

Procesy zużycia według schematu „narzędzie tnące – stopy tytanu”

dr inż. E. Korbut, Politechnika Kijowska «KPI», Ukraina

dr inż. E. Wajs, Politechnika Świętokrzyska Kielce, Polska

dr inż. W. Radko, prof. W. F. Labunec, W. Zagrebelny, Państwowy Uniwersytet Lotniczy, Kijów, Ukraina

W artykule ukazano podstawowe typy zużycia narzędzia tnącego podczas obróbki jednego z różnorodnych trudnoobrabialnych materiałów – stopów na osnowie tytanu

Ogólne ukazanie problemu i jego związek z zadaniami naukowo-praktycznymi

W dziedzinie budowy maszyn i obróbki metalu cięcie jest jedną z operacji, od efektu której w większości zależy dobór narzędzia w warunkach naukowo-technicznego procesu i wysokiej konkurencji na rynku. Od technologicznych operacji cięcia (toczenia, frezowania, wiercenia i in.), a konkretnie – jakości obrabianego wyrobu, otrzymanej w wyniku wypełnienia powierzchni i konieczności dalszej obróbki wyrobu, zużycia smarująco-chłodzącej cieczy i czasu eksploatacji, zależy cena przygotowanej produkcji i co za tym idzie jej konkurencyjność.

Nie patrząc na to, że obróbka metali poprzez cięcie znana jest już od trzech tysięcy lat, mechanizm tego procesu nie jest dostatecznie zgłębiany. Szczególnie dotyczy to trudnoobrabialnych materiałów, jak stopy tytanu.

Przegląd literatury i analiza nierozwiązanych problemów

Stopy tytanu są perspektywicznymi materiałami konstrukcyjnymi, których unikalne właściwości otwierają duże możliwości udoskonalania procesów technologicznych i oprzyrządowania. Tytanowe stopy są perspektywicznymi materiałami konstrukcyjnymi, unikalne właściwości których ukazują znaczące możliwości udoskonalania procesów technologicznych, oprzyrządowania i wyrobów w samych różnorodnych dziedzinach przemysłu, na przykład w lotnictwie i budowie raket, budowie statków, budowie okrętów, przemyśle naftowym i chemicznym, medycynie i in. [1–4]. Tak więc samolot Airbus A350 na 10% według masy składa się z tytanu, 12% skrzydeł samolotu transportowego Ił-76 wykonanego z wysokowytrzymałych stopów tytanu.

W porównaniu z innymi konstrukcyjnymi materiałami stopy tytanu chara-

kteryzują się lepszym połączeniem wysokich mechanicznych właściwości, odpornością korozyjną w najsurowszych warunkach atmosferycznych oraz silnych detergentów chemicznych, a także małym ciężarem właściwym. Duże znaczenie mają również właściwości tytanu: mały współczynnik rozszerzalności cieplnej, mały współczynnik tarcia, wysoka temperatura topienia czy biologiczna neutralność itd.

Niestety tytan i jego stopy cechują się dużą wadą – słabą obróbką poprzez cięcie. Szczególnie to dotyczy tytanowych stopów jak Ti 10.2.3 i Ti, jak i zagranicznej produkcji WT22 i WT23. Ciągłe udoskonalanie stopów tytanu i zastosowanie ich w dużej skali, a także twarde warunki ich eksploatacji, potrzebują zgłębnego znaczenia ich warunków technologicznych w celu naukowo objętej intensyfikacji ich właściwości technologicznych procesów obróbki. Udoskonalanie procesów obróbki cięcia stopów tytanu, będąc



ważnym argumentem zwiększenia wydajności i zmniejszenia ceny wyrobu, proponuje badanie procesów tarcia i zużycia rozwijających się na stykających się powierzchniach wiertła i obrabianego stopu tytanu.

Cel pracy

Celem pracy jest badanie procesów zużycia, zachodzących na powierzchniach roboczych instrumentów tnących (IT) podczas obróbki stopów tytanu.

Zawartość i rezultaty badania

Proces współdziałania między instrumentalnym i obrabianym materiałem znacznie różni się od procesu trących się powierzchni części maszyn i mechanizmów, w rezultacie występowania dużych sił tarcia i deformacji maszyn i mechanizmów w wyniku pojawienia się wysokiego ciśnienia, dużych względnych sił tarcia i deformacji, a także wysokich kontaktowych temperatur, dużych sił tarcia i deformacji, a także wysokich temperatur. Dlatego proces kształtowania za pomocą cięcia ukazuje samodzielną część tribologii. W związku z tym należy uwzględnić mechanizm procesu zużycia na powierzchniach kontaktu, znaleźć przyczyny ich zużycia, co daje możliwość określić drogę zwiększenia odporności narzędzia tnącego.

Ważną rolę dla zbadania zużycia narzędzia i charakterystyk jakości warstwy powierzchniowej mają zjawiska w strefie kontaktu. Tarcie zewnętrzne jest jednym z najważniejszych elementów procesu cięcia i w znacznym stopniu określa produkcję, odporność narzędzia i jakość obrabianej powierzchni, a co za tym idzie długi czas eksploatacji części, otrzymanych poprzez cięcie.

Przeważająca ilość prac ukazanych dla tego obranego kierunku poświęcona jest zbadaniu przydatności RI podczas obróbki stopów na osnowie żelaza. W niewielu pracach po cięciu stopów tytanu [5; 6] znane są urywkowe dane o przydatności RI przy obróbce stopu tytanu konkretnej marki, a mechanizm zużycia nie jest ukazany.

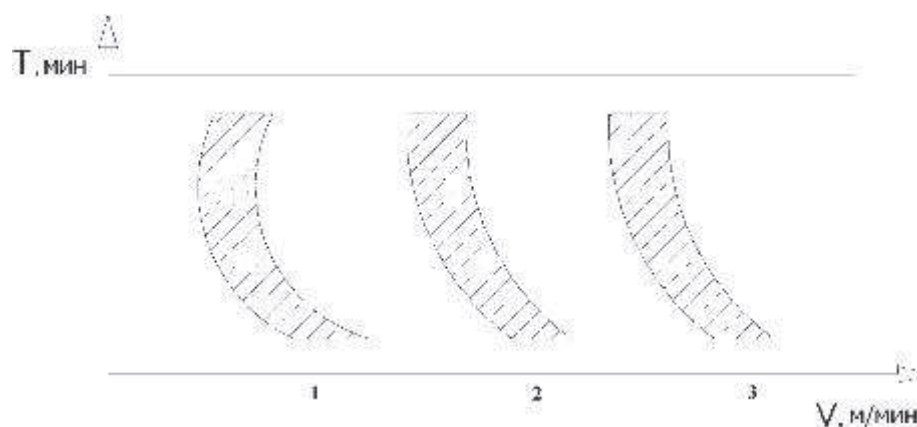
Dla obróbki stopów tytanu poprzez cięcie w charakterze materiałów narzędziowych, używa się twarde stopy i stale szybko tnące. Najlepszym będzie tutaj BK2. Mniejszą odporność (zmniejsza-

jąco) mają twarde stopy BK4, BK6, BK6M, BK8 i in. Dla zwiększenia odporności narzędzia, wykonanego ze stopu twardego, należy stosować chłodzenie płynem chłodzącym.

Narzędzia tnące o niewielkich rozmiarach stwarzają pewne trudności podczas dozbierania ich płytkami ze stopów twardych, na przykład wiertła o średnicy mniejszej niż 5 mm, zaleca się produkować ze stali szybko tnących. Stopy tytanu dają się obrabiać za po-

węglików tytanu, ponieważ węgiel rozpuszcza się w stopie tytanu tylko do zawartości 0,2%. Jeżeli zawartość węgla w stopie tytanu jest wyższa od tej wartości, to tworzą się bardzo twarde węgliki tytanu, które w konfrontacji z krawędzią tnącą narzędzia powodują jej stępienie.

Pomiędzy tytanową warstewką a narzędziem znajduje się niewielka powierzchnia kontaktu, dzięki czemu w strefie cięcia dochodzi do wysokich obciążeń



Rys. 1. Schemat względnej obrabialności stopów: 1 – żarowytrzymałych; 2 – tytanowych; 3 – nierdzewnych

mocą wiertel ze stali szybko tnących z następującymi parametrami części roboczej narzędzia: kąt tylny $\alpha=10^\circ$, kąt główny frontowy $\phi_1=45^\circ$, wspomagający kąt od frontu $\phi=15^\circ$, promień wierzchołkowy $r=1$ mm, prędkość cięcia podczas toczenia stopu BT1-1 $v=25-30$ m/min, głębokość cięcia $t=0,5-3$ mm [3].

Podkreślić należy, że stopy tytanu dają się obrabiać o wiele łatwiej niż stopy żarowytrzymałe, ale w porównaniu ze stalami szybko tnącymi – gorzej (rys. 1). Czas eksploatacji i trwałość narzędzi tnących zmienia się w szerokich zakresach tak dla różnych stopów tytanu, jak i dla wybranego typu danego stopu.

Przyczyny słabej obrabialności stopów na osnowie tytanu i niewysokiej trwałości narzędzi tnących nie są jeszcze całkowicie zbadane.

Jedną z przyczyn jest przypiekanie narzędzia tnącego do stopu tytanu, a w niektórych przypadkach zachodzi umocnienie powierzchniowe stopów tytanu, co powoduje znaczne stępienie tnącego narzędzia. Zawartość węgla powyżej 0,2% przyczynia się do powstawania

i temperatury. Tytan charakteryzuje się niskim przewodnictwem cieplnym i zwiększoną aktywnością chemiczną przy temperaturach w strefie kontaktu narzędzie tnące – materiał obrabiany, zaczynając od 550°C zachodzi utrudnione odprowadzanie ciepła ze strefy cięcia. W wyniku powyższego na powierzchni roboczej narzędzia tnącego pojawiają się obszary adhezji, gdzie tytan powoduje tępienie narzędzia. Powoduje to również zmianę wielkości geometrycznych ostrza, co z kolei zwiększa siły cięcia i jeszcze większy wzrost temperatury, zmniejszając czas eksploatacji narzędzia.

Najwięcej trudności podczas cięcia stopów tytanu pojawia się podczas wstępnej obróbki półfabrykatów, ponieważ podczas tego procesu niszczone jest warstwa zawierająca różne defekty, utworzone w wyniku reakcji tytanu z tlenem i azotem. W związku z powyższym przed toczeniem lub frezowaniem duże nierówności powierzchni wstępnie obrabia się za pomocą specjalnej technologii, co powoduje zwiększenie trwałości narzędzia tnącego. Na przykład, podczas piaskowa-

nia półfabrykatu w celu usunięcia nagaru i następnie trawienia wodnym roztworem zawierającym 16% kwasu azotowego i 5% kwasu fluorowodorowego, trwałość narzędzia z płytą węglkową zwiększa się 3 razy. Decydującym warunkiem zwiększenia trwałości narzędzia tnącego będzie ustalenie głębokości cięcia.

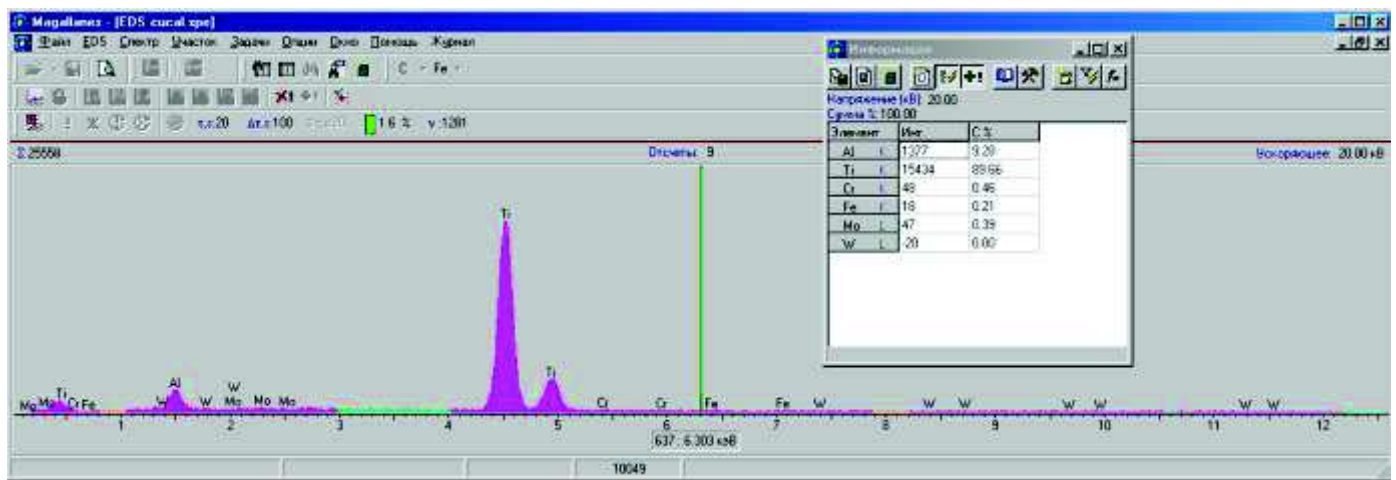
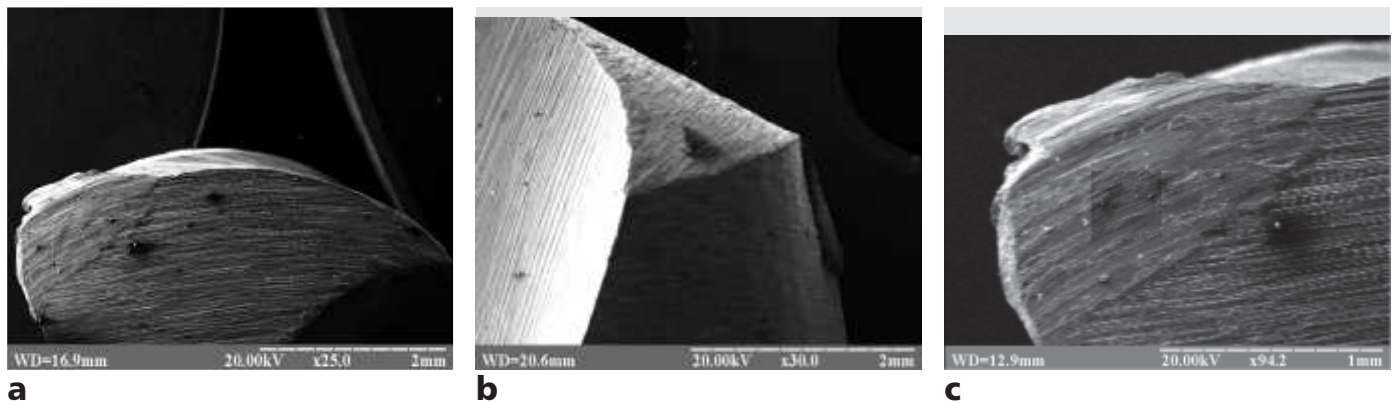
W czasie pracy narzędzia tnącego zachodzą skomplikowane procesy, w rezultacie czego narzędzie z czasem zużywa się. W zależności od właści-

Zużycie wiertel zachodzi w wyniku tarcia tylnej powierzchni o powierzchnię cięcia, wióra powierzchnie czołową, listew prowadzących o obrabianą powierzchnię i zagniecenia krawędzi bocznej.

Zużycie wiertła zachodzi nierównomiernie i na poprzecznej krawędzi zużycie jest najmniejsze, zaś największe będzie zużycie kątowe, zachodzące pomiędzy głównymi krawędziami tnącymi i wiórem. Skupiają się tam największe naprężenia, ponieważ

Materiał, z którego wykonano narzędzie powinien cechować się wysoką twardością, trwałością oraz odpornością na mechaniczne i cieplne obciążenia. Powinien poddawać się obróbce i nie kosztować zbyt wiele. Dzięki wysokiej twardości narzędzie tnące cechuje również zwiększona odporność na zużycie, która niweluje chemiczne powinowactwo narzędzia tnącego i obrabianego materiału.

W zależności od rodzaju materiału stosowanego na narzędzia, właściwości



d
Rys. 2. Adhezja tytanu na tylnej powierzchni tnącej części wiertła ze stali P5M6: a) obraz z góry; b) z boku; c) miejsce określenia analizy chemicznej; d) rozmieszczenia pierwiastków chemicznych (zawartość tytanu do 90%)

wości fizyko-mechanicznych obrabianego materiału, geometrii narzędzia i obrabianego materiału, parametrów cięcia (prędkość, głębokość) i smarująco-chłodzącego płynu, charakter zużycia narzędzi zmienia się.

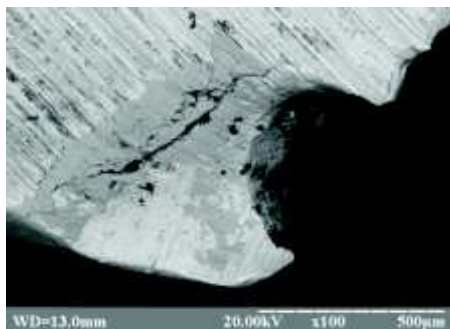
Zużywanie się frezów podczas obróbki stopów tytanu powoduje powstawanie zagłębień na frontowej powierzchni ostrza. Zagłębienie przechodzi dalej na tylną powierzchnię, w związku z czym kąt natarcia przyjmuje wartości ujemne.

prędkość cięcia w tych miejscach jest największa, podobnie jak i temperatura.

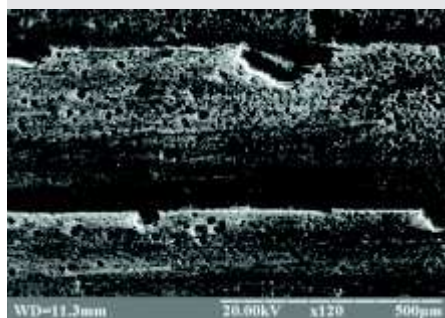
Zużycie wiertła z ostrzem węglkowym podczas obróbki stopów tytanu zwykle zachodzi na tylnych powierzchniach. Dopuszczalna wartość zużycia waha się w przedziale 0,35–05 mm.

Podczas obróbki mechanicznej stopów tytanu zaleca się stosowanie niewielkich prędkości, przy jednoczesnych dużych głębokościach cięcia wykorzystując ciecz chłodzącą [5].

i parametrów cięcia na stykających się powierzchniach będą rozwijać się różne procesy tarcia i zużycia określające trwałość narzędzia tnącego. Ważną rolę w tych procesach odgrywają mechanizmy deformacji, ponieważ obciążenia na powierzchniach roboczych narzędzia powodują zwiększenie naprężeń, które z kolei przyczyniają się do plastycznej deformacji. Konkretnie wartości obciążeń siłowych i cieplnych prowadzą do rozwijania się procesów zatarcia, które odpowiadają za przejście



Rys. 3. Mikropęknięcie na przedniej powierzchni wiertła po obróbce stopu tytanu WT 22



Rys. 4. Zużycie ściernie wiertła po obróbce stopu tytanu

od umiarkowanego do intensywnego zużycia.

W przypadku różnorodnych materiałów jest to przejście od adhezyjnej współpracy stykających się materiałów do kohezynnej współpracy jednorodnych materiałów i kształtowania widocznego filmu. Typowy obraz adhezji materiału podczas cięcia widoczny jest na rys. 2.

W czasie obróbki stopów tytanu, temperatura w obszarze stykających się powierzchni dochodzi do 850°C. Analiza chemiczna warstwy wierzchniej części tnącej wiertła pokazała, że zawartość tytanu w nalepionych obszarach dochodziła do 90%. (rys. 2).

Przy obróbce stopów tytanu za pomocą narzędzi z węglików spiekanych obszary zacierania mają postać pasm, oddzielnych plam lub rozłożone są na całej powierzchni roboczej narzędzia w formie wyrw, zdeformowanych obszarów czy też nalepionych cząstek od obrabianego stopu tytanu.

Gdy stopu tytanu są cięte, na stykających się powierzchniach zachodzą procesy bezpośrednio związane z ich fizyko-mechanicznymi właściwościami oraz strukturą. Praktycznie przy wszelkich możliwych warunkach cięcia zachodzi zużycie na przedniej i tylnej powierzchni narzędzia tnącego. Intensywność zużycia powierzchni roboczych narzędzia tnącego określa jego eksploatacyjną przydatność w danych warunkach cięcia. Znajomość mechanizmów zużycia w różnych warunkach pozwala sterować procesem zużycia.

Jednym z najbardziej powszechnych mechanizmów stykających się powierzchni materiału obrabianego i narzędzia jest zużycie zmęczeniowe. Zużycie to powstaje na krawędzi tnącej

narzędzia i charakteryzuje się zniszczeniem warstw powierzchniowych w wyniku działania naprężeń stycznych, powodujących pęknięcia w warstwie i pod warstwą i następuje pojawianie się cząstek zużycia. Skupiska mikro i makroskopowych pęknięć pod wpływem naprężeń zarówno na powierzchni, jak i na pewnej głębokości zależy od naprężeń normalnych i stycznych w strefie kontaktu. Nierównomierny rozkład miejscowych naprężeń w matrycy stali szybko tnącej prowadzi do zwiększenia gęstości dyslokacji i asekurowany jest przez gromadzenie w warstwach energii deformacji oraz pojawianie się mikroszczelin. Mikropęknięcie tuż pod warstwą rozwija się prostopadle do powierzchni i sprzyja oddzieleniu się cząstek zużycia. Powierzchniowe pęknięcia zaś rośnie w głąb materiału, łącząc się z sąsiednimi szczelinami co prowadzi do powstawania produktów zużycia.

Pęknięcie powstałe w wyniku zużycia zmęczeniowego pokazane jest na rys. 3.

Jeszcze jednym typem zużycia, który można spotkać w praktyce tribologicznej wg schematu «narzędzie tnące-stop tytanu» jest zużycie ściernie, w którym właściwości powierzchni odgrywają ważną rolę. Taka forma zużycia zachodzi w procesach obróbki mechanicznej stopów tytanu, a także wtedy gdy w strefę kontaktu wpadają twarde cząstki od produktów zużycia.

Nie patrząc na to, że narzędzie tnące cechuje się wyższą twardością niż obrabiany stop tytanu dochodzi do jego stępienia, ponieważ produkty zużycia także cechują się wysoką twardością oraz podczas obróbki stop umacnia się dodatkowo, a cząstki oddzielone od materiału rodzimego spełniają rolę ścierniwa.

Najbardziej pożądanym typem zużycia zachodzącym podczas mechanicznej obróbki stopów tytanu, jest zużycie utleniające. Osiągane jest ono przy optymalnej korelacji parametrów obróbki, materiału narzędzia i jego geometrii, użycia specjalistycznych narzędzi i systemów, np. frezów z dużą liczbą wielokątowych płytek tnących, a także doborze płynu smarująco-chłodzącego.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów ustalono, że podczas obróbki mechanicznej stopów tytanu na powierzchniach roboczych narzędzia tnącego w zależności od warunków i parametrów cięcia powstają procesy zacierania, zużycia zmęczeniowego i utleniającego.

Perpektywą dla dalszych badań może być analiza procesów zużycia podczas kontaktu roboczej powierzchni narzędzia tnącego z innymi trudnoobrabialnymi materiałami – kompozytowymi, które dzięki swoim właściwościom znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu.

Literatura

1. *Материалознавство*: підручник / М. В. Кіндрачук, В. Ф. Лабунець, Т. С. Климова, І. Г. Черниш. - К.: НАУ, 2012. - 492 с.
2. *Материаловедение*. Ч. 1. Металлы и сплавы: учебник / А. Ф. Виноградский, Я. С. Карпов, Н. И. Семишов, В. Я. Самойлов, А. А. Сидаченко, Е. Г. Попова. - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. - 360 с.
3. *Применение титана в народном хозяйстве* / С. Б. Глазунов, С. Ф. Важнин, Г. Д. Зюков-Батырев, Я. Л. Ратнер. - К.: Техника, 1975. - 200с.
4. *Zielinski P.* Инструменты для обработки титана // *Modern Machine Shop*, 2009. - №9. - С.67-70.
5. *Кривоухов В. А.* Обработка резанием титановых сплавов / В. А. Кривоухов, А. Д. Чубаров. - М.: Машиностроение, 1970. - 183 с.
6. *Борисевич В.К.* Конструкционное материаловедение: Учебное пособие / В. К. Борисевич, А. Ф. Виноградский, Н. И. Семишов. - Харьков: ГАИ «ХАИ», 1998. - 404 с.