whitney Kalisz / PWSZ Kalisz, dr hab. inż. Edmund Weiss (edmund.weiss2@gmail.com) – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Kaliszu, mgr inż. Tadeusz Chwalczuk (tadeusz.chwalczuk@put.poznan.pl) – Politechnika Poznańska

niło strukturę powierzchni obrobionej, ale wartość zmierzzonej chropowatości mieściła się w zakresie wartości, jaką otrzymano podczas obróbki bez wspomaganie wibracjami. Korzystny efekt wspomaganie ultradźwiękami uzyskano podczas toczenia z wibracjami w kierunku promieniowym i w kierunku posuwu. Toczenie z wibracjami w kierunku promieniowym powoduje zmianę głębokości skrawania, co może być pomocne przy łamaniu tworzonego wióra.



Rys. 2. Warianty zastosowania toczenia wspomaganego wibracjami [13]

Laserowe wspomaganie skrawania

Pierwsze zastosowanie laserowego wspomaganie obróbki (LAM – *Laser Assisted Machining*) miało miejsce podczas toczenia hartowanych materiałów. Wiązka laserowa umieszczona na wprost narzędzia skrawającego zmiękczyła obrabiany materiał, w ten sposób usuwanie stało się łatwiejsze. Laserowe wspomaganie toczenia hartowanych stali jest stosowane jako alternatywa dla szlifowania i toczenia konwencjonalnego. Wg badań [5] stosowanie laserowego wspomaganie obróbki pozwala na zwiększenie szybkości usuwania materiału, uzyskuje się lepszą jakość powierzchni obrobionej, rozkład twardości jest bardziej równomierny oraz nie ma zmian mikrostruktury.

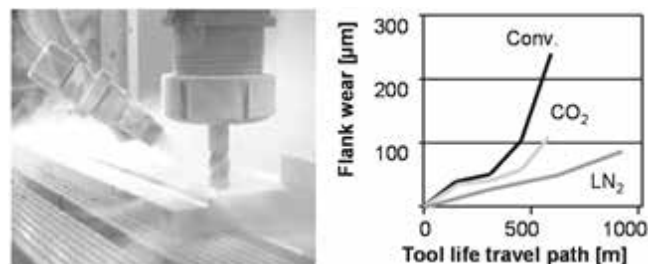
Zalety stosowania LAM do obróbki hartowanych materiałów skłoniły badaczy do podjęcia prób zastosowania tej metody do obróbki stopów na osnowie niklu i stopów tytanu. Attia [1] badał wpływ zastosowania laserowego wspomaganie obróbki na Inconel 718. Jego analizy wykazały pozytywny wpływ tej metody na integralność obrobionej powierzchni. W porównaniu z konwencjonalnym skrawaniem warstwa wierzchnia jest bardziej jednolita. Na powierzchni obrobionej nie pozostają resztki nieusunętego materiału oraz zwiększona strefa odkształcenia plastycznego wskazują na korzystne ściskające naprężenia szczątkowe. Brecher [2] wskazuje na dodatkowe zalety, obniżenie sił skrawania o 40÷60% oraz zwiększenie trwałości ostrzy skrawających umożliwiając tym samym stosowanie większych prędkości skrawania

Chłodzenie kriogeniczne

Chłodzenie ciekłym azotem LN₂ lub dwutlenkiem węgla CO₂ jest powszechnie stosowane do obróbki stopów na osnowie niklu i stopów tytanu. Korzyści wynikające ze stosowania chłodzenia kriogenicznego przedstawia rys. 3. Z jednej strony niska temperatura powoduje większą wytrzymałość materiału obrabianego, ale z drugiej strony wzrasta kilkakrotnie okres trwałości narzędzi skrawających.

Wang [15] informuje o uzyskaniu lepszej chropowatości powierzchni obrobionej stopów tytanu i stopów na osnowie niklu podczas stosowania chłodzenia ciekłym azotem.

W procesie toczenia wykorzystał dwie techniki wspomaganie obróbki: chłodzenie kriogeniczne i wspomaganie strumieniem plazmy, której zadaniem było podniesienie temperatury części obrabianej w celu jej zmiękczenia.



Rys. 3. Chłodzenie kriogeniczne podczas frezowania i wpływ drogi skrawania na zużycie powierzchni przyłożenia podczas toczenia stopu tytanu TiAl6V4 [6]

Podsumowanie

W artykule przedstawiono wybrane procesy hybrydowe, które powstają w wyniku połączenia różnych źródeł energii. Rozwój procesów hybrydowych jest ważny z uwagi na ograniczenia w mechanicznej obróbce stopów trudnoobrabialnych, pomimo ciągłego rozwoju materiałów stosowanych na narzędzia skrawające oraz powłoki przeciwzużyciowe.

LITERATURA

- Attia H., Tavakoli S., Vargas R., Thomson V. „Laser-Assisted High-Speed Finish Turning of Superalloy Inconel 718 Under Dry Conditions”, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 59, 1 (2010): pp. 83÷88.
- Brecher C., Emonts M., Rosen C.J., Hermani J.P. „Laserunterstützte Fräs-bearbeitung”. *WT Werkstattstechnik Online*. Vol. 102 (6), (2012): pp. 353÷356.
- Bulla B., Klocke F., Dambon O., Hüntten M. „Ultrasonic Assisted Diamond Turning of Hardened Steel for Mould Manufacturing”. *Key Engineering Materials* (2012): pp. 437÷442.
- Devillez A., Schneider F., Dominiak S., Dudzinski D., Larrouquere D. „Cutting forces and wear in dry machining of Inconel 718 with coated carbide tools”. *Wear*. Vol. 262 (2007): pp. 931÷942.
- Ding H., Shin Y. „Laser-Assisted Machining of Hardened Steel Parts with Surface Integrity Analysis”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 50 (2009): pp. 106÷114.
- Klocke F., Sangermann H., Kraemer A., Lung A.D. „High Performance Cutting of Difficult-to-Cut Materials Through Targeted Selection of the Lubricoolant Strategy”. *Proceedings of the 9th International Conference on High Speed Machining* (2012).
- Kozak J., Rajurkar K.P. „Hybrid Machining Process Evaluation and Development”. *Proceedings of 2nd International Conference on Machining and Measurements of Sculptured Surfaces*. Kraków (2000): pp. 501÷536.
- Lauwers B., Klocke F., Klink A., Takkaya A.E., Neugebauer R., McIntosh D. „Hybrid processes in manufacturing”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 63 (2014): pp. 561÷583.
- Lian H., Guo Z., Huang Z., Tang Y., Song J. „Experimental Research of Al6061 on Ultrasonic Vibration Assisted Micro-Milling”. *Procedia CIRP*. Vol. 6 (2013): pp. 561÷564.
- Neugebauer R., Stoll A. „Ultrasonic Application in Drilling”. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 149 (1÷3), (2003): pp. 633÷639.
- Rahman M., Seah W.K.H., Teo T.T. „The machinability of Inconel 718”. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 63, 1997, pp. 199÷204.
- Rajurkar K.P., Zhu D., McGeough J.A., Kozak J., DeSilva A. „New Developments in Electro-Chemical Machining”. *Annals of the CIRP*. Vol. 48 (2) 1999, pp. 567÷579.
- Schubert A., Nestler A., Pinternagel S., Zeidler H. „Influence of Ultrasonic Vibration Assistance on the Surface Integrity in Turning of the Aluminium Alloy AA2017”. *Materials Science and Engineering Technology*. Vol. 42(7), 2011, pp. 658÷665.
- Schuh G., Kreysa J., Orilski S. Roadmap „Hybride Produktion”. *Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. Vol. 104(5), 2009, pp. 385÷391.
- Wang Z.Y., Rajurkar K.P. „Cryogenic Machining of Hard-to-Cut Materials”. *Wear*. Vol. 239 (2000): pp. 168÷175.