doc.dr inż. Józef KOSZKUL
Politechnika Częstochowska

JAKŚĆ POWIERZCHNI PO OBRÓBCE SKRAWANIEM TWORZYW TERMOPLASTYCZNYCH

1. Wstęp

Spośród krajowych tworzyw termoplastycznych duże zastosowanie do celów konstrukcyjnych znajdują poliamidy 6 i politrioksan. Są one produkowane w różnych odmianach. Należą do materiałów o stosunkowo dobrej obrabialności. Ze względu na duże ich zastosowanie w różnych wyrobach i konstrukcjach maszynowych, wybrano je do badań w ramach niniejszej pracy.

Światowa produkcja tworzyw sztucznych jest już bardzo duża, przekroczyła już liczbę 50 mln ton. Na jednego mieszkańca USA średnie ich zużycie wynosi 100 kg, a na jednego mieszkańca Polski - 31 kg. Na podstawie ich wykorzystania w samochodach osobowych można określić skalę zastosowań. Otóż w jednym samochodzie znajduje się 300 - 1000 elementów z tych materiałów o masie ok. 100 kg [1] .

Celem pracy jest określenie wpływu parametrów obróbki skrawaniem na chropowatość powierzchni obrobionej, mezotwardość warstwy wierzchniej i jej strukturę nadcząsteczkową.

Do badań wybrano tworzywa konstrukcyjne produkcji polskiej: Tarnamid B, Tarnamid T-27, Itamid 353 i Tarnoform 300. Pierwsze dwa tworzywa są poliamidami 6, przy czym Tarnamid B jest produkowany w postaci płyt i bloków, a tarnamid T-27 w postaci granulek do wytrysku. Tworzywa te są wrażliwe na wilgoć, co ma wpływ na ich właściwości i wymiary wykonanych z nich elementów. Produkowane są przez Zakłady Azotowe w Tarnowie. Itamid 353 jest również poliamidem 6 zabarwionym na kolor czarny, ale wzmocnionym krótkim włóknem szklanym w ilości 35 % wagowo. Jest zatem kompozytem. Produkowany jest przez Spółdzielnię Pracy Chemików "XENON" w Łodzi, w postaci granulek do wtrysku. Dodatek włókna szklanego wpływa na zwiększenie właściwości wytrzymałościowych kompozytu oraz na zmniejszenie chłonności wilgoci i poprawę stabilności wymiarowej. Tarnoform 300 jest politrioksanem należącym do grupy poliacetali. Produkowany jest w postaci granulek do wtrysku przez Zakłady Azotowe w Tarnowie.

Właściwości tych tworzyw są podane w literaturze [2,3] oraz w prospektach producentów.

Badania wykonano na próbkach pierścieniowych o wymiarach ø 100/48 x 15 mm, przy czym próbki z Tarnamidu B wykonano metodą obróbki skrawaniem, z jednego bloku tworzywa. Z pozostałych tworzyw próbki wykonano metodą wtrysku w specjalnej formie na wtryskarce typu KUASY 150/50.

Toczenie próbek w ramach badań wykonano na tokarce typu TR-55 z bezstopniowym napędem wrzeciona, Próbki mocowano na trzpieniu tokarskim osadzonym w uchwycie samocentrującym i podpartym kłem. Do skrawania użyto noży tokarskich ze stali szybkotnącej SW18 o twardości 62 - 63 HRC, jedynie próbki z Itamidu obrabiano nożami z nakładką z węglików spiekanych H 20. Miały one następującą geometrię ostrza [4] :

$$\alpha_o = 20^o, \quad \gamma_o = 30^o, \quad \varkappa_r = 60^o, \quad \varepsilon_r = 105^o, \quad \lambda_s = 5^o, \quad r_\varepsilon = 2 \text{ mm}.$$

Skrawanie wykonano narzędziami ostrymi, dlatego pominięto wpływ zużycia ostrza. Parametry obróbki przyjęto na podstawie badań wstępnych.

Chropowatość powierzchni określono za pomocą średniego arytmetycznego odchylenia profilu od linni średniej - R_a, który mierzono profilografometrem typu ME - 10. Dokładność pomiarów określona na podstawie serii pomiarów paralelnych wynosi 6,0 - 9,5 %.

Mezotwardość warstwy wierzchniej /WW/ określono za pomocą mikrotwardościomierza typu PMT - 3 z okularem AM 9 - 3, przy czym pomiar na głębokości h = 0 wykonano na powierzchni próbki.

Strukturę nadcząsteczkową określono za pomocą mikroskopu polaryzacyjno - interferencyjnego typu Polam Ł - 211. Obserwacje ścinków mikrotomowych tworzyw o grubości 20 µm dokonano w świetle białym, przechodzącym i spolaryzowanym. Parametry do badań wycinano prostopadle do powierzchni badanej WW, na tokarce za pomocą ostrego noża tokarskiego. Tokarka spełniła rolę sztywnego mikrotomu. Wycięcie z tych parametrów próbki o powierzchni 30 - 50 mm^2 przemywano w ksylenie i zatapiano w mieszaninie ksylenu z kalafonią między szkiełkami przedmiotowymi i przykrywkowymi.

Każdy pomiar powtarzano pięciokrotnie. Statystyczną jednorodność wyników pomiarów sprawdzono testem Dixona [5] . Obliczenia wykonano na maszynie matematycznej typu ODRA - 1305.

2. Chropowatość powierzchni obrobionej

Badania w zakresie wpływu parametrów skrawania na chropowatość powierzchni obrobionej wykonano metodą wieloczynnikową. Wykorzystano program statyczny, zdeterminowany selekcyjny wieloczynnikowy typu PS/DS-P: λ wg [6] . Analizowano przydatność różnych modeli matematycznych do przybliżenia rozkładu wyników pomiarów chropowatości powierzchni obrobionej. Stwierdzono, że najlepszy jest model potęgowy w postaci:

$$R_a = C\, v^m\, p^n\, g^r, \qquad /1/$$

gdzie: R_a - parametr chropowatości powierzchni obrobionej w μm,

v - prędkość skrawania w [m/min],

p - posuw na obrót w [mm],

g - głębokość skrawania w [mm],

C, m, n, r - współczynniki regresji; wielkości stałe, zależne od materiału obrabianego, materiału ostrza i jego geometrii.

Wartości poszczególnych zmiennych niezależnych przyjęto na pięciu poziomach.

Po wykonaniu prób obróbki, pomiarów chropowatości powierzchni obrobionej i obliczeń wg metody najmniejszych kwadratów, uzyskano następujące zależności dla poszczególnych tworzyw:

- Tarnamid B

$$R_a = 11{,}61\, v^{-0{,}08}\, p^{0{,}75}\, g^{0{,}05} \quad \mu m \qquad /2/$$

- Tarnamid T-27

$$R_a = 9{,}12\, v^{-0{,}07}\, p^{0{,}69}\, g^{0{,}07} \quad \mu m \qquad /3/$$

- Itamid 353

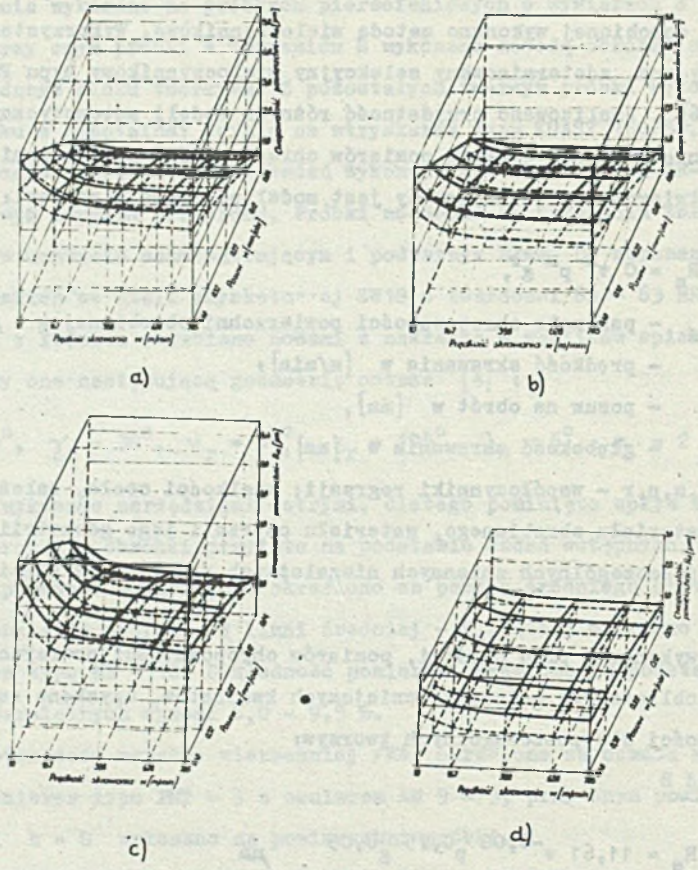
$$R_a = 11{,}52\, v^{-0{,}12}\, p^{0{,}47}\, g^{0{,}05} \quad \mu m \qquad /4/$$

- Tarnoform 300

$$R_a = 3{,}78\, v^{-0{,}09}\, p^{0{,}38}\, g^{0{,}11} \quad \mu m \qquad /5/$$

Z analizy wzorów wynika, że największy wpływ na chropowatość powierzchni obrobionej ma posuw, następnie zaś na ogół prędkość i głębokość skrawania

Zależności te przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Zależność chropowatości powierzchni po obróbce skrawaniem od parametrów skrawania [4,7] :
a/ Tarnamid B, b/ Tarnamid T-27, c/ Itamid 353,
d/ Tarnoform 300.
Linie ciągłe dla g = 4,0 mm, linie przerywane dla g = 0,10 mm.

Po obliczeniach statystycznych wg [6] stwierdzono, że w w. wzory są adekwatne na przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0,10$, a wszystkie współczynniki regresji są istotne.

3. Mezotwardość warstwy wierzchniej

Ponieważ największy wpływ na chropowatość powierzchni obrobionej ma

posuw i prędkość skrawania, dlatego badania mezotwardości ograniczono do tych parametrów. Badania wykonano dla trzech różnych wartości posuwów i prędkości skrawania, przy stałych pozostałych parametrach.

Wartość mezotwardości wyliczono wg wzoru:

$$mHV = \frac{18182\ P}{d^2}\ [MPa], \qquad /6/$$

gdzie: P - obciążenie wgłębnika w [N],

d - przekątna odcisku w [μm].

Mezatwardość analizowano w funkcji głębokości utwardzenia h .

Z uwagi na konieczność pomiarów od powierzchni rzeczywistej w głąb materiału, utrudnione jest stosowanie do badań metody wieloczynnikowej. Dlatego wykonano je metodą jednoczynnikową. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 2.

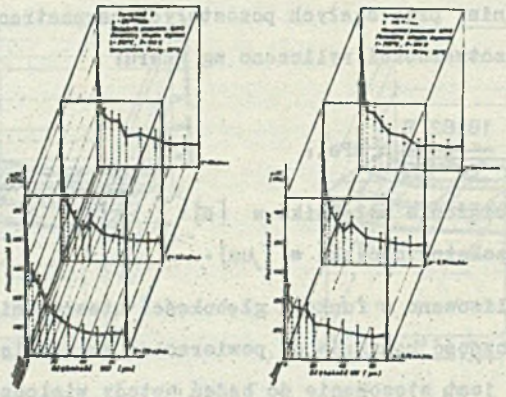
4. Struktura nadcząsteczkowa warstwy wierzchniej

Strukturę tworzywa określa jego budowa molekularna, która jest istotną cechą materiału i nadmolekularna, zależna od struktury molekularnej oraz przebiegu krystalizacji pierwotnej i wtórnej. Od struktury zależą podstawowo właściwości fizyczne i chemiczne oraz użytkowe tworzywa. Badane tworzywa należą do tworzyw o strukturze częściowo krystalicznej. Przykładowe struktury nadcząsteczkowe badanych tworzyw po obróbce skrawaniem zestawiono w tablicy. Po analizie mikrofotografii zestawionych w tablicy można stwierdzić, że obróbka skrawaniem powoduje istotne zmiany w strukturze WW.

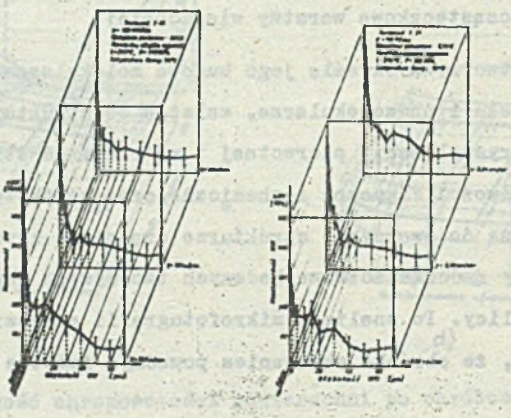
5. Analiza wyników badań

Z przeprowadzonych badań wynika, że parametry obróbki skrawaniem mają istotny wpływ na chropowatość powierzchni obrobionej, mezotwardość i strukturę nadcząsteczkową warstwy wierzchniej.

Wzrost prędkości skrawania powoduje zmniejszenie chropowatości powierzchni obrobionej, przy czym w zakresie małych prędkości, zmniejszenie to jest bardziej intensywne. Wynika to głównie z tego, że na skutek wydzielającego się ciepła skrawania, którego ilość zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości skrawania, narzędzie skrawa już materiał częściowo



a/

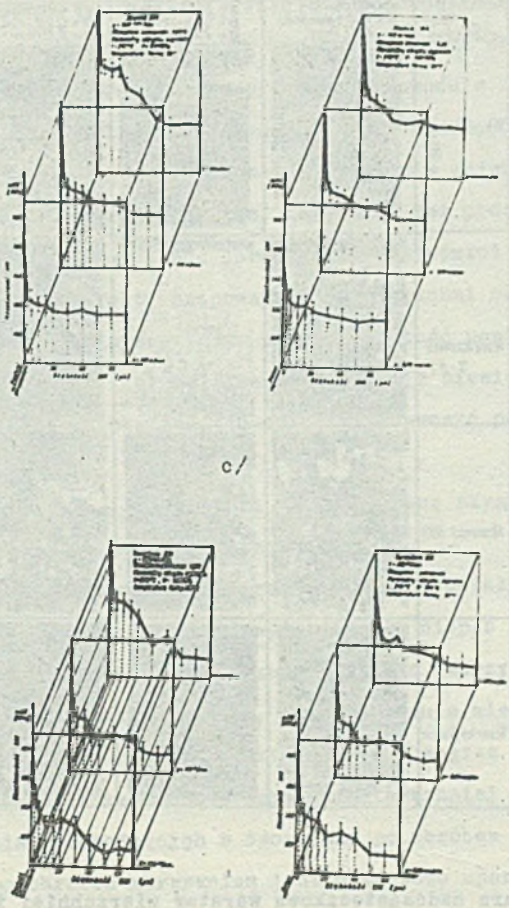


b/

Rys.2. Wpływ parametrów skrawania na mezotwardość warstwy wierzchniej po obróbce skrawaniem [4,7] :

a/ Tarnamid B,

b/ Tarnamid T-27



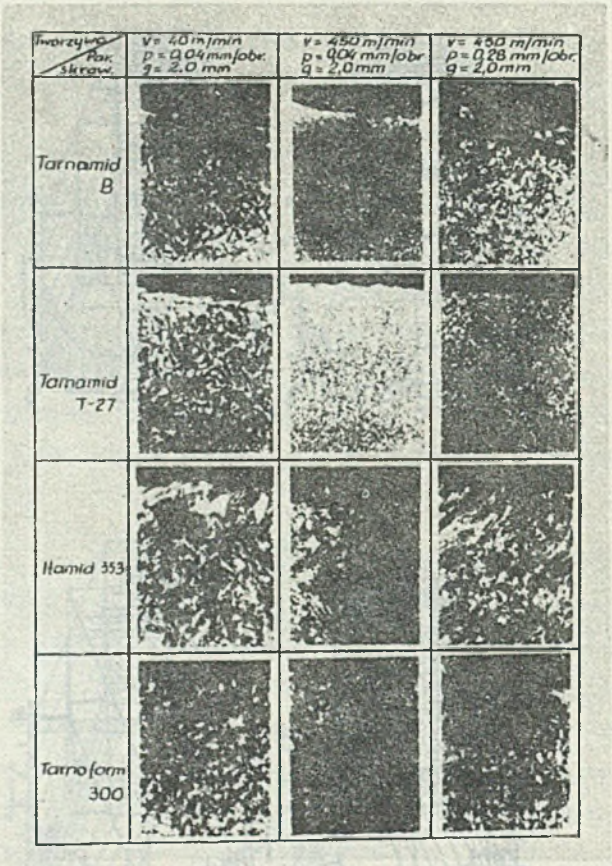
c/

d/

Rys.2. Wpływ parametrów skrawania na mezotwardość warstwy wierzchniej po obróbce skrawaniem [4,7] :

c/ Itamid 353,

d/ Tarnoform 300



Tablica. Struktura nadcząsteczkowa warstwy wierzchniej tworzyw po obróbce skrawaniem.
Powiększenie 300x.

zmiękczony. Siły skrawania są zatem mniejsze, polepsza się proces tworzenia wióra i zmniejszają się drgania układu: obrabiarka - przedmiot - narzędzie. Czynniki te powodują na ogół zmniejszenie chropowatości powierzchni obrobionej. Po przekroczeniu jednak temperatur krytycznych /ok. 130°C/ co wystąpi przy skrawaniu z małym posuwem i dużą prędkością skrawania /ponad 700 m/min/, chropowatość powierzchni obrobionej zwiększa się. Następuje to w wyniku nadtapiania obrobionej powierzchni i mazania jej

przez wióry.

Największy wpływ na chropowatość powierzchni obrobionej ma posuw. Jego wzrost powoduje znaczne zwiększenie chropowatości po obróbce. Przy małych wartościach posuwu występują zjawiska podobne do wyżej przedstawionych. Natomiast zwiększenie jego wartości powoduje na skutek bardzo małej przewodności cieplnej tworzywa /ok. 0,0008 - 0,0010 przewodności cieplnej stali/, że narzędzie skrawa materiał nie zmiękczony, lecz twardy. Zwiększają się zatem siły skrawania, inny jest też proces tworzenia wióra i zwiększają się drgania układu obrabiarka - przedmiot - narzędzie. Czynniki te wpływają na wzrost chropowatości powierzchni obrobionej.

Stosunkowo najmniejszy wpływ na chropowatość powierzchni obrobionej ma głębokość skrawania. Jej zwiększenie powoduje niewielki wzrost chropowatości powierzchni po obróbce, co można wytłumaczyć podobnymi jak wyżej zjawiskami.

Zmiany zachodzące w twardości WW po obróbce skrawaniem wiążą się ze zmianami w ich strukturze nadcząsteczkowej.

Wzrost prędkości skrawania przy stałych pozostałych parametrach obróbki powoduje zwiększenie ilości wydzielanego ciepła skrawania. Ponieważ ciepło to nie jest odprowadzane przez obrabiane tworzywo na skutek jego bardzo małej przewodności cieplnej, zatem powoduje miejscowe nagrzanie powierzchni obrobionej i zmiany strukturalne w obszarze tworzenia się wióra. Po obróbce skrawaniem zachodzą w warstwie wierzchniej zmiany strukturalne zbliżone do zmian zachodzących w tworzywie po obróbce cieplnej [8]. Struktura WW po obróbce skrawaniem jest częściowo uporządkowana, a tworzywo o takiej strukturze odznacza się dobrymi właściwościami mechanicznymi, w tym również i większą twardością.

Dla Itamidu uzyskano inny przebieg mezotwardości WW, tj. niewielkie jej zmniejszenie wraz ze wzrostem prędkości skrawania. Przypuszczać należy, że wzrost temperatury skrawania, spowodowany wzrostem prędkości skrawania powoduje osłabienie sił adhezji wiązań włókien szklanych z makrocząsteczkami tworzywa. W takich warunkach kompozyt nabiera cech tworzywa wiążącego, co wpływa na obniżenie mezotwardości WW. W strukturze nadcząsteczkowej WW nie nastąpiły istotne zmiany.

Podobny przebieg mezatwardości WW zauważono dla próbek z Tarnoformu

300, który jest tworzywem o innej budowie chemicznej niż poliamidy. Ciepło skrawania spowodowało dosyć istotne zmiany strukturalne, które wpłynęły na obniżenie mezotwardości WW. Nadmienić należy, że obróbka cieplna tego tworzywa na obniżenie niektórych właściwości mechanicznych [8] .

Posuw ma inny wpływ na zmiany mezotwardości WW niż prędkość skrawania. Przy małym posuwie, dla zeskrawania określonej powierzchni należy wykonać pracę, co powoduje wydzielanie się większej ilości ciepła skrawania, wzrost temperatury i zmiany w strukturze nadcząsteczkowej oraz wzrost mezotwardości. Natomiast wzrost posuwu powoduje zmniejszenie ilości ciepła i temperatury skrawania, co wywołuje mniejsze zmiany w strukturze nadcząsteczkowej i niewielkie zmniejszenie mezotwardości WW tworzyw poliamidowych, a zwiększenie dla Tarnoformu 300. Odmienny przebieg mezotwardości zaobserwowano dla Itamidu, na co wpływ ma głównie napełniacz.

Struktura nadcząsteczkowa wpływa na właściwości tworzyw sztucznych. Tworzywa o strukturze częściowo krystalicznej mają zdolność do zwiększania ilości fazy krystalicznej w stanie stałym pod wpływem ciepła i powolnego chłodzenia. Zdolność do krystalizacji w dużym stopniu zależy od elastyczności molekuł tworzących wiązki. W procesie krystalizacji elastyczne wiązki stopniowo przechodzą w stan krystaliczny, ulegając przy tym wielokrotnemu przegięciu, tworząc wstęgi. W dalszym etapie wstęgi oddziałując na siebie tworzą wielopostaciowe nadmolekularne struktury.

W warstwie wierzchniej poliamidów 6 pod wpływem ciepła skrawania tworzy się drobnosferolityczna struktura. Natomiast struktura Itamidu jest różnorodna, przy czym rozmieszczenie napełniacza jest nierównomierne. Widoczny jest on w postaci ciemnych prostokątów, zaś struktury krystaliczne w postaci jasnych obszarów. Są to sferolity i fibryle. Fibryle są krótkie i występują na ogół obok cząstek napełniacza.

Struktura próbek z Tarnoformu jest inna niż poliamidów. Tworzą się sferolity o kształcie niekulistym, raczej włóknistym, zbliżonym do owalnego.

Na większości próbek widoczne są deformacje zewnętrznej części warstwy wierzchniej po obróbce skrawaniem.

6. Wnioski

Na chropowatość powierzchni po obróbce skrawaniem, jej mezotwardo-

ść i strukturę nadcząsteczkową istotny wpływ mają parametry obróbki, a zwłaszcza prędkość i posuw.

Chropowatość powierzchni obrobionej jest obok struktury nadcząsteczkowej podstawowym wskaźnikiem oceny jakości warstwy wierzchniej tworzyw termoplastycznych po obróbce skrawaniem.

Na zmiany mezotwardości warstwy wierzchniej i strukturę nadcząsteczkową tworzyw termoplastycznych po obróbce skrawaniem główny wpływ ma ciepło skrawania. Powoduje ono zmiany w strukturze warstwy wierzchniej, przy czym wielkość i charakter tych zmian zależy również od rodzaju tworzywa i napełniacza.

7. Literatura

1. K. Dobrosz, A. Matysiak.: Tworzywa sztuczne w pojazdach samochodowych. WKiŁ. Warszawa. 1982.
2. H. Zawistowski, D. Frenkler.: Wybrane własności tworzyw termoplastycznych do wtrysku. Mechanik, 1978, nr 11.
3. J. Koszkul.: Tworzywa sztuczne w budowie maszyn. Przegląd Mechaniczny, 1981, nr 15 - 16.
4. J. Koszkul.: Wpływ parametrów skrawania na jakość warstwy wierzchniej termoplastycznych tworzyw konstrukcyjnych. Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń, PAN, z. 4, 1983.
5. W. Volk.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1973.
6. Z. Polański.: Metody optymalizacji w technologii maszyn. PWN, Warszawa 1977.
7. J. Koszkul.: Wpływ technologii przetwórstwa i obróbki na jakość warstwy wierzchniej oraz niektóre właściwości kontrukcyjnych tworzyw termoplastycznych. Politechnika Częstochowska, Częstochowa. 1983.
8. J. Koszkul.: Obróbka cieplna poliamidu 6 i politrioksanu. Polimery, 1983, nr 7.

Józef KOSZKUL

SURFACE TEXTURE OF THERMOPLASTICS AFTER MACHINING

Summary

The influence of machining parameters on the machined surface roughness, mesohardness of the outer layer and its supermolecular structure is presented for the Tarnamid-B, Tarnamid T-27, Itamid 353 and Tarnaform 300 plastics. It was found that feed has the strongest influence on the surface fougness. Changes of mesohardness and supermolecular structure o the outer layer are caused mainaly by the cutting heat mostly dependent on the cutting velocity.