ノート

チタンアルミ合金の切削加工技術開発

石川　淳*　相田　収平*　須藤　貴裕*　大川原　真**

Development of Milling Technology for TiAl Alloy

ISHIKAWA Atsushi*, AIDA Shuhei*, SUTOH Takahiro* and OKAWARA Makoto**

1. 緒　言

チタンアルミ合金は，比重が 4 程度と Ni 基超耐熱合金の約 1/2 であるにもかかわらず同程度の高温強度を有していることから，近年航空機エンジン用素材として注目されている。しかし，低熱伝導率，低延性，工具材料との化学的親和性が高いなどの性質も有していることから難削材料として認識されている [1)]。その適用拡大を図るためには，チタンアルミ合金の効率的な加工方法を確立することが重要である。

本研究では，「戦略的基盤技術高度化支援事業」において，環境対応型先進 UAV 用ターボジェットジェネレーターのタービンブリスクにチタンアルミ合金を適用することを目的に，その製作に必要となる小径ボールエンドミルによる高能率・高速・高精度切削加工技術の開発を目指した。

2. 加工条件の検討

本研究では，加工能率 1cm^3/min 以上を維持しながら，工具寿命は 30min 以上を達成できる加工技術の実現を開発目標としている。ところで，工具寿命を重視したこれまでの基礎試験において導出した切削条件では，加工能率は 0.43cm^3/min であり目標を満たしていない。そこで，表 1 に示すとおり，これまでの基礎試験での導出条件におけるパラメータを基準として，加工能率 1cm^3/min 以上を満たす A～D の 4 通りの加工条件を提案した。

表 1　切削加工条件案

	基礎試験導出条件	条件案（基礎試験導出条件を1とした場合の比率）			
		A	B	C	D
最大切削速度Vc	1	1.33	1	1	1.17
1刃当たりの送りfz	1	1.8	1.5	1.8	2
軸方向切込深さap	1	1	1.2	1.2	1.2
径方向切込深さae	1	1	1.4	1.2	1.2
加工能率(cm^3/min)	0.43	1.02	1.00	1.03	1.00

条件 A は基礎試験導出条件に対して，最高切削速度 Vc と 1 刃当たりの送り fz を増加させることにより，加工能率を 1.02cm^3/min としている。同様に条件 B と条件 C は 1 刃当たりの送り fz と軸方向切込深さ ap と径方向切込深さ ae を，条件 D はすべてのパラメータを増加させることにより，加工能率が 1cm^3/min 以上となるような条件となっている。

これら 4 通りの加工条件について，工具寿命が 30min 以上に達するか，平面切削試験を行い検証した。切削試験は図 1 に示すとおり平面寸法 72mm×110mm のチタンアルミ合金ブロック材を用いて，一方向に平面切削を行った。工具については，本事業で開発した試作工具（R1.5mm ボールエンドミル）を用い，各加工条件においてブロック材一断面切削ごとに工具逃げ面最大摩耗幅 Vbmax を測定した。本切削試験の経過を切削時間と工具逃げ面最大摩耗幅 Vbmax の関係としてまとめたグラフを図 2 に示す。Vbmax=0.1mm を工具寿命の判断基準とした場合，いずれの条件において 90min 切削して

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター

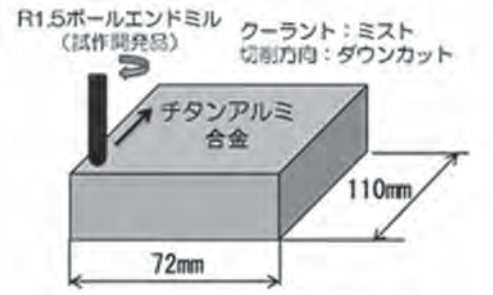

図 1　切削試験の概要

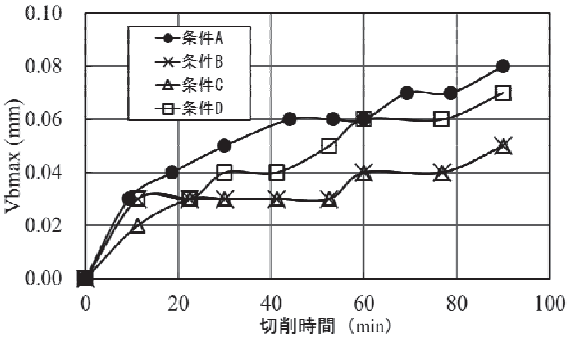

図 2　切削時間と Vbmax の関係

も工具寿命には達していない。また，条件 A の Vbmax が一番大きく推移し，次に条件 D が大きい。条件 B と条件 C はほぼ同じで，相対的に Vbmax は小さいことから，工具寿命に対して有利な加工条件であることがわかる。

ここで，一般的な工具寿命に対する切削条件パラメータの影響は，切削速度が一番大きく，送り，切込深さとその影響は小さくなってくることが知られている [2)]。本試験では表 1 に示したとおり，ベースとなる切削条件から加工能率を上げるために切削条件パラメータを複数組み合わせて上げているが，試験結果から図 3 に示すとおり，切削条件パラメータが工具寿命に与える影響を整理してみると，チタンアルミ合金に対する本開発技術においても，工具寿命に対する切削条件パラメータの影響は切削速度が一番大きく，送り，切込深さとその影響は小さくなってくる傾向があるといえる。

さらに工具寿命に至るまでの切削時間を確認するために，条件 C について切削試験を継続し，切削時間と工具逃げ面最大摩耗幅 Vbmax の関係を求めたグラフを図 4 に示す。切削時間 300min

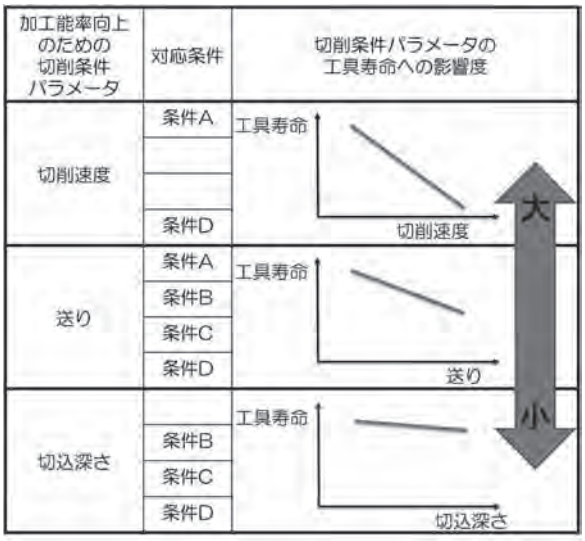

図 3　切削条件ﾊﾟﾗﾒｰﾀ の工具寿命への影響

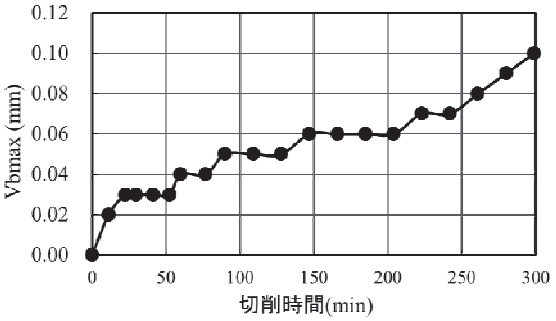

図 4　工具寿命までの切削時間と Vbmax の関係（条件 C）

において工具寿命の判定とする Vbmax=0.1mm に達している。このことから難削材であるチタンアルミ合金ではあるが，工具開発と適切な切削加工条件の設定により，長時間の切削加工が実現できることが明らかとなった。

2.　加工形状精度の検証

これまで開発してきたチタンアルミ合金の切削加工技術による加工物が，目標とする形状精度を満たすかを確認するために，図 5 に示すジェットエンジンのタービン翼を想定したモデル形状を切削加工し，その形状精度を評価した。幅 40mm×高さ 50mm×厚さ 7mm のチタンアルミ合金ブロック素材を用いて，荒加工により図 5 に示すようにモデル形状に対して翼部の余肉が片側 1.5mm となるような素材形状とした。その

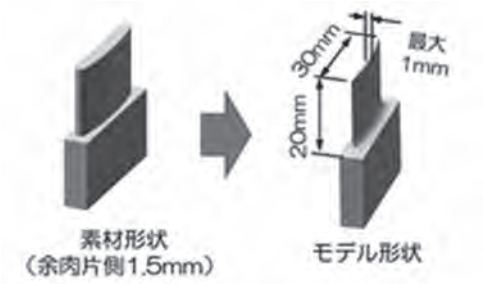

図 5　加工形状精度評価用モデルの形状

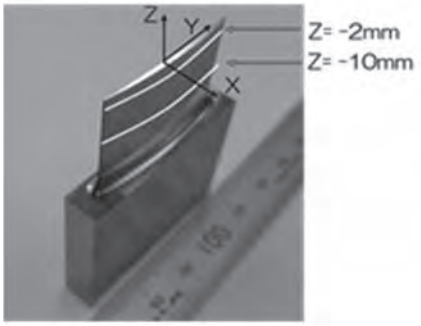

図 6　加工した翼モデルと形状評価位置

後，開発技術を基にした切削加工条件にて，約 10 分程度で，仕上がり翼弦長 30mm×翼高さ 20mm×最大翼厚 1mm の翼部を加工した。加工した翼モデルの外観写真を図 6 に示す。この翼面について，モデルCADデータを設計値として，Z=-2mm ならびに Z=-10mm の断面形状を三次元測定機（ZEISS 製 UPMC550）を用いて測定し，設計値と測定値の照合を行い，誤差を評価した。

三次元測定機による形状誤差の測定評価結果を表 2 にまとめた。形状誤差としては翼断面 Z=-2mmにおいては最小-12.9μm，最大 10.3μm，また翼断面 Z=-10mm においては最小-16.9μm，最大 15.1μm であった。このことから本開発技術による加工形状精度が目標である±30μm 以内を満たすことを確認した。

表 2　加工した翼モデルの形状誤差測定結果

測定断面	形状誤差(μm)	
	最小	最大
Z= -2mm	-12.9	10.3
Z= -10mm	-16.9	15.1

3. 結　　言

（1）チタンアルミ合金の切削加工に適する R1.5mm ボールエンドミルを試作開発し，加工能率 1cm^3/min 以上かつ工具寿命 30min 以上を満たす加工条件を把握した。

（2）本開発技術においては，工具寿命に対して切削速度が最も影響し，送り，切込深さの順にその影響が小さくなる傾向にあり，加工条件を最適化することにより，前記加工能率において加工時間 300min（切削除去量 300cm^3）の切削加工が可能となった。

（3）本開発技術によりタービンブレード翼モデルを切削加工し，ブレード翼断面の形状精度評価を行った結果，目標とする形状精度±30μm 以内であることを確認した。

参考文献

1）Priarone P.C.，Rizzuti S.，Rotella G.，Settineri L.，“Milling Experiments on γ-TiAl”，X Con-vegno AlTeM,Napoli，12-14 settembre 2011.

2）横山明宜，元素から見た鉄鋼材料と切削の基礎知識，日刊工業新聞社，2014，pp.201.