ノート

断続切削を伴う難削材の加工方法の開発

須藤　貴裕*　遠藤　桂一郎*　相田　収平*　石川　淳*　田村　信*
内堀　博**　木村　政幸**　渡邊　竜也**　髙野　祐生**

Development of the Machining Method for the Difficult-to-cut Material with Interrupted Cutting

SUTOH Takahiro*, ENDO Keiichiro*, AIDA Shuhei*, ISHIKAWA Atsushi*, TAMURA Makoto*,
UCHIBORI Hiroshi**, KIMURA Masayuki**, WATANABE Tatsuya** and TAKANO Yusei**

1. 緒　　言

航空機エンジン部品の多くは，超耐熱合金製精密鋳造品で構成されるが，近年，高性能かつ燃費向上などを目的として薄肉化，複雑化が進んでいる。そのため，これらの精密鋳造品は，品質確保のために，余肉を付与して鋳造した後，余肉を除去して完成させる場合が多いが，その余肉除去のためのコストやリードタイムの面で改善が望まれている。そこで本研究では，余肉除去のコスト低減を目的として，切削加工条件の最適化および工具寿命の評価を実施した。

2. 対象部品形状

図 1 に本研究の対象となる航空機エンジン部品のイメージを示す。対象部品の形状は，翼となる部分とそれを保持する内外のリングから構成されており，外側リングの上下にはフランジが設けられている。また，翼は中空となっており，リング側面には中空翼からつながる穴があいている。余肉除去が必要となる部分は，図中に示したとおり，内外リング側面であり，対象部位の加工は，切削加工において難易度の高い断続形状切削となる。さらに，対象部品は難削材としてよく知られているニッケル基超耐熱合金インコネル 713C[1]である。

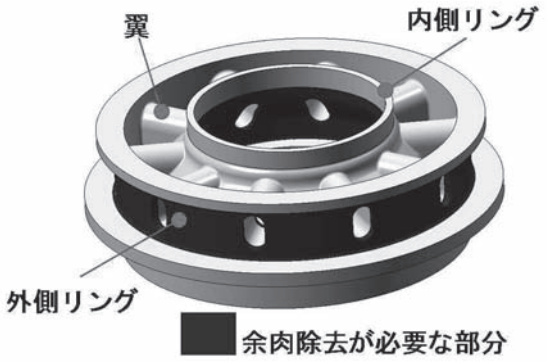

図 1　対象部品のイメージ

3. 切削加工条件の検討

切削加工条件において，切削速度は加工能率や工具寿命に影響する最も重要なパラメータである。そこで，インコネル 713C の切削加工における適切な切削速度を検討するため，表 1 に示す切削加工条件で工具摩耗の比較試験を実施した。使用した工具は直径 100mm，刃数 8 枚のサイドカッターである。切削速度 Vc は超耐熱合金の切削加工で一般的な Vc＝30m/min[2]を基準として，高速側となる Vc＝40m/min，Vc＝50m/min の 3 水準とした。そのほかの切削加工条件は表に示したとおりである。試験はブロック材の側面を切削加工し，一定量除去後の工具の最大逃げ面摩耗幅 V_{Bmax} を比較した。

図 2 に切削速度 Vc と一定量除去後の最大逃

*　研究開発センター
**　株式会社東京ロストワックス工業

表 1　切削加工条件

切削速度 Vc(m/min)	30	40	50
軸方向切り込み深さ ap(mm)	12		
径方向切り込み深さ ae(mm)	1		
1刃あたりの送り量 fz(mm/t)	0.25		
切削方向	ダウンカット		
切削油	水溶性切削油		

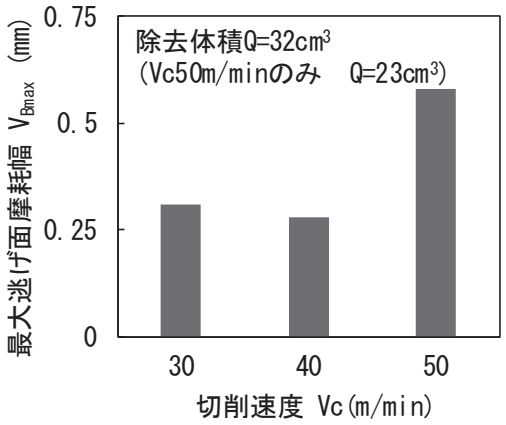

図 2　切削速度と最大逃げ面摩耗幅の関係

げ面摩耗幅 V_{Bmax} の関係を示す。Vc＝30m/min と Vc＝40m/min は除去体積 Q＝32cm³，Vc＝50m/min については，Q＝23cm³ となったときの最大逃げ面摩耗幅 V_{Bmax} を示す。Vc＝50m/min では，ほかに比べて除去体積 Q が小さいにもかかわらず V_{Bmax}＝0.58mm と大きい。また，Vc＝30m/min および Vc＝40m/min では，Q＝32cm³ となったときの最大逃げ面摩耗幅 V_{Bmax} がそれぞれ 0.31mm，0.28mm でほぼ同等である。本試験では，1 刃あたりの送り量 fz を一定としたことから，加工能率は切削速度 Vc に比例する。このことから，工具摩耗が同等であれば，Vc＝40m/min のほうが優位であり，切削速度 Vc は 40m/min が最適であると判断した。

さらに，Vc＝40m/min の切削加工条件について，工具寿命を見極めるため，除去体積 Q＝

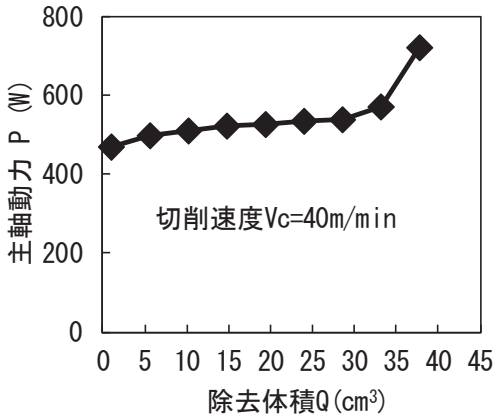

図 3　除去体積と主軸動力の関係

41cm³ となるまで試験を継続したところ，V_{Bmax}＝0.67mm となった。ここで，図 3 に本試験において測定した除去体積 Q と工作機械の主軸動力 P の関係を示す。図より，除去体積 Q＝35cm³ を超えた付近から主軸動力 P が急激に増加していることから，工具寿命は除去体積 Q＝35cm³ 程度であると推測できる。なお，このときの主軸動力 P は約 600W であった。

つぎに，1 刃あたりの送り量 fz について検討した。1 刃あたりの送り量 fz は，切削速度 Vc と同様に，切削加工において工具寿命に大きな影響を与えるパラメータのひとつである。1 刃あたりの送り量 fz を 0.15mm/t，0.25mm/t，0.35mm/t の 3 水準とし，切削速度 Vc は 40m/min として工具摩耗の比較試験を実施した。試験結果の評価は除去体積 Q＝32cm³ となったときの工具の最大逃げ面摩耗幅 V_{Bmax} を比較した。

図 4 に 1 刃あたりの送り量 fz と最大逃げ面摩耗幅 V_{Bmax} の関係を示す。図に示したとおり，1 刃あたりの送り量 fz が 0.15mm/t と 0.25mm/t については，最大逃げ面摩耗幅 V_{Bmax} がいずれも 0.28mm である。1 刃あたりの送り量 fz を小さくすると，被削材の切り取り厚さが薄くなり，工具刃先に加わる負荷は小さくなるが，同じ体積の被削材を除去する場合，切れ刃逃げ面が被削材を擦過する距離は長くなる。このことから，fz＝0.15mm/t とした条件では，fz＝0.25mm/t と

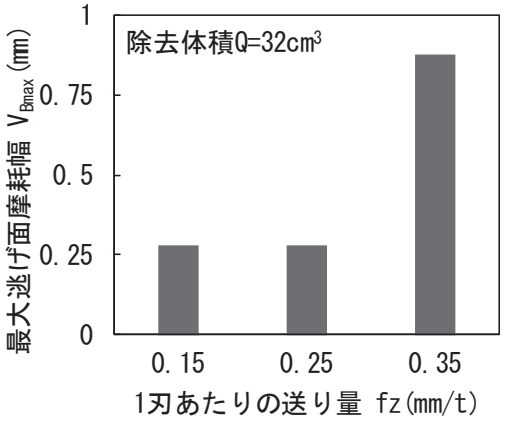

図4　1刃あたりの送り量と最大逃げ面摩耗幅の関係

比較して，刃先に加わる負荷が小さくなるにもかかわらず同等の最大逃げ面摩耗幅 V_{Bmax} となったと考えられる。加工能率の点では，fz＝0.25mm/t は fz＝0.15mm/t に対して約 1.7 倍であることから，同等の工具摩耗であれば，fz＝0.25mm/t のほうが優位である。一方，fz＝0.35mm/t とした条件では，V_{Bmax}＝0.88mm であった。これは，1 刃あたりの送り量 fz を大きくしたことで，切り取り厚さが厚くなり，刃先に加わる負荷が増え，早期に逃げ面摩耗が進行したためと考えられる。これらの結果から，1 刃あたりの送り量 fz は 0.25mm/t が最適であると判断した。

最後に断続切削の影響について検討した。前述したとおり，対象となる部品の加工面には穴があり，切削加工において難易度の高い断続切削となる。断続切削は，切り取り厚さの急激な変化などの影響により，工具寿命が短くなる傾向がある。そこで，図 1 に示した対象部品の断続状態を模擬し，前述の切削加工試験において使用したブロック材の中間に切り欠きを設けて，工具の寿命試験を実施した。 切削加工条件は，これまでの切削加工試験で最適であると判断した切削速度 Vc＝40m/min，1 刃あたりの送り量 fz＝0.25mm/t で実施した。試験の結果，除去体積 Q＝24cm³ となったときに主軸動力 P が 600W を超えたため，工具寿命に至ったと判断した。切り欠きのないブロック材を用いた場合の工具寿命は除去体積 Q＝35cm³ 程度であったことから，断続切削の影響により，工具寿命が 3 割程度低下した。

4. 結　　言

（1）サイドカッターを用いたインコネル 713C の切削加工において，切削速度 Vc は 40m/min，1 刃あたりの送り量 fz は 0.25mm/t が最適であった。

（2）被削材の切り欠きにより断続切削となる場合には，切り欠きがない場合と比較して 3 割程度工具寿命が低下した。

参考文献

1）源川将保，“難削材とその加工”，機械と工具，2011 年 8 月号，2011，pp.79-81.

2）例えば，狩野勝吉，“超耐熱合金と高耐食 Ni 基合金-2”，機械と工具，Vol.45，No.5，2001，pp.97-103.