

Paweł Pieśko, Ireneusz Zagórski ¹⁾

ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD FREZOWANIA HSM, HPC ORAZ FREZOWANIA KONWENCJONALNEGO WYSOKOKRZEMOWYCH STOPÓW ALUMINIUM

Streszczenie: W artykule porównano wyniki obróbki wysokokrzemowych stopów aluminium (stop EN AC- AlSi21CuNi) różnymi metodami frezowania. Stopy aluminium o zawartości Si $> 12\%$ charakteryzują się złą skrawalnością, ze względu na zwiększone zużycie narzędzi. Jest to spowodowane oddziaływaniem na narzędzie wydzielen krzemu, który działa ściernie na narzędzie. Ma to niekorzystny wpływ na proces skrawania, pogarsza jakość i dokładność wykonywanych elementów. Istotne jest więc, aby wybrać odpowiednie parametry oraz metodę obróbki.

Słowa kluczowe: obróbka wysokokrzemowych stopów aluminium, HSM, HPC, zużycie narzędzi, siły skrawania.

WSTĘP

Stopy aluminium charakteryzują się dobrą skrawalnością, różni się ona jednak od skrawalności innych metali. Wymaga to stosowania odmiennych warunków obróbki niż dla stali, żeliwa czy mosiądzu. Wynika to z właściwości stopów aluminium, takich jak duży współczynnik rozszerzalności liniowej (dla stali współczynnik ten jest dwukrotnie mniejszy) oraz mały moduł sprężystości (ok. trzykrotnie mniejszy niż dla stali) [2].

Istnieje bardzo wiele stopów aluminium, dlatego dla ułatwienia doboru warunków obróbki, podzielono je na grupy. Głównymi kryteriami podziału jest zawartość krzemu w stopie, przeprowadzona obróbka cieplna oraz przeznaczenie stopów (do przeróbki plastycznej i odlewnicze) [2, 6, 7]:

- grupa I — stopy o zawartości Si $\leq 2\%$,
- grupa II — stopy o zawartości $2\% < \text{Si} \leq 12\%$,
- grupa III — stopy o zawartości Si $> 12\%$.

Stopy z grupy II są bardzo dobrze skrawalne i nie sprawiają większych trudności w obróbce. Natomiast stopy z grupy I i III są gorzej skrawalne. Pierwsze z nich ze względu na dużą plastyczność oraz skłonność do tworzenia narostu czy wręcz zalepiania rowków wiórowych narzędzi obrotowych. Natomiast podczas obróbki stopów z grupy III, wydzielenia krzemu, powodują zwiększone zużycie narzędzi.

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji.

Do podstawowych problemów technologicznych występujących w procesie skrawania stopów aluminium należy zaliczyć [2]:

- proces powstawania wióra,
- powstawanie przywarć na ostrzu narzędzia skrawającego,
- kształtowanie nierówności powierzchni obrabianej,
- zużycie ostrza,
- temperaturę skrawania,
- siły skrawania.

Istotne jest również zwiększanie wydajności obróbki przedmiotów wykonanych ze stopów aluminium. Ma to szczególne znaczenie dla konstrukcji lotniczych, w których elementy wykonane ze stopów aluminium stanowią nawet 80%, a ubytek masy podczas obróbki sięga 97%. W związku z tym pojawiła się konieczność zastosowania wysokowydajnych metod obróbki takich jak HSM (High Speed Machining) czy HPC (High Performance Cutting).

W poniższym artykule podjęto próbę oceny przydatności poszczególnych metod frezowania (HSM, HPC i obróbki konwencjonalnej) do obróbki odlewniczych wysokokrzemowych stopów aluminium (siluminów wysokokrzemowych). Jako kryteria porównawcze przyjęto kształt wióra, jakość obrobionych powierzchni, zużycie narzędzi, wielkość sił skrawania oraz wydajność obróbki.

OPIS I WYNIKI BADAŃ

W badaniach, jako przedstawiciel grupy siluminów wysokokrzemowych, zastosowany był stop EN AC- AlSi21CuNi , którego skład chemiczny oraz właściwości fizyczne i mechaniczne przedstawiono w tabeli 1. Stop ten wykorzystywany jest głównie na odlewy wysoko obciążonych tłoków silników spalinowych i charakteryzuje się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi w podwyższonych temperaturach, małym współczynnikiem tarcia, dużą odpornością na korozję i ścieranie oraz dobrą lejnością.

Tabela 1. Skład chemiczny i właściwości stopu AlSi21CuNi [1]

Table 1. Chemical composition and properties of the alloy AlSi21CuNi

Oznaczenie i skład chemiczny	PN-EN 1780-2	Cecha	Si	Cu	Ni	Mg	Mn	Cr	Fe	Ti	Zn
	EN AC- AlSi21CuNi	AK20	20-22	1,4-1,5	1,4-1,6	0,4-0,6	0,4-0,6	$\leq 0,7$	$\leq 0,7$	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$
Właściwości fizyczne i mechaniczne	Gęstość	Twardość		Ścieralność w odniesieniu do Al-Cu		Wytrzymałość R_m		Moduł Younga		Liczba Poissona	
	2700 kg/m ³	85-110 HB		0,65		150-190 MPa		82000 MPa		0,26	

W celu porównanie poszczególnych metod obróbki przeprowadzono próby skrawania trzema różnymi frezami (rys.1):

- obróbka konwencjonalna – NFPa $\text{f}20$ HSS $z=4$,

- obróbka HPC – frez składany R390-020B20-11L z płytkami R390-11 T308E-ML,
- obróbka HSM – frez pełnowęglkowy bez pokrycia E5423200.



Rys. 1. Narzędzia zastosowane do obróbki:
a) konwencjonalnej, b) HPC, c) HSM

Dla poszczególnych metod obróbki zastosowano również odmienne parametry skrawania (tabela 2), dobrane na podstawie literatur lub wytycznych producentów narzędzi [4, 6, 7].

Tabela 2. Zestawienia parametrów dla poszczególnych metod obróbki [4, 6, 7]

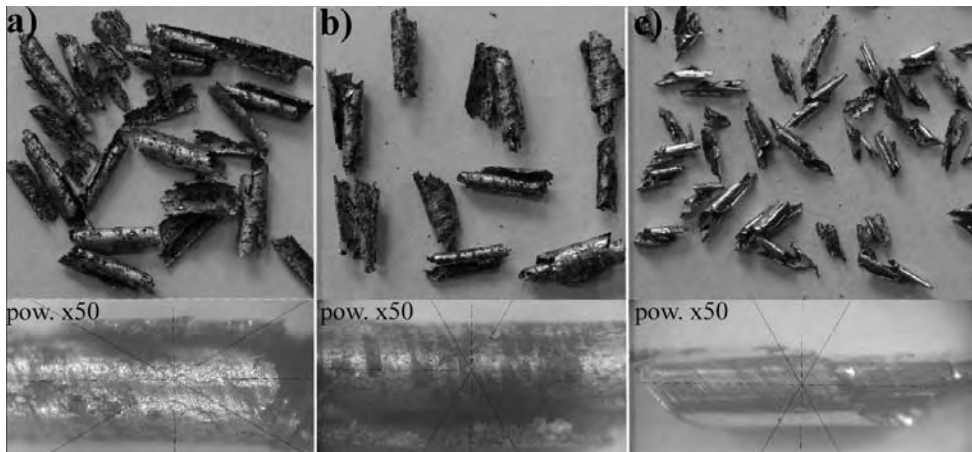
Table 2. Statements of parameters for the different machining methods

Rodzaj narzędzia	Frez trzpieniowy walcowo-czołowy	Frez składany, trzpieniowy walcowo-czołowy	Frez pełnowęglkowy, trzpieniowy walcowo-czołowy, bez pokrycia
Oznaczenie narzędzia	NFPa $\text{f}20$	R390-020B20-11L	E5423200
Materiał części roboczej	HSS	R390-11 T308E-ML	H10F
Ilość ostrzy z	4	2	3
Prędkość skrawania v_c	75 m/min	300 m/min	500 m/min
Prędkość obrotowa n	1194 obr/min	4777 obr/min	7962 obr/min
Posuw na ostrze f_z	0,05 mm/ostrze	0,1 mm/ostrze	0,1 mm/ostrze
Prędkość posuwu v_f	240 mm/min	960 mm/min	2400 mm/min
Głębokość skrawania a_p	6 mm	6 mm	2 mm
Szerokość frezowania a_e	20 mm	20 mm	20 mm

Próby skrawania polegały na obróbce rowka o szerokości 20mm (obróbka pełną średnicą narzędzia) i głębokości 6mm. Docelową głębokość rowka dla frezowania konwencjonalnego i HPC uzyskiwano w jednym przejściu, natomiast dla HSM w trzech przejściach. Łączna długość, dla każdej z metod, wyfrezowanych w ten sposób rowków wyniosła około 3,6m.

Kształt wióra

Kształt wióra, szczególnie dla wysokowydajnych metod obróbki, ma bardzo istotne znaczenie. Ze względu na bardzo dużą ilość materiału usuwanego w trakcie takiej obróbki (rys.6), ważne jest, aby powstający wiór był krótki i łatwo usuwalny ze strefy skrawania. W celu zapewnienia lepszego kształtowania i usuwania wiórów, do obróbki HSM stosuje się narzędzia z polerowanymi rowkami wiórowymi (rys.1c). Zwarty kształt wiórów ułatwia również ich usuwanie z przestrzeni roboczej obrabiarek CNC. W przypadku frezowania, ze względu na przewidywany charakter obróbki, powstające wióry mają z reguły kształt segmentowy. W przeprowadzonych próbach dla obróbki konwencjonalnej (rys.2a) i obróbki HPC (rys.2b) kształt wióra jest zbliżony. Dla obróbki HPC wiór jest jednak bardziej zwarty, (śrubowy zwarty), a jego krawędzie mniej postrzępione niż dla obróbki konwencjonalnej. Powierzchnia kontaktu wióra z powierzchnią natarcia narzędzia w przypadku obróbki konwencjonalnej jest bardzo chropowata. Odwrotnie jest dla obróbki HSM, gdzie jest ona gładka i błyszcząca. Wynika to z jakości wykonania powierzchni natarcia narzędzi. Uwzględniając powyższe kryteria można stwierdzić, iż najbardziej korzystny kształt wióra występuje dla obróbki HSM.

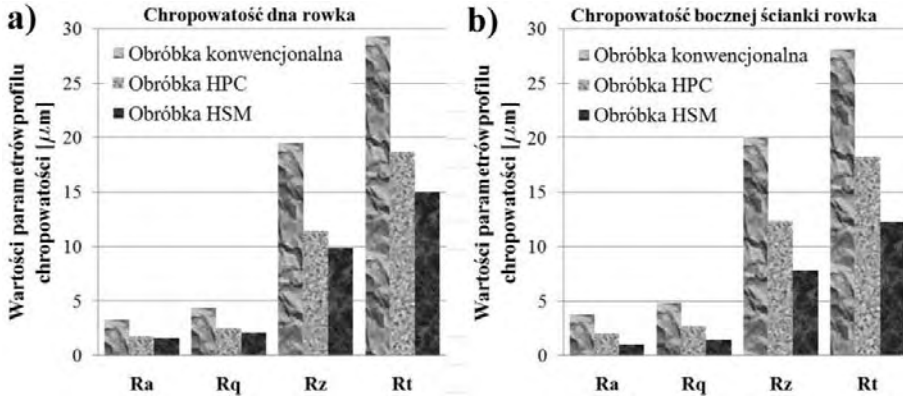


Rys. 2. Kształt wiórów dla obróbki: a) konwencjonalnej, b) HPC, c) HSM

Jakość powierzchni

Na chropowatość powierzchni wpływa wiele czynników m.in. materiał, jakość wykonania oraz geometria ostrza, właściwości materiału obrabianego, stosowane parametry technologiczne i inne. Z parametrów technologicznych, najistotniejszy wpływ na jakość powierzchni ma posuw na ostrze f_z . W mniejszym stopniu wpływa na nią prędkość skrawania v_c . W trakcie badań przeprowadzono

pomiary chropowatości dna frezowanego rowka (rys. 3a) i jego powierzchni bocznej (rys. 3b). W obydwu przypadkach najgorszą jakość powierzchni, pomimo najmniejszego posuwu (co widać w tabeli 2), uzyskano dla obróbki konwencjonalnej. Dla obróbki HPC i HSM, w przypadku pomiarów na dnie rowka, jakość powierzchni jest zbliżona, a dla powierzchni bocznej rowka najniższa jest przy obróbce HSM.



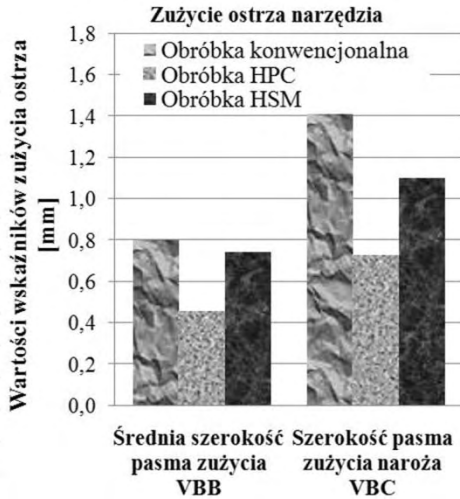
Rys. 3. Chropowatość powierzchni: a) dna rowka, b) powierzchni bocznej rowka

Zużycie narzędzi

Przy skrawaniu stopów aluminium występuje przede wszystkim zużycie ostrza w wyniku starcia na powierzchni przyłożenia [2], dlatego do oceny zużycia przyjęto dwa wskaźniki:

- średnią szerokość pasma zużycia VB_B ,
- szerokość pasma zużycia naroża VB_C .

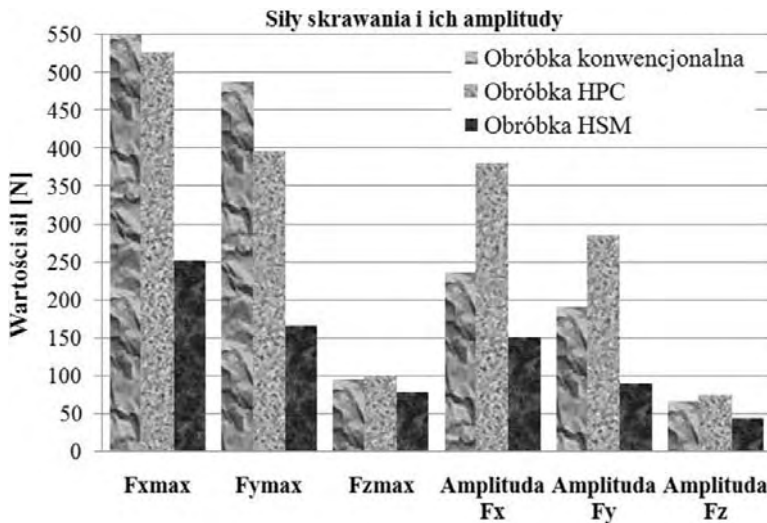
Wartości tych wskaźników, po zakończeniu wszystkich prób (łączna długość wyfrezowanego rowka o przekroju 20x6 mm, dla każdej z metod obróbki, wyniosła 3,6m), dla poszczególnych rodzajów obróbki przedstawiono na rys.4. Największe zużycie zaobserwowano dla obróbki konwencjonalnej, czyli dla narzędzia wykonanego z HSS. Mniejsze zużycie, ale również znaczące, występuje dla obróbki HSM. Wynika to z zastosowanej wysokiej prędkości skrawania. Dla obróbki HPC, gdzie prędkość skrawania jest niższa niż dla HSM, zużycie jest najmniejsze. Mniejsze zużycie narzędzia jest również wynikiem zastosowania płytki wielostrzowej z pokryciem, które spowalnia zużycie ściernie. Jest to szczególnie istotne w przypadku siluminów nadeutektycznych, przy obróbce których wydzielenia krzemu przyspieszają ten rodzaj zużycia. W przypadku obróbki HSM zastosowano frez pełnowęglkowy bez pokrycia, co przyczyniło się do intensyfikacji procesu zużycia ściernego ostrza.



Rys. 4. Wskaźniki zużycia powierzchni przyłożenia narzędzi

Siły skrawania

Wartości oraz amplitudy sił skrawania wpływają na dokładność oraz jakość wykonywanych elementów. Duże siły skrawania powodują przyspieszone zużycie narzędzi oraz układów roboczych obrabiarek. Najwyższa wartość sił skrawania wystąpiła dla obróbki konwencjonalnej, najniższa dla obróbki HSM.



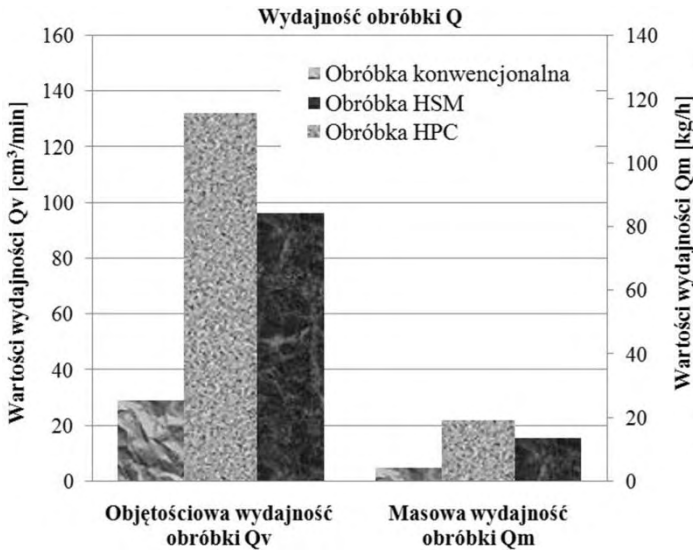
Rys. 5. Wartości maksymalne i amplitudy składowych sił skrawania

Wynika to z mniejszego przekroju warstwy skrawanej oraz wysokiej prędkości skrawania (wzrost prędkości skrawania powoduje spadek sił skrawania). Dla obróbki HPC wartość sił jest zbliżona do obróbki konwencjonalnej. Jednak ampli-

tudy sił, które są wskaźnikiem stabilności procesu, dla tego typu obróbki są najwyższe i przekraczają znacznie wartości dla dwu pozostałych metod frezowania (dla składowych F_x i F_y ok. 40%). Wynika to z geometrii narzędzia zastosowanego do obróbki HPC, głównie z ilości ostrzy $z=2$ (co widać w tabeli 2) i kąta pochylecia linii śrubowej $\lambda_s=5^\circ$ (dla obróbki konwencjonalnej – frez HSS $\lambda_s=30^\circ$, dla obróbki HSM – frez pełnowęglkowy $\lambda_s=35^\circ$). Takie parametry narzędzi niekorzystnie wpływają na stabilność jego pracy, co przejawia się wzrostem amplitud sił skrawania [5].

Wydajność obróbki

Najwyższą wydajność obróbki osiągnięto dla frezowania metodą HPC i była ona bliska $Q_m=20\text{kg/h}$. Przy obróbce metodą HSM uzyskano wydajność na poziomie $Q_m=15\text{kg/h}$. Wydajność obróbki konwencjonalnej jest znacznie niższa w porównaniu do metod HSM (o ok. 70%) i HPC (o ok. 75%). Wyniosła ona niecałe $Q_m=5\text{kg/h}$. Porównanie wartości wydajności objętościowej Q_v i masowej Q_m przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Objętościowa i masowa wydajność obróbki

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań, po uwzględnieniu wszystkich przyjętych kryteriów oceny, wynika, iż najbardziej korzystną metodą obróbki (spośród rozpatrywanych) wysokokrzemowych stopów aluminium, jest frezowanie HPC. Zapewnia ono najwyższą wydajność obróbki i dobrą jakość powierzchni przy jednocześnie najmniejszym zużyciu narzędzia. Wadą tej metody obróbki jest stosunkowo wy-

soka wartość sił skrawania oraz bardzo duże amplitudy tych sił. Przy metodzie HSM uzyskano najmniejsze ich wartości. Wydajność obróbki dla tej metody frezowanie jest również zadawalająca. Jej największą wadą jest wysokie zużycie ostrza narzędzia. W celu polepszenia tego wskaźnika należy zastosować frez pełnowęglkowy z pokryciem (najkorzystniejsze pokrycie PKD) lub zastosować narzędzie z ostrzami z PKD. Frezowanie konwencjonalne, frezami z HSS praktycznie nie nadaje się do obróbki wysokokrzemowych siluminów. Następuje bardzo szybkie zużycie ostrza, co zwiększa wartość generowanych sił i pogarsza jakość obrobionych powierzchni. Również wydajność obróbki jest niezadawalająca i sięga zaledwie 25% wydajności obróbki w porównaniu z metodą HPC.

PIŚMIENNICTWO

1. Dobrzański L. A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
2. Feld M.: Obróbka skrawaniem stopów aluminium. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984.
3. Morek R.: Wpływ wysokowydajnych obróbek na przebieg procesu technologicznego. Design News Polska, listopad 2005.
4. Wołk R.: Normowanie obróbki skrawaniem. Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1972.
5. Pieško P., Kuczmaszewski J.: Analiza wpływu czynnej długości krawędzi skrawającej na wartość i przebieg sił skrawania. IV Szkoła Obróbki Skrawaniem, Łódź 2010.
6. Poradnik CoroGuide. AB Sandvik Coromant, Szwecja 2007.
7. Poradnik Obróbki Skrawaniem. AB Sandvik Coromant, Szwecja 2010.

COMPARATIVE ANALYSIS OF HSM, HPC AND CONVENTIONAL MILLING METHODS OF HIGH-SILICON ALUMINIUM ALLOYS

Summary:

This article compares the results of machining high-silicon aluminium alloy (alloy EN AC- AlSi21CuNi) different methods of milling. Aluminium alloys with content $\text{Si} > 12\%$ have a poor machinability, with regard on increased tool wear. This is due to partial impact on the tool of silicon, which acts on the abrasive tool. This adversely affects the cutting process, compromises the quality and accuracy of performance parts. It is therefore important to select appropriate parameters and the method of machining.

Keywords: machining high-silicon aluminium alloys, HSM, HPC, tool wear, cutting forces.

Praca realizowana w ramach projektu Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.



INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚĆ



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

