

Analiza wpływu prędkości skrawania na odkształcenia po frezowaniu elementów cienkościennych wykonanych ze stopu EN AW-2024

Analysis of cutting speed influence on the deformation of thin-walled elements made of aluminium alloy EN AW-2024 after milling

JÓZEF KUCZMASZEWSKI
PAWEŁ PIEŚKO
MAGDALENA ZAWADA-MICHAŁOWSKA*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.250

Przeanalizowano wpływ prędkości skrawania v_c na wielkość odkształceń powstających po frezowaniu elementów cienkościennych wykonanych ze stopu aluminium EN AW-2024. W wyniku obróbki skrawaniem w warstwie wierzchniej generowany jest określony stan naprężeń własnych. Przy obróbce elementów cienkościennych może to powodować ich odkształcenia postaciowe, a w konsekwencji – niedopuszczalne błędy geometryczne. W badaniach skoncentrowano się na wpływie na te odkształcenia obróbki wykończeniowej, przeprowadzonej z istotnie różną prędkością skrawania, to jest dla $v_c = 200$ m/min oraz $v_c = 1200$ m/min. Zaobserwowano wzrost odkształcenia wraz ze wzrostem prędkości skrawania v_c .

SŁOWA KLUCZOWE: odkształcenia, elementy cienkościenne, stopy aluminium, frezowanie, prędkość skrawania

Analysed is the cutting speed v_c influence on the value of thin-walled elements deformation made of aluminium alloy EN AW-2024 after milling. As a result of machining, a specific state of residual stresses in the surface layer is generated. During machining of thin-walled elements, it may make of non-dilatational strain of parts and consequently unacceptable geometric errors. The focus of the study was to determine finishing operation influence on this deformation, which was performed in significantly different values of cutting speed, that is for $v_c = 200$ m/min and $v_c = 1200$ m/min. It has been observed that the deformation enlarged with the increase of cutting speed v_c .

KEYWORDS: deformation, thin-walled elements, aluminium alloys, milling, cutting speed

Powstające podczas procesu skrawania odkształcenia sprężyste oraz plastyczne elementów cienkościennych sprawiają w przemyśle wiele problemów. Odkształcenia sprężyste prowadzą do powstawania błędów geometrycznych i drgań, negatywnie wpływających na dokładność i jakość powierzchni obrabianych. Deformacje plastyczne są przyczyną występowania błędów kształtu i naprężeń własnych, których następstwem są trwałe zmiany wymiarów i kształtu przedmiotu, a w konsekwencji – dodatkowe koszty związane z wydłużeniem czasu wytwarzania, np. przez konieczność stosowania operacji wyżarzania odprężającego [2–4].

W praktyce przemysłowej minimalizację błędów obróbki skrawaniem elementów cienkościennych uzyskuje się przede wszystkim przez [4, 6]:

- dobór odpowiedniej strategii obróbki,
- optymalizację parametrów technologicznych (zwłaszcza posuwu na ostrze f_z oraz szerokości frezowania a_e).

Dodatkowo wskazana jest obróbka wykończeniowa z naddatkiem wynoszącym $0,1 \pm 0,2$ mm. Zaleca się stosowanie małego współczynnika głębokości skrawania do szerokości a_p/a_e (skraca to czas kontaktu narzędzia z przedmiotem obrabianym), a liczbę przejść warunkuje się przede wszystkim wymiarami ścianki elementu cienkościennego oraz głębokością skrawania a_p [4, 6].

Końcowy stan naprężeń własnych w warstwie wierzchniej po obróbce skrawaniem jest ważny, ponieważ w praktyce często występują sytuacje, w których wielkogabarytowe elementy po usunięciu sił mocujących ulegają znacznym zmianom geometrycznym (ze względu na niewielką sztywność). Odkształcenia mogą wynikać z naprężeń własnych – zarówno wprowadzonych podczas obróbki skrawaniem, jak i w czasie wytwarzania półfabrykatu (efekt historii technologicznej). Wielkość i rodzaj naprężeń powstających podczas procesu skrawania zależą od wielu czynników, m.in.: głębokości skrawania, posuwu, prędkości skrawania, kąta natarcia ostrza, właściwości materiału oraz stopnia zużycia narzędzia skrawającego [1–3].

Metodologia

Celem badań było określenie wpływu prędkości skrawania v_c obróbki wykończeniowej na deformacje powstające po obróbce. Badano stop aluminium EN AW-2024 (oznaczenie z zastosowaniem symboli chemicznych: EN AW-AlCu4Mg1) w stanie T351, którego skład chemiczny przedstawiono w tabl. I.

TABLICA I. Skład chemiczny oraz wybrane właściwości stopu EN AW-2024 [5]

| Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti |
|-----|-----|---------|---------|---------|-----|------|------|
| 0,5 | 0,5 | 3,8+4,9 | 0,3+0,9 | 1,2+1,8 | 0,1 | 0,25 | 0,15 |

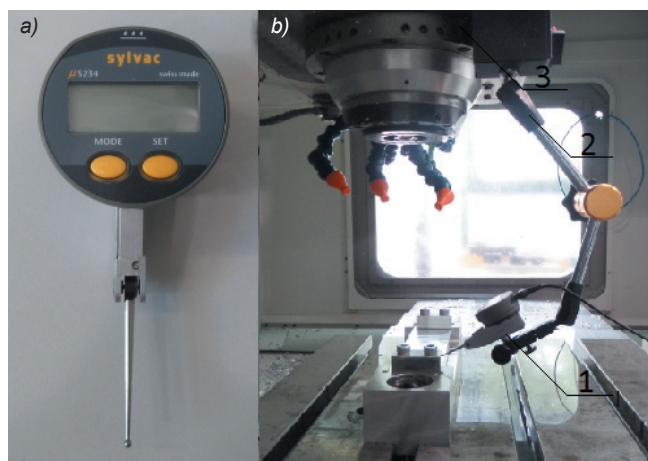
Obróbkę wykonano dwoma frezami walcowo-czołowymi:

- frezem składanym Kennametal 25A03R044B25SED14 z płytkami skrawającymi EDCT140416PDFRLDJ – obróbka zgrubna,
- frezem monolitycznym SGS Solid Carbide Tools 243CB16mm0,1R – obróbka wykończeniowa.

Próby skrawania przeprowadzono na pionowym centrum frezarskim Avia VMC 800 HS. Próbkę umieszczano w specjalnie zaprojektowanym i wykonanym uchwycie, aby zapewnić poprawne mocowanie i ustalenie.

* Prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski (j.kuczmaszewski@pollub.pl), dr inż. Paweł Pieško (p.piesko@pollub.pl), mgr inż. Magdalena Zawada-Michałowska (m_michalowska17@wp.pl) – Politechnika Lubelska

Pomiary odkształceń po obróbce wykonano czujnikiem typu diatest Sylvac CL44 L = 36.5 (1 na rys. 1), który zamocowano w uchwycie magnetycznym (2) i umieszczono na wrzecienniku (3) obrabiarki. Układ połączono z komputerem i z użyciem oprogramowania Syl Connect V1.072 dokonano pomiarów deformacji na całej długości próbek $l = 160$ mm w odstępach co 2,5 mm.



Rys. 1. Czujnik Sylvac CL44 L = 36.5: a) widok ogólny, b) czujnik umieszczony w uchwycie magnetycznym na wrzecienniku obrabiarki Avia VMC 800 HS

Pomiary przeprowadzono pięciokrotnie dla każdej z próbek po ich odmocowaniu. W tabl. II zestawiono wartości parametrów technologicznych dla obróbki zgrubnej i dwóch wersji obróbki wykończeniowej: $v_c = 200$ m/min i $v_c = 1200$ m/min.

TABLICA II. Zastosowane wartości parametrów technologicznych

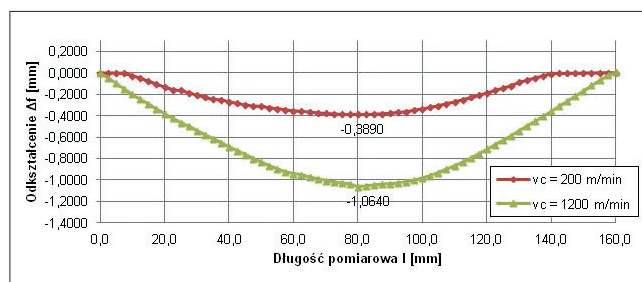
| Parametry technologiczne | $v_c = 200$ m/min | | $v_c = 1200$ m/min | |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | Obróbka zgrubna | Obróbka wykończeniowa | Obróbka zgrubna | Obróbka wykończeniowa |
| a_p , mm | 3,75 ¹⁾ ; 4,7 | 0,2 | 3,7 ¹⁾ ; 4,7 | 0,2 |
| a_e , mm | 18,75 | 12 | 18,75 | 12 |
| v_c , m/min | 1000 | 200 | 1000 | 1200 |
| f_z , mm/ostrze | 0,1 | 0,02 | 0,1 | 0,02 |
| n , obr/min | 12732 | 3979 | 12732 | 23873 |
| v_t , mm/min | 3820 | 239 | 3820 | 1432 |
| l | 4 | 1 | 4 | 1 |

¹⁾ Wartość dla pierwszego przejścia

W obu przypadkach obróbkę zgrubną przeprowadzono przy takich samych parametrach technologicznych, odpowiadających wysokowydajnej technologii obróbkowej HPC (*high performance cutting*).

Wyniki badań

Uzyskane wyniki opracowano i zaprezentowano w formie graficznej (rys. 2). Wartości mierzonych odkształceń bezwzględnych próbek Δf [mm] przedstawiono w funkcji drogi pomiarowej l [mm].



Rys. 2. Odształcenie bezwzględne Δf w funkcji drogi pomiarowej l – dla dwóch zakresów prędkości skrawania obróbki wykończeniowej: $v_c = 200$ m/min i $v_c = 1200$ m/min

W każdym analizowanym przypadku odkształcenie bezwzględne Δf przyjmuje postać ugięcia, którego największa wartość odpowiada długości $l = 80$ mm. Dla obróbki wykończeniowej z prędkością $v_c = 200$ m/min uzyskano wartość deformacji $\Delta f_{\max} = -0,389$ mm, a przy $v_c = 1200$ m/min, $\Delta f_{\max} = -1,064$ mm.

Na podstawie uzyskanych wyników zaobserwowano, że większe wartości odkształcenia bezwzględnego Δf otrzymano dla obróbki wykończeniowej z prędkością $v_c = 1200$ m/min.

Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników eksperymentu można sformułować następujące wnioski:

- W przypadku ścianek o grubości mniejszej od 1 mm zauważono znaczny wzrost odkształceń wynikający z zalegania naprężeń własnych w warstwie wierzchniej materiału.
- Odształcenia elementów cienkościennych rosną wraz ze wzrostem prędkości skrawania v_c w obróbce wykończeniowej.
- Odształcenia uzyskane w przypadku obróbki wykończeniowej z prędkością $v_c = 1200$ m/min są prawie trzykrotnie wyższe niż w przypadku $v_c = 200$ m/min.
- W procesie skrawania elementów cienkościennych obróbka wykończeniowa z prędkością $v_c = 200$ m/min dzięki delikatnemu usuwaniu zalegających naprężeń własnych oraz minimalizacji generowanych naprężeń obróbkowych ma pozytywny wpływ na zmniejszenie odkształceń.
- W każdym z badanych elementów największe ugięcie uzyskano w środkowej części próbki (przy $l = 80$ mm), co wynika z największej odległości tego miejsca od punktów utwardzenia obrabianego elementu cienkościennego.

Można stwierdzić, że prędkość skrawania w znaczący sposób wpływa na powstające odkształcenia poobróbkowe badanego stopu aluminium EN AW-2024.

LITERATURA

1. Arasimowicz A., Nowicki B., Podolak-Lejtas A. „Pomiar naprężeń własnych metodą usuwania warstw przez docieranie po obróbce EDM i kulowaniu strumieniowym”. *Inżynieria Maszyn*. R. 16, z. 3 (2011): s. 112-118.
2. Kuczmaszewski J., Zaleski K. (red.) „Obróbka skrawaniem stopów aluminium i magnezu”. Lublin: Politechnika Lubelska, 2015.
3. Senczyk D. „Naprężenia własne. Wstęp do generowania, sterowania i wykorzystania”. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1996.
4. Zębała W. „Minimalizacja błędów obróbki przedmiotów cienkościennych”. *Inżynieria Maszyn*. R. 15, z. 3 (2010): s. 45-54.
5. PN-EN 573-3:2010. Aluminium i stopy aluminium. Skład chemiczny i rodzaje wyrobów przerobionych plastycznie. Część 3: Skład chemiczny i rodzaje wyrobów.
6. www.sandvik.coromant.com/ (dostęp: 15.04.2016 r.).