プラスチックの切削加工の研究*

——被削材温度の効果——

鴨 川 昭 夫**

A Study on Cutting of Plastics

——Effect of work temperature——

Akio KAMOGAWA

It is generally known that heat generated in machining plastics at higher cutting speeds substantially affects the mechanical properties of the work materials. The author investigates the effects of the work temperature on the chip formation and the roughness of machined surface.

The experimental results are as follows;

- 1) In machining thermoplastics resin (acrylic resin,) the machined surface becomes extremely smooth as far as the surface temperature is lower than approximately 70°C. However, when the work temperature is higher than approximately 110°C, a new type of chip formation is observed and the surface roughness increases.
- 2) In the case of thermosetting resin (phenolformalin resin) the machined surface becomes smoother with an increase of the surface temperature.
- 3) In the range from the ambient temperature to approximately 110°C, the two components of cutting force show the maximum and minimum values.
- 4) Polycarbonate resin, polyamide resin and acetal resin produce flow type of chips in the range of room temperature to approximately 100°C.

1. 緒 言

プラスチックの切削加工では、刃先付近でその温度が上昇して軟化または硬化がおり、このような機械的性質が変化するために、一般に切りくずの形態が異なる。

したがって、切りくずの生成機構を知るためには、切削中におけるプラスチックの温度を測定する必要がある。

しかし、プラスチックは電気の不良導であるために、被削材と工具とを熱電対にして温度を測定することはできない。したがって、逆にプラスチックの温度を変えて切削すれば、流れ形または、むしれ形になるときの温度がわかり、プラスチックの切りくず生成の概要や仕上面あらさ等を知ることができよう。

まず三次元切削での温度と被削性をしらべ、つづいて二次元切削¹⁾で、温度(T)を変えて切削抵抗の二成分

(水平方向分力 F_c ・垂直方向分力 F_t)を測定し、そのときの温度と切削抵抗の関係を検討した。また、これらの結果を材料の機械的性質と関連付けて検討した。

2. 三次元切削におけるプラスチックの温度の影響

2.1 実験の方法

写真1に示すように Bolley の精密旋盤上で、被削材

1 切削工具	2 プラスチック
3 加熱炉	4 理研式サーモカラー
5 スライダック	6 Boley の精密旋盤

写真1 表面加熱装置

* 昭和32年 4月 精機学会春季学術講演会にて講演
昭和40年 4月 "
昭和41年 5月 高分子学会春季学術講演会にて講演
** 正会員 理化学研究所

は、3のニクローム線にて作った低温度上昇装置によって外周から内部にわたってあためられる。この外周面の4の理研式不可逆性サーモペイントと醋酸ブチル溶液とを混合したものを塗布し、5のスライダックを調節して所定の温度に達したとき1の超硬合金工具およびダイヤモンドバイトで外周旋削を行なった。被削材には、ポリ塩化ビニル樹脂・アクリル樹脂・エポキシ樹脂ならびに熱硬化性樹脂の紙入りフェノール樹脂の4種類を使用した。

2.2 プラスチックの温度と仕上面のあらさ

熱可塑性樹脂のポリ塩化ビニル樹脂・アクリル樹脂熱硬化性樹脂の紙入りフェノール樹脂・エポキシ樹脂を超硬合金工具で切削速度118m/min, 送り0.05mm/rev, 刃先半径0.5mm, 前すくい角0°, 前にげ角7°なる切削条件でおおののプラスチックの温度を50°から130°まで上昇させて精密切削した場合の温度と仕上面あらさとの関係を図1に示し、このあらさの測定記録例を図2(アクリル樹脂)と図3(フェノール樹脂)に示す。図1からわかるように、エポキシ樹脂・塩化ビニル樹脂は約70°の温度から、アクリル樹脂の場合には約80°以上になるとむしれ形の切りくずになるために仕上面が急に悪くなっている。これに比較してフェノール樹脂は約130°までの温度範囲ではその仕上面あらさは変わらない。仕上面あらさが急に悪くなる原因は、温度上昇の被削材の軟化点で切削が行なわれたためである。また、フェノール樹脂の場合は、硬度に最大点および最少点がみとめられる温度で切削しても切りくずの生成機構に変化がなかったために仕上面あらさが変わらなかったものと解せられる。

超硬合金工具 (G_1), 切削速度 118m/min, 送り 0.05mm/rev, 切り込み 0.05mm, 刃先半径 0.5mm, 前すくい角 0°

図1 表面温度の影響

すなわち、温度を50°にして切削すると切りくずがせん断面でせん断されるために仕上面あらさは良好であるが、70°~80°以上になると被削材が軟化するためにせん断面でのせん断が行なわれにくくなり、刃先周辺のプラスチックが粘性流動を起こしせん断面でせん断するときせん断応力 (τ_f) よりもプラスチックを分離する応力 (τ_t) の方が小さくなり、むしりとられるためにむしれ形切りくずになるものと解せられる。アクリル樹脂の温度上昇による切りくずの変化を写真2に、またこのときの切削面を写真3に、塩化ビニル樹脂の場合を写真4に示す。写真2からわかるように、常温と50°では切

アクリル樹脂の切削仕上面のあらさ, 切削条件は図1と同じ

図2 表面温度の影響

紙入りフェノール樹脂超硬合金バイト (G_1) 切削条件は図1と同じ

図3 表面温度の影響

常 温 切 削

$T=50^{\circ}$

$T=80^{\circ}$

$T=110^{\circ}$

$T=130^{\circ}$

アクリル樹脂, 切削条件は図1と同じ
写真2 表面温度影響による切りくずの形態

常温切削

常 温

$T=50^{\circ}$

$T=50^{\circ}$

$T=80^{\circ}$

$T=130^{\circ}$

$T=130^{\circ}$

アクリル樹脂, 切削条件は図1と同じ
写真3 表面温度の影響による切削面の状態

塩化ビニール樹脂, 切削条件は図1と同じ
写真4 表面温度の影響による切削面の状態

下する。アセタール樹脂の場合には、温度の上昇とともに硬度が低下し、70°で一度かたくなり、それ以上の温度ではまた硬度が低くなっている。ポリアミド樹脂の場合には常温から70°までは硬度がやや一定であるようにみえるが、精密に測定すると、常温の硬度が一番高く、50°・60°ではほとんど変化がなく、70°になると若干高くなり、80°以上になると軟化する。紙入りフェノール樹脂の場合には、常温から50°までは軟化するが、60°以上80°までは硬化し、90°以上になると逆に軟化する。

3.3 プラスチックの温度と F_c ・ F_t 方向分力との関係

ポリカーボネート樹脂を種々の温度で切削時間を1分から12分まで変え前報¹⁾で示した定常切削における F_c ・ F_t の平均値をとり、温度との関係を示したものを図7にあげる。また、アセタール樹脂を図8に示す。図7からもわかるように、温度が上昇すると F_c 曲線と F_t 曲線との傾向がまったく一致している。温度が常温の場合よりも、50°の場合の方が F_c ・ F_t ともに上昇し、60°以上になると F_c ・ F_t ともに減少する。図7の温度と硬度の関係を参照し、50°以上の F_c ・ F_t の減少は被削材の硬度が低くなるためと考えられる。しかしながら、常温よりも、50°の方が被削材は軟化しているにもかかわらず、 F_c ・ F_t が上昇しているのは、ポリカーボネート樹脂においては常温でもろいために、せん断面におけるせん断力が小さくなるためと思われる。これに比較して温度が50°になると材料の延性をましひずみが大きくなって切削抵抗がますます大きくなるためと考えられる。

つぎに図8に示すアセタール樹脂の場合は、常温において F_c がもっとも大きく減少し、70°では F_c の最低値を示し、80°以上になると減少する傾向を示している。このような温度上昇による F_c の変化は図6に示す硬度変化にまったく一致している。しかしながら、ポリカー

ポリカーボネート樹脂，切削角80°，見掛けの切り込み0.10mm

図7 温度と水平および垂直方向分力との関係

ボネート樹脂は、温度の変化における F_c 曲線と F_t 曲線とは同じ傾向を示さない。すなわち、常温から60°までは F_c と F_t の曲線は同一傾向を示すが、約70°で F_c が最大値を示すときに、 F_t は最小値を示し、 F_c が増大しても、 F_t は増大しない。この理由はアセタール樹脂の場合には温度が約70°になると、弾性力が少なくなるために工具をもちあげる力が減少し、 F_t が最小値を示したものと考えられる。つぎに、ポリアミド樹脂とフェノール樹脂の F_c ・ F_t 変化を図9に示す。ポリアミド樹脂の場合における F_c と F_t の曲線と図6の硬度曲線とはまったく同一傾向を示す。常温から50°までは F_c と F_t は減少し、60°~70°になると増大し、70°で最高の値を示す。80°以上、120°までは硬度は減少するた

アセタール樹脂，切削角80°，見掛けの切り込み0.10mm

図8 温度と水平および垂直方向分力との関係

切削角80°，見掛けの切り込み0.10mm

図9 温度と垂直方向および水平方向分力との関係

めに、 $F_c \cdot F_t$ ともに減少する。このように、 $F_c \cdot F_t$ の最大および最小値を生ずる原因は、いずれも温度によるプラスチックの機械的性質に支配される。すなわちポリカーボネート樹脂を除いて他の樹脂の F_c が増大する理由は、硬度が増大するためであり F_t の減少はプラスチックのぜい性に左右されると思われる。また、 F_t の増大は弾性的な力が大きく作用するものと思われる。

フェノール樹脂の F_c 曲線と図6の硬度曲線とはまったく同一の傾向を示す。常温から 80° までは、 F_c は最大値を示し、 90° 以上になると硬度が低くなるために F_c は減少する。 50° , 60° , 70° , 80° , 90° , 100° において、 F_c が増大・減少するにつれて F_t も増大および減少を示している。温度が 80° の場合において F_c が最高値を示しているにもかかわらず、 F_t の値はそれほど増大せずに 60° の場合と同一値を示している。この理由は、この温度においては、弾性的な力の弱い、いわゆるぜい性温度で切削が行なわれたためであると思われる。したがって工具をもちあげる力 (F_t) は少ない。この現象は、アセタール樹脂の 70° の場合とまったく同一現象である。

また、 90° のように F_t が最大値を示す理由は、ぜい性とは逆に最大の弾性力を示したものと解せられる。

4. 総 括

三次元切削におけるプラスチックの温度の影響

1. 塩化ビニール樹脂・エポキシ樹脂の温度を 70° にして、また、アワリル樹脂を 80° 以上で精密切削した場合に得られた仕上面はきわめて悪い。
2. 塩化ビニール樹脂の場合、工具材質（超硬合金工具・ダイヤモンド工具）に関係せず温度が 70° 以上になるとむしれ形になる。
3. 紙入りフェノール樹脂は温度を 130° まで上昇し

て精密切削した場合に、仕上面あらさはほとんど一定である。

二次元切削におけるプラスチックの温度の影響

- 1 おおののプラスチックの温度を 120° まで上昇して硬度 R_R を測定すると、ポリカーボネート樹脂は、温度の上昇にしたがって硬度は小さくなるが、アセタール樹脂・ポリアミド樹脂・フェノール樹脂は温度によって最大および最小の変態点を示す。
- 2 アセタール樹脂・ポリアミド樹脂 フェノール樹脂の温度と曲線と、温度と水平分力との曲線は同一曲線を示し、傾向は一致する。
- 3 ポリカーボネート樹脂は、常温の $F_c \cdot F_t$ よりも 50° の $F_c \cdot F_t$ の方が大きい。
- 4 アセタール樹脂・ポリアミド樹脂・フェノール樹脂は、硬度が高くなると、 $F_c \cdot F_t$ が上昇する傾向を示す。
- 5 ポリカーボネート樹脂は、温度が $50^\circ \sim 90^\circ$ まで、アセタール樹脂は $50^\circ \sim 110^\circ$ まで、ポリアミド樹脂は $50^\circ \sim 130^\circ$ まで上昇して切削した場合に、いずれも流れ形切りくずを示したが、フェノール樹脂は $50^\circ \sim 100^\circ$ までの切削では熱的影響をうけてほとんどばらばらの切りくずを示した。

終わりにのぞみ、本研究に関してご指導いただいた大越諄先生、谷口紀男先生に心から感謝致します。なお、実験に、また、データ整理にご助力下さったものと精密工学研究室の三代忠雄君に厚くお礼申しあげる。

(1966, 11月7日受付)

参 考 文 献

- 1) 鴨川 昭夫：プラスチックの切削加工の研究
精密機械，第32巻第5号。