

柔軟弾性体の切削加工における切りくず分離過程の分析

室蘭工業大学 ○矢吹和久, 寺本孝司

要旨

現在, ゴムに代表される柔軟弾性体の切削加工は試作や小ロット加工を行う手法として期待されている. 本研究は, 柔軟弾性体の高精度加工のための加工誤差予測を目的としている. 本報では, 加工誤差の要因の中でも切りくず分離時の加工誤差への影響に着目し, 切削力と加工誤差の関係を実験的に分析した. 具体的には, 準静的過程としてモデル化した工作物変形と加工誤差の関係から, 切りくず分離過程の影響の有無を検討した.

1. 緒言

ゴムに代表される柔軟弾性体は, 様々な場面で利用されており, 私達の生活に欠かせない素材となっている. それらのゴム製品は主に金型成型で作られるが, 金型を必要とする加工は, 小ロット加工において, 時間とコストの面で非常に不利な加工法である.

そこで, 柔軟弾性体の試作や小ロット加工を実現するために柔軟弾性体の切削加工が注目されている. これまでの研究から, 柔軟弾性体の切削加工において, 加工中に工作物が弾性変形を起こすことなどによって加工精度が悪化することが明らかになっている. また, これまでの研究¹⁾から加工誤差の原因として切りくずの分離過程に起因する誤差が存在する可能性が指摘されている. 本研究では, 加工誤差の要因の中でも, 特に切りくず分離過程の違いによる加工誤差への影響に着目し, 直刃エンドミルによる擬似2次元切削による加工を行い, 切削力と加工誤差の計測を行う. そして, 加工誤差と加工時の切削力の計測結果を比較・評価することで, 切りくず分離過程に起因する誤差の有無について検討する.

2. 切削実験

2・1 実験概要

本実験では, マシニングセンタを用いて硬度 90° のウレタンゴムに対し, 直刃エンドミルによる切削加工を行った. 実験装置の概要を Fig.1 に, 加工条件を Table1 に示す. Fig.2 に示すように工作物の加工面を3カ所に分け, それぞれの位置での測定結果を評価した. 工作物は両面テープにより土台に貼り付けられた状態で把持され, 加工と計測を行う. 切削時には, 工作物把持具の下に設置した水晶式動力計により切削力を測定した. 切削条件のうち, 工具の送り, 切削方向(アップカットおよびダウンカット), 工作物の厚さを変えた実験を行った.

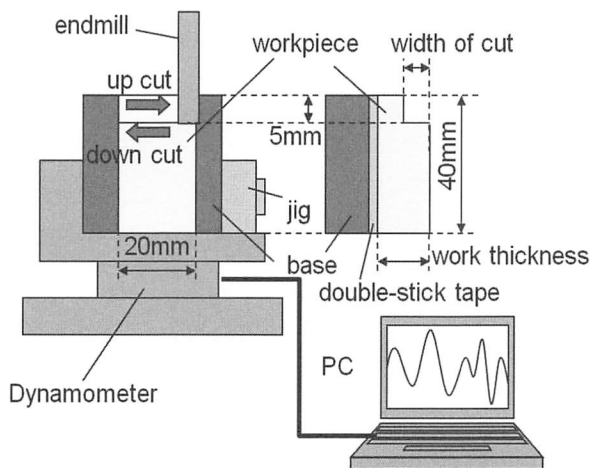


Fig.1 Experimental setup

Table1 Cutting condition

切削方向	アップカット		ダウンカット	
回転数[rpm]	4000			
送り[mm/min]	40	80	120	160
切込み深さ[mm]	5			
切込み幅[mm]	1			
工作物厚さ[mm]	10		20	

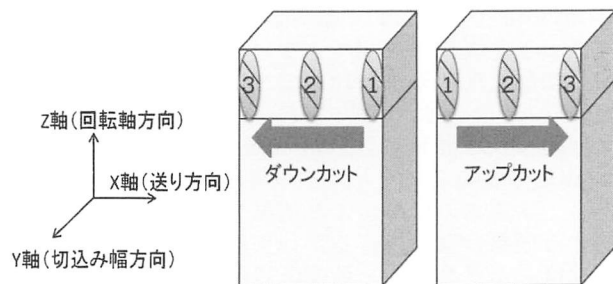


Fig.2 Axial direction and data measurement area

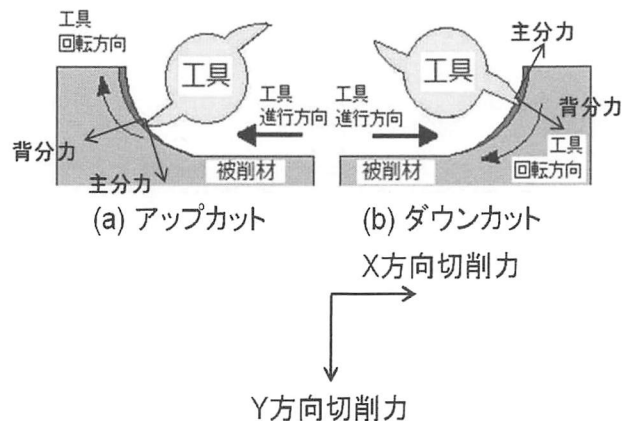


Fig.3 Co-rotational coordinates and fixed coordinates

2・2 実験結果

まず, 切削力の大きな傾向を評価するために, 2次元切削モデルに相当する切削厚さと切削力の関係を調べる. Fig.3 に示すように工具一回転あたりの切削力は工具の回転につれて変化する. そして, 各回転における最大切削力は, 最大切込みとなっているときに発生していると考えられるので, 工具半径と切り込み幅を基にした簡単な幾何学的計算により主分力と背分力に変換できる. Fig.4, 5 は, 測定した切削力の X 軸, Y 軸方向の最大切削力から求めた主分力と背分力の結果である.

計測した加工中の切削力と加工誤差については, Fig.2 の Y 軸方向の切削力と加工誤差について整理した. これは, 金属切削における加工誤差推定に用いられるモデルでは, Fig.2 の Y 軸方向の切削力による準静的な工具-工作物の相対変位が加工誤差の支配的な要因で

あると考えられることから、柔軟弾性体の加工においても、Y 軸方向の切削力と加工誤差に同様の関係があるかどうかを調べることで、切削力による弾性変形だけでは説明できない、切りくず分離に起因する誤差の影響を調べることが出来ると考えられるからである。

Fig.6, 7はFig2に示す各測定位置でのY 軸方向切削力の最大値と加工誤差の最大値の関係を切削方向（アップカット及びダウンカット）ごとにまとめたものである。

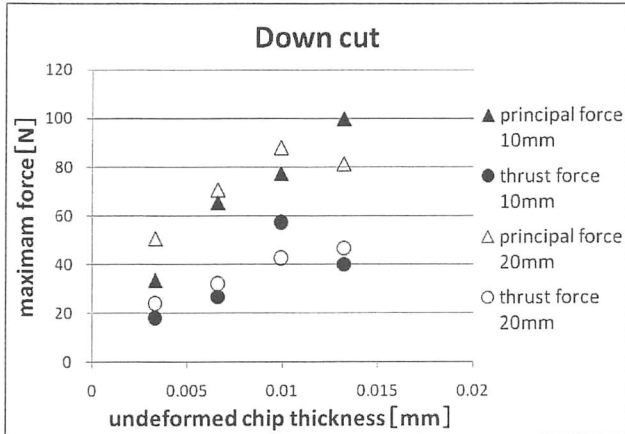


Fig.4 Measured main force and back force in down cut

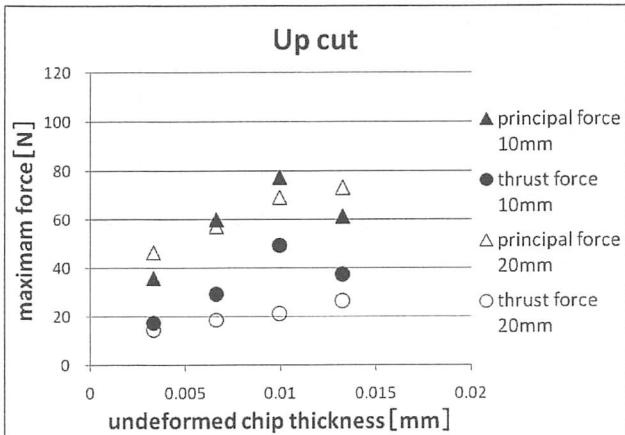


Fig.5 Measured main force and back force in up cut

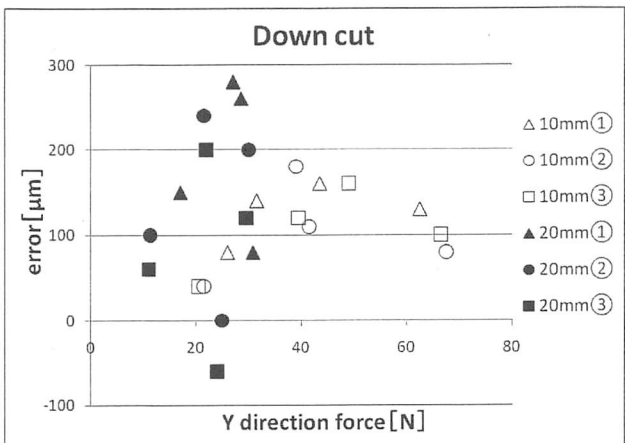


Fig.6 Cutting force and error in down cut

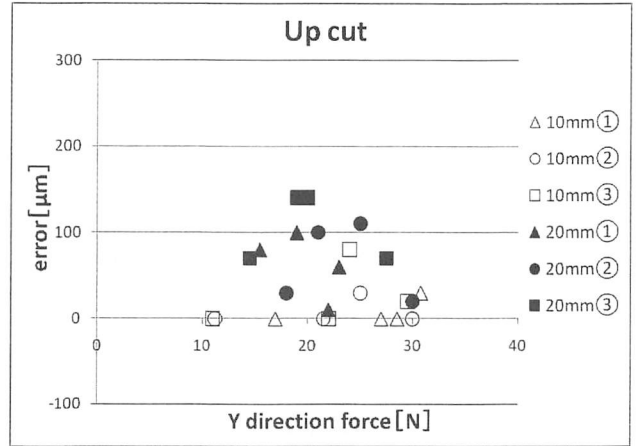


Fig.7 Cutting force and error in up cut

3. 考察

3・1 主分力と背分力

主分力と背分力の計測結果と切削厚さの関係 (Fig.4, 5)を見ると多少のばらつきがあるものの、切削厚さが増加するにつれてこれらの力が増加していることがわかる。そして、主分力の方が背分力より大きくなる傾向があることがわかる。これは、通常の金属切削と同様の傾向を示しており、切削自体はある程度安定に行われていることを示唆している。

3・2 切削力と加工誤差

切削力と加工誤差の関係としては、Fig.6, 7に示す通り切削方向により異なる傾向が得られた。

ダウンカットにおいては、一部のデータを除き最大切削力と加工誤差は正の相関を示しているうえ、工作物厚さ10mmの場合より工作物厚さ20mmの場合の方が、加工誤差が大きくなっている。工作物厚さが大きくなると工作物剛性は低下することから、大域的な工作物変形が加工誤差に一定の影響を与えていることが分かる。また、加工位置によるデータの違いは少ないことから、トレンドに乗ったデータではY方向の切削力が支配的な要因であることが分かる。今後は、トレンドから外れたデータ群について、加工面を作る瞬間にどのような現象が起こっているのかを調べるために、最大値以外の工具回転に伴う切削力の変化と加工面形状を検討し、さらに詳細に分析をする必要がある。

一方、アップカットにおいては、切削力と加工誤差の間にはあまり相関が見られないことから、準静的な変位以外の誤差要因があることが分かる。しかし、工作物厚さ10mmのほうが加工誤差は小さくなる傾向があるので、剛性の違いによるワークの変形も加工誤差に影響している可能性がある。

4. 結論

本研究では、直刃エンドミルによる柔軟弾性体の切削加工を行い、切削力および加工誤差の計測とその関係の分析を行った。実験結果では、ダウンカットとアップカットで傾向が大きく異なっているものの、いずれの場合でも準静的な工具-工作物間の相対変位だけでは説明できない誤差が計測され、切りくず分離過程での加工面創成過程が影響している可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) Koji TERAMOTO and Daisuke WATANABE, Analysis of Machining Error in soft-objects end-milling, Proc. ISFA2010, Tokyo, JAPAN, CD-ROM (2010)