

Jan JAWORSKI* , Rafał KLUZ* , Tomasz TRZEPIECIŃSKI**

WPLYW PARAMETRÓW OBRÓBKI NA MIEJSCE POWSTAWANIA ZUŻYCIA I INTENSYWNOŚĆ PROCESU ZUŻYWANIA WIERTEŁ

THE INFLUENCE OF MACHINING PARAMETERS ON THE PLACE OF FORMATION AND INTENSITY OF THE WEAR PROCESS OF DRILLS

Słowa kluczowe:

dynamika zużycia, wiercenie, zużycie wiertel

Key words:

dynamics of wear, drilling, drill wear

Streszczenie

W celu określenia zużycia wiertel podczas ich eksploatacji, przy stałych parametrach skrawania, w czasie jednego przyjętego okresu trwałości, przeprowadzono serię badań trwałościowych wiertel wykonanych ze stali szybkoobrotowej HS2-5-1. Badania prowadzono podczas obróbki otworów na próbkach z żeliwa

* Politechnika Rzeszowska, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Polska, tel.: (17) 865 1725, e-mail: jkktmiop@prz.edu.pl, e-mail: rkktmiop@prz.edu.pl.

** Politechnika Rzeszowska, Katedra Przeróbki Plastycznej, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Polska, tel. (17) 865 17 14, e-mail: tomtrz@prz.edu.pl.

sferoidalnego ENGJS-500-7 o twardości 200 HB. Obserwacje zużycia prowadzano na wszystkich elementach części skrawającej wiertła. Oceny stopnia zużycia dokonywano na podstawie maksymalnych liniowych wielkości zużycia na rozpatrywanych powierzchniach. Maksymalne zużycie zaobserwowano na powierzchni przyłożenia, w miejscu przecięcia jej z powierzchnią łysinek. Zużycie na powierzchni przyłożenia zmniejsza się w kierunku osi wiertła i ma kształt trójkąta. Zużycia powierzchni natarcia nie zaobserwowano. Podczas eksploatacji wiertel z różnymi parametrami skrawania utrata ich skrawności następuje dla różnych wartościach wskaźników zużycia.

WPROWADZENIE

Katastrofalne zużycie narzędzia ze stali szybko tnącej związane jest ze wzrostem temperatury w jego części skrawającej do wartości powodujących zmianę podstawowych właściwości narzędzia. Dla wiertła przy ustalonej specyfice zużycia temperatura może wzrastać tylko wskutek wzrostu mocy źródła ciepła na głównych powierzchniach przyłożenia. Od tych źródeł ciepła na etapie ustalonego zużywania nagrzewa się część skrawająca wiertła, w tym i strefy pomocnicze powierzchni przyłożenia (łysinki). W produkcyjnych i laboratoryjnych warunkach przyjmuje się za początek katastrofalnego zużycia wiertła charakterystyczny sygnał (skrzypienie). Sygnał ten może być związany tylko ze zmianami w miejscu styku powierzchni skrawających wiertła z materiałem obrabianym. Początek tego procesu odzwierciedla zwiększenie amplitudy sygnału akustycznego i wzrost momentu tarcia powstającego na łysinkach wiertła [L. 1, 2].

Ze wzrostem zużycia wzrasta również cieplna deformacja obrabianego otworu, przy czym wykonywane otwory ulegają deformacji w taki sposób, że ich średnica zmniejsza się [L. 3, 4]. Kiedy wartość deformacji otworu przekroczy wartość luzu powstającego w rezultacie odwrotnej stożkowatości wiertła, powierzchnia obrabianego otworu może wywoływać na łysinki naciski wzrastające ze wzrostem ich zużycia. W kontakcie powierzchni łysinki i otworu mają miejsce procesy analogiczne jak w przypadku wiercenia tarcowego. W procesie wiercenia tarcowego ciepło generowane przez tarcie zmiękcza i penetruje materiał bez generacji wióra [L. 5]. Dla zaistnienia takiego procesu konieczne są naciski, prędkości i czas tego samego rzędu. Spowoduje to niepożądaną zmianę w procesie styku na łysinkach ostrza wiertła oraz obrabianego otworu i w konsekwencji katastrofalne jego zużycie.

Procesy tribologiczne występujące w miejscach styku ostrza z przedmiotem obrabianym prowadzą do zużycia, a następnie do nagłej lub stopniowej utraty skrawności ostrza. W wyniku interakcji między elementami tribologicznego systemu skrawania zużyciu towarzyszą [L. 6]:

- wzrost oporów i mocy skrawania,

- zwiększone wydzielanie ciepła,
- występowanie drgań,
- pogorszenie stanu obrabianej powierzchni,
- pojawienie się błyszczących lub kolorowych smug na powierzchni przedmiotu obrabianego,
- zmniejszenie dokładności wymiarowo-kształtowej przedmiotu obrabianego.

Do objawów zużycia ostrza należy zaliczyć: zmianę geometrii ostrza, zmiany właściwości fizykochemicznych wskutek przemian chemicznych w warstwie wierzchniej materiału spowodowanych głównie oddziaływaniem wysokiej temperatury, a także pęknięcia oraz ubytki materiału narzędzia skrawającego [L. 7, 8]. W procesach zużycia narzędzi dominującą rolę obok zużycia ściernego i zmęczeniowego odgrywają zużycie adhezyjne oraz dyfuzyjne. Zużywanie się narzędzia powoduje jego stępienie, co ogranicza jego zdolność do dalszego skrawania.

UZASADNIENIE I CEL BADAŃ

Z teoretycznych i eksperymentalnych badań wynika, że technolog ma do dyspozycji wiele środków i metod sterowania obróbką skrawaniem w celu zwiększenia jej wydajności i niezawodności [L. 9, 10]. W szczególności możliwy jest taki dobór parametrów skrawania, dla których w warunkach normalnego zużycia narzędzia zapewnione jest prawdopodobieństwo spełnienia wszystkich wymagań jakościowych obrabianej części, a niezawodność procesu skrawania uwarunkowana jest ponadto zadaniem okresem trwałości narzędzia, siłą skrawania, jakością i dokładnością obrabianych części. W pracy [L. 11] zaproponowano system monitorowania założonego stanu zużycia narzędzia uwzględniający możliwość dalszego jego rozwoju dla stworzenia zintegrowanego systemu sterowania adaptacyjnego procesem zapewniającego maksymalizację wydajności skrawania.

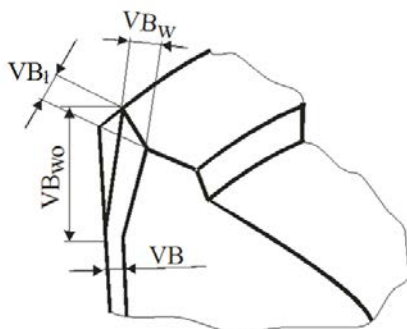
Dla optymalnych warunków eksploatacji narzędzia mającego wymagane parametry wejściowe dominującym czynnikiem są uszkodzenia spowodowane zużyciem powierzchni skrawających narzędzia. W tym przypadku, jako kryterium wejściowe do jego oceny powinien być wybrany taki wskaźnik zużycia, który będzie:

- jednoznacznie przedstawiał zmianę geometrii i właściwości materiału narzędzia wynikające z zużywania się ostrza,
- monotonicznie wzrastał w strefie normalnego zużycia,
- umożliwił przeprowadzenie dokładnych pomiarów.

W związku z tym dla zapewnienia niezawodności diagnozowania konieczne jest przede wszystkim zbadanie stanu narzędzia w konkretnych warunkach jego eksploatacji i określenie, który zmieniający się wskaźnik może służyć za kryterium jego oceny [L. 3, 12–18]. Do prognozowania zużycia narzędzia moż-

na wykorzystać funkcję koherencji między sygnałem siły nacisku wiertła i momentu obrotowego [L. 19]. W poradnikach podane są wprawdzie dopuszczalne wartości zużycia, przy których należy dokonać wymiany narzędzia, lecz mogą się one zasadniczo różnić od tych, przy których następuje pełne wykorzystanie jego możliwości skrawnych.

Obserwacje zużycia prowadzono na wszystkich elementach części skrawającej wiertła. Oceny jego stopnia dokonywano według maksymalnych liniowych wartości zużycia na rozpatrywanych powierzchniach. Wykazano, że zużycie wiertła ma miejsce na powierzchniach przyłożenia, na wierzchołkach i na łysinkach. Maksymalną wartość zużycia zaobserwowano na powierzchni przyłożenia, w miejscu przecięcia jej z powierzchnią łysinek. Zużywanie na powierzchni przyłożenia zmniejsza się w kierunku osi wiertła i ma kształt trójkąta, przechodząc w równomierną fazkę zużycia na pozostałej długości głównej krawędzi skrawającej. Zużycia powierzchni natarcia nie zaobserwowano. Wielkości będące miarą zużycia, które były kontrolowane przedstawiono na **Rys. 1**.



Rys. 1. Miejsca zużycia kontrolowane podczas prowadzonych badań: VB – zużycie na powierzchni przyłożenia ostrza, VB_l – zużycie łysinek wiertła, VB_w – zużycie wierzchołków wiertła, VB_{w0} – zużycie na powierzchni przyłożenia wierzchołków

Fig. 1. Wear places controlled during the research: VB – wear of the tool flank, VB_l – wear of drill margin, VB_w – wear of drill corners, VB_{w0} – wear of corner flank

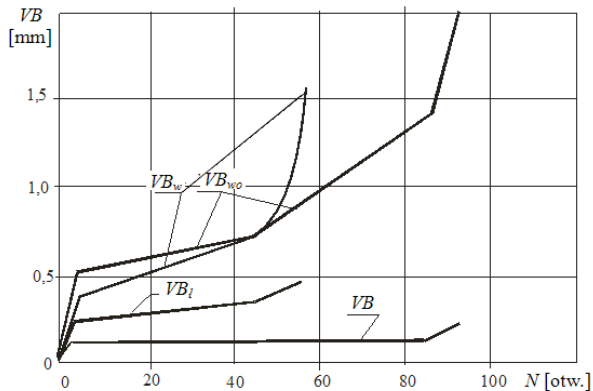
METODYKA BADAŃ

W celu określenia zużycia wiertel podczas ich eksploatacji, przy stałych parametrach skrawania, w czasie jednego przyjętego okresu trwałości, przeprowadzono serię badań trwałościowych wiertel o średnicy $\Phi 10$ wykonanych ze stali szybko tnącej HS2-5-1. Badania prowadzono podczas obróbki otworów na próbkach z żeliwa sferoidalnego o twardości 200 HB. Mechaniczne właściwości żeliwa określa jego mikrostruktura, a w szczególności zawartość i postać grafitu. Próbkę wykonaną do badań miały jednakową grubość ścianki (80 mm). Badania trwałości przeprowadzono na wiertarce kolumnowej PK 203. Badania

prowadzono przy następujących parametrach: $v_c = 24$ m/min, $f = 0,3$ mm/obr., $v_c = 20$ m/min, $f = 0,4$ mm/obr. oraz $v_c = 40$ m/min, $f = 0,1$ mm/obr. zapewniających trwałość ostrza $T_c = 15$ min (± 3 min), co odpowiadało obróbce $N = 80 \div 100$ otworów. Podczas obróbki z wymienionymi parametrami skrawania badano po 10 sztuk wiertel, co pozwoliło uzyskać statystyczne wartości oczekiwane dla kontrolowanych parametrów zużycia wiertel w zależności od liczby obrabianych części. Zużycie linowe poszczególnych miejsc kontrolowano na mikroskopie warsztatowym o dokładności 0,01 mm.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Miejsca zużycia wiertła przy obróbce otworów w próbkach z żeliwa sferoidalnego o twardości 200 HB przedstawiono na **Rysunku 2**.

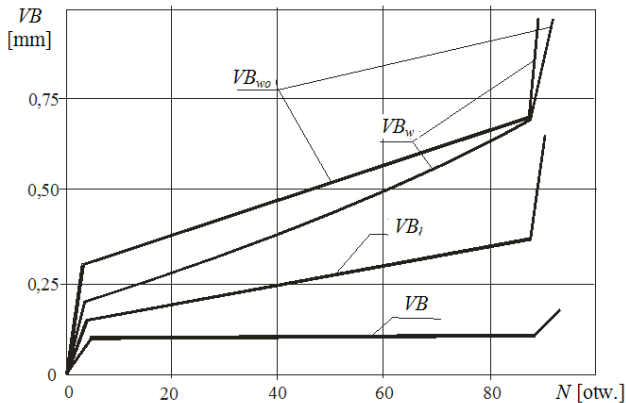


Rys. 2. Dynamika zużywania kontrolowanych miejsc wiertła przy $v_c = 24$ m/min, $f = 0,3$ mm/obr. przy obróbce żeliwa sferoidalnego ENGJS-500-7

Fig. 2. Intensity of wear of controlled wear places of drill at $v_c = 24$ m/min, $f = 0,3$ mm/revolution when machining cast iron ENGJS-500-7

Strefa normalnego zużycia rozpoczyna się przy następujących wartościach zużycia w kontrolowanych miejscach: $VB_w = 0,4$ mm, $VB_{wo} = 0,5$ mm, $VB = 0,1$ mm, $VB_l = 0,25$ mm. W strefie normalnego zużycia wykresy zależności kontrolowanych miejsc zużycia przedstawiają linie łamane, dzieląc na dwie części strefę normalnego zużycia. W pierwszej części następuje ciągłe zwiększenie zużycia wierzchołków wiertła, powierzchni przyłożenia wierzchołków oraz zużycie wierzchołków w kierunku łysinki i głównej krawędzi skrawającej. Wykresy zależności mierzonych wielkości zużycia są liniami prostymi, to znaczy, że intensywność zużycia w pierwszej części strefy jest stała. Po osiągnięciu wartości zużycia na powierzchni przyłożenia wierzchołków $VB_{wo} = 0,7$ mm rozpoczyna się jej szybki wzrost, aż do przerwania łysinki, co

uniemożliwia dalszą kontrolę zużywania w tym kierunku. Wiertło jednak dalej może pracować normalnie, a zużycie pozostałych miejsc kontrolowanych wzrasta monotonicznie. Oznacza to, że utrata skrawności nie następuje, a szybkiego rozwoju zużywania wierzchołków nie należy uważać za początek jego przyspieszonego zużywania. Wyjaśnienia tego zjawiska można dokonać poprzez porównanie poszczególnych miejsc zużycia przedstawionych w dalszej części pracy. Intensywność zużywania wierzchołka w drugiej części strefy normalnego zużycia zwiększa się około 2,5-krotnie. Wykresy zmiany zużycia wierzchołka w kierunku zużycia łysinki i głównej krawędzi skrawającej mają podobny przebieg. Zużycie głównej krawędzi skrawającej w pierwszej części strefy normalnego zużywania nie zmienia się. Jej nieznaczny wzrost można zaobserwować tylko w drugiej strefie. Strefa przyspieszonego zużywania następuje przy $VB_{wo} = 1,4$ mm. Zużycie głównej krawędzi skrawającej w tej strefie także nieznacznie wzrasta. Badania wykazały, że przy eksploatacji wiertła z prędkością skrawania $v_c = 24$ m/min i $f = 0,3$ mm/obr. szybki wzrost zużywania na powierzchni przyłożenia wierzchołków nie powoduje utraty skrawności wiertła, a tylko zwiększa intensywność zużywania wierzchołków VB_w , powodując tym samym przejście do strefy normalnego zużywania. Utrata skrawności następuje w rezultacie zużycia wierzchołków, które rozpoczyna się przy $VB_{wo} = 1,4$ mm. Zużycie kontrolowanych miejsc wiertel przy $v_c = 40$ m/min, $f = 0,1$ mm/obr. przedstawiono na **Rysunku 3**.



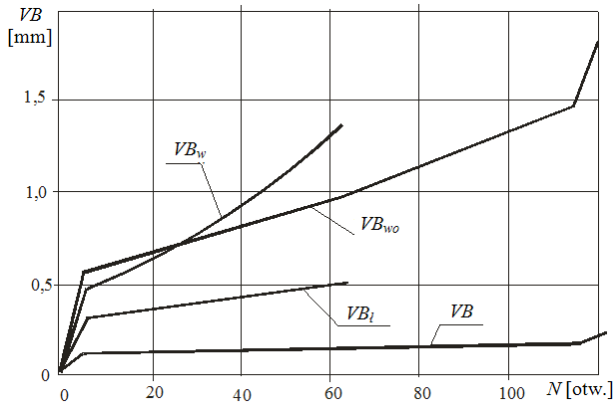
Rys. 3. Intensywność zużywania kontrolowanych miejsc wiertła przy $v_c = 40$ m/min, $f = 0,1$ mm/obr. przy obróbce żeliwa sferoidalnego ENGJS-500-7

Fig. 3. Intensity of wear of controlled wear places of drill at $v_c = 40$ m/min, $f = 0,1$ mm/revolution when machining cast iron ENGJS-500-7

Podczas eksploatacji wiertła przy tych parametrach skrawania przyspieszone zużywanie pojawia się na wszystkich kontrolowanych miejscach. Strefa normalnego zużywania rozpoczyna się przy $VB_{wo} = 0,3$ mm, $VB_l = 0,2$ mm,

$VB = 0,15$ mm. W strefie normalnego zużywania wartości wszystkich kontrolowanych miejsc można przedstawić za pomocą linii prostych nachylonych do osi rzędnych pod różnymi kątami, co oznacza, że intensywność zużywania w tych miejscach jest stała. Jest ona określana wskaźnikiem VB na powierzchni przyłożenia i praktycznie nie zmienia się. Stefa przyspieszonego zużywania rozpoczyna się przy osiągnięciu następujących wartości zużycia: $VB_{w_0} = VB_w = 0,7$ mm i $VB_t = 0,35$ mm. W strefie przyspieszonego zużywania zwiększa się nieco intensywność zużycia VB , zatem przy eksploatacji wiertła przy tych parametrach skrawania utrata skrawności wiertła następuje w rezultacie przyspieszonego zużywania wszystkich tych miejsc, gdzie kontrolowano zużycie.

Intensywność zużywania wiertła w funkcji liczby wykonanych otworów podczas wiercenia z parametrami $v_c = 20$ m/min, $f = 0,4$ mm/obr. przedstawiono na **Rysunku 4**. Strefa normalnego zużywania rozpoczyna się przy większej wartości wskaźników zużycia niż w pierwszym ($v_c = 40$ m/min, $f = 0,1$ mm/obr.) i drugim przypadku ($v_c = 20$ m/min, $f = 0,4$ mm/obr.). Jedyne wskaźnik zużycia powierzchni przyłożenia VB , podobnie jak w poprzednich przypadkach, na początku okresu normalnego zużywania wynosi 0,1 mm.



Rys. 4. Intensywność zużywania kontrolowanych miejsc wiertła przy $v_c = 20$ m/min, $f = 0,4$ mm/obr. przy obróbce żeliwa sferoidalnego ENGJS-500-7

Fig. 4. Intensity of wear of controlled wear places of drill at $v_c = 20$ m/min, $f = 0,4$ mm/revolution when machining cast iron ENGJS-500-7

Bardziej intensywne zużywanie ostrza wiertła w kontrolowanych miejscach prowadzi do tego, że po upływie pewnego czasu zużycie VB_w przechodzi już na całą szerokość łysinki i uniemożliwia pomiar zużycia VB_t , ponieważ zniszczona zostaje baza pomiarowa. Wiertło jednak nie traci swojej skrawności, zatem przy tych parametrach skrawania VB_w , VB_t i VB nie mogą być przyjęte jako kryterium stopnia. Przyspieszone zużycie następuje przy osiągnięciu

zużycia wierzchołków $VB_{wo} = 1,5$ mm, tj. większej wartości niż w pierwszym i drugim przypadku.

PODSUMOWANIE

Proces zużywania narzędzia skrawającego jest bardzo złożony, gdyż przebiega w warunkach wysokich temperatur i nacisków powierzchniowych, a sumaryczne zużycie ostrza w poszczególnych miejscach kontaktu ostrza z obrabianym materiałem jest wynikiem nakładania się i wzajemnych interakcji wielu elementarnych procesów zużywania tribologicznego. Zjawiska te występują przy określonej temperaturze i prędkości skrawania.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że przy wierceniu otworów w próbkach z żeliwa sferoidalnego ENGJS-500-7 wiertłami z niskostopowej stali szybko tnącej HS2-5-1 ich zużywanie następuje jedynie na powierzchni przyłożenia. Podczas eksploatacji wiertel z różnymi parametrami skrawania utrata ich skrawności następuje przy różnych wartościach wskaźników zużycia. Podczas wiercenia z dużymi prędkościami skrawania i małymi posuwami utrata skrawności narzędzi następuje w obszarze przyspieszonego ich zużycia. Przy zwiększeniu posuwu i zmniejszeniu prędkości skrawania szybko postępujące zużywanie powierzchni przyłożenia wierzchołków VB_w nie powoduje utraty skrawności, lecz jedynie zwiększa się zużycie wierzchołków VB_{wo} . Przy eksploatacji wiertel z małymi prędkościami skrawania i dużymi posuwami utratę ich skrawności powoduje przyspieszone zużywanie wierzchołków VB_{wo} . Zużycie wierzchołków VB_{wo} może być zatem przyjęte jako kryterium zużywania wiertła, gdyż spełnia wszystkie stawiane mu wymagania, tzn. przedstawia zmianę geometrii i właściwości materiału narzędzia wynikające ze zużywania się ostrza, wzrasta monotonicznie w strefie normalnego zużycia oraz istnieje możliwość przeprowadzenia dokładnych pomiarów.

LITERATURA

1. Cuppini D., D'errico G., Rutelli G.: Tool wear monitoring based on cutting power measurement, *Wear*, vol. 139, 1990, pp. 303–311.
2. Zoriktuev V.T, Nikitin Y.A., Sidorov A.S.: Monitoring and prediction of cutting tool wear, *Russian Engineering Research*, vol. 28, 2008, pp. 88–91.
3. Jaworski J.: Tendencje rozwoju materiałów narzędzi skrawających, *Przegląd Mechaniczny*, nr 11, 2005, pp. 33–36.
4. Jaworski J., Trzepieciński T.: Możliwości zapewnienia jakościowego wykonania narzędzi z oszczędnościowej stali szybko tnącej, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, Rzeszów 2014.
5. Miller S.F., Blau P.J., Shih A.J.: Tool wear in friction drilling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 47, 2007, pp. 1636–1645.

6. Dul-Korzyńska B.: Obróbka skrawaniem i narzędzia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.
7. Gawlik J.: Prognozowanie stanu zużycia ostrzy narzędzi w procesie skrawania. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1988.
8. Yan J., Murakami Y., Davim J.P.: Tool design, tool wear and tool life, [in:] K. Cheng (ed.), Machining dynamics. Fundamentals, applications and practices, Springer-verlag, London 2009, pp. 117–149.
9. Helmi A., El-Hofy Y., El-Hofy H.: Machining technology. Machine tools and operations, CRC Press, Boca Raton 2008.
10. Tschätsch H.: Applied machining technology, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
11. Cuppini D., D'errico G., Rutelli G.: Tool wear monitoring based on cutting power measurement, *Wear*, vol. 139, 1990, pp. 303–311.
12. Czechowski K., Profeska-Filip I., Fedaczyński A.: Powłoki PVD na materiały ceramiczne, *Surface Engineering*, vol. 2, 2005, pp. 19–24.
13. Jaworski J.: Management quality of tools in the planned housing casting. *Archives of Foundry Engineering*, vol. 7, 2007, pp. 157–160 (in Russian).
14. Sinopalnikow W.A., Grigoriew S.N.: Reliability and diagnosis of technological systems, MGU STANKIN, Moskwa 2003.
15. De Sousa Priscilla F.B., Borges V.L., Pereira I.C. Da Silva M.B., Guimarães G.: Estimation of heat flux and temperature field during drilling process using dynamic observers based on Green's function, *Applied Thermal Engineering*, vol. 48, 2012, pp. 144–154.
16. Ostasevicius, V., Ubartas M., Gaidys R., Jurenas V., Samper S., Dauksevicius R.: Numerical–experimental identification of the most effective dynamic operation mode of a vibration drilling tool for improved cutting performance, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 331, Issue 24, 2012, pp. 5175–5190.
17. Gómez M.P., Hey A.M., Ruzzante J. E., D'Attellis C.E.: Tool wear evaluation in drilling by acoustic emission, *Physics Procedia*, vol. 3, Issue 1, 2010, pp. 819–825.
18. Huang B.W., Kuang J.H., Yu P.P. Effect of crack on drilling vibration, *Journal of Sound and Vibration*, vol.322, Issues 4–5, 2009, pp. 1100–1116.
19. Vilcek I., Poskocilova A.: Monitoring tool conditions for drilling. Monitorowanie stanu narzędzi podczas wiercenia. Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji AMO, Kranevo, 2008, pp. 85–88.

Summary

To determine the wear of drills during their operation, at constant cutting parameters during the one approved tool life under the cut, a series of durability tests of drills made of HS2-5-1 were carried out. The study was conducted during the machining of holes on the samples made of cast iron ENGJS-500-7 with a hardness of 200 HB. Observations of the wear were carried out on all elements of the cutting part of the drill. The evaluation of the wear degree was performed according to the maximum line wear size on the analysed surfaces. The maximum level of the wear was

observed on the tool flank at their intersection with the surface of the drill margin. The size of the tool flank wear decreases in the direction of the drill axis and has the shape of a triangle. The wear of the rake face was not observed. During the drill's operation with different cutting parameters, a loss of their cutting ability occurs for different values of wear indicators.