

高速度カメラを用いた柔軟弾性体エンドミル加工における工作物挙動の直接観察

室蘭工業大学 ○古谷 優太郎, 寺本 孝司, 工藤 翔平, 磯村 誠

Direct observation of the workpiece deformation for elastomer endmilling using high speed camera
Muroran Institute of Technology

Yutaro FURUYA, Koji TERAMOTO, Shohei KUDO and Makoto ISOMURA

Endmilling is attracting attention as a method to realize a small lot fabrication of elastomer. There are several causes of the machining error of elastomer: they are an irregular chip separation process and elastic deformation. The purpose of this study is to investigate the relationship between the deformation of the workpiece and the machining error. In-process measurement of workpiece deformation was examined with urethane rubber by using high-speed camera. As a result, there is a correlation between the deformation and workpiece for machining errors.

1. 諸言

ゴムなどで知られる柔軟弾性体は、タイヤや絶縁体など身のまわりの様々な場面で利用されている。現在、それらのゴム製品は主に金型成型もしくは研削加工で作られている。これらの方法では、複雑な形状を小ロットで加工することは困難である。そこで、それらの問題を解決するための加工法として、柔軟弾性体の切削加工が注目されている¹⁾。近年の研究から、柔軟弾性体の切削加工における加工誤差の要因として、加工中の工作物の弾性変形が加工誤差に影響を及ぼしていることと、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。本研究は加工誤差の要因のうち工作物の弾性変形に着目して、柔軟弾性体の直刃エンドミルによる疑似二次元切削加工を行い、加工中の工作物の挙動を高速度カメラを用いて直接観察し、加工誤差と工作物変形の関係について分析する。本報では、高速度カメラを用いた加工中の工作物の画像取得方法と、取得した画像から工作物変形を計測する方法について検討した結果を報告する。

2. 切削実験

本実験では、加工中の工作物変形を定量化するために、マシン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 に示す。また、実験条件を Table1 に示す。工作物は両面テープにより金属製の土台に固定された状態で把持されている。地面に対し水平に設置した高速度カメラを用いて撮影するため、工作物下に鏡を置き、鏡に映った加工状況を撮影した。一つの工作物に対し、Fig.2 に示すように切削始めの位置、中間位置、終わり側の位置の三つの区間に分け、計三回の撮影を行った。切削中は鏡に切りくずが降りかかるが、切削中に常に鏡にエアを吹き付けることで撮影に影響がないようにした。加工後、土台ごと工作物を非接触形状測定器に載せて工作物表面の加工誤差を計測した。

Table1 Cutting condition

切削方向	ダウンカット, アップカット
工具回転数 [rpm]	4000
送り速度 [mm/min]	50
切込み深さ [mm]	10
切込み幅 [mm]	1
工作物形状 [mm]	10×10×20
フレームレート [fps]	4000
撮影時間 [s]	0.5

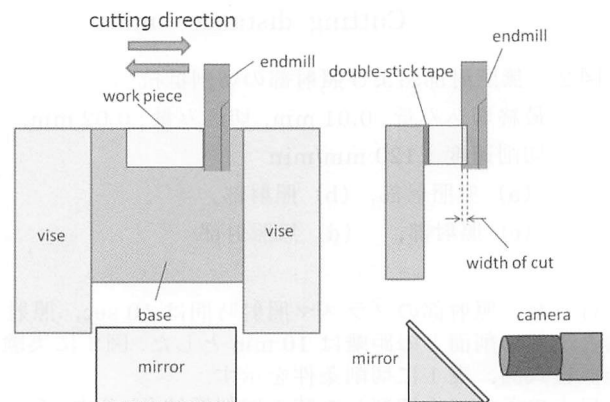


Fig.1 Experimentation equipment

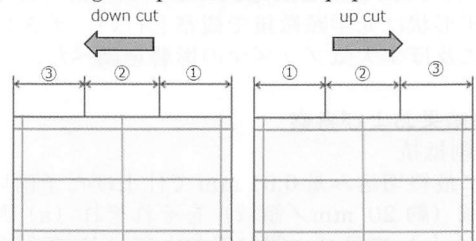


Fig.2 Measurement position

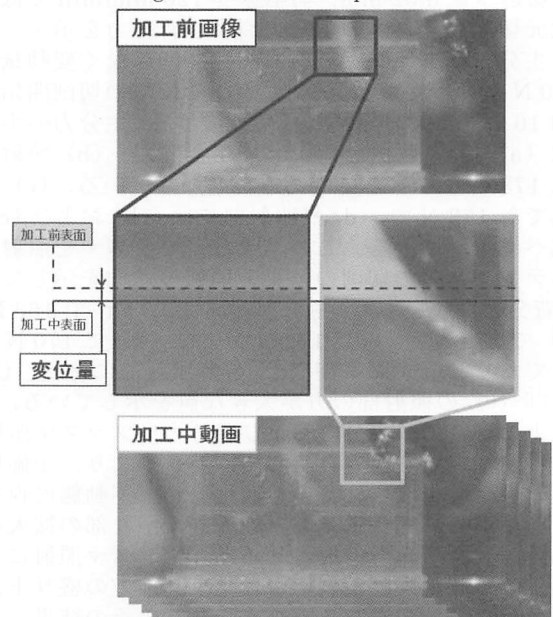


Fig.3 Measurement of workpiece displacement

3. 工作物変形測定方法

加工中の工作物変形の計測方法として、Fig.3 に示すような計測方法を用いた。具体的には、加工前の工作物周辺を撮影した画像における切削位置近傍の工作物表面を基準点とし、加工中に撮影した画像における同一表面との差をその時間での工作物変形として記録した。画像同士の直接差であるからピクセル数で測定されるが、これを画像内の既知の寸法と比較することにより mm 単位に変換した。この測定を撮影した動画から抽出した連続画像に対して行うことで、工作物挙動の時間的な変化を測定することができる。本報における実験ではフレームレートが 4000fps で工具回転数が 4000rpm であるから、1 フレームあたり工具回転角は 6° 進行するため、工作物変形の数値は工具回転角 6° ごとに挙動を測定したものになる。

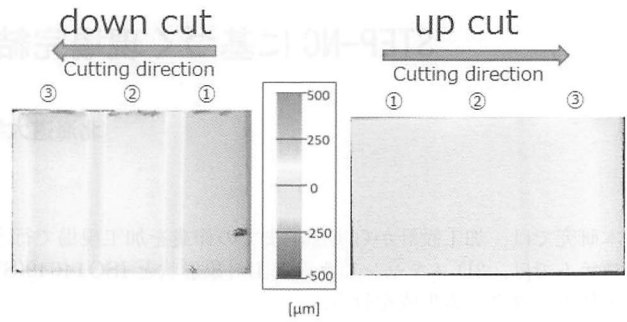


Fig.5 Surface shape

4. 測定結果

Fig.4 に計測結果の例として、ダウンカットの切削位置①における工作物変形を示す。このデータは、撮影時間範囲の中から 2 周期分ピックアップし変位を計測した。この結果では大きい変位と小さい変位が交互に見られ、工具に偏芯がある可能性が考えられる。また、どのデータも刃が工作物から離れて変形が回復する時に、加工前の状態まで戻ることなく一定の数値に収束した後に次の刃が切削を行っている。これは、工作物に荷重が作用していない状態でも変形が維持されていることを示している。このことは、柔軟弾性体が有している粘弾性などの性質では単純に説明できるものではなく、荷重が解放される過程でのヒステリシス現象や工作物の固定方法が影響していることが考えられる。

Fig.5 に非接触形状測定器を用いて計測した加工表面を示す。また、Fig.6 に加工誤差を数値化した結果を示す。ダウンカットでは各切削位置で削り残しがあり、特に位置①に大きな削り残しが見られた。アップカットでは位置①で削り過ぎとなり、切削の進行に伴って削り残しが増加する傾向が見られた。

加工後の工作物表面を非接触形状測定器により測定して得られた加工誤差と加工面創成時の工作物変形の関係をプロットしたグラフを Fig.7 に示す。この二つのパラメータはアップカット、ダウンカットの両方において正の相関が見られた。このことから、工作物変形が加工誤差に影響を与えていることが示された。特に、アップカットでは測定された工作物変形と加工誤差の値が近い値をとっており、工作物変形が加工誤差の支配的な要因である可能性が示された。一方、ダウンカットでは測定された工作物変形と加工誤差の値に差があり、変形以外の要素が加工誤差に影響していることが考えられる。

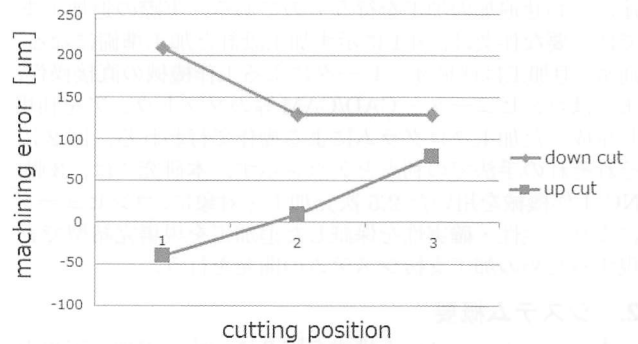


Fig.6 Machining error

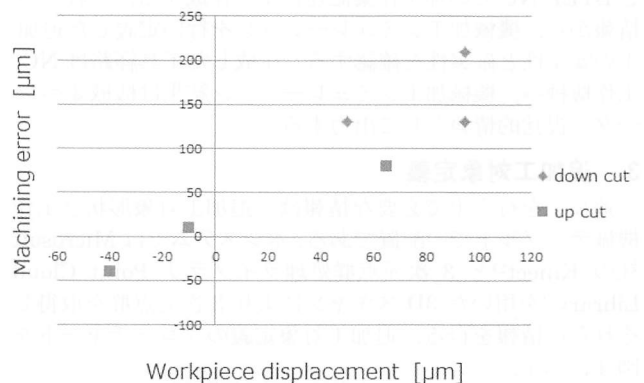


Fig.7 Relationship between machining error and deformation

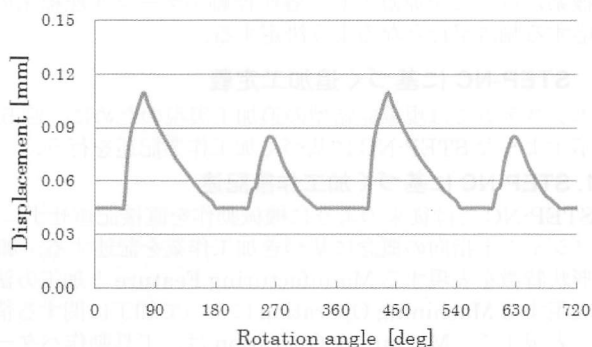


Fig.4 Displacement in position ①

5. 結言

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において、高速度カメラを用いた加工プロセスの直接観察から加工中の工作物挙動を定量化する方法について検討した。今回の実験結果から、測定データは少ないものの、工作物変形と加工誤差について相関がみられた。今後は切削力評価のため切削動力計を組み込んだ実験装置の考案や、切りくず分離過程の評価、工作物の接着に用いた両面テープの挙動の影響などと合わせて、加工中の挙動による誤差生成メカニズムの検討をすすめる。

参考文献

- (1) 神, 村川, ゴムの高速フライス加工に関する研究 (第 1 報), 精密工学会誌, Vol.64, No.6, pp.897- 901 (1998).