

Wpływ wybranych warunków skrawania na siłę i moment podczas wiercenia żeliwa szarego

Influence of selected cutting conditions on torque and cutting force during drilling of gray cast iron

EDWARD MIKO
ŁUKASZ NOWAKOWSKI
MICHAŁ SKRZYNIARZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.126>

Przeanalizowano wpływ wybranych parametrów skrawania (prędkości i posuwu) na moment i siłę skrawania podczas wiercenia żeliwa EN-GJL-250. Operacja wiercenia została wykonana wiertłem składanym firmy Allied Machine z serii DEM22000S-20FM, na pionowym centrum frezarskim Hermle B300. Pomiar momentu i siły skrawania podczas wiercenia przeprowadzono siłomierzem firmy Kistler.

SŁOWA KLUCZOWE: moment i siła skrawania, wiercenie, wiertła składane, żeliwo szare

The impact of selected cutting parameters (cutting speed and cutting feed) on the torque and cutting force during drilling gray cast iron EN-GJL-250 was analyzed. The drilling operation was carried out by Allied Machine drill series: DEM22000S-20FM, on the Hermle B300 vertical milling center. The measurement of the torque and the cutting forces during drilling was carried out by Kistler device.

KEYWORDS: torque and cutting force, drilling, insert drill, grey cast iron

Wiercenie jest najwydajniejszą metodą kształtowania otworów w porównaniu np. z frezowaniem i toczeniem. Otwory wykonuje się wiertłami monolitycznymi lub składanymi. Podczas procesu obserwuje się oddziaływanie sił i momentu skrawania na przedmiot obrabiany oraz bezpośrednio na narzędzie, a w rezultacie – na wrzeciono maszyny. Istnieje graniczna średnica dla danej geometrii wiertła ze względu na obciążenie wrzeciona maszyny oraz ze względu na właściwości wytrzymałościowe materiału przedmiotu obrabianego, w przypadku którego jest możliwe wykonanie otworu w pełnym materiale. Aby zredukować obciążenie wrzeciona, najczęściej wykonuje się otwory o mniejszych średnicach, a następnie w operacji powiercenia powstaje otwór o większej średnicy [1].

Dodatkowo należy uwzględnić sposób mocowania materiału. Przy zastosowaniu uchwytów trój- lub sześciopalcowych samocentrujących istnieje niebezpieczeństwo obrócenia lub wepchnięcia przedmiotu obrabianego w uchwycie mocującym. Ze względu na to podczas prób wiertarskich istnieje potrzeba monitorowania siły i momentu skrawania.

Na wartość momentu i siły skrawania mają wpływ: parametry skrawania (tj. prędkość skrawania, posuw), a także geometria wiertła, jego zużycie oraz właściwości obrabianego materiału [2, 3]. Zużycie jest uzależnione od ilości generowanego ciepła w procesie skrawania jako korelacja czynników tarcia i siły skrawania [4].

Do obniżenia temperatury w strefie skrawania stosuje się cieczy chłodziwo-smarujące [5]. Mają one usuwać wióry z rowków wiórowych, eliminować powstawanie narostu na ostrzu narzędzia, zmniejszać współczynnik tarcia oraz odprowadzać ciepło ze strefy skrawania [6].

Dodatkowym zjawiskiem występującym podczas wykonywania otworów przelotowych jest powstawanie wypłytki [7].

Wszystkie wymienione czynniki wpływają na produktywność procesu, żywotność narzędzi, dokładność wymiarowo-kształtową [8, 9] oraz parametry struktury geometrycznej powierzchni wytwarzanych przedmiotów [10, 11].

Metodyka badań

Celem badań było określenie wpływu parametrów skrawania – tj. prędkości skrawania v_c oraz posuwu f_n – na moment skrawania M_c i siłę posuwową F_f . Dodatkowo porównano charakterystykę przebiegu momentu i siły skrawania dla wiercenia otworu:

- bez podawania cieczy chłodziwo-smarującej,
- z zastosowaniem cieczy podawanej w sposób zalewowy,
- z chłodzeniem przez narzędzie pod ciśnieniem 40 bar.

Wartości parametrów obróbki zostały dobrane na podstawie zaleceń producenta i dodatkowo rozszerzone. Zakres wartości posuwowej był dobrany w przedziale od 0,15 do 0,25 mm/obr z przyrostem 0,01 mm/obr. Prędkość skrawania zmieniała się w zakresie od 60 do 110 m/min z krokiem co 5 m/min. Badania przeprowadzono na pionowym centrum frezarskim Hermle B300.



Rys. 1. Stanowisko do pomiaru momentu i siły skrawania podczas wiercenia

* Dr hab. inż. Edward Miko (emiko@tu.kielce.pl), dr inż. Łukasz Nowakowski (lukasn@tu.kielce.pl), mgr inż. Michał Skrzyniarz (mskrzyniarz@tu.kielce.pl) – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii Politechniki Świętokrzyskiej

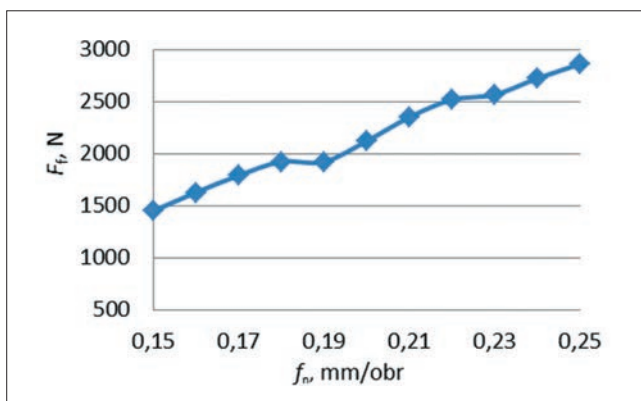
Wiercenie realizowano składanym wiertłem firmy Allied Machnie DEM22000S-20FM, wyposażonym w płytkę 450H-14 o średnicy $\varnothing 14$ mm, z kątem $\lambda_s = 0^\circ$. Płytkę o kącie wierzchołkowym 138° wykonano z materiału HSS, pokryto firmową powłoką Super Cobalt AM200. Za pomocą siłomierza wiertarskiego Kistler 8152A1 badano moment skrawania oraz siłę posuwową.

Na rys. 1 przedstawiono stanowisko badawcze wykorzystane podczas eksperymentu. Dla wszystkich prób wyznaczono maksymalne wartości momentu i siły skrawania. Materiałem obrabianym była próbka w kształcie cylindra o średnicy $\varnothing 23$ mm i wysokości 25 mm, wykonana z żeliwa EN-GJL-250 ($R_m = 250 \div 350$ MPa, $180 \div 220$ HB) z grafitem w postaci płatkowej.

Wyniki badań

Na rys. 2 przedstawiono wpływ posuwu na obrót na maksymalną siłę posuwową. Z wykresu wynika, że siła skrawania wzrasta wraz z wartością posuwu. Jest to spowodowane zwiększeniem przekroju poprzecznego wióra, który jest kształtowany podczas jednego obrotu narzędzia skrawającego, oraz ze zwiększeniem długości, na której wiertło oddziałuje w sposób plastyczny na materiał podczas jednego obrotu.

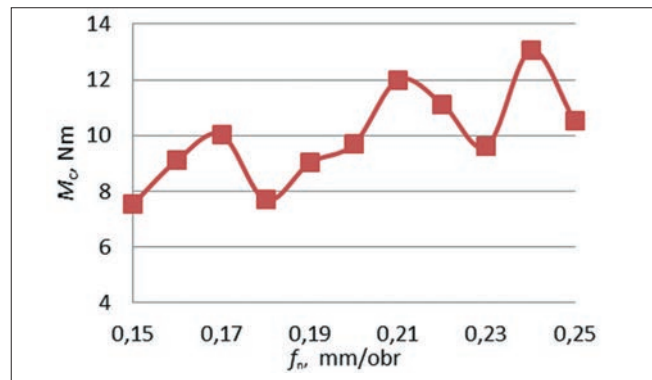
Minimalną wartość siły posuwowej zanotowano dla posuwu $f_n = 0,15$ mm/obr i wyniosła ona $F_f = 1355$ N, natomiast dla posuwu $f_n = 0,25$ mm/obr wartość siły wzrosła prawie dwukrotnie: $F_f = 2862$ N. Prędkość skrawania była ustalona na stałym poziomie $v_c = 85$ m/min.



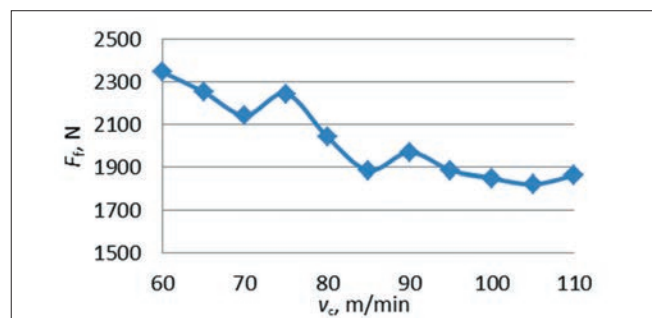
Rys. 2. Wartość siły posuwowej F_f w funkcji posuwu na obrót f_n dla prędkości skrawania $v_c = 85$ m/min

Na rys. 3 zaprezentowano wpływ momentu skrawania w funkcji posuwu na obrót. W tym przypadku również występuje trend wzrostowy momentu skrawania wraz ze zwiększaniem posuwu. W niektórych przypadkach zanotowano spadek wartości momentu skrawania wraz ze wzrostem posuwu. Może to być spowodowane niejednorodną strukturą materiału. Najmniejszą wartość momentu, $M_c = 7,4$ Nm, zanotowano dla próby wykonanej z posuwem $f_n = 0,15$ mm/obr, natomiast największą wartość $M_c = 13$ Nm uzyskano dla $f_n = 0,24$ mm/obr.

Na rys. 4 przedstawiono wpływ prędkości skrawania na wartość siły posuwowej podczas wiercenia. Z wykresu wynika, że siła posuwowa ma tendencję malejącą wraz ze wzrostem prędkości skrawania, co wynika ze zwiększenia dynamiki procesu. Próby skrawania były realizowane ze stałym posuwem $f_n = 0,2$ mm/obr. Największą wartość odnotowano dla $v_c = 60$ m/min i wyniosła ona $F_f = 2348$ N, natomiast najmniejszą wartość, $F_f = 1824$ N, odnotowano dla $v_c = 105$ m/min.

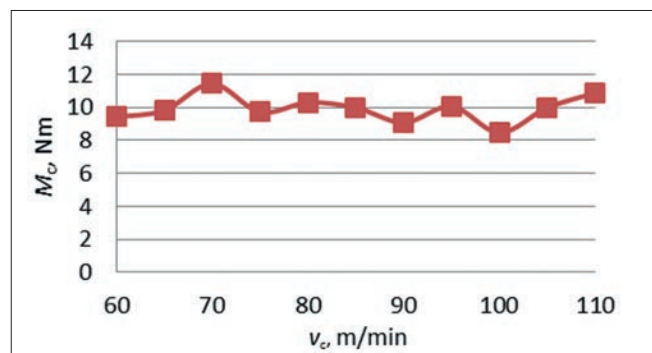


Rys. 3. Wartość momentu skrawania M_c w funkcji posuwu na obrót f_n dla prędkości skrawania $v_c = 85$ m/min



Rys. 4. Wartość siły posuwowej F_f w funkcji prędkości skrawania v_c dla posuwu na obrót $f_n = 0,2$ mm/obr

Na rys. 5 zaprezentowano wpływ prędkości skrawania na wartości momentu skrawania. Nie zauważono wyraźnego trendu definiującego ten wpływ. W całym badanym przedziale wartość momentu waha się od 9 do 11,5 Nm.



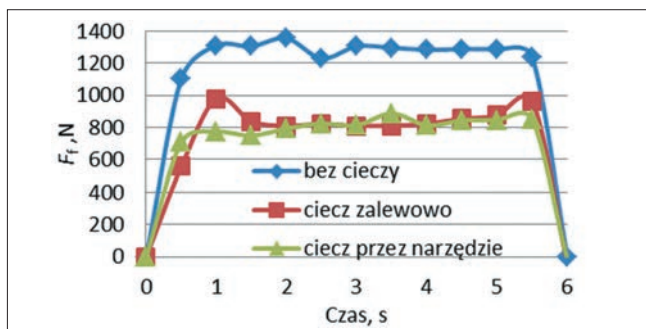
Rys. 5. Wartość momentu skrawania M_c w funkcji prędkości skrawania v_c dla posuwu na obrót $f_n = 0,2$ mm/obr

Dodatkowo, poza wpływem parametrów skrawania, tj. prędkości oraz posuwu, na moment i siłę skrawania, zbadano wpływ sposobów podawania cieczy chłodząco-smarującej. W pierwszym przypadku wykonano próbę skrawania bez podawania cieczy. Następnie przeprowadzono wiercenie z podawaniem cieczy w sposób zalewowy. Trzecia próba polegała na dostarczeniu cieczy chłodząco-smarującej poprzez kanały wykonane w korpusie narzędzia. Wartość ciśnienia zapewnianego przez układ zasilający wynosi 40 bar.

Na rys. 6 przedstawiono, w jaki sposób ciecz chłodząco-smarująca lub jej brak wpływa na siłę posuwową podczas wiercenia. Wszystkie próby zrealizowano z tymi samymi parametrami skrawania, tj.: $v_c = 85$ m/min, $f_n = 0,15$ mm/obr. W pierwszym przypadku, czyli podczas obróbki bez podawania cieczy (kolor niebieski), zanotowano największe wartości siły posuwowej. Największą wartość to $F_f = 1355$ N.

W drugim wariantcie obróbki, tj. z zastosowaniem cieczy podawanej w sposób zalewowy (kolor czerwony), wartość siły posuwowej jest znacznie mniejsza. Maksymalne jej wartości odnotowano na początku i końcu procesu wiercenia. W pozostałej części wartość siły się stabilizuje. Maksymalna odnotowana wartość to $F_f = 988$ N, co stanowi 73% wartości siły w przypadku obróbki bez podawania cieczy chłodząco-smarującej.

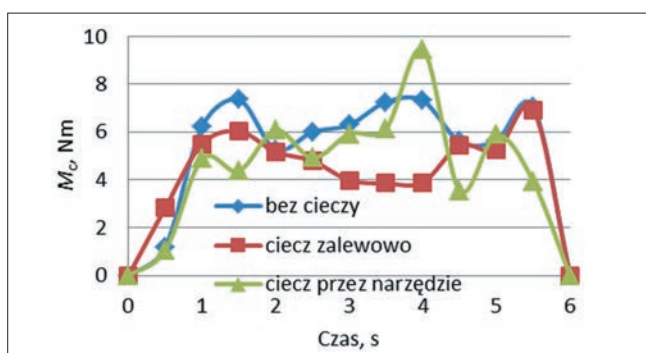
W ostatnim analizowanym wariantcie – z podawaniem cieczy przez korpus narzędzia (kolor zielony) – odnotowano najmniejszą wartość siły $F_f = 888$ N. Nie zauważono wyraźnych skoków siły skrawania przy rozpoczynaniu i zakończeniu procesu wiercenia. Podczas wiercenia siła wykazuje trend wzrostowy.



Rys. 6. Wpływ chłodzenia na przebieg siły posuwowej dla $v_c = 85$ m/min, $f_n = 0,15$ mm/obr

Podczas wszystkich prób widoczne są trzy podstawowe etapy formowania otworu. Pierwszy, w którym siła i moment narastają, co odpowiada za rozpoczęcie procesu wiercenia aż do osiągnięcia głębokości, w której wiertło pracuje całą średnicą. Etap drugi, ustabilizowanego momentu i siły skrawania, co wynika z ustabilizowanej pracy ostrzy wiertła. Etap trzeci, w którym zauważalny jest spadek momentu i siły skrawania, związany z zakończeniem procesu wiercenia i wychodzeniem wiertła z otworu.

Dodatkowo, poza wartością siły, równolegle mierzono moment skrawania (rys. 7).



Rys. 7. Wpływ rodzaju chłodzenia na maksymalny moment skrawania dla: $v_c = 85$ m/min, $f_n = 0,15$ mm/obr

Najmniejszą wartość momentu podczas prowadzenia procesu wiercenia z pełnym zaangażowaniem krawędzi skrawającej odnotowano dla wariantu bez zastosowania cieczy obróbkowych. Największe wartości momentu odnotowano przy rozpoczynaniu i na końcu kształtowania otworu. W przypadku podawania cieczy w sposób zalewowy moment ma największą wartość w pierwszej fazie kształtowania otworu. Na końcowym etapie wiercenia moment skrawania jest prawie identyczny jak w przypadku wiercenia bez podawania cieczy obróbkowej. Zjawisko to jest spowodowane tym, że na tej głębokości utrudniony

jest dostęp cieczy do strefy skrawania, przez co warunki wiercenia stają się zbliżone.

W przypadku stosowania chłodzenia przez narzędzie w początkowej fazie obróbki moment jest najmniejszy. Następnie rośnie i w czwartej sekundzie osiąga największą wartość. Może to być spowodowane dostaniem się wióra pomiędzy ściankę kształtowanego otworu a korpus narzędzia.

Podsumowanie

Na podstawie wyników badań momentu i siły skrawania dla pojedynczego opisywanego przypadku wiercenia żeliwa EN-GJL-250 sformułowano następujące wnioski:

- moment skrawania i siła posuwowa podczas wiercenia wykazują trend wzrostowy wraz ze zwiększaniem się posuwu na obrót. Zjawisko to jest spowodowane zwiększeniem przekroju poprzecznego wióra oraz zwiększeniem odcinka, w którym wiertło oddziałuje plastycznie na obrabiany materiał,
- wzrost prędkości skrawania powoduje spadek wartości siły posuwowej,
- podawanie cieczy chłodząco-smarującej ma wpływ na przebieg siły skrawania; najmniejszą wartość odnotowano podczas podawania cieczy chłodząco-smarującej przez korpus narzędzia; w przypadku zalewowego podawania cieczy maksymalny moment skrawania stanowi 73% siły posuwowej dla obróbki bez chłodzenia,
- w przypadku kształtowania otworu powyżej 1,5 D nie zauważono znaczącej różnicy w momencie skrawania z zastosowaniem chłodzenia i bez niego; wynika to z utrudnionego dostępu cieczy do strefy skrawania,
- podczas podawania cieczy obróbkowej przez korpus narzędzia odnotowano mniejsze wartości momentu skrawania przy rozpoczynaniu i zakończeniu procesu skrawania; w tym przebiegu istnieje charakterystyczny punkt wzrostu momentu skrawania, za co może odpowiadać przedostanie się wióra pomiędzy ściankę kształtowanego otworu a korpus narzędzia.

LITERATURA

1. Jaworski J., Kluz R. „Badanie wpływu zużycia wiertel ze stali HS 2-5-1 na siłę poosiową i moment skrawania przy wierceniu stali konstrukcyjnej”. *Mechanik*. 8-9, CD2 (2014): s. 127-134.
2. Sreenivasulu R., Rao Ch. “Effect of drilling parameters on thrust force and torque during drilling of aluminium 6061 alloy – based on Taguchi design of experiment”. *Journal of Mechanical Engineering*. 46 (2017): s. 41-48.
3. Cieciek S., Karbowski K. „Nadzorowanie procesu wiercenia głębokich otworów”. *Inżynieria Maszyn*. 15, 3 (2015): s. 213-221.
4. Naseer A. “Effect of changing drilling parameters on thrust force and torque”. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 21, 2 (2014): s. 347-352.
5. Kulkarni A., Murgod V., Kittur J. “Minimum quantity lubrication in deep hole drilling”. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 3, 3 (2014): s. 712-716.
6. Zalewski K., Pałka T. „Wpływ minimalnego smarowania na moment skrawania i chropowatość powierzchni w procesie wiercenia stopu aluminium”. *Mechanik*. 8-9, CD2 (2015): s. 213-221.
7. Bartoszek M., Piróg A. „Wybrane zagadnienia minimalizacji wpływu pojawiającej się przy wierceniu otworów przelotowych”. *Mechanik*. nr 8-9, CD2 (2015): s. 374-380.
8. Adamczak S. „Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość”. Warszawa: WNTP, 2008.
9. Nowakowski Ł., Miko E., Skrzyniarz M. „Ocena dokładności wymiarowo-kształtowej otworów wierconych wiertłami składanymi”. *Mechanik*. 8-9 (2016): s. 1200-1201.
10. Miko E., Skrzyniarz M. „Porównanie cech chropowatości żeliw po obróbce tokarskiej”. *Mechanik*. 8-9, CD (2015): s. 724-732.
11. Adamczak S., Świdorski J., Dobrowolski T. „Wpływ wykorzystania funkcji łączenia pomiarów na parametry stereometrii powierzchni”. *Mechanik*. 2 (2018): s. 118-120.