

## 低周波振動切削加工を用いたポリアミド6の仕上げ面粗さに関する研究

中央大学 ○奥山 諒, 高橋幸男, 古牧久登, 山賀恭介, 石川広希, 宋 小奇 ◎井原 透

### 要 旨

高分子材料は軽量で摩擦特性、強度が優れていることから、人工関節の摺動部品など生体材料への応用が期待されており、所望の粗さに加工することが要求される。しかしながら、ガラス転移点を境に物性が変化するという特性から、切りくずが被削材に絡まりやすく仕上げ面が悪化するという問題がある。そこで、本研究では低周波振動切削加工を用いて仕上げ面に表面テクスチャーを形成させ、仕上げ面粗さとの関係のもと考察した。

### 1. 緒 言

高分子材料は摩擦摩耗特性、強度、曲げ弾性率に優れており、金属よりも軽量である<sup>1)</sup>。近年、生体材料への応用が期待されており、所望の粗さに加工することが要求される<sup>2)3)</sup>。しかしながら、高分子材料には、ガラス転移点を境に機械的性質が変化するという特性<sup>1)</sup>から切りくずが絡まりやすい問題がある。

人工関節の摺動部においては、潤滑効果及び摩擦摩耗低減の観点から、CCM合金、ステンレスなどの硬い材料と、弾性変形を受けやすい高分子材料との組合せで構成されているのが一般的である<sup>4)</sup>。摺動部用高分子材料は表面の平滑化が有効とされている。また、相手材の粗さに依存した移着膜によっても摩耗傾向が異なることも報告されている<sup>5)</sup>。一方、近年、表面テクスチャリングによるトライボロジー性の向上が注目されており、摺動部材表面に複合的な表面テクスチャーを形成させることで、摩擦摩耗特性の向上が期待できるものと考えられている<sup>6)</sup>。

そこで、低周波振動切削加工に着目する。低周波振動切削とは、制御パラメータである送り量  $f$  に対する振動振幅比  $Q$  と主軸一回転あたりの振動回数  $D$  により、送り方向に振動させながら断続切削させる加工方法である<sup>7)</sup>。図1は低周波振動による工具軌跡を模式的に示したものである。切削中に“空振り”を設けることで切りくずを細かく断続的に排出させることができる。したがって、空振り時間による加工点の冷却効果が仕上げ面に影響すると考えられる。

そこで本研究では、低周波振動切削機を用いて人工股関節の摺動部の高分子材料部品に求められる粗さ  $Ra2.0\mu\text{m}$  以下<sup>2)</sup>が得られ、仕上げ面に表面テクスチャーを形成させることを目的とし、粗さとの関連のもと考察した。なお、近年、表面性状を表すパラメータとして面粗さでの評価が妥当と考え  $S_a$ ,  $S_z$  で評価する。

### 2. 切削材及び実験方法

#### 2.1 被削材

人工股関節の摺動部に用いられる高分子材料は一般的にUHMWPE（超高分子量ポリエチレン）であるが、高分子材料の切削特性と表面性状に関する基礎的な研究と位置づけ<sup>8)</sup>、本研究では汎用エンジニアプラスチック PA6 丸棒（MC901、クオドラントポリベンコ製）<sup>9)</sup>を用いた。表1に物性値を示す。

#### 2.2 実験方法

低周波振動切削機（VC03、シチズンマシンナリー製）を用いて慣用切削（以下「CC」と表記）及びLFVモードにて被削材を  $D_m28 \rightarrow D_m10$  まで6回の外周切削を行った。表2に切削条件を示す。一般的に仕上げ面粗さに影響を与えると考えられる送り量  $f$  を変化させた。また、切削温度が仕上げ面粗さに与える影響を調べるため切削速度  $V_c$  も3条件とした。被削材径が細くなっても振動あたりの切りくず長さを20mm程度と一定になるような振動回数  $D$  を設定した。仕上げ面粗さは共焦点レーザー顕微鏡（OLS-4100、OLYMPUS製）にて測定し、サーモグラフィ（E40、FLIR製）にて切りくず表面温度を測定し、最大温度を採用した。

### 3. 実験結果・考察

#### 3.1 切削加工中における切りくずの様相

図2に加工中の様相を示す。CCでは切りくずが被削材に絡まりやすく、熱で縮れ硬くなり仕上げ面に悪影響を与える。LFVにおいてはどの切削条件においても工具すくい面上に若干、分断された切りくずが溜まるものの被削材に絡まらない。

#### 3.2 加工点近傍における切りくず温度

図3にCCにおける  $V_c10$ ,  $V_c40$ ,  $V_c100$  での切りくず表面温度の測定結果を示す。 $V_c10$  ではほぼ  $T_g$  近傍で、 $V_c100$  においては  $T_g$  を大きく超えた。PA6の機械的性質は、 $T_g$  以下でガラス状、 $T_g$  以上でゴム状と変わるため仕上げ面粗さに影響を及ぼすものと考えられる。そこで、切削速度を  $V_c10$  及び  $V_c100$  の2条件、送り量を  $f0.02$  及び  $f0.03$  の2条件のみに着目しCCとLFVで比較した。

図4にCCとLFVの切りくず表面温度を示す。それぞれの切削速

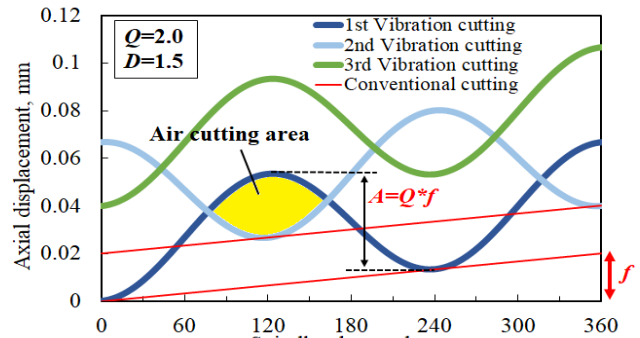


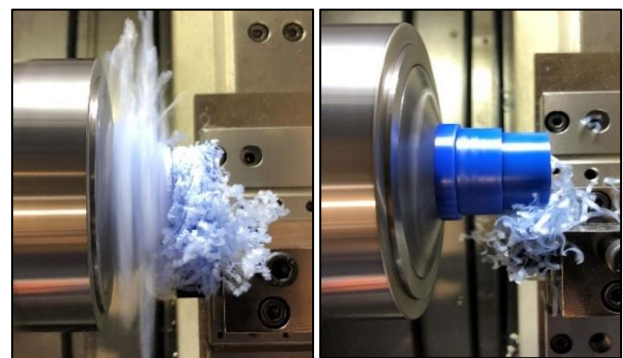
Fig.1 Schematic of LFV<sup>7) 11)</sup>

Table1 Physical properties<sup>9)</sup>

Specific gravity $d$	1.16
Tensile strength $\sigma_B$ [MPa]	96
Tensile modulus $E$ [MPa]	3432
Rockwell hardness $HR$	120
Glass transition point $T_g$ [°C]	50
Melting point $T_m$ [°C]	222

Table2 Cutting conditions

Cutting speed $V_c$ [m/min]	10, 40, 100
Feed rate $f$ [mm/rev]	0.02, 0.03, 0.04, 0.06
Amplitude per feed rate $Q$	2.0
Vibration times per revolution $D$	2.5, 3.5, 4.5
Depth of cut $a_p$ [mm]	1.5
Radius of corner $r_c$ [mm]	0.2
Lubrication	Dry



(a)CC (b)LFV

Fig.2 Chip flow for CC and LFV

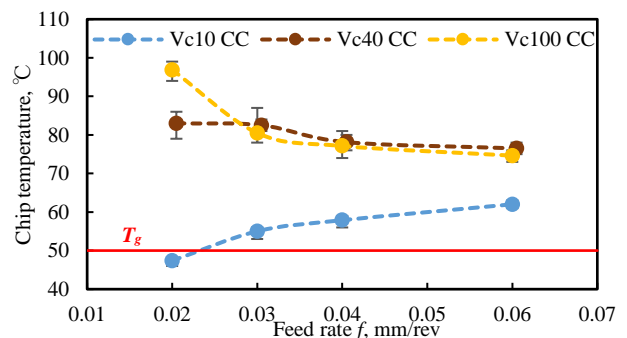


Fig.3 Maximum chip surface temperature for CC

度でLFVの方が低くなっており、LFVによる冷却効果が認められた。 $V_c10$ では送り量 $f$ の増大に伴い温度は上昇するが、 $V_c100$ では低下する結果となった。 $V_c100$ では加工点が高温になるため、送り量 $f$ が大きくなると単位時間あたりに流入する切削熱よりも切りくずの排出や被削材、工具側への伝導、雰囲気への伝達による熱の流出が大きくなるためだと考えられる。

### 3.3 CC及びLFVにおける切削力の相違

ここで、切削力の例として $V_c10$ の結果を示す。図5が平均切削力で図6が最大切削力である。LFVの平均主分力及び送り分力はCCに比べて低減しているが、背分力は増加している。LFVの平均切削力が低いのは、送り量の増大により単位切削体積あたりのエネルギー(比切削抵抗)が減少することによるものと考えられる<sup>10)11)</sup>。最大切削力がCCと比べて大きくなっているのは、振動振幅比 $Q$ により送り量が増加することにより、切りとり厚さが増加したことによるものと考えられる。なお、 $V_c100$ においても同様の傾向が認められた。

送り分力は $f0.03$ の方が小さくなっている。これは、高分子材料特有の粘弾性によるもので、 $f0.02$ では弾性領域下で、 $f0.03$ では塑性領域下で加工されたことによるものと考えられる。

### 3.4 仕上げ面粗さ及び表面テクスチャー

図7に仕上げ面の算術平均高さ $S_a$ を示す。LFVでは図1で示した位相の変化に伴いばらつきは大きくなるが、 $S_a0.49-1.63$ の値を得ることができた。これは、 $Ra0.47-1.56$ に相当する<sup>12)13)</sup>。一般的に金属材料では、送り量 $f$ が増加すると粗さも増加するが、PA6では低下した。切削中PA6が $T_g$ を超えてゴム性質になり、弾性変形により加工されなかった部分が切削力から解放され弾性回復したと考えられる。

図8にLFVの表面テクスチャーを示す。 $D4.5$ では9つ、 $D2.5$ では5つの送り方向の山の列が観察された。振動回数 $D$ の値の2倍の数の山が得られ、CCにはない複雑な形状をつくることができた。

## 4. 結言

LFVを用いた加工でPA6を $Ra2.0\mu\text{m}$ 以下に加工することは可能であり、CCよりも複雑な表面形状に切削できることがわかった。表面テクスチャーは人工関節用の摺動部だけでなく様々な分野への応用が期待できるものと考えられる。さらに、ポリアミドは温度による仕上げ面への影響が大きいことから、 $V_c10$ 以下の切削速度での加工やクーラントやエアを用いることで $V_c10$ 以上でも切削温度を $T_g$ 近傍にできれば仕上げ面粗さの向上が期待される。

## 参考文献

- 1) 福本: プラスチック材料[16] ポリアミド樹脂, 日刊工業新聞, (1970).
- 2) 厚生労働省医薬食品局審査管理課: 人工関節審査ガイドライン, 薬食機発第03060001号, (2009).
- 3) 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, (1990) 785.
- 4) 富田: 人工関節用材料の改良技術, 精密工学会誌, **74**, 9, (2008) 917.
- 5) 大塚ら: 人工関節用材料の摩擦摩耗特性に関する接触面圧依存性, 日本機械学会論文集(C編), **72**, 717, (2006) 1638.
- 6) 佐々木: 表面テクスチャリングによるトライボロジー特性の向上, 表面技術, **65**, 12, (2014) 568.
- 7) 北風ら: 低周波振動切削技術「LFV」の開発, マイクロメカニクス, **60**, 215, (2016) 2.
- 8) 山田ら: 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, 2018年度精密工学会春季大会, 第25回学生会員卒業研究発表講演会, L21 (2018).
- 9) クオドラントポリペンコジャパン株式会社: MC ナイロンの物性, MC ナイロン技術資料, (2017).
- 10) 杉田ら: 基礎切削加工学, 共立出版, (1984).
- 11) 三宅ら: 旋削加工における送り方向への低周波振動切削の効果, 2015年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2015) 421.
- 12) 櫻井ら: 面領域表面性状測定機を対象とした粗さ用標準面実量器の開発, 2008年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2008) 455.
- 13) Matej Harcarik et al.: Relationship between Values of Profile and Areal Surface Texture Parameters, MM Science Journal, (2016) 1659.

※LFVは、シチズン時計株式会社の登録商標です。

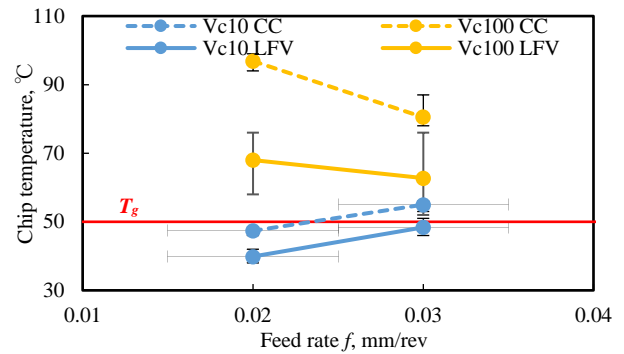


Fig.4 Maximum chip surface temperature for CC and LFV

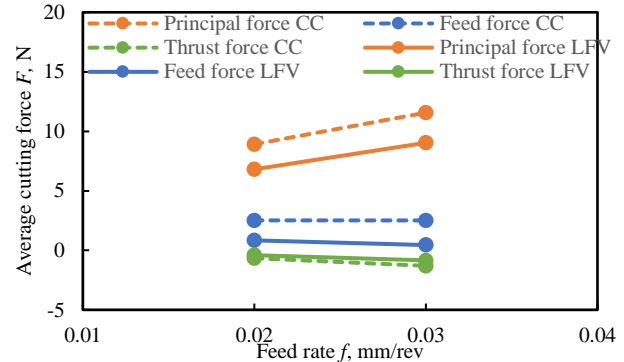


Fig.5 Average cutting forces at  $V_c10$

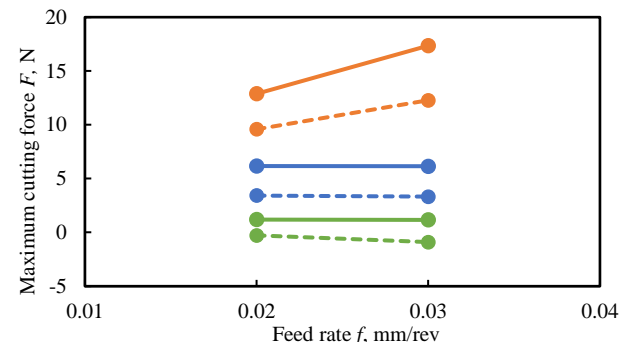


Fig.6 Maximum cutting forces at  $V_c10$

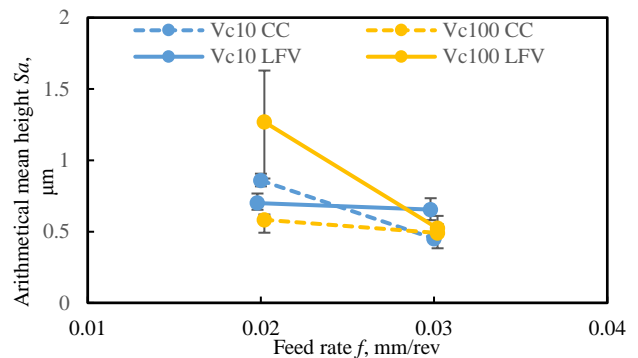


Fig.7 Arithmetical mean height for CC and LFV

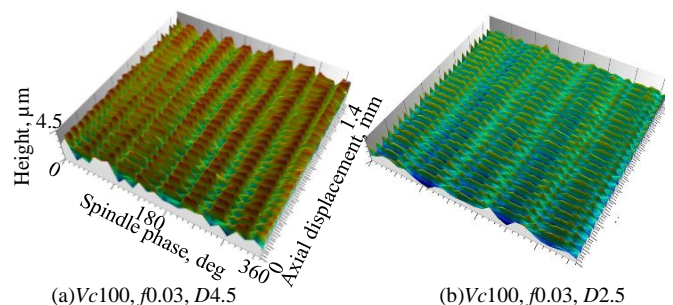


Fig.8 Surface texture