

三次元 CAD を活用したラジアスエンドミルによるチタン合金の切削特性に関する研究

新潟大学大学院 ○二川 真法, 岩部 洋育

要旨

三次元 CAD を用いてラジアスエンドミルの切れ刃形状および傾斜面をもつ工作物を定義し、切削の進行に伴って変化する切削面積を精度よく計算するとともに、工作物の傾斜角および切削方式による影響を比較した。また、切削実験により切削力および仕上げ面粗さを測定し、各種切削条件が切削特性に及ぼす影響について検討を行うとともに、炭素鋼 (S45C) による結果との比較も行った。

1. はじめに

チタン合金は軽量、高強度および耐食性に優れているため、航空機部品はもとより、各種工学部品にも利用されている¹⁾。しかし、高温硬度が高いだけでなく、熱伝導率が小さいため、加工能率は低く、工具寿命が短いことが問題である。また、高価な材料であることから薄肉軽量化とともに複雑な形状の製品が多く、加工にはボールエンドミルが多用されているが、これらを改善する目的で各種のラジアスエンドミルが開発されている。しかし、この種の工具による切削特性に関する報告は見当たらない。

そこで、本研究ではラジアスエンドミルによるチタン合金の切削特性を明らかにすることを目的とする。まず、三次元 CAD を用いて工具、切れ刃形状および傾斜面を持つ工作物を定義するとともに、両者の干渉により切削の進行に伴って変化する切削面積を精度よく計算した。また、切削実験により切削力および仕上げ面粗さを測定するとともに、同条件による炭素鋼 (S45C) の切削による結果との比較を行った。

2. モデリングと切削面積の計算方法

2.1 モデリング

図1は前報²⁾と同様に三次元 CAD を用いて作成したラジアスエンドミル、切れ刃および工作物のモデルを干渉させた切削モデルであり、傾斜面の下方にピックフィードを与えるステップダウンの場合である。切削は X 軸方向に送りを与える等高線方式であり、図中の R_c は工具半径、 η はねじれ角、CR はコーナ半径、 P_f はピックフィード、 R_d は切込み、 α は工作物の傾斜角、abcd は一回の切削で除去される切りくず立体である。

2.2 切削面積の計算方法

図2は図1の切りくず立体 abcd を Z 軸方向より投影したもので、切削は切れ刃 1 より開始し、切れ刃 2 を経て切れ刃 3 で終了する。切りくず立体と工具すくい面の干渉部分 klmn は切削面積であり、工具の回転に伴って変化するため $\theta=2^\circ$ の間隔で計算している。なお、中心近傍の切れ刃が Y 軸に一致する切れ刃 2 の位置を工具回転の基準 ($\theta=0^\circ$) とし、表 1 に示す条件で計算を行った。

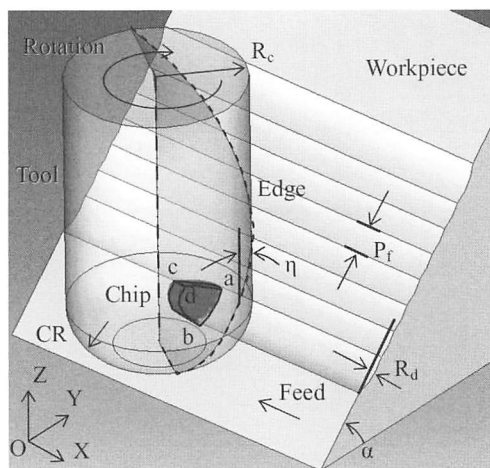


Fig.1 Cutting model by 3D-CAD models

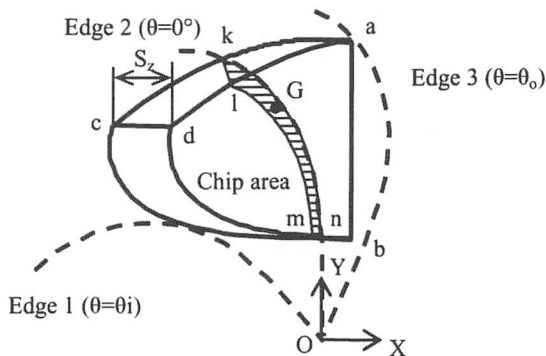


Fig.2 Calculation method of chip area

Table 1 Calculation and cutting conditions

Cutting speed	: V	13.6 m/min
Radial depth	: R_d	0.6 mm
Feed rate	: S_z	0.12 mm/tooth
Pick feed	: P_f	0.6 mm
Workpiece inclination angle	: α	$0^\circ \sim 60^\circ$
Coolant		Wet (1.5 l/min)

3. 実験方法

実験に使用した機械、工具、工作物および計測機器は次のとおりである。

- 工作機械 : NC 立フライス盤 (大阪機工, MHA-350)
- 工具 : 超硬ソリッドラジアスエンドミル, $R_c=6$ mm, CR=1, 2, 3 mm, $\eta=30^\circ$, (TiAl) N コーティング, 一枚刃 (二枚刃の一方を削る)
- 工作物 : チタン合金 (Ti-6Al-4V), 炭素鋼 (S45C) 75×50×10 mm
- 計測機器 : 圧電式工具動力計 (Kistler, 9257B) 触針式粗さ計 (東京精密, SURFCOM-130A)

切削実験は、工作機械のテーブル上に設置した工具動力計に治具を用いて工作物を取り付け、X 軸方向に送りを与える等高線方式で切削を行い、動力計により切削三分力を測定した。また、ピックフィードはステップアップ、ステップダウンとし、切削実験後に、粗さ計によりピックフィード方向の仕上げ面粗さを測定した。

4. 計算および実験結果と考察

4.1 切削面積

図3は横軸に工具回転角 θ をとり、図に示す条件で加工方法が切削面積の変化に及ぼす影響を比較したものである。切りくず立体 abcd の形状は上向き切削と下向き切削で左右反転するため、切削面積の変化の様子も $\theta=0^\circ$ 近傍を中心に左右対称になっている。また、ラジアスエンドミルにおいては中心に近づくにつれて切れ刃は直線形状となるため、ステップアップ (破線) はス

テップダウン(実線)に比べて切削に關する工具回転角が短くなり、切削面積の最大値は逆に増加している。

図4は横軸に工作物傾斜角 α をとり、切削面積の最大値の変化を比較したものである。コーナ半径によらずステップアップに比べてステップダウンで小さいが、この理由は後者の条件では切削に關する切れ刃が中心部に移動し、直線形状に近づくことによる。また、ステップアップの条件でコーナ半径による影響を比較すると、CR=3 mm が 1 mm に比べて大きい。これはコーナ半径が大きくなるにつれて外周部で切れ刃が曲線形状となり、切削に關する切れ刃長さが長くなるためと考えられる。なお、 $\alpha=0^\circ$ を除き、工作物傾斜角による影響を受けない傾向にある。

4.2 切削力

図5は実験から得られた切削三分力により切削合力 F_p を計算し、その最大値 F_{pmax} を比較したものであり、(a)図は S45C、(b)図はチタン合金の結果である。

(a)図では、CR=1 mm、 $\alpha=60^\circ$ を除いて α の変化によらずほぼ一定の値を示すが、CR=1 mm に比べて 3 mm の最大切削力 F_{pmax} が大きくなる理由は図4の場合と同様である。

(b)図に示すチタン合金において、各種条件における最大切削力 F_{pmax} は(a)図に示す S45C の結果とほぼ同様であるが、 $\alpha=30^\circ$ 以下においてはステップダウンの条件で、底刃による F_z 分力が大きくなるため、 F_{pmax} が大きく、両者の比は最大 2.7 倍に達する。

4.3 仕上げ面粗さ

図7は粗さ曲線を示しており、(a)図が $\alpha=0^\circ$ 、(b)図が $\alpha=30^\circ$ の場合である。(a)図ではツールマークが明確ではなく、最大高さは $R_z=3.5 \mu\text{m}$ と小さい。一方、(b)図ではツールマークがはっきり現れており、 $R_z=14.2 \mu\text{m}$ と大きい。これは、 $\alpha=0^\circ$ の条件ではピクフィードを与えることで、ツールマークの山部を底刃により削るためと考えられる。

図8は各種切削条件における最大高さ R_z を比較したもので、図中には三次元 CAD を用いて求めた理論粗さ R_{th} を併記している。 $\alpha=0^\circ$ を除き、実験値はともにそれぞれの理論粗さ R_{th} にほぼ一致しており、工作物の材質、切削方式による差は小さく、コーナ半径の違いによる差が大きいことがわかる。

5. まとめ

三次元 CAD を用いてラジラスエンドミルの切れ刃と傾斜面を持つ工作物のモデルを作成するとともに、両者の干渉により切削の進行に伴う切削面積を精度よく計算した。また、切削実験により切削力および仕上げ面粗さを測定し、切削方式、コーナ半径および工作物傾斜角がラジラスエンドミルの切削特性に及ぼす影響を、炭素鋼(S45C)の結果とともに比較検討した。

文献

- (社)日本チタン協会編、現場で活かす金属材料シリーズチタン、工業調査会、2007。
- 岩部洋育、清水啓輔、佐々木三宣：日本機械学会論文集(C編)、72、713、(2006-1)、247-254。

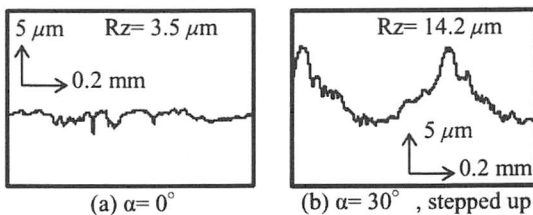


Fig. 6 Roughness curve(CR=3mm, down milling, S45C)

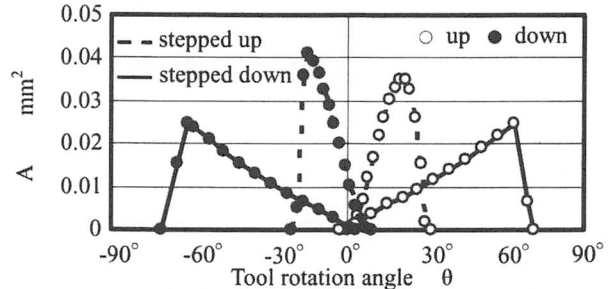


Fig. 3 Chip area (CR=3 mm, $\alpha=15^\circ$)

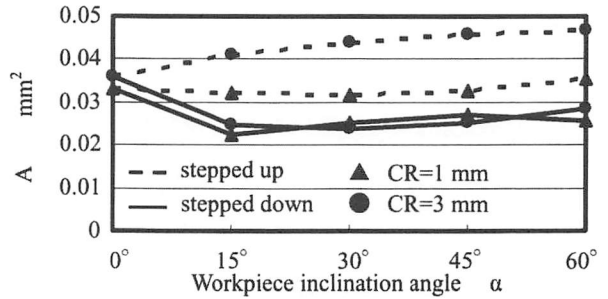
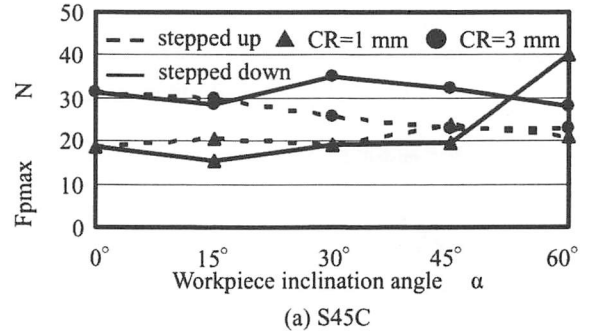
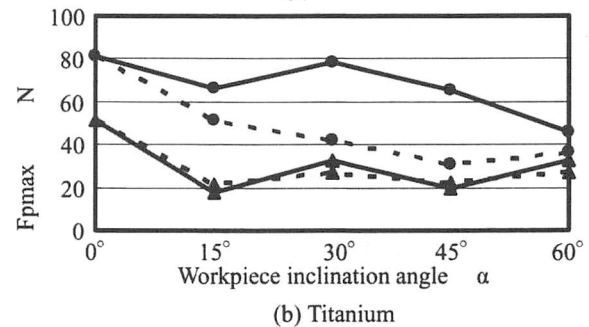


Fig. 4 Maximum of chip area (down milling)



(a) S45C



(b) Titanium

Fig. 5 Maximum of cutting force (down milling)

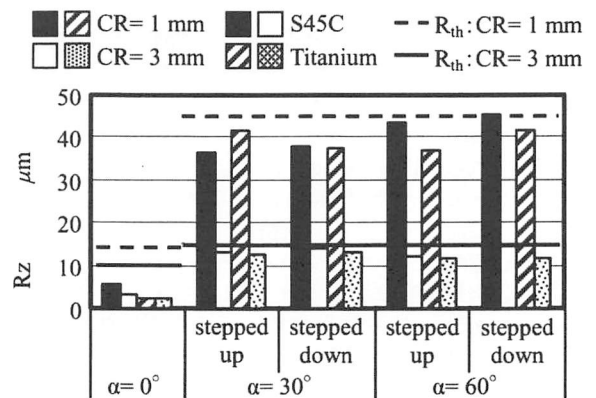


Fig. 7 Surface roughness (down milling)