ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1967
Seria: MECHANIKA z. 27 Nr kol. 179

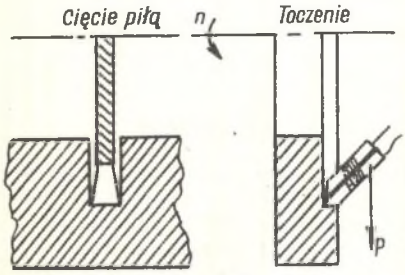
JAN DARLEWSKI
Katedra Obróbki Skrawaniem

BADANIA WPŁYWU WARUNKÓW SKRAWANIA NA TEMPERATURĘ SKRAWANIA PRZY TOCZENIU REZOTEKSTU x)

Streszczenie. Omówiono wpływ zużycia ostrza, szybkości skrawania, grubości i szerokości warstwy skrawanej oraz grubości płyty na temperaturę skrawania. Pomiary przeprowadzono metodą noża składanego przy toczeniu ciągłym i przerywanym. Stwierdzono, że przy toczeniu rezotekstu S maksymalne lokalne temperatury na ostrzu noża mogą przekraczać nawet 1000°C. Największy wpływ na temperaturę skrawania wywiera szybkość skrawania lub grubość płyty, natomiast wpływ grubości warstwy skrawanej jest nieznaczny.

1. Zakres badań i metoda pomiarów

Przeprowadzone w Laboratorium Obróbki Skrawaniem Politechniki Śląskiej badania miały na celu naświetlenie zaobserwowanego w praktyce produkcyjnej zjawiska występowania wysokich temperatur skrawania przy przecinaniu płyt rezotekstowych S piłą tarczową. Z uwagi na trudności pomiaru temperatury skrawania przy cięciu piłą tarczową związane z ruchem obrotowym narzędzia, pomiarów dokonano przy toczeniu. Zastosowano tu metodę termoelektryczną [2], posługując się specjalnym nożem składanym z węglików spiekanych S10 i H20, o geometrii zbliżonej do geometrii optymalnej ostrza piły tarczowej do przecinania płyt. Prób dokonywano zarówno przy toczeniu ciągłym



Rys. 1. Porównanie cięcia piłą tarczową z toczeniem tarczy wyciętej z płyty stosowanym przy pomiarach temperatury skrawania

x) Artykuł niniejszy stanowi fragment pracy doktorskiej autora [1]

tarcz wyciętych z płyty, jak i przy toczeniu przerywanym próbek, odwzorowując w przybliżeniu pracę ostrza piły przy przecinaniu płyt (rys. 1).

Wskazania termopary przy toczeniu ciągłym rejestrowano za pomocą kompensatora elektronowego z urządzeniem piszącym na taśmie papierowej, zaś przy toczeniu przerywanym dokonywano zdjęć obrazu na ekranie oscyloskopu aparatem fotograficznym. Temperaturę wody chłodzącej zimne końce termopary mierzono termometrem rtęciowym. Dla usuwania szkodliwego pyłu szklanego zainstalowano na stanowisku ekshaustor.

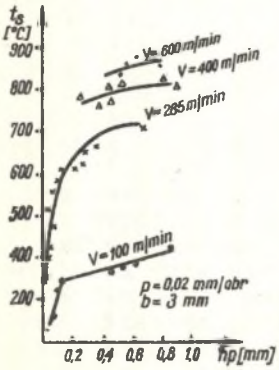
W przeprowadzonych próbach zmieniano szybkość skrawania w zakresie $v = 40-1325$ m/min, grubość warstwy skrawanej $a = 0,0075-0,16$ mm, szerokość warstwy skrawanej $b = 0,5-6$ mm, grubość płyty $g = 5-29$ mm, zaś szerokość stępienia ostrza na powierzchni przyłożenia $h_p = 0-1$ mm. Czas trwania poszczególnych prób wynosił $T = 20$ sek - 3 min przy toczeniu ciągłym i $T = 30$ sek - 20 min przy toczeniu przerywanym próbek, co zapewniało dokonywanie pomiarów w warunkach ustalonej temperatury. Aby zapewnić możliwie niezmienną szybkość skrawania w czasie pomiaru kompensowano przyrost szybkości wynikły ze wzrostu średnicy toczenia zmniejszaniem prędkości obrotowej wrzeciona. Uzyskiwano to sterując odpowiednio silnik napędzający tokarkę w układzie Ward-Leonarda.

Przeprowadzone dodatkowe badania [1,2] pozwoliły oszacować wielkość maksymalnej temperatury ostrza, panującej w bezpośrednim sąsiedztwie przejściowej krawędzi skrawającej, na około dwukrotnie wyższą od temperatury średniej, wskazywanej przez termoparę. Ponieważ jednak ścisłe określenie maksymalnej temperatury ostrza okazało się niemożliwe, jako temperaturę skrawania t_s przyjęto temperaturę średnią wskazywaną przez termoparę o przyjętej określonej powierzchni styku jej elementów.

2. Zależność temperatury skrawania od zużycia ostrza

Celem określenia wpływu zużycia ostrza na temperaturę skrawania przeprowadzono szereg skrawań przy toczeniu ciągłym, rejestrując temperaturę i dokonując co pewien czas pomiarów zużycia ostrza. Duży wpływ zużycia ostrza na temperaturę skrawania występujący w początkowym okresie stępienia, uwidacznia się na wykresie (rys. 2), przedstawiającym zależność temperatury skrawania t_s od szerokości starcia ostrza na powierzchni przyłożenia h_p. Wyznaczone krzywe dla różnych szybkości skrawania wykazują w zakresie małych wartości stępienia h_p stromy przebieg. Przy większych wartościach zużycia h_p przyrosty temperatury skrawania maleją. Punkty załamania się krzywych wykresu przesuwają się, w miarę wzrastających szybkości skrawania, w kierunku większych wartości zużycia ostrza.

Podobne zjawisko zmniejszania się przyrostu temperatury w miarę postępującego zużycia ostrza przy toczeniu polistyrenu (o współczynniku przewodzenia ciepła nawet nieco mniejszym od rezotekstu S) tłumaczy A.N. Reznikow [3] na podstawie obliczeń analitycznych ułatwieniem odprowadzania ciepła od narzędzia do materiału skrawanego przez wzrastającą powierzchnię styku na powierzchni przyłożenia ostrza.

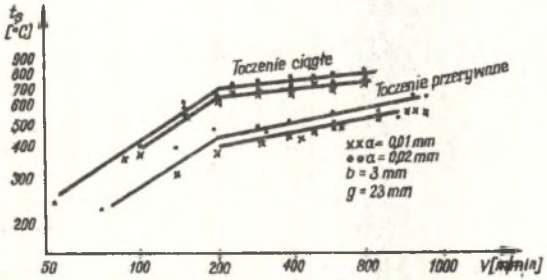


Rys. 2. Zależność temperatury skrawania od stępienia ostrza

Przy określaniu zależności temperatury skrawania od parametrów skrawania, należy przeprowadzać pomiary przy stałej wielkości zużycia ostrza h_p = const. Warunek ten jest jednak niemożliwy do spełnienia z uwagi na stale postępujące zużycie ostrza w czasie skrawania, jak również możliwość pomiaru zużycia jedynie na ostrzu niepracującym. Z przedstawionych na rys. 2 zależności wynika, że najmniejsze błędy temperatury skrawania z tytułu różnego stępienia ostrza powstaną przy stosowaniu ostrzy znacznie zużytych. Na przykład przyjmując jako dopuszczalny błąd temperatury skrawania wielkości ± 5%, należy stosować przy pomiarach ostrza o wielkości stępienia w granicach h_p = 0,4–1,0 mm.

3. Wpływ szybkości skrawania na temperaturę skrawania

Przeprowadzone pomiary temperatury skrawania wykazały zarówno przy toczeniu ciągłym jak i przerywanym (rys. 3) podobny przebieg krzywych $t_s = f(v)$. Przy wzroście szybkości skrawania



Rys. 3. Zależność temperatury skrawania od szybkości skrawania

od v = 0 do v = 200 m/min występuje przy stosowanych parametrach gwałtowny wzrost temperatury skrawania, natomiast przy dalszym wzrości szybkości skrawania temperatury przyrastają znacznie wolniej.

Charakter otrzymanych krzywych na ogół jest zgodny z wynikami różnych badaczy, jak np. A.M. Danieljan [4], T.N. Łoładze [5], N.I. Taszlicki [6] i inni, choć uzyskane przez nich krzywe odnoszą się do skrawania innych materiałów. Różne temperatury skrawania uzyskane przy tych samych szybkościach skrawania i jednakowych parametrach w czasie toczenia ciągłego i przerywanego wynikają głównie z charakteru obu rodzajów obróbki. Przy toczeniu przerywanym czas skrawania (kontaktu ostrza z materiałem) wynosił, zależnie od grubości płyty, zaledwie 3-5% czasu obróbki, istniały więc dobre warunki chłodzenia się ostrza. Uzyskane wyniki pomiarów wykazały, że temperatura ostrza w czasie przerw pomiędzy kolejnymi przejściami spadała stosunkowo nisko. Zależnie od szybkości skrawania, a tym samym od czasu chłodzenia, wynosiła ona t = 50-130°C. Ponadto różnice temperatur przy obu rodzajach toczenia mogą być również wynikiem różnych kierunków przejścia noża względem uwarstwienia tworzywa.

Wyznaczone z pomiarów przybliżone zależności analityczne mają następującą postać:

dla toczenia ciągłego:

przy v = 40-200 m/min i a = 0,01-0,02 mm,

$$t_s = c\, v^{0,7},$$

przy v = 200-800 m/min i a = 0,01-0,16 mm,

$$t_s = c\, v^{0,2}$$

dla toczenia przerywanego:

przy v = 67-200 m/min i a = 0,02 mm,

$$t_s = c\, v^{0,5}$$

przy v = 200-1325 m/min i a = 0,0075-0,04 mm,

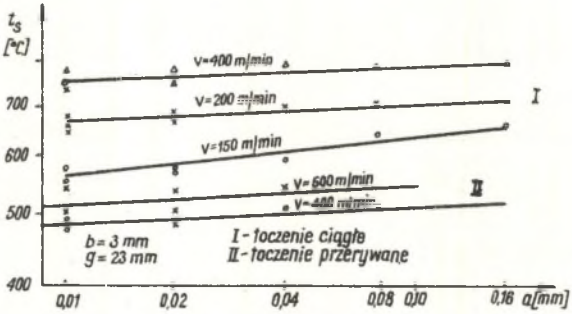
$$t_s = c\, v^{0,2}.$$

Z porównania powyższych wzorów wynika, że przy szybkościach skrawania powyżej 200 m/min wykładniki potęgowe są jednakowe dla obu rodzajów obróbki. Jako ciekawą analogię można przyto-

czyć wyniki badań A.M. Danieljana [4], który przy toczeniu stali 40X nożem z węglików spiekanych gatunku T15K6 uzyskał na wykresie $t_s = f(v)$ w skali podwójnie logarytmicznej również prostą załamaną i przy szybkościach skrawania powyżej 140 m/min identyczną wartość wykładnika potęgowego 0,20.

4. Wpływ grubości warstwy skrawanej na temperaturę skrawania

Zastosowany w badaniach schemat obróbki pozwalał na dogodną regulację grubości warstwy skrawanej, gdyż wielkość jej była



Rys. 4. Zależność temperatury skrawania od grubości warstwy skrawanej

równa posuwowi a (mm) = p (mm/obr). Przeprowadzone badania wykazały, że grubość warstwy skrawanej ma mały wpływ na temperaturę skrawania i to zarówno przy toczeniu ciągłym, jak i przerywanym. Może to świadczyć ogólnie o małym wpływie ciepła, nagrzewającego ostrze od strony powierzchni natarcia. Przebieg krzywych $t_s = f(a)$ na rys. 4 wykazuje, że stosunkowo największe przyrosty temperatury wywołane są zmianami grubości warstwy skrawanej przy jej najmniejszych wartościach poniżej 0,04 mm. Przy większych grubościach warstwy skrawanej jej zmiany wpływają jedynie w sposób nieznaczny na wzrost temperatury skrawania. Zjawisko to można tłumaczyć wpływem promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej ϱ. Wielkość tego promienia przy stępionych ostrzach dochodziła do wartości ϱ = 0,02-0,03 mm co powodowało powstanie niekorzystnej geometrii ostrza w pobliżu krawędzi skrawającej. Przy większych grubościach warstwy skrawanej procentowy udział w pracy skrawania ostrza o wspomnianej niekorzystnej geometrii staje się co raz to mniejszy.

Wzory analityczne zależności $t_s = f(a)$ mają następującą postać:

dla toczenia ciągłego:

przy $v = 150$ m/min $\quad t_s = c\,a^{0,05}$,

przy $v = 200-400$ m/min $\quad t_s = c\,a^{0,03}$,

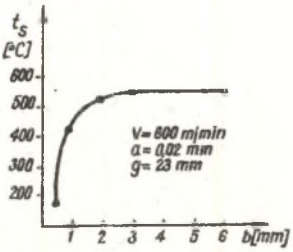
dla toczenia przerywanego:

przy $v = 400-600$ m/min $\quad t_s = c\,a^{0,03}$

Jak widać z powyższych wzorów, przy większych szybkościach skrawania wykładniki potęgowe przy grubości warstwy skrawanej są jednakowe dla obu rodzajów toczenia.

5. Wpływ szerokości warstwy skrawanej na temperaturę skrawania

Zastosowany do pomiarów temperatury skrawania nóż składany mierzył temperaturę jedynie w pobliżu naroża ostrza. Rozwiązanie takie zostało wybrane celowo z uwagi na warunki pracy ostrza piły tarczowej przy przecinaniu. Uzyskany na podstawie badań wykres zależności $t_s = f(b)$ (rys. 5) przedstawia, zgodnie z przewidywaniami, że wpływ zmian szerokości warstwy skrawanej b na temperaturę skrawania t_s zachodzi tylko w zakresie małych wartości b poniżej 2,5 mm. Dalsze zwiększenie szerokości warstwy skrawanej przez zagłębianie ostrza w materiał zupełnie nie wpływało na mierzoną temperaturę skrawania. Na tej podstawie można przyjąć, że mierzona zastosowaną metodą temperatura skrawania jest zbliżona do temperatury skrawania w pobliżu naroży ostrza przecinaka lub ostrza piły tarczowej o szerokości ostrza ponad 5 mm. Pewne różnice mogą być wywołane jedynie gorszymi warunkami odprowadzania ciepła przez narzędzie, pracujące obustronnie w szczelinie przecinanego materiału.



Rys. 5. Zależność temperatury skrawania od szerokości warstwy skrawanej

6. Wpływ grubości płyty na temperaturę skrawania

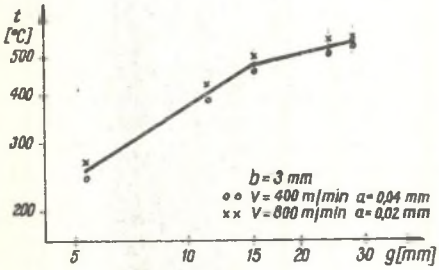
Przeprowadzone przy toczeniu przerywanym badania wpływu grubości płyty na temperaturę skrawania (rys. 6) wykazały, że w miarę zwiększania się grubości płyty przyrosty temperatury skrawania stają się co raz to mniejsze. Zjawisko to można częściowo

wytłumaczyć charakterem zmiany długości drogi przejścia ostrza przez materiał skrawany l.
Długość tej drogi można przedstawić wzorem:

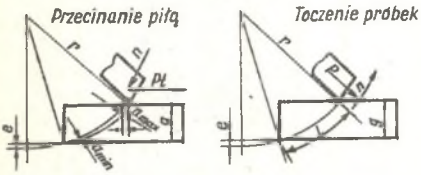
$$l = r\left[\arccos\left(1 - \frac{e+g}{r}\right) - \arccos\left(1 - \frac{e}{r}\right)\right]$$

gdzie:

r - promień toczenia wzgl. promień ostrza piły tarczowej
g - grubość płyty,
e - wybieg ostrza poza płytę (rys. 7).



Rys. 6. Zależność temperatury skrawania od grubości płyty



Rys. 7. Porównanie kinematyki przecinania piłą tarczową z kinematyką toczenia próbek

Z charakteru funkcji arccos wynika, że przy stałych wartościach e i r w miarę powiększania parametru g (aż do wartości g = r - e) wartość $\arccos\left(1 - \frac{e+g}{r}\right)$ będzie rosnąć co raz to wolniej. Ponieważ drugi składnik sumy ma przy przyjętych założeniach wartość stałą, przyrosty długości drogi przejścia l będą malejące.

Należy zaznaczyć, że uzyskane wyniki odnoszą się do średnicy toczenia d = 440 mm, można je więc porównywać do przecinania płyty piłą tarczową o średnicy D = 440 mm. W przypadku innej średnicy toczenia (wzgl. średnicy piły) uzyskane temperatury skrawania przy tych samych grubościach płyt byłyby niewątpliwie inne, z uwagi na różną wartość stosunku czasu nagrzewania do czasu chłodzenia ostrza k_T. Wynika to z zależności tego stosunku od średnicy piły, wyrażającej się wzorem:

$$k_T = \frac{\arccos\left[1 - \frac{2(e+g)}{d}\right] - \arccos\left(1 - \frac{2e}{d}\right)}{2\pi - \arccos\left[1 - \frac{2(e+g)}{d}\right] - \arccos\left(1 - \frac{2e}{d}\right)}$$

Przy stosowaniu więc np. piły jednozębnej o normalnej średnicy D = 350 mm przy pozostałych parametrach niezmienionych, temperatury będą prawdopodobnie nieco wyższe od uzyskanych w badaniach (przy d = 440 mm). Wynika to z porównania stosunków k_T, który przy grubości płyty g = 23 mm wynosi dla średnicy d = 440 mm, k_T = 0,057, zaś dla d = 350 mm, k_T = 0,052. Różnica tych stosunków wynosi około 10% ich wartości, można więc przypuszczać, że jej wpływ na zmianę temperatury skrawania będzie znikomy.

Wyprowadzone na podstawie wyników badań zależności analityczne $t_s = f(g)$ dadzą się przedstawić poniższymi przybliżonymi wzorami:

przy g = 5-15 mm $t_s = c\, g^{0,65}$

przy g = 15-25 mm $t_s = c\, g^{0,25}$

7. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyprowadzenie przybliżonych wzorów, przedstawiających zależność temperatury skrawania od parametrów skrawania v, a, g przy toczeniu płyt rezotekstowych S. Ważne są one dla pracy nożem o przyjętej w badaniach optymalnej geometrii i przy szerokości warstwy skrawanej powyżej 2,5 mm, dla toczenia przerywanego ponadto dla średnicy toczenia d = 440 mm.

Dla toczenia ciągłego:

przy v = 40-200 m/min, $t_s = 17,5\, v^{0,7}\, a^{0,05}$

przy v = 200-800 m/min, $t_s = 232\, v^{0,2}\, a^{0,03}$

Dla toczenia przerywanego:

przy v = 67-200 m/min i g = 15-30 mm,

$$t_s = 13\, v^{0,6}\, a^{0,05}\, g^{0,25}$$

przy v = 200-1325 m/min i g = 5-15 mm,

$$t_s = 25,6\, v^{0,2}\, a^{0,03}\, g^{0,65}$$

przy v = 200-1325 m/min i g = 15-30 mm,

$$t_s = 76,5\, v^{0,2}\, a^{0,03}\, g^{0,25}$$

Z porównania wykładników potęgowych w powyższych wzorach wynika, że największy wpływ na temperaturę skrawania przy toczeniu przerywanym wywiera - w zakresie małych szybkości skrawania $v < 200$ m/min - szybkość skrawania, zaś przy $v > 200$ m/min grubość płyty g. Najmniejszy wpływ przy obu rodzajach toczenia wywiera grubość warstwy skrawanej, w całym zbadanym zakresie szybkości skrawania.

Znikomy wpływ grubości warstwy skrawanej na temperaturę skrawania pozwala na zastosowanie wyprowadzonych zależności do przecinania płyt piłą tarczową jednozębną, gdzie w czasie skrawania zmienia się grubość warstwy skrawanej. Należy jednak wówczas do wzorów podstawić średnią grubość warstwy skrawanej $a_{śr}$, której wartość można wyliczyć z poniższego wzoru:

$$a_{śr} = p_z \sqrt{\frac{e+g}{d}\left(1 - \frac{e+g}{d}\right) + \frac{e}{d}\left(1 - \frac{e}{d}\right)},$$

gdzie:

p_z - posuw na ostrze,
d - średnica piły,
g - grubość płyty,
e - wybieg ostrza poza płytę.

Wielkość błędu temperatury skrawania, wynikłego z przyjęcia do obliczeń średniej grubości warstwy skrawanej przy przecinaniu, zależy od wartości współczynnika zmiany grubości warstwy skrawanej $k = a_{max} : a_{min}$ oraz wykładnika potęgowego przy grubości warstwy skrawanej we wzorze na t_s. Wartość współczynnika k można wyliczyć z wzoru:

$$k = \sqrt{\left(1 + \frac{g}{e}\right)\left(1 - \frac{g}{d-e}\right)}.$$

Błąd względny obliczonej temperatury skrawania wyraża się wzorem:

$$\delta t_s = 1 - \left(\frac{2}{k+1}\right)^u,$$

gdzie:

$u = 0{,}05$ przy $v < 200$ m/min, $u = 0{,}03$ przy $v > 200$ m/min.

Na przykład dla stosowanych w pracy parametrów $d = 350$ mm i $e = 7$ mm, przy $g = 24$ mm współczynnik $k = 2$, zaś przy $g = 50$ mm $k = 2{,}6$ co daje w wyniku przyjęcia do obliczeń temperatury skrawania średniej grubości warstwy skrawanej błędy względne:

dla $k = 2$ – przy $u = 0,05$ $\delta t_s = 1,9\%$

przy $u = 0,03$ $\delta t_s = 1,1\%$

dla $k = 2,6$ – przy $u = 0,05$ $\delta t_s = 2,8\%$

przy $u = 0,03$ $\delta t_s = 1,5\%$.

Jak widać, błędy te są nieznaczne, można więc wyprowadzone przy toczeniu przerywanym wzory na temperaturę skrawania stosować również do przecinania płyt piłą tarczową jednoostrzową. Przy stosowaniu pił tarczowych wieloostrzowych można spodziewać się nieco wyższych temperatur, gdyż występuje wówczas bardziej intensywne wydzielanie się ciepła skrawania, co utrudnia jego odprowadzenie zarówno przez materiał obrabiany jak i narzędzie, powodując w efekcie zwiększoną akumulację ciepła.

LITERATURA

[1] Darlewski J.: Badania wpływu warunków skrawania na zużycie ostrza, temperaturę skrawania i siły przy przecinaniu tworzyw fenolowo-formaldehydowych wzmocnionych tkaniną szklaną. Praca doktorska. Gliwice 1964 r. str. 39-68.

[2] Darlewski J.: Pomiar temperatury skrawania tworzyw sztucznych metodą noża składanego. Mechanik t. 39 Nr 4 (1966) str. 194.

[3] Rieznikow A.N.: Tiepłofiziczeskije rasczety i ekspierimienty pri riezanii mietałłow i płastmass, Wiestnik maszinostrojenija Nr 11 1963 r. str. 29-34.

[4] Danieljan A.M.: Tiepłota i iznos instrumientow w processie riezanija mietałłow, Moskwa 1954, Maszgiz, str. 47-95, 147-153.

[5] Łoładze T.N.: Iznos rieżuszczego instrumienta, Moskwa 1958, Maszgiz, str. 26-45, 120-169.

[6] Taszlicki N.I.: O wlijani tiepłoprowodnosti stali na tiempieraturu riezanija i obrabatywajemost. Moskwa 1948, Maszgiz, str. 129-146.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА МАРКИ (REZOTEKST S)

Резюме

В статье представлено часть докторской диссертации, написанной автором. Описано влияние износа резца, скорости резания, толщины и ширины среза и толщины листа пластмассы на температуру резания. Исследования сделано по методу составного резца при плавном и перерывном точении. Опыты показали, что при точении стеклотекстолита марки Rezotekst S максимальные температуры на головке резца превышают иногда 1000°C. Наибольшие влияние на температуру резания действует скорость резания или толщина листа; влияние толщины среза незначительно.

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS DER SCHNITTBEDINGUNGEN AUF DIE SCHNITTTEMPERATUR BEIM DREHEN VON GLASFASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN (REZOTEKST S)

Diese Arbeit ist entnommen aus der Dissertation. Man besprach hier der Einfluss der Schneidenabnutzung, der Schnittgeschwindligkeit, der Schnittschichtendicke und -breite und der Plattendicke auf die Schnitttemperatur. Die Untersuchungen wurden mittels einen zusammengesetzten Drehmeissels bei kontinuerlichen und unterbrechenden Drehen durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass beim Drehen des Rezotekst S die lokalen maximalen Schneidetemperaturen 1000°C überschreiten können. Der grösste Einfluss auf die Schnitttemperatur hat die Schnittgeschwindigkeit bzw. die Plattendicke, der kleinste - die Schnittschichtendicke.