

# 低周波振動切削によるポリアミド6加工における表面性状の違い

中央大学 ○山田美里, 石川広希, 伊津井裕人, 高橋幸男, 宋 小奇, ◎井原 透

## 要旨

近年, ポリアミドは金属の代替材料として航空機, 自動車分野で活用されている. また生体材料としては所望の表面粗さに制御される必要がある. しかし, 慣用切削加工時に切りくずが分断され難いことから被削材に絡まりやすく, 仕上げ面に悪影響を及ぼすという問題がある. そこで本研究では, 切りくずを分断することを目的とし, 低周波振動切削機を用いて切削加工した結果, 切りくず処理性が向上し, 温度変化により表面性状に変化が見られたことを報告する.

## 1. 背景・目的

ポリアミドは, 耐熱性, 強度, 曲げ弾性率といった機械的強度に優れ, 金属よりも軽量である. そのため, 金属の代替材料として歯車やブッシュといった部品としての用途が広がりつつある. また, 歯などの生体材料としての用途が考えられており, その際, 細胞との結合のために所望の表面粗さや硬度に制御する必要がある<sup>1)</sup>. しかしながら, ポリアミドは, 温度と湿度の影響を受けやすく<sup>2)</sup>, ガラス転移温度とその周辺の遷移領域を境にその物性が変わるため, その物性に基づく流動性変化から切削時には切りくずが分断されずに被削材に絡まりやすいという問題がある.

低周波振動切削(以下「LFV」と表記)とは, 送り分力方向に振動する加工方法である. 図1に示すように切削中に工具の“空振り”時間を設けることで, 切りくずを断続的に任意の長さで排出させることが可能である<sup>3)</sup>. LFVを用いた断続切削は, 慣用切削と比較して切削温度の平均値が低くなり, 温度低下の割合は1振動あたりの切削量と空切削時間の関係で変化する<sup>4)</sup>.

そこで, 本研究ではポリアミド加工時の切削条件を変えることにより, 所望する仕上げ面粗さと硬度が得られると考えた. そこにおいては, 切削温度の平均値が重要な因子であるが, 切削温度の最高値は, 慣用切削(CC: Conventional cutting)より高くなることが報告されている.<sup>5)</sup>以上の観点から, 本実験ではLFVを用いてポリアミド切削を実施し, 得られた仕上げ面粗さ及び硬度と切削時の切削温度変化との関連について考察した結果, 切りくず処理性が向上するだけでなく, 表面性状を制御できることが示唆されたので報告する.

## 2. 被削材及び実験方法

### 2.1 被削材

本研究ではガラス転移温度が低く表面性状への影響を検証しやすいと考え, ポリアミド6を被削材とした. 用いたポリアミド6の物性値を表1に示す.

### 2.2 実験方法

切削実験は, 低周波振動切削機(シチズンマシナリー(株)製, VC03)を用いて慣用切削モード及び低周波振動切削モードにて外周切削をした. 被削材は直径31.1mm, 長さ40mmのポリアミド6の丸棒である. 共焦点レーザ顕微鏡(OLYMPUS製, OLS-4100)を用いて仕上げ面を観察し, 真円度測定機(Taylor Hobson製, Talysond 565LT)を用いて仕上げ面を立体的に観察し, 面粗さを測定した. 仕上げ面の硬度はゴム・プラスチック硬度計(TECLOCK製, GS-702N)を用いて測定した.

切削条件は, 表2に示すとおりである. 表面粗さに一般的に影響を与える送り速度 $f$ を3段階に変化させて切削した. ここで, 低周波振動切削を制御する独自のパラメータとして $Q$ と $D$ の二つが挙げられる. $Q$ は送り速度 $f$ に対する振動振幅の比であり, $D$ は主軸1回転あたりの振動回数を示している<sup>3)</sup>. 本実験では, 表面性状を制御することを目的として $D$ のみを変化させた. $Q$ を一定, $D$ を4.5, 5.5とする. 比較のために, 振動なしの慣用切削を行う. また, 各実験時の気温及び湿度を表3に示す.

## 3. 実験結果・考察

### 3.1 切削抵抗

各条件における $f0.02$ の平均切削抵抗と最大切削抵抗をそれぞれ図2, 3に示す. 慣用切削に比べて, 平均切削抵抗はLFV(D4.5)で14.2%, LFV(D5.5)で21.0%低減し, 最大切削抵抗はLFV(D4.5)で36.4%, LFV(D5.5)で44.3%増加している.

LFVにおいて, 平均切削抵抗は空振り時間があるために慣用切削に比べて低減すると考えられる. 最大切削抵抗は, 振幅 $f*Q$ の振動による送り速度の増大によって増加しており, 空振り後, 工

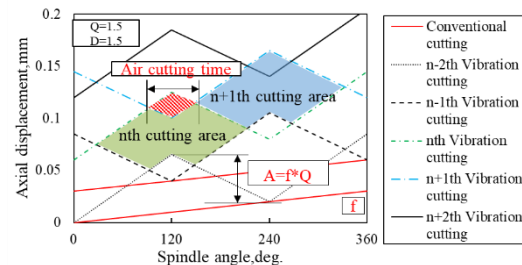


Fig.1 Schematic of Low Frequency Vibration cutting<sup>3)</sup>

Table1 physical properties

Specific gravity	1.16
Tensile strength (MPa)	96
Elongation (%)	30
Rockwell hardness (R)	120
Melting point (°C)	220

Table2 Cutting conditions

Cutting tool	DCGT11T302N-AG H1
Rake angle $\alpha$ (°)	20
Clearance angle $\beta$ (°)	7
Cutting speed $V_c$ (m/min)	100
Feed rate $f$ (mm/rev)	0.01,0.02,0.03
Depth of cut $a_p$ (mm)	1
Amplitude per feed rate $Q$	2.0
Vibration times per revolution $D$	4.5,5.5
Lubrication	Dry

Table3 Environment conditions

Experience No.	CC, LFV(D4.5)	LFV(D5.5- f0.02,0.03)	LFV(D5.5- f0.01)
Temperature (°C)	11.6	12.0	3.6
Humidity (%)	50-60	65-72	35

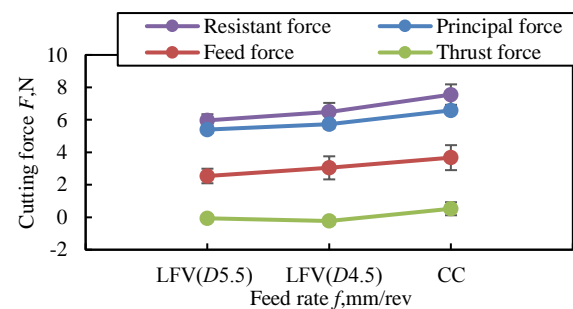


Fig.2 Average cutting forces for LFV and CC

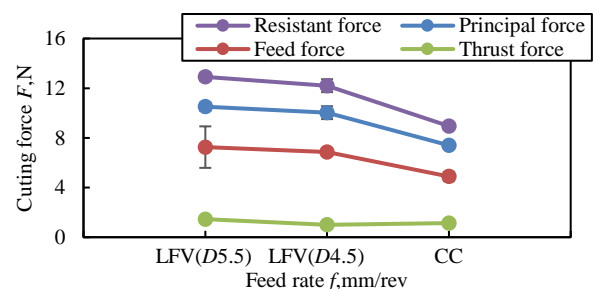


Fig.3 Maximum cutting forces for LFV and CC

具刃先が被削材に再度突入することにより瞬間的に増大していると考えられる。この平均切削抵抗が低減し、最大切削抵抗が増大する傾向は、既に報告されている LFV の特徴<sup>3)</sup>と一致している。また、LFV における平均切削抵抗と最大切削抵抗の変化に伴う切削温度変化も報告されている<sup>3)</sup>。

よって、ポリアミドを用いた本実験においても LFV は慣用切削に比べて平均温度は低下し、最高温度は上昇したと考えられる。また、 $D$  が大きいと振動数が増えるため温度変化が多くみられ、最高温度も高くなると考えられる。よって、平均温度は慣用切削が最も高く、次いで LFV(D4.5)、LFV(D5.5)の順に低くなり、最高温度は LFV(D5.5)が最も高く、次いで LFV(D4.5)、慣用切削の順に低くなったと考えられる。

### 3.2 仕上げ面硬さ

図 4 に各条件のデュロメータ硬さ  $HDD$  を示す。同図より、切削後は切削前( $HDD75$ )と比べて全条件で硬化しているものの、LFV(D5.5)で増加が抑えられている。ここで吸湿性を考慮する。ポリアミドは温度・湿度が高くなるとガラス転移温度が下がる<sup>2)</sup>。温度・湿度が高くなるとゴム状態に近づくため軟らかくなり、低くなるとガラス状態に近づく硬くなると考えられる。表 3 より、LFV(D5.5)の  $f_{0.01}$  は他条件に比べて湿度が低かった。そのため、他条件と同じ湿度で行なう場合に比べて実験値が高く得られたと考えられる。慣用切削と LFV(D4.5)は等しく、LFV(D5.5)の  $f_{0.02,0.03}$  は少し高かった。これらを考慮しても、硬さの変化の傾向は慣用切削が最も高く、次いで LFV(D4.5)、LFV(D5.5)となる。

ここで、温度の上昇に伴って硬度が下がることから、平均温度が影響すると仮定すると、最も慣用切削が硬く、次いで LFV(D4.5)、LFV(D5.5)の順に軟らかくなる。しかし、実験結果は逆の値を示している。従って、この傾向は最高温度の上昇によるものだと考えられる。また、最高温度は主軸 1 回転あたりの振動回数  $D$  が大きいほど高くなると考えられる。 $D$  が 0 のとき慣用切削となり、 $D5.5$  のとき最高となる。よって、硬度は  $D$  を変化させても慣用切削が最も高く、LFV(D5.5)が最低となる。

### 3.3 仕上げ面粗さ

図 5 に慣用切削、図 6 に LFV(D4.5)の仕上げ面の様相を示す。LFV(D4.5)、LFV(D5.5)はおおむね同じような仕上げ面の様相であった。慣用切削で仕上げ面に傷が見られた。ツールマークが不明瞭であり、特に  $f_{0.01}$  ではほとんど見られない。これは送り速度が小さいとき押しならされたような仕上げ面性状になるというプラスチック加工の特徴である。LFV では、ツールマークが明瞭になり、振動により送り速度が増加している様子がわかる。

図 7 に各条件の最大高さ  $S_z$  の変化を示す。なお、吸湿性を考慮すると、LFV(D5.5)の  $f_{0.01}$  のみが他条件より湿度が低くなっていた。ガラス状態に近づくると滑らかになり、ゴム状態に近づくるとむしろ粗くなると考えられる。そのため同じ湿度であったとすると実験値は増加すると考えられる。これによって  $S_z$  の変化の傾向は変わらない。プラスチックの場合、工作物の伸び率によって仕上げ面の盛り上がりの高さが決まる<sup>6)</sup>。ポリアミド 6 は温度上昇に伴い伸び率が上昇する。平均温度が影響していると仮定すると、前述の結果と一致しないが最高温度の順と一致している。そのため、最高温度の影響を受けていると考えられる。また、前述の考察と合わせ、 $S_z$  は  $D$  をさらに変化させても慣用切削が最も小さく、LFV(D5.5)が大きいと考えられる。

## 4. 結言

ポリアミドは温度・湿度によってその性質が変化するため、LFV による最高温度の上昇により仕上げ面粗さが増加し、仕上げ面硬さが低減した。最高温度は LFV(D5.5)が最高であり、慣用切削が最低となる。よって、LFV を用いることで慣用切削から LFV(D5.5)までの任意の仕上げ面粗さ及び硬さを得ることができる。LFV を用いてなお仕上げ面粗さを上げ、仕上げ面硬さを下げるには切削速度を上げるのが有効だと考えられる。反対に、仕上げ面粗さを下げ、仕上げ面硬さを上げるには切削速度を下げるのと良いと考えられる。ただし、どちらも湿度を一定とした場合である。

## 5. 参考文献

[1]戸村ら、表面粗さの異なるスライドガラスに対する培養線維芽細胞の付着増殖に関する研究、日本歯周病学会誌、32(3)、p.785-791、1990

[2]福田ら、ナイロンの吸湿性とアミド基濃度との関係、兵庫教育大学研究紀要(第 3 分冊、自然系教育・生活・健康系教育)、15、p.125-135、1995

[3]三宅ら、旋削加工における送り方向への低周波振動の効果、2015 年度精密工学会大会学術講演会講演論文、p.421-422、2015

[4]岡村ら、低周波振動穴あけの摩擦低減機構の解明、60(6)、p.320-325、2016

[5]三宅ら、低周波振動切削(LFV)の切削特性、2016 年度精密工学会大会学術講演会講演論文、p.591-592、2016

[6]佐伯ら、プラスチックの超精密切削における仕上げ面粗さの実験的検討、精密工学会誌 67(2)、p.311-315、2001

「LFV」はシチズン時計株式会社の登録商標です。

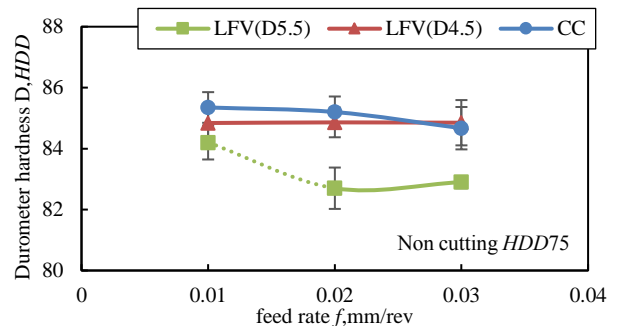


Fig.4 Variation of durometer hardness  $HDD$  with feed rate  $f$

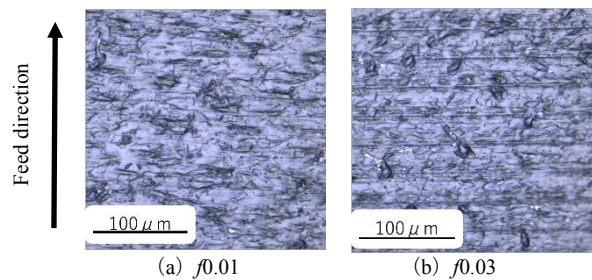


Fig.5 Micrographs of finished surfaces (CC)

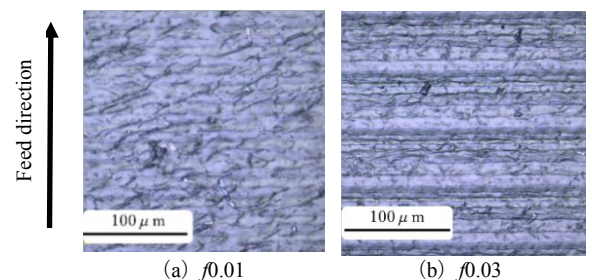


Fig.6 Micrographs of finished surface (LFV D4.5)

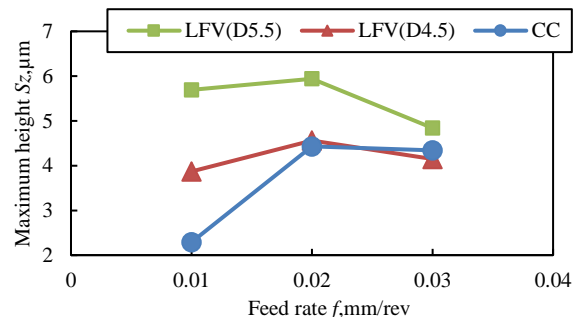


Fig.7 Variation of the maximum height  $S_z$  with feed rate  $f$