

Mgr inż. Marta BOGDAN-CHUDY;
dr hab. inż. Piotr NIESŁONY, prof. PO (Politechnika Opolska):

OCENA WARUNKÓW TRIBOLOGICZNYCH PODCZAS SKRAWANIA STOPU INCONEL 718 PŁYTKĄ Z WĘGLIKA SPIEKANEGO

Streszczenie

Prezentowane wyniki badań tribologicznych zrealizowanych dla pary: stop niklu Inconel 718 – węgiel spiekany z powłoką PVD-TiAlN. Stanowiskowe badania tribologiczne prowadzono w warunkach tarcia suchego na tribometrze pin-on-disc. Badania warunków tribologicznych podczas toczenia stopu Inconel 718 płytką z węgla spiekane wykonano na podstawie oceny współczynnika tarcia μ_{yn} na styku wiór – ostrze (powierzchnia natarcia).

Słowa kluczowe: tarcie, współczynnik tarcia, Inconel 718, skrawanie nieortogonalne

ASSESSMENT OF TRIBOLOGICAL CONDITIONS DURING MACHINING OF THE INCO- NEL 718 ALLOY USING A CARBIDE INSERT

Abstract

The paper shows the results of tribological tests carried out for the pair: Inconel 718 nickel alloy – carbide with a PVD-TiAlN coating. Tribological bench tests were conducted under conditions of dry friction using a pin-on-disc tribometer. The tests of tribological requirements during the turning of the Inconel 718 alloy with a carbide insert have been conducted on the basis of assessment of the μ_{yn} friction coefficient at the contact of chip and edge (leading surface).

Keywords: friction, friction coefficient, Inconel 718, non-orthogonal machining

OCENA WARUNKÓW TRIBOLOGICZNYCH PODCZAS SKRAWANIA STOPU INCONEL 718 PŁYTKĄ Z WĘGLIKA SPIEKANEGO

Marta BOGDAN-CHUDY¹, Piotr NIESŁONY¹

1. WPROWADZENIE

Stopy na bazie niklu podobnie jak wszystkie nadstopy żaroodporne sklasyfikowane w grupie S-ISO materiałów konstrukcyjnych, są uważane za trudno lub nawet bardzo trudoskrawalne [4,6]. Problemy te wynikają z własności mechanicznych tych materiałów, do których można zaliczyć dużą wytrzymałość na pełzanie oraz zwiększoną odporność na szoki termiczne i mechaniczne [6]. Obecność dużej ilości takich pierwiastków jak, nikiel, chrom, kobalt i tytan jest powodem złej skrawalności superstopów żarowytrzymałych. Jednocześnie powodując, że materiał ten jest odporny na utlenianie w wysokich temperaturach. Dlatego jest szeroko stosowany w przemyśle lotniczym, między innymi na silnie obciążone cieplnie korpusy turbin, komory spalania, zawory wydechowe, łopatki turbin itp. [6,7]. Najbardziej popularnym stopem na bazie niklu jest Inconel 718, z którego wykonywanych jest ok. 45% odkuwek i 15% odlewów [1].

Zwiększona skłonność stopu niklu Inconel 718 do umocnienia odkształceniowego i znaczna twardość w wysokich temperaturach powoduje szybkie zużycie, a często zniszczenie katastroficzne narzędzia. Dlatego zalecanymi materiałami narzędziowymi stosowanymi do obróbki są węgliki spiekane z powłokami TiAlN nanoszonymi metodą PVD, które wykazują największą trwałość w porównaniu z innymi rodzajami powłok przeciwzuzyciowych [5]. Powłoka z azotku stopu tytanu i aluminium wpływa na zwiększenie trwałość ostrza, głównie poprzez ograniczenie intensywności wnikania ciepła do materiału narzędzia. Stosowanie tego typu powłok może przyczynić się do zmniejszenia tarcia, a tym samym ograniczenia lub zminimalizowania tribologicznych

¹ Politechnika Opolska, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, ul. Mikołajczyka 5, 47-271 Opole

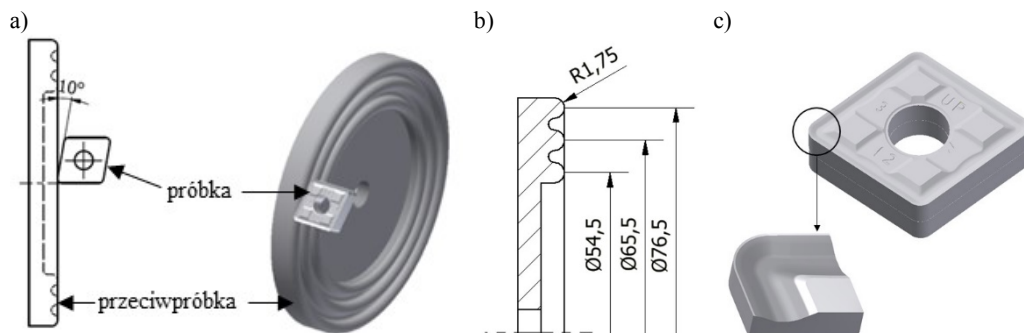
efektów wynikających z obróbki skrawaniem stopów niklu. Z tego też powodu w pracy przedstawiono badania tribologiczne zrealizowane dla pary stop Inconel 718 – węgiel spiekany z powłoką PVD-TiAlN.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. STANOWISKO BADAWCZE

Tribologiczne badania doświadczalne przeprowadzono na tribometrze typu pin-on-disc, który umożliwia współpracę pary tribologicznej w układzie próbka – przeciwpróbka. Konstrukcja stanowiska badawczego pozwala na płynną regulację oraz stabilizację wartości siły normalnej F_n oraz prędkości tarcia v_s (w zakresie wielkości wejściowych). Podczas testów tarciovych wyliczono, na podstawie pomiarów tensometrycznych, uśrednione wartości współczynnika tarcia.

Skojarzenie ze sobą elementów pary tribologicznej (rys. 1) polegało na zestawieniu względem siebie tarczki (przeciwpróbki), z wykonaną sferyczną ścieżką tarcia (rys.1b), wraz z odpowiednio usytuowaną w stosunku do przeciwpróbki powierzchnią przyłożenia płytki skrawającej (próbki) (rys.1a).



Rys. 1. Para tribologiczna w układzie próbka-przeciwpróbka a) schematyczne usytuowanie pary tribologicznej, b) profil ścieżek tarcia, c) próbka - płytka skrawająca o kształtowej powierzchni natarcia

Badania eksperymentalne toczenia w układzie pół-ortogonalnym realizowano na tokarce CNC NEF600 wyposażonej w siłomierz piezoelektryczny Kistler 9257BA, którym mierzono składowe siły skrawania. Te dane wraz ze zmierzonymi grubościami wiórów pozwoliły na wyznaczenie współczynnika tarcia oraz ustalenie prędkości poślizgu wióra po powierzchni natarcia ostrza.

2.2. MATERIAŁY PARY TRIBOLOGICZNEJ

Badania tarcia prowadzono w układzie stanowiącym klasyczną parę tribologiczną próbka - przeciwpróbka. Tarczę, stanowiącą przeciwpróbkę, wykonano ze stopu niklu Inconel 718 wraz z trzema ścieżkami tarcia o zmiennych średnicach oraz profilowanej

powierzchni kontaktu (rys.1b). Takie ukształtowanie powierzchni pozwoliło na początkowym etapie tarcia uzyskać wysoki nacisk jednostkowy, porównywalny z warunkami spotykanymi w procesie toczenia.

W stanowiskowych badaniach tribologicznych, jako próbkę, wykorzystano komercyjną płytkę skrawającą typu CNMG 120412-UP KC5010 firmy KENNAMETAL, wykonaną z węglika spiekanego typu WC-6%Co pokrytego powłoką PVD - TiAlN o średniej grubości 5 μ m. To samo ostrze wykorzystano podczas toczenia stopu Inconel 718 ze zmienną głębokością skrawania.

2.3. ZAKRES BADAŃ

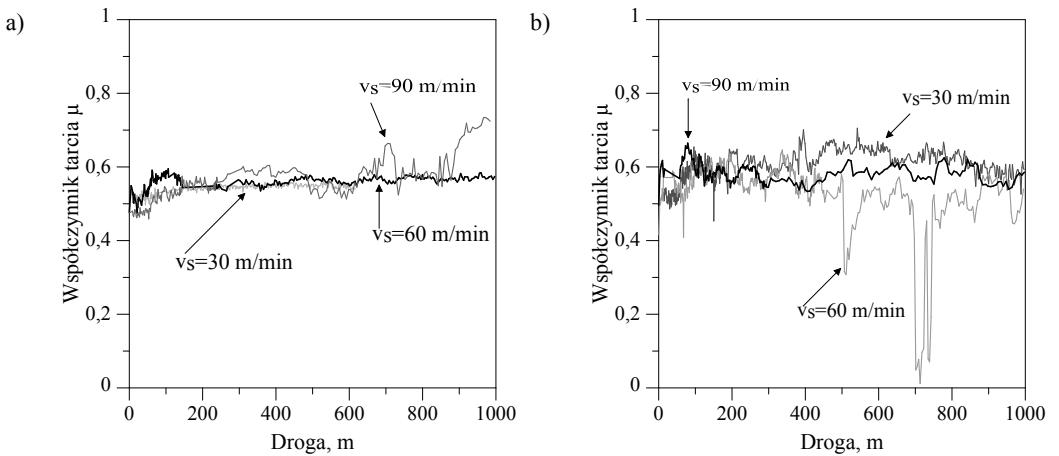
Badania tribologiczne prowadzono w warunkach tarcia suchego w ruchu jednokierunkowym, z obciążeniem siłą normalną F_n równą odpowiednio 50 i 30 N, prędkością poślizgu v_s wynoszącą 30, 60 i 90 m/min i drogą tarcia $s=1000$ m. Prędkość poślizgu dobrano w taki sposób, aby uzyskać zbliżone wartości do prędkości poślizgu wióra względem powierzchni natarcia narzędzia podczas toczenia stopu niklu narzędziami z płytkami z węglika spiekanego. Próby toczenia realizowano dla $v_c=80$ m/min oraz $f=0,1$ mm/obr dla zmiennej głębokości skrawania $a_p=0,125, 0,25, 1$ oraz 2 mm. Na podstawie przeprowadzonych testów oraz zmierzonej grubości wiórów ustalono, że średnia wartość prędkości poślizgu, dla zadanych parametrów skrawania, mieściła się w zakresie $v_s=85-95$ m/min.

3. WYNIKI BADAŃ

Zarejestrowany przebieg zmian wartości współczynnika tarcia w funkcji drogi tarcia uzyskane w stanowiskowych badaniach tribologicznych przedstawiono na rys. 2, natomiast średnie wartości współczynnika tarcia w zależności od prędkości poślizgu i siły normalnej (siły docisku próbki do tarczy) zamieszczono na rys. 5a. Wartości średnie współczynnika tarcia wyznaczono z całego zakresu drogi tarcia.

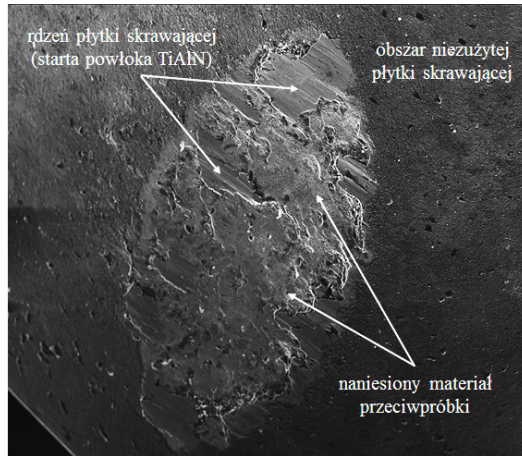
Zaobserwowano, że dla siły docisku $F_n=30$ N zarejestrowane przebiegi współczynnika tarcia μ są stabilne (rys.2a) o nieznacznych fluktuacjach ich wartości w funkcji drogi tarcia. Przy sile normalnej F_n równej 50 N uzyskano wyższe wartości współczynnika tarcia (rys.2b), a charakter rejestrowanego sygnału μ ulega pewnym zaburzeniom. W jednym jak i drugim przypadku prędkość poślizgu, w zakresie testowanym w przedstawionych badaniach, ma raczej niewielkie znaczenie.

Można jednak wyróżnić, że dla prędkości tarcia $v_s=30$ i 90 m/min warunki tribologiczne w parze trącej pozwoliły na ustabilizowanie wartości współczynnika tarcia. Pewną niestabilność procesu zaobserwowano przy prędkości 60 m/min, szczególnie dla $F_n=50$ N (rys.2b). Dla tego przypadku zaobserwowano dużą fluktuację μ w zakresie od prawie zera do 0,65. Taka dynamika procesu może wynikać ze szczególnych warunków kontaktowych powstałych w obrębie styku próbki z przeciwpróbką.



Rys. 2. Przebieg zmian wartości współczynnika tarcia w funkcji drogi tarcia oraz prędkości poślizgu dla wartości siły normalnej: $F_n=30N$ (a), $F_n=50N$ (b)

Pewne zjawiska adhezyjnego szczepienia jak i nalepień materiału przeciwpróbki zaobserwowano na obrazach SEM próbki przedstawionych na rys.3.



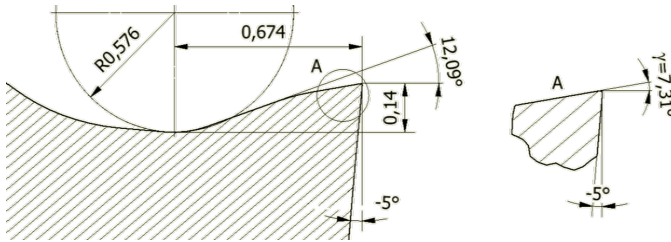
Rys. 3. Zdjęcie SEM powierzchni płytki zużytej dla $F_n=50 N$ oraz $v_s=60 m/min$.

Badania warunków tribologicznych podczas toczenia stopu Inconel 718 płytką z węgla spiekane wykonano w oparciu o ocenę współczynnika tarcia $\mu_{\gamma n}$ na styku wiór-ostrze (powierzchnia natarcia). Wartości $\mu_{\gamma n}$ podczas skrawania wyznaczono ze składowych siły skrawania i pomiarów spęczenia wióra zgodnie z zależnością [2,3]:

$$\mu_{\gamma n} = \frac{F_{\gamma}^n}{F_{\gamma N}^n} = \frac{F_n}{F_m} \quad (1)$$

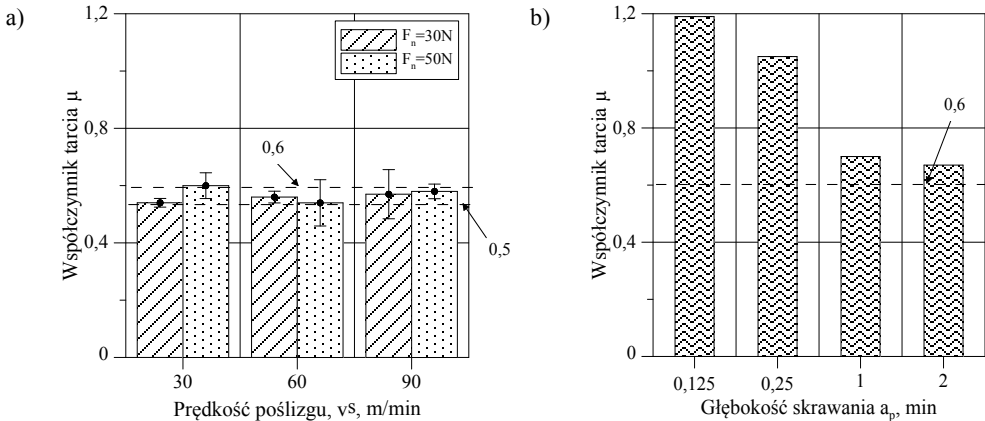
gdzie F_{γ}^n to siła tarcia, a $F_{\gamma N}^n$ to siła normalna działająca na powierzchni natarcia.

Ze względu na nieortogonalny proces skrawania konieczne było zastosowanie transformacji układu sił do płaszczyzny sływu wióra zgodnie z [2,3]. Dodatkowo, ze względu na płytkę skrawającą o kształtowej powierzchni natarcia (rys.1c), wyznaczono zastępczy, rzeczywisty kąt natarcia ostrza w obrębie strefy skrawania $\gamma=7,31^\circ$, co przedstawiono na rys.4.



Rys. 4. Geometria kształtowej części powierzchni natarcia płytki CNMG 120412-UP KC5010 w układzie roboczym wraz z wyznaczonym zastępczym kątem natarcia $\gamma=7,31^\circ$.

Uśrednione wartości składowych siły skrawania jak i wyliczone wartości współczynnika tarcia uzyskane podczas toczenia stopu Inconel 718 płytką z węglika spiekane przedstawiono na rys 5b.



Rys. 5. Średnie wartości współczynnika tarcia a) w funkcji prędkości poślizgu uzyskane z testów tribologicznych, b) obliczone z badań toczenia

Wartości średnie współczynnika tarcia uzyskane z testów tribologicznych (rys. 5a) przy sily normalnej $F_n=30$ i 50 N dla zmiennej prędkości poślizgu $v_s =30, 60$ i 90 m/min nie różnią się znacząco między sobą. W całym badanym zakresie prędkości przyjmują wartości nieprzekraczające $0,6$. Najniższe μ_{sr} równe $0,54$ otrzymano dla sily normalnej $F_n=30$ N przy $v_s=30$ m/min jak i dla $F_n=50$ N i $v_s=60$ m/min. W odniesieniu do toczenia stwierdzono (rys. 5b), że wartości współczynników tarcia

dla małych głębokości skrawania $a_p=0,125$ i $0,25$ mm stosowanych przy obróbce wykańczającej są dużo wyższe niż dla $a_p=1$ i 2 mm. W obu przypadkach średnia prędkość poślizgu wynosi 85 m/min. Uzyskanie dla $a_p=0,125$ mm $\mu_{sr}=1,19$ może wynikać ze szczególnych warunków tribologicznych powstałych w tej parze, a zwłaszcza zjawiska powstania nieruchomej warstwy przylegającej do powierzchni natarcia i przemieszczania się materiału wióra ponad jej górną granicę.

Porównywalne z testami tribologicznymi wartości μ_{sr} otrzymano dla dużych głębokości skrawania $a_p=1$ i 2 mm. Może to wynikać z faktu uzyskania zbliżonych warunków tribologicznych. W szczególności może mieć na to wpływ duże pole kontaktu wióra z powierzchnią natarcia oraz układ składowych siły skrawania wynikających z toczenia z istotnym udziałem prostoliniowego odcinka krawędzi skrawającej.

4. PODSUMOWANIE

Badania tarciove prowadzone w układzie pin-on-disc dostarczają wiarygodnych informacji o tribologicznych charakterystykach procesu skrawania. Stwierdzono, że podczas skrawania stopu Inconel 718 ostrzem węglkowym z powłoką TiAlN porównywalne z testami tribologicznymi warunki tarcia uzyskano dla dużych głębokości skrawania. Dodatkowo zaobserwowano, że istotnym parametrem w testach stanowiskowych jest siła docisku próbki – siła normalna F_n . Mniej wrażliwym na fluktuacje wartości μ parametrem jest prędkość tarcia v_s . Również toczenie z małymi głębokościami skrawania istotnie modyfikuje warunki tribologiczne. Uzyskane duże wartości μ wynikają prawdopodobnie ze zmiany układu składowych siły skrawania oraz wytworzenia specyficznych warunków styku (duże naciski, wysoka temperatura). Wyraźnie zaobserwowano, że podczas toczenia współczynnik tarcia jest bardziej wrażliwy na warunki technologiczne.

LITERATURA

- [1] CHOUDHOURY IA, EL-BARADIC MA., *Machinability of nickel-base super alloys: a general review*. Materials Processing Technology, 77, 1998, 278–284.
- [2] GRZESIK W., *Metodyka wyznaczania współczynnika tarcia w skrawaniu nieortogonalnym z uwzględnieniem zużycia ostrza*. Mechanik, 12, 2014, 977-980.
- [3] GRZESIK W., RECH J., ŻAK K., *Determination of friction in metal cutting with tool wear and flank face effects*, Wear, 37, 2014, 8-16.
- [4] High-temperature machining guide. www.kennametal.com.
- [5] JINDAL P.C., SANTHANAM A.T., SCHLEINKOFER U., SHUSTER A.F., *Performance of PVD TiN, TiCN, and TiAlN coated cemented carbide tools in turning*. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 17, 1999, 163-170.
- [6] ULUTAN D., OZEL T.: *Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: a review*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 51, 2011, 250-280.
- [7] ZEMZEMI F., RECH J., BEN SALEM W., DOGUI A., KAPSA PH., *Identification of friction and heat partition model at the tool-chip-workpiece interfaces in dry cutting of an Inconel 718 alloy with CBN and coated carbide tools*. Advances In Manufacturing Science And Technology, 38, 2014, 5-22.