

要 旨

エンドミルによる薄肉形状部品の高精度・高能率加工を目的として、切削力による工具および工作物の変形を有限要素法により計算し、切れ刃点における両者の変位から加工誤差を予測した。また薄肉部の高さ方向で変化する両者の変位より、加工誤差に占める工具および工作物の比率を求めた。さらに加工実験により加工誤差を求めて予測値と比較し、誤差の形状がほぼ一致することを示した。

1. はじめに

エンドミルによる薄肉形状部品の加工においては、加工誤差に及ぼす工作物の変形が無視できない。そこで本研究では、実験により求めた切削力分布を用い、加工面を創成している切れ刃位置における工具および工作物の変位を、有限要素法により計算した。また両者の相対変位、すなわち加工誤差の予測値に占める工具および工作物の比率を求めるとともに、切削実験による結果と比較を行った。

2. 工具、工作物および加工条件

使用した工具は直径13 mm、2枚刃、ねじれ角右45°の超硬ソリッドエンドミル($E_c:578.2$ GPa)であり、図1には後述する方法により行った要素分割および寸法が示されている。工作物は炭素鋼S45C($E_w:206$ GPa)を用い、図2には同様に解析に使用した要素分割ならびに寸法が示されている。切削実験は、切削速度40.84 m/min、送り0.03mm/tooth、半径方向切込み0.2mm、下向き切削の条件で工作物の薄肉部の加工を行った。

3. 有限要素解析

3.1 要素分割

エンドミルは総要素数2756、総節点数3056で要素分割を行っている(図1)。その際、切れ刃部($Z=0\sim 24$ mm)の軸直角断面の輪郭形状に一致するように、断面の外周部は三角形を用いて分割を行ない、内部は矩形断面(8節点立体要素、 $\Delta X=\Delta Y=0.3\sim 1.2$ 、 $\Delta Z=1.6$ mm)を用いている。なお $Z=1.6$ mmにおける分割図は $Z=0$ mmのものを $\theta=\tan^{-1}(\Delta Z/r_c)$ だけ時計方向に回転させている。

工作物は図2に示すように8節点立体要素で分割し、総要素数は3240、総節点数は4340である。なお薄肉部の分割は $\Delta X=1.15$ 、 $\Delta Y=2$ 、 $\Delta Z=1.6$ mmとした。

3.2 拘束条件および解析方法

エンドミルは、図1の $Z=75$ mmの面内において、中心軸上の節点の変位を $U_x=U_y=U_z=0$ とするとともに、 $Z=75$ mmの面の $y=6$ 、 -6 の点の変位を $U_x=0$ とすることにより回転変位を拘束した。 $Z=35$ mmの中心軸上の変位は $U_x=U_y=0$ とした。工作物は図2の底面の全節点の変位を $U_x=U_y=U_z=0$ とした。

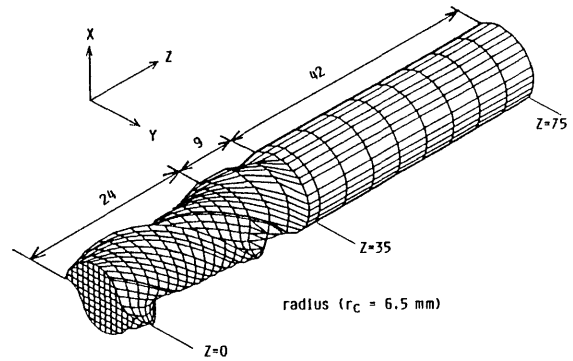


Fig.1 Shape of end mill and Partitioning

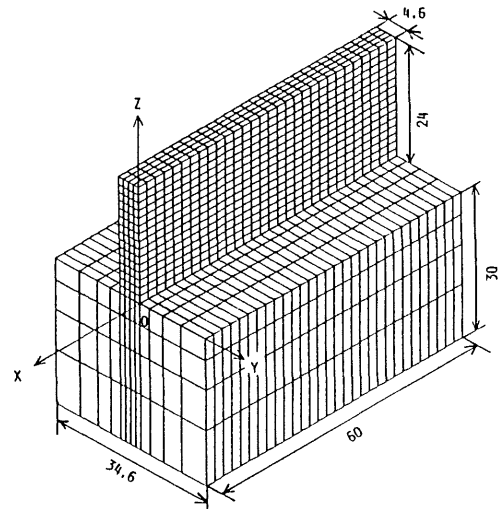


Fig.2 Shape of workpiece and Partitioning

解析に必要な切削力は、厚さ1 mmの薄板による切削力から求めている。まず重ね合わせ法¹⁾により厚板に

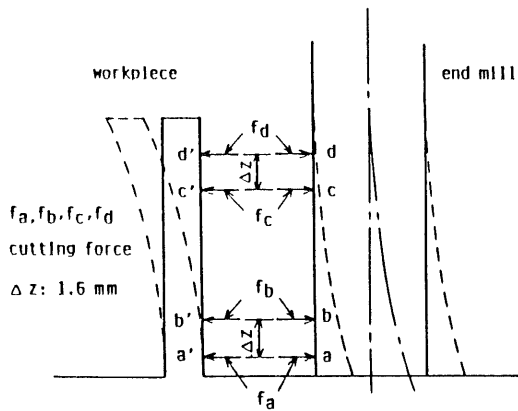


Fig.3 Deflection model

よる切削力を定め、次に切れ刃に作用する切削力分布を求め、その分布より節点に加わる荷重を計算している。図3は切削力の作用点と工具および工作物の変形を示しており、切削力 f_a ないし f_d が工具および工作物のそれぞれ2つの領域 $[a, b]$, $[c, d]$ および $[a', b']$, $[c', d']$ に作用する場合である。加工誤差は加工面を創成している切れ刃点 $a(a')$ および $c(c')$ における工具と工作物の相対変位により計算できる。そこで工具の回転によりZ方向に移動する切削力を各作用点に加え上記計算を切れ刃点の各位置で行って薄肉部の下面から上面までの加工誤差を求める。次に工具の位置を図2のX方向に移動させて同様の計算を行ない、加工面全体の加工誤差を求めている。なお解析には汎用構造解析プログラム(Ansys-PC)を用い、弾性変形の静的解析を行った。

4. 解析結果および実験結果

図4はエンドミルおよび工作物の変形の解析結果であり、図2の $x=-58$ および -30 mmにおける場合である。図より実線および破線で示す工作物の変形は上面および加工面の端近傍($x=-58$ mm)で大きく、一点鎖線で示す工具の変形は下面を加工する切れ刃先端で大きい。両者の相対変位すなわち加工誤差の予測値に占める工作物の比率を $Z=2, 12$ および 22 mmの位置で求めると、 $x=-58$ および -30 mmの位置ではそれぞれ $(0.06, 0.03)$ 、 $(0.56, 0.33)$ および $(0.85, 0.73)$ である。なお工具の変形は切削力分布を一定であると仮定しているため、X方向どの位置においても等しく、加工誤差の予測値の差は工作物の変形の差に依存する。

図5は図4に示した加工誤差の予測値と実験値を比較したものである。図より誤差の形状は薄肉部の下面より上面に移動するにつれて誤差が大きくなり、 $Z=20$ mm付近より減少し、予測値の傾向と一致している。また加工面のX方向位置により誤差の大きさに差が生じているが、工作物の変形の差に大きく影響されており、その平均値 $(2.2 \mu\text{m})$ は予測値における差 $(1.1 \mu\text{m})$ にほ

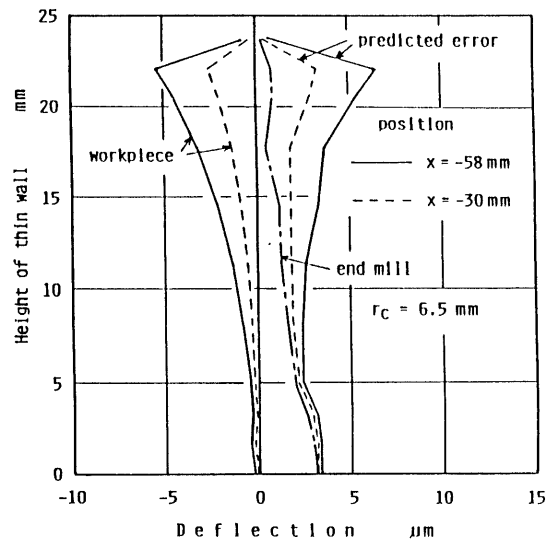


Fig.4 Deflection of end mill and workpiece

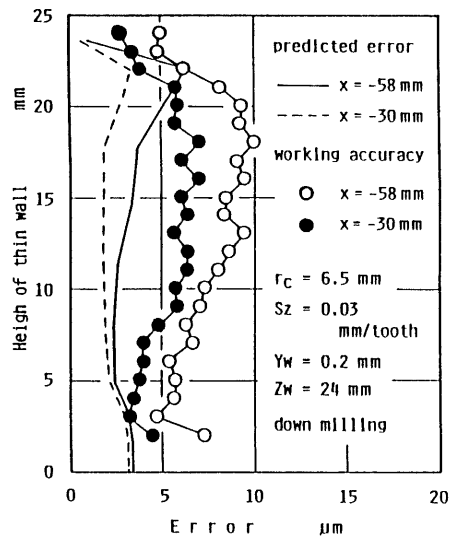


Fig.5 Predicted error and working accuracy

ぼ等しい。しかし予測値と実験値には平均約3ないし $4 \mu\text{m}$ の差が生じている。これはチャックを含む主軸系の変形によるものと思われる。

5. 結論

エンドミルによる薄肉形状部品の加工における加工誤差を、有限要素法を用いて求めた工具および工作物の変形により予測した。また予測値に占める工具および工作物の変形の比率を求めた。さらに加工誤差と予測値を比較し、誤差形状がほぼ一致することを示した。文献1)岩部,古泉,藤井,浅見;日本機械学会論文集(C編) 57,540 (1991-8), 2746-2751.