

1. はじめに

塑性加工では素材-工具間での摩擦や接触部の発熱により生じる加工力の増大，素材の工具への焼付きを防止するため潤滑油が使用される．しかしながら，近年，潤滑油の有害性が問題となっており，無害な潤滑油の開発，極微量の潤滑油を噴霧するセミドライ加工，潤滑油を用いないドライ加工が注目されている．切削加工では表面被覆工具の開発により，潤滑油を用いないドライカッティングが可能となりつつある．塑性加工においても無潤滑または極微量の潤滑は望ましいが，まだ実現していない．今まで無潤滑加工についての研究はほとんどない．本研究では無潤滑加工での摩擦特性を明らかにすることを目的とする．摩擦特性はリング圧縮試験により測定するが，リング状試験片の変形特性を剛塑性有限要素シミュレーションを用いて調べ，高摩擦域で高精度に摩擦係数を測定するための試験片形状を提案した．このリング形状を用いて工具表面処理，素材表面の酸化物の影響などについて実験を行った．

2. リング圧縮試験における初期試験片形状の最適化

リング圧縮試験は，リング状試験片を平行工具間で圧縮し，摩擦状態によって変形後のリング形状が異なることを利用し，摩擦係数を求める方法である(Fig.1)．圧下率 $\Delta h/h_0$ と内径変化率 $\Delta De$ の関係を示す摩擦係数検定曲線(Fig.2)に実験点をプロットする．一般に用いられる初期リング形状(外径 $D_0$ ：内径 $d_0$ ：高さ $h_0 = 6:3:2$ )では，摩擦係数 $\mu = 0.20$ を超えるとリング内径の摩擦に対する変化割合が小さくなり，その評価は困難になる．そこで剛塑性有限要素シミュレーションを用いて，高摩擦域に適した初期試験片形状を求めた．Fig.2に示すように限界圧下率と内径変化率差 $\Delta De$ で評価し，高摩擦域用初期リング形状を， $D_0:d_0:h_0 = 3:1:1$ と決定した．新形状では限界圧下率は60%から40%に減少するが，高摩擦域での感度 $\Delta De$ が約2.5倍になる．

3. 実験方法および結果

リング圧縮試験用の試験片材料には炭素鋼(S45C)，純アルミニウム(A1050)，純銅(C1020)を表面粗さ $Ra = 1.0\mu m$ 以下にして用いた．また工具母材に超硬合金(WC)を用い，超硬合金表面

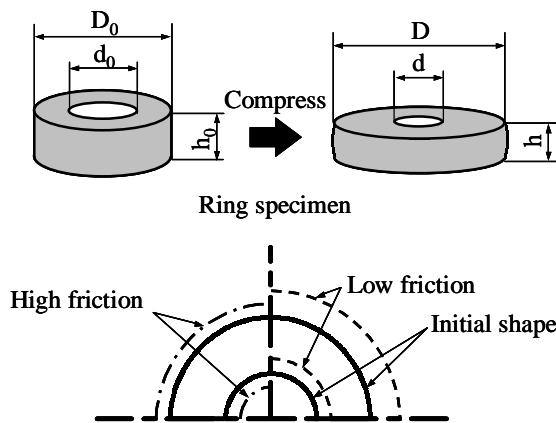


Fig.1 Ring compression test

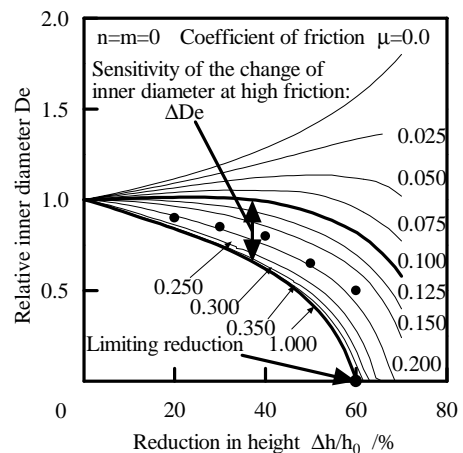


Fig.2 Calibration curve of friction for currently used specimen shape ( $D_0:d_0:h_0 = 6:3:2$ )

には CVD 法または PVD 法によって TiC, TiN, TiC+TiCN+TiN, TiAlN, DLC を膜厚 2.0~7.0  $\mu\text{m}$ (DLC のみ膜厚 40nm)でコーティングし, Ra = 0.02~0.18 $\mu\text{m}$ にした. 実験にはメカニカルプレスを用い, 室温および加熱状態で圧縮試験を行った.

(1) 工具被覆物質の影響 工具表面粗さを Ra = 0.02~0.04 $\mu\text{m}$ にし, Al 試験片を  $\Delta h/h_0 = 45\%$ で摩擦係数を測定した(Tab.1). DLC 被覆工具は他の工具に比べて, 摩擦係数は低くなる. 次に超硬, DLC 工具を用いて, 圧下率と摩擦係数の関係を調べた(Fig.3). 室温での Al-DLC 工具間の摩擦係数は, 圧下率の上昇とともに単調に下がる. 一方, Al-超硬工具間の摩擦係数は,  $\Delta h/h_0 = 40\%$ までは下がるが, 高压下率では摩擦係数は上がる. また Al 試験片を 200°C に加熱した場合, 超硬工具では圧下率の上昇とともに摩擦係数が大きく上昇するが, DLC 工具ではほぼ一定である.

(2) 工具表面粗さの影響 Al, Cu 試験片を用いて工具表面粗さが摩擦におよぼす影響を室温で調べた(Fig.4). DLC 工具を除いて摩擦係数は, 被加工材料によらず工具表面粗さの増大とともに大きくなる. 表面被覆工具は被膜処理後に鏡面仕上げにすることが重要である.

(3) 酸化膜の影響 S45C を, 大気, アルゴン雰囲気中で酸化させて, 酸化膜が摩擦におよぼす影響を調べた(Fig.5). 熱間加工では酸化膜は摩擦を低くするが, 冷間加工では摩擦を非常に高める. 切削加工では工具表面が常に酸化物の無い新生面に接触するため, ドライカッティングが可能であると考えられる. したがって, 炭素鋼のドライ塑性加工では, 加工前に酸化物を取り除くことが不可欠である.

#### 4. まとめ

工具表面処理と被加工材料の適切な加工条件により, 無潤滑加工が可能である. その際, 工具表面粗さをできるだけ小さくすることが重要である. また冷間加工では素材表面の酸化物が摩擦を大きく増大させるため, 取り除くことが不可欠である.

Tab.1 Experimental result of friction measurement at room temperature (Specimen : Al)

Coated tool	Coefficient of friction $\mu$
WC	0.095
TiC	0.081
TiN	0.086
TiC+TiCN+TiN	0.087
TiAlN	0.091
DLC	0.076

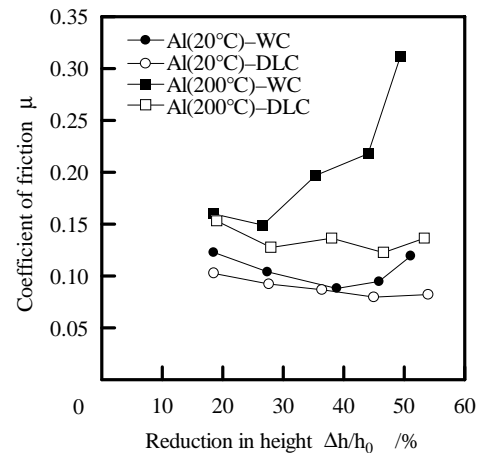


Fig.3 Effect of reduction in height on coefficient of friction for aluminum billet sliding over carbide tool and DLC coating (Roughness = 0.02 $\mu\text{m}$ )

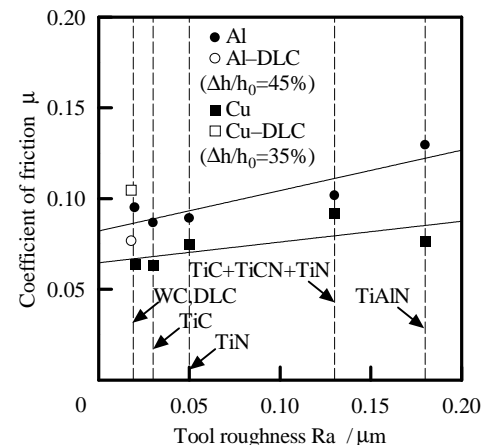


Fig.4 Effect of coefficient of friction on tool roughness

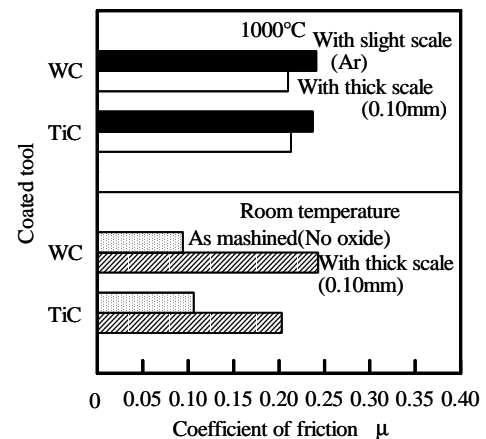


Fig.5 Effect of oxide layer on 0.45% carbon steel billet surface at 1000°C and room temperature