

Wpływ kąta wierzchołkowego wiertła na siły skrawania podczas wiercenia stopu aluminium

Influence of included drill angle on cutting forces during drilling of aluminum alloy

PAWEŁ PIEŚKO
MAGDALENA WOŹNIAK
MAGDALENA ZAWADA-MICHAŁOWSKA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.105>

Przedstawiono analizę wpływu geometrii wiertła krętego, a zwłaszcza kąta $2\kappa_r$, na siły skrawania podczas wiercenia otworów w elemencie wykonanym ze stopu aluminium do obróbki plastycznej EN AW-2024. Dodatkowo badano wpływ zastosowania korekcji geometrii wiertła na wartości sił skrawania. W trakcie prób mierzono wartości składowych F_x , F_y i F_z siły skrawania dla narzędzi o różnej geometrii, przy założonych, zmiennych parametrach technologicznych, tj. posuwie f i prędkości skrawania v_c . Szczegółowej analizie poddano zmiany wartości składowej osiowej F_z . Stwierdzono, że stosowanie wiertel z kątem $2\kappa_r < 100^\circ$ jest niekorzystne ze względu na znaczną wartość siły osiowej F_z oraz jej dużą amplitudę. Również brak korekcji wiertła przekłada się na wzrost wartości siły osiowej F_z i jej amplitudy.

SŁOWA KLUCZOWE: wiercenie, siły skrawania, stop aluminium, geometria wiertła

The paper presents the analysis of the influence of the twist drill geometry, in particular the $2\kappa_r$ angle, on the cutting forces during holes drilling in the element made of aluminum alloy for plastic forming EN AW-2024. In addition, the impact of the application of the drill geometry correction on the values of cutting forces was also investigated. During the tests, the values of components F_x , F_y and F_z of the cutting force for tools with different geometry with the set, variable technological parameters, i.e.: feed f and cutting speed v_c were measured. The changes in the value of the axial component F_z were analyzed in detail. It was found that the use of drills with an angle of $2\kappa_r < 100^\circ$, due to the significant value of the axial force F_z and high amplitude is unfavorable. Also, the lack of drill correction translates into an increase in the value of the axial force F_z and its amplitude.

KEYWORDS: drilling, cutting forces, aluminum alloy, drill geometry

Obróbka otworów jest jednym z najczęściej wykonywanych zabiegów technologicznych i w związku z tym wiertła kręte są popularnymi narzędziami skrawającymi. Wiercone otwory mają średnice w zakresie od setnych części do nawet kilkuset milimetrów, przy czym za pomocą wiertel krętych zazwyczaj wykonuje się otwory do 100 mm [4, 6, 10]. Należy podkreślić, że wiercenie w porównaniu z innymi metodami obróbki przebiega w stosunkowo trudnych warunkach, ponieważ [11, 13]:

- obciążenie krawędzi skrawającej jest duże;
- wiertła mają względnie małą sztywność na zginanie i skręcanie;
- prędkość skrawania zmienia się od największej na zewnętrznej średnicy do zera w osi wiertła;

- odprowadzanie wiórów, zwłaszcza w długich otworach, jest utrudnione;
- ciecz obróbkowa ma utrudniony dostęp do strefy skrawania.

Wartość siły skrawania w trakcie wiercenia zależy od wielu czynników, m.in. od [1, 2]:

- właściwości materiału obrabianego,
- stosowanych parametrów technologicznych,
- długości poprzecznej krawędzi skrawającej (ściny),
- wielkości kąta wierzchołkowego $2\kappa_r$,
- kąta pochylenia linii śrubowej λ'_s .

W literaturze wpływ kąta wierzchołkowego $2\kappa_r$ na wartość siły osiowej nie jest jednoznacznie określony. Według niektórych autorów i wyników prac badawczych [1, 3] zwiększenie tego kąta powoduje wzrost wartości siły osiowej. Wyniki innych prac [5, 12] są przeciwne. Wydaje się, że decydujące znaczenie ma rodzaj obrabianego materiału [1, 11]. Zwiększenie kąta λ'_s powoduje wzrost kąta natarcia, co przekłada się na zmniejszenie oporów skrawania i tym samym siły osiowej.

Na wartość siły osiowej wpływają również kształt powierzchni przyłożenia [14] oraz geometria poprzecznej krawędzi skrawającej (ściny) [1, 11], która charakteryzuje się ujemnymi wartościami kąta natarcia o bardzo dużych wartościach bezwzględnych (do -60°), a to się przekłada na powstawanie bardzo dużej siły osiowej. Dlatego często stosuje się korekcję geometrii wiertła, polegającą na skróceniu lub usunięciu ściny (tabl. I) [7, 8, 11].

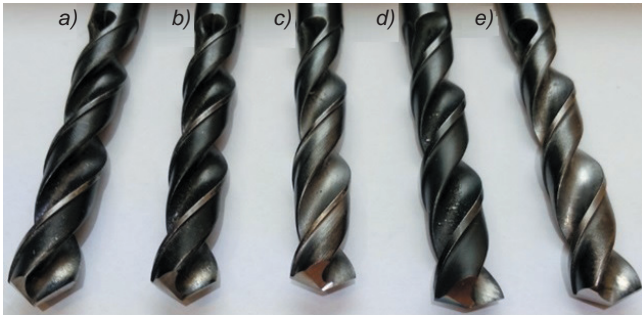
TABLICA I. Typy ostrzenia wiertel (zgodnie z DIN 1412) [7]

Forma N	Forma A	Forma B	Forma C	Forma D	Forma E	Forma M
<p>N – zaszlifowana powierzchnia stożkowa A – zaszlifowana powierzchnia stożkowa ze skróceniem ostrza prostopadłego – typ A B – zaszlifowana powierzchnia stożkowa ze skróceniem ostrza prostopadłego z korekcją ściny – typ B C – zaszlifowana powierzchnia stożkowa ze skróceniem ostrza prostopadłego – typ C D – zaszlifowana powierzchnia stożkowa, ostrze łamane – typ D E – ostrzenie z kątem czoła 180° oraz ostrzem osiowym – typ E M – mikrowiertła</p>						

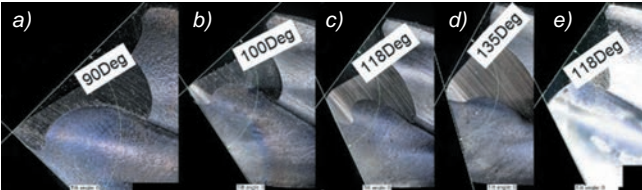
Metodyka

Ocenie poddano wpływ wartości podwójnego kąta przystawienia $2\kappa_r$ (kąta wierzchołkowego) oraz braku lub zastosowania korekcji typu C (zgodnie z DIN 1412) na

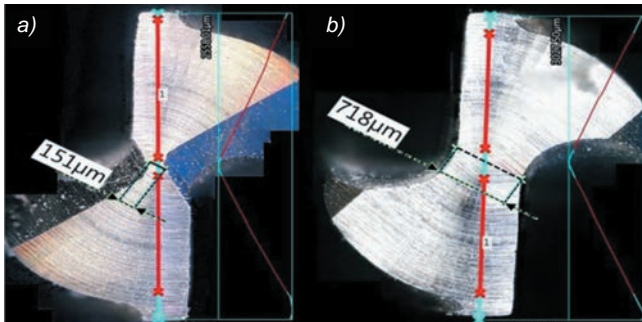
* Dr inż. Paweł Pieško (p.piesko@pollub.pl), inż. Magdalena Woźniak, mgr inż. Magdalena Zawada-Michałowska (m.michalowska@pollub.pl) – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej



Rys. 1. Wierćta zastosowane w badaniach: a) $2\kappa_r = 90^\circ$, korekcja C; b) $2\kappa_r = 100^\circ$, korekcja C; c) $2\kappa_r = 118^\circ$, korekcja C; d) $2\kappa_r = 135^\circ$, korekcja C; e) $2\kappa_r = 118^\circ$, bez korekcji



Rys. 2. Zmierzone wartości kąta wierzchołkowego $2\kappa_r$: a) 90° , korekcja C; b) 100° , korekcja C; c) 118° , korekcja C; d) 135° , korekcja C; e) 118° , bez korekcji



Rys. 3. Długość krawędzi przejściowej dla wierćta: a) z korekcją typu C; b) bez korekcji

TABLICA II. Stosowane parametry technologiczne

Nr próby	Prędkość skrawania v_c , m/min	Posuw f , mm/obr
1	60	0,12
2	60	0,14
3	60	0,16
4	60	0,18
5	60	0,20
6	40	0,16
7	50	0,16
8	70	0,16
9	80	0,16

wartości składowej osiowej F_z siły skrawania. W ramach badań wykonywano próby wiercenia wierćkami krętymi NWKa (DIN 338 RN) o średnicy 9 mm (rys. 1).

Wartości kąta $2\kappa_r$ zmieniano w zakresie 90° – 135° . Aby uzyskać wymaganą geometrię, wierćta szlifowano na ostrzałce firmy Cormak, a następnie wykonano ich pomiary. Zmierzone wartości kąta wierzchołkowego przedstawiono na rys. 2. Dla wierćek ze standardowym kątem $2\kappa_r = 118^\circ$ zmierzono również długość krawędzi przejściowej (ściny), z korekcją (rys. 3a) i bez korekcji (rys. 3b). Zastosowanie korekcji pozwoliło na ponad czterokrotne zmniejszenie długości ściny, co przełożyło się na obniżenie siły skrawania.

W trakcie prób wiercenia stosowano zmienne parametry obróbki – ich wartości zestawiono w tabl. II.

Otwory wiercono w płycie o grubości 10 mm, wykonanej ze stopu aluminium do obróbki plastycznej EN AW-2024 T351 – skład chemiczny i wybrane właściwości mechaniczne tego materiału podano w tabl. III.

TABLICA III. Skład chemiczny i wybrane właściwości mechaniczne stopu EN AW-2024 [9]

Stężenie pierwiastków, %								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Inne
0+0,5	0+0,5	3,8+4,9	0,3+0,9	1,2+1,8	0+0,1	0+0,25	0+0,15	0+0,15
Wybrane właściwości mechaniczne								
Gęstość ρ , g/cm ³	Moduł Younga E , GPa	Wytrzymałość na rozciąganie R_m , MPa	Umowna granica plastyczności $R_{p0,2}$, MPa	Twardość Brinella HB				
2,78	73	430	290	122				

Próby wykonano na pionowym centrum frezarskim FV-580A. Do pomiaru sił skrawania wykorzystano zestaw firmy Kistler składający się z:

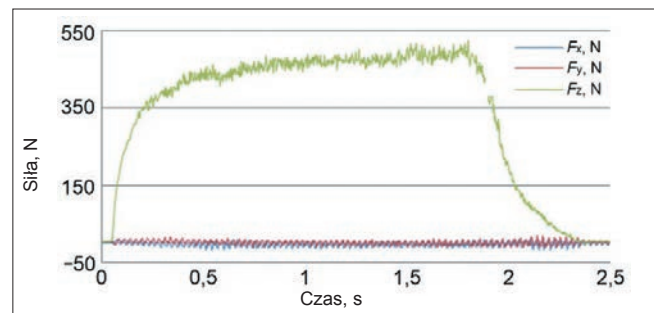
- siłomierza piezoelektrycznego 9257B,
- czterokanałowego wzmacniacza ładunku 5070,
- modułu DAQ z wbudowaną kartą A/D,
- oprogramowania DynoWare, pozwalającego na akwizycję i analizę danych.

Pomiary siły skrawania powtórzono cztery razy. Dodatkowo monitorowano stan zużycia ostrzy skrawających.

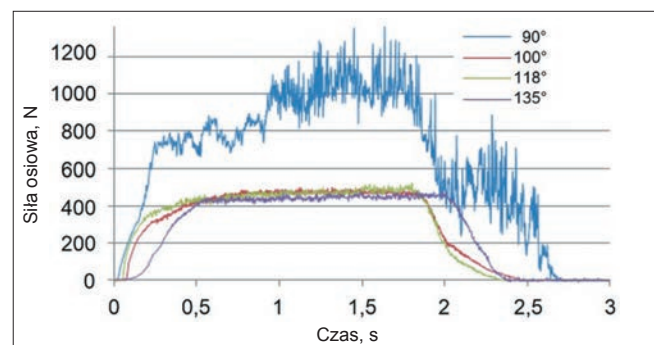
Wyniki badań

Wykonane pomiary pozwoliły na wyznaczenie przebiegów czasowych składowych F_x , F_y , F_z siły skrawania. Przykładowy wykres takiego przebiegu dla $v_c = 60$ m/min i $f = 0,16$ mm/obr przedstawiono na rys. 4. Po analizie wyników pomiarów stwierdzono, że wartości składowych F_x i F_y stanowią ok. 3–10% wartości składowej osiowej F_z , dlatego na kolejnych etapach badań skoncentrowano się na ocenie tej siły. W niektórych przypadkach zaobserwowano nieznaczny wzrost wartości składowych F_x i F_y w końcowej fazie wykonywania otworu, tj. w momencie wychodzenia wierćta z materiału.

Na rys. 5 przedstawiono przebiegi czasowe składowej osiowej F_z przy $v_c = 60$ m/min i $f = 0,16$ mm/obr dla czterech wierćek o kącie $2\kappa_r$ z przedziału od 90° do 135° .



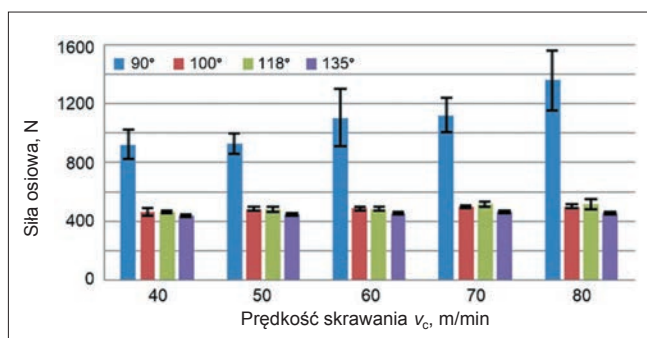
Rys. 4. Składowe F_x , F_y , F_z siły skrawania. Parametry obróbki: $v_c = 60$ m/min, $f = 0,16$ mm/obr



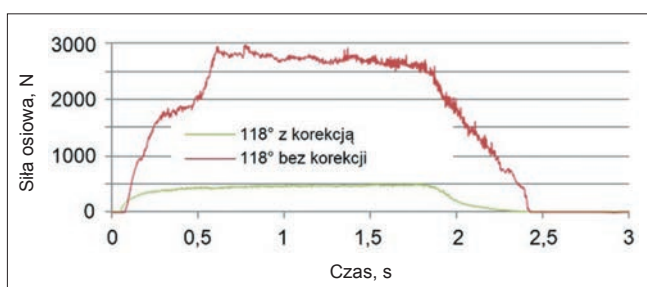
Rys. 5. Przebiegi czasowe składowej osiowej F_z dla wierćek o różnych kątach $2\kappa_r$. Parametry obróbki: $v_c = 60$ m/min, $f = 0,16$ mm/obr

Dla wiertel z kątami $2\kappa_r$ w zakresie od 100° do 135° zmierzone wartości siły osiowej mają zbliżone wartości i wahają się od 420 do 480 N. Dla wiertła o kącie $2\kappa_r = 90^\circ$ wartość składowej F_z jest ponad dwukrotnie większa, a ponadto przebieg czasowy dla tego wiertła, w odróżnieniu od pozostałych, jest bardzo niestabilny. Zmiany wartości składowej F_z mają znaczną amplitudę, co znajduje odzwierciedlenie w odchyleniach standardowych widocznych na rys. 6.

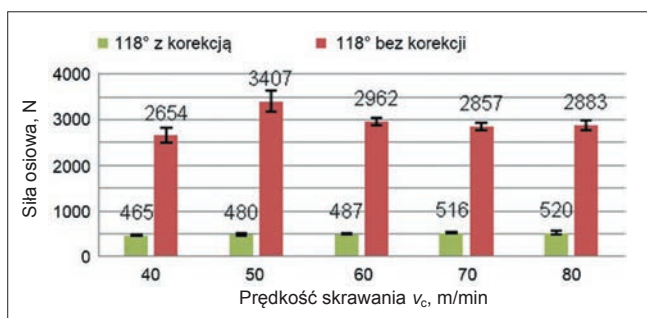
W przebadanym zakresie prędkości skrawania dla wiertła o kącie $2\kappa_r = 90^\circ$ wartość składowej F_z rośnie wraz ze wzrostem prędkości. Dla pozostałych wiertel wartość składowej osiowej przy zmianie prędkości skrawania utrzymuje się na podobnym poziomie, przy czym najmniejsze jej wartości uzyskano dla wiertła o kącie $2\kappa_r = 135^\circ$. Należy jednak podkreślić, że dla tego wiertła wartości składowej F_z są mniejsze – w porównaniu z wiertłami o kącie $2\kappa_r = 100^\circ$ i $2\kappa_r = 118^\circ$ – o niecałe 10%. Jednocześnie z tych trzech wiertel największe wartości siły osiowej otrzymano dla wiertła ze standardowym (handlowym) kątem $2\kappa_r = 118^\circ$. Dla wiertła o takim kącie zbadano wpływ korekcji jego geometrii na wartość składowej F_z . Przebiegi czasowe tej składowej przy $v_c = 60$ m/min i $f = 0,16$ mm/obr dla wiertła z korekcją i bez korekcji przedstawiono na rys. 7.



Rys. 6. Wartości składowej osiowej F_z w funkcji prędkości skrawania v_c dla wiertel o różnych kątach $2\kappa_r$.



Rys. 7. Przebiegi czasowe składowej osiowej F_z dla wiertel z korekcją i bez korekcji. Parametry obróbki: $v_c = 60$ m/min, $f = 0,16$ mm/obr



Rys. 8. Wartości składowej osiowej F_z w funkcji prędkości skrawania v_c dla wiertel z korekcją i bez korekcji

Zgodnie z danymi przedstawionymi na rys. 8 wartości składowej F_z są ponad sześciokrotnie większe dla wiertła bez korekcji (w porównaniu z wiertłem z korekcją). Największe różnice (ok. siedmiokrotne) wartości siły osiowej dla wiertel z korekcją i bez korekcji uzyskano dla prędkości skrawania $v_c = 50$ m/min. W przypadku wiertła bez korekcji dla tej prędkości zmierzona wartość siły osiągnęła największą wartość.

Analizując wartości odchylenia standardowego oraz przebiegi czasowe sił, można stwierdzić, że obróbka wiertłem bez korekcji jest mniej stabilna.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwalają sformułować następujące wnioski:

- Stosowanie do obróbki stopów aluminium wiertel z kątem $2\kappa_r < 100^\circ$ jest niekorzystne ze względu na znaczną wartość siły osiowej oraz jej dużą amplitudę.
- Zgodnie z informacjami zawartymi w literaturze najmniejsze wartości siły osiowej uzyskano dla największego ze stosowanych kątów wierzchołkowych $2\kappa_r = 135^\circ$.
- Wartość siły osiowej dla kąta $2\kappa_r = 135^\circ$ jest tylko nieznacznie większa (o ok. 10%) w porównaniu z wiertłami o kątach $2\kappa_r = 100^\circ$ i $2\kappa_r = 118^\circ$. Należy więc przyjąć, że w przypadku wiercenia w stopie AW-2024 kąt $2\kappa_r$ może się zawierać w zakresie od 100° do 135° i nie wpływa istotnie na wartość siły osiowej.
- Dla kąta $2\kappa_r = 90^\circ$ wartość siły osiowej jest ponad dwukrotnie większa niż dla pozostałych wiertel oraz ma najbardziej niestabilny przebieg.
- Brak korekcji wiertła również przekłada się na wzrost wartości i amplitudy siły osiowej, co jest niekorzystne dla procesu wiercenia.
- Wartość siły osiowej dla wiertła bez korekcji jest ponad sześciokrotnie większa niż dla wiertła z korekcją.

LITERATURA

1. Brodowicz W. „Skrawanie i narzędzia. Podręcznik dla technikum”. Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1993.
2. Dul-Korzyńska B. „Obróbka skrawaniem i narzędzia”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2009.
3. Feito N., Díaz-Álvarez J., Díaz-Álvarez A., Cantero J.L., Miguélez M.H. “Experimental analysis of the influence of drill point angle and wear on the drilling of woven CFRPs”. *Materials*. 7, 6 (2014): s. 4258–4271.
4. Górski E. „Wiercenie, rozwiercanie i pogłębianie otworów”. *Poradnik Inżyniera. Obróbka skrawaniem. T.1*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1991.
5. Jadhav S.S., Kakde A.S., Patil N.G., Sankpal J.B. “Effect of cutting parameters, point angle and reinforcement percentage on surface finish, in drilling of AL6061/Al2O3p MMC”. *Procedia Manufacturing*. 20 (2018): s. 2–11.
6. Kudła L. „Wpływ niewspółosiowości wiertła i wrzeczona na proces wiercenia mikrootworów”. *Mechanik*. 7 (1998): s. 447–450.
7. Materiały informacyjne firmy RONAR.
8. Materiały informacyjne firmy Wiertła BILDON.
9. PN-EN 573-3:2010 Aluminium i stopy aluminium – Skład chemiczny i rodzaje wyrobów przerobionych plastycznie – Część 3: Skład chemiczny.
10. Oczóś K.E. „Obróbka otworów – osiągnięcia w zakresie wiercenia i drażenia. Cz. 1. Technika wiercenia mechanicznego”. *Mechanik*. 5–6 (1997): s. 175–187.
11. Olszak W. „Obróbka skrawaniem”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2008.
12. Satoshi E. “Effects of twist drill point geometry on torque and thrust”. *Sci. Rep. Fac. Educ. Gifu Unive. (Nat. Sci.)*. 36 (2012): s. 165–174.
13. Zaleski K., Matuszak J. „Podstawy obróbki ubytkowej”. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2016.
14. Zhu Z. “Evaluation of novel tool geometries in dry drilling aluminium 2024-T351/titanium Ti6Al4V stack”. *Journal of Materials Processing Technology*. 259 (2018): s. 270–281.