

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Machining

Vol. **24**B1
March/2012

マシニング事業

■ 新商品・適用事例紹介

耐熱合金用ドリル

「アクアドリルEX耐熱合金用」

Aqua Drill

"Heat-resistant alloy for EX"

〈キーワード〉 耐熱合金・インコネル・Ti6Al-4V
シンニングすくい角・アクアEXコート・耐摩耗性

ラウンドツール製造所／技術部

高尾 正志 Masashi TAKAO

要 旨

近年、地球温暖化対策としてCO₂排出量を規制する動きが益々活発化しており、各種内燃機関のエネルギー変換効率を高めるため、耐熱合金材の需要が高まっている。インコネル718(以下インコネル)^{※1}に代表される耐熱合金は、耐熱性、耐蝕性、耐酸化性、^{※2}耐クリープ性などの高温特性に優れており、航空機用ジェットエンジンや産業用ガスタービンなどの高温、高強度が求められる部品に用いられている。耐熱合金は、優れた機械的特性を持つ反面、切削加工においては加工硬化が生じやすく、熱伝導率が鋼の1/4と低い^{※3}ため、切削により発生した熱が分散しにくく刃先が高温になり、工具寿命が短いという問題がある。¹⁾

NACHIは、インコネルを含む耐熱合金の穴あけ加工に適応したドリルとして「アクアドリルEX耐熱合金用」を開発した。同ドリルは、耐熱合金加工に求められる切れ味と強度という、相反する特性を最大限に両立させた形状を有し、耐熱・耐摩耗性と表面の平滑性とを向上させた新開発のAlCrTi系アクアEXコートにより、長寿命な穴あけ加工を実現する。

Abstract

Recently, a movement to regulate CO₂ emission has increasingly become active as a measure for global warming. Demand for heat-resistant alloy has increased for improving energy conversion efficiencies of various internal-combustion engines. Inconel 718 (hereinafter called Inconel, a typical of heat-resistant alloy has superb high-temperature characteristics such as heat resistance, corrosion resistance, oxidation resistance and creep resistance and is used for the jet engine parts of aircrafts and industrial gas turbines that require high temperature and high strength. Heat-resistant alloy has excellent mechanical characteristics. However, conversely work hardening is easily to occur in its cutting and thermal conductivity is low and one fourth of that of steel. Heat generated in cutting is difficult to disperse, causing a tip of tool to become very hot and reducing a tool life.

NACHI has developed Aqua Drill EX for Heat-resistant Alloy that is suitable for the drilling of heat-resistant alloy including Inconel. The drill's form maximizes both sharpness and strength that are contradictory characteristics but are required for the cutting of heat-resistant alloy. In addition, the drill is coated with a newly-developed Aqua EX coat of AlCrTi type in order to improve heat and wear resistance and surface smoothness and to realize a longer tool life.

1. 耐熱合金加工の問題点

インコネルの加工では、^{※3}①高温時のせん断強度が高いため、刃先に大きな応力が発生し、チッピングが生じやすい。②加工硬化を起こすため切削抵抗が大きい。③熱伝導率が低く刃先が高温となるため、異常摩耗が発生しやすい。④工具材料との親和性が高く、溶着を起こし刃先が欠損する、仕上げ面が悪い、という特徴がある。²⁾

以上より、耐熱合金加工用のドリルには、刃先強度や本体剛性の高さ^{※3}と低切削抵抗を両立した形状、耐摩耗性、潤滑性に加え熱伝導率(放熱性)が高いコーティングが求められる。



図1 アクアドリルEX耐熱合金用の外観写真



2. アクアドリルEX耐熱合金用の形状

今回開発したアクアドリルEX耐熱合金用の外観写真を図1に示す。アクアドリルEX耐熱合金用には、次のような形状の特長がある。

1) 切れ味と強度を両立した刃先形状

耐熱合金の加工では、切れ刃のつなぎ目やチゼル部^{※4}に欠けが発生しやすい。これに対応するため、図2に示すように第2切れ刃の角度を小さく、主切れ刃を長くして、シンニングすくい角を正角^{※5}（図3）とすることで切れ味を向上させた。また、チゼル部を厚肉形状^{※6}（図2）とすることで剛性を高め、加工硬化による切削抵抗の増加に対応できる強度を持たせた。

2) 切りくずの排出性と剛性のバランスを最適化した溝形状

耐熱合金の中には、硬度が40HRCを越える種類が多く存在する。そのため、ねじれ角を弱目の26°として剛性を高めた。また、溝形状は心厚を小さくして切削抵抗を下げ、ポケットを広くしてスムーズに切りくずを排出できる設計とした。（図4）

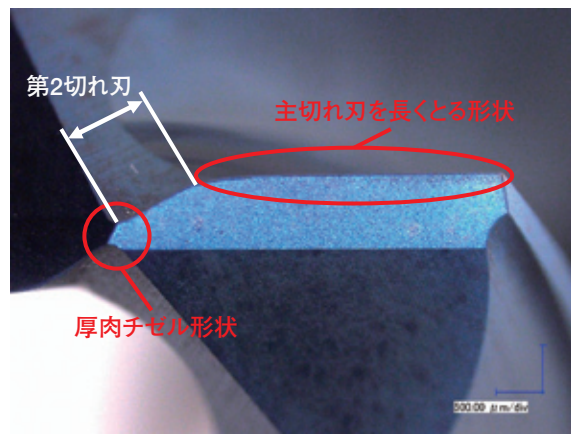


図2 切れ刃形状(逃げ面)

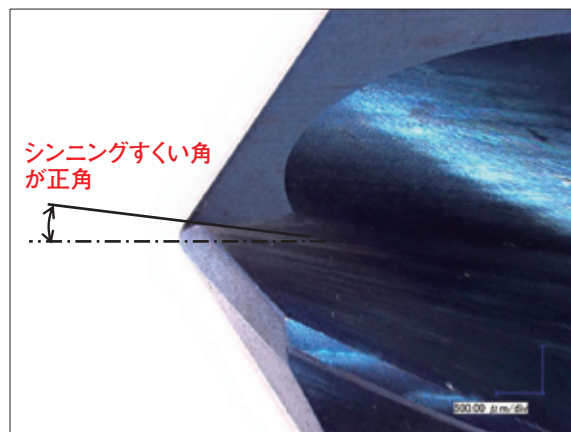


図3 切れ刃形状(すくい面)

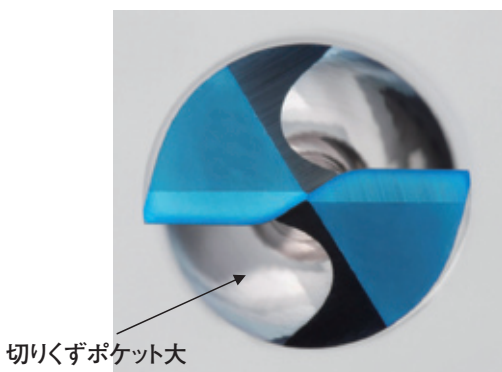


図4 溝形状

3) 「アクアEXコート」の採用

アクアドリルEX耐熱合金用のコーティングには、複合多層膜であるアクアEXコートを採用した。図5に膜の断面構造を示す。

アクアEXコートの主成分は、超アルミリッチAl-Cr-Ti系コーティングである。1,100℃における耐酸化性を従来のTiAlN系コートに対し3倍に向上させたことにより、高速加工においても優れた耐熱・耐摩耗性を実現した。また、最表層には特殊潤滑膜を施すことで、切りくずとの摩擦抵抗を低減し、耐溶着性を大幅に向上させている。図6にアクアEXコーティングの摩擦係数を示す。この複合多層構造の採用により膜強度がアップし、耐チップング性の向上にもつながっている。

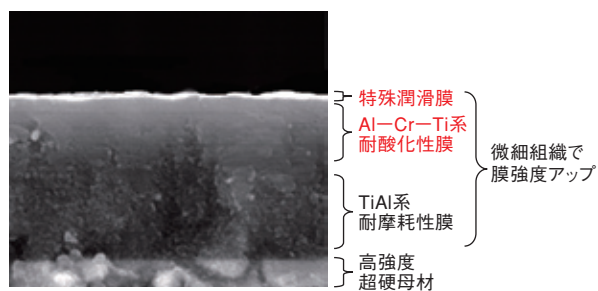


図5 断面構造

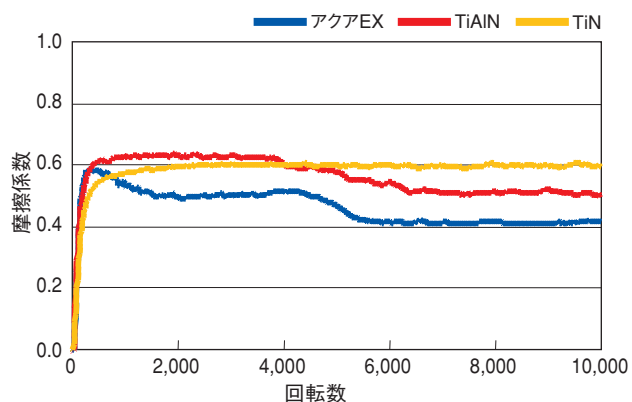


図6 摩擦係数

3. アクアドリルEX耐熱合金用のラインナップ

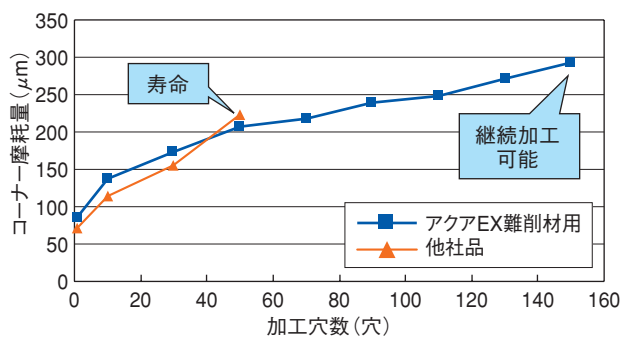
アクアドリルEX耐熱合金用は、直径φ3.0からφ13.0まで0.1mm飛びの寸法を揃えており、さらにインチサイズを6寸法加え、全117寸法をラインナップ

している。寸法揃えが多く、また溝長はレギュラー長を採用しているため広範囲の穴径に適應できる。

4. アクアドリルEX耐熱合金用の加工事例

1) インコネル718の加工事例

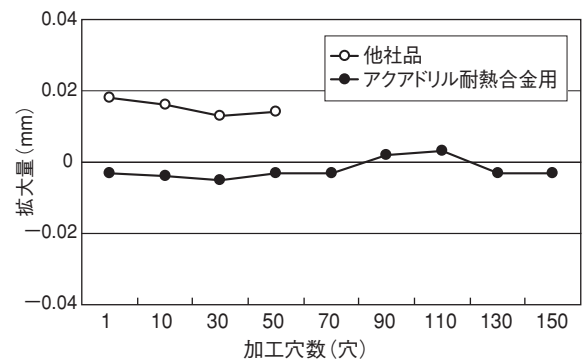
アクアドリルEX耐熱合金用と他社耐熱合金用の寿命比較を行なった。ドリル直径φ6.0mm、穴深さ15mm（貫通）を切削速度14m/min、送り0.08mm/revの切削条件で比較した。他社品は、50穴で寿命に至ったのに対し、アクアドリルEX耐熱合金用は、150穴以上の加工が可能であり、3倍以上の寿命差を示した。図7は、50穴加工時点の切れ刃の逃げ面とすくい面の写真である。他社品は逃げ面ではチップングによる切れ刃の後退が、すくい面では切れ刃の欠損の後に生じた大きなクレータ摩耗が発生している。



工具 : アクアドリルEX耐熱合金用
寸法 : φ6.0
被削材 : インコネル718
切削条件 : $V_c=14\text{m/min}$ 、 $f=0.08\text{mm/rev}$
加工深さ : 15.0mm
切削油剤 : 水溶性

図7 摩耗量比較 (インコネル718)

この時の摩耗量を比較した結果を図8に示す。アクアドリルEX耐熱合金用は、安定した摩耗量の推移を示しており、異常摩耗が発生しないことで長寿命が望める。また、穴拡大量の測定結果を図9に示す。穴拡大量は、他社品が拡大傾向であるのに対し、アクアドリルEX耐熱合金用は、 $-5\sim 3\mu\text{m}$ の範囲で推移している。



工具 : アクアドリルEX耐熱合金用
 寸法 : $\phi 6.0$
 被削材 : インコネル718
 切削条件 : $V_c=14\text{m}/\text{min}$ 、 $f=0.08\text{mm}/\text{rev}$
 加工深さ : 15.0mm
 切削油剤 : 水溶性

図9 アクアドリルEX耐熱合金用の穴拡大量(インコネル718)

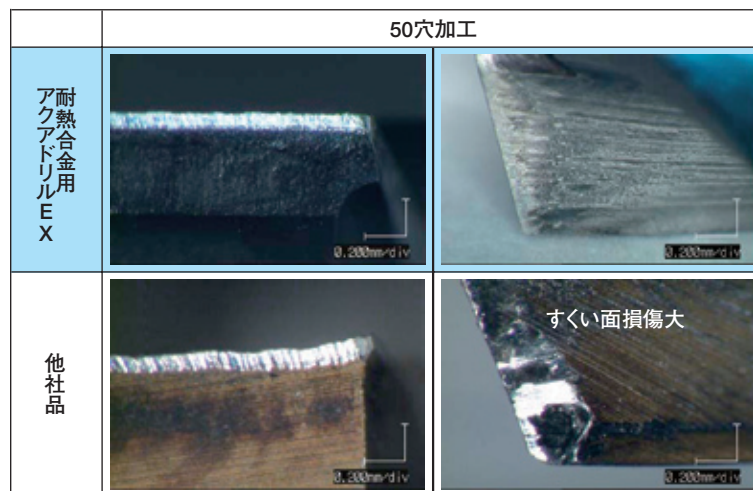
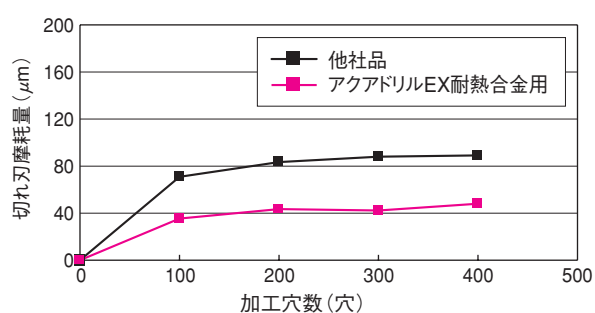


図8 切れ刃の摩耗比較(インコネル718)

2) チタン合金 (Ti6Al-4V) の加工事例

アクアドリルEX耐熱合金用と他社耐熱合金用ドリルの寿命比較を行なった。ドリル直径φ6.0mm、穴深さ20mm (貫通)を切削速度30m/min、送り0.15mm/revの切削条件で比較した。NACHI、他社品の400穴加工後の摩耗量を比較した結果を図10に示す。アクアドリルEX耐熱合金用の摩耗量は、他社品のそれと比較して加工初期から50%以下である。摩耗形態(図11)は溶着痕も少ない一様な摩耗である。また、切りくずの比較(図11)ではアクアドリルEX耐熱合金用が螺旋状であるのに対し、他社品は蛇腹状である。蛇腹状の切りくずは、切りくずの分断性が劣るために刃先で押しつぶしてできる切りくず形状であり、アクアドリルEX耐熱合金用の刃先の切れ味が良いことが分かる。



工具 : アクアドリルEX耐熱合金用
 寸法 : φ6.0
 被削材 : Ti6Al-4V (36HRC)
 切削条件 : $V_c=30\text{m/min}$ 、 $f=0.15\text{mm/rev}$
 加工深さ : 20.0mm (ステップなし)
 切削油剤 : 水溶性

図10 摩耗量比較 (Ti6Al-4V)

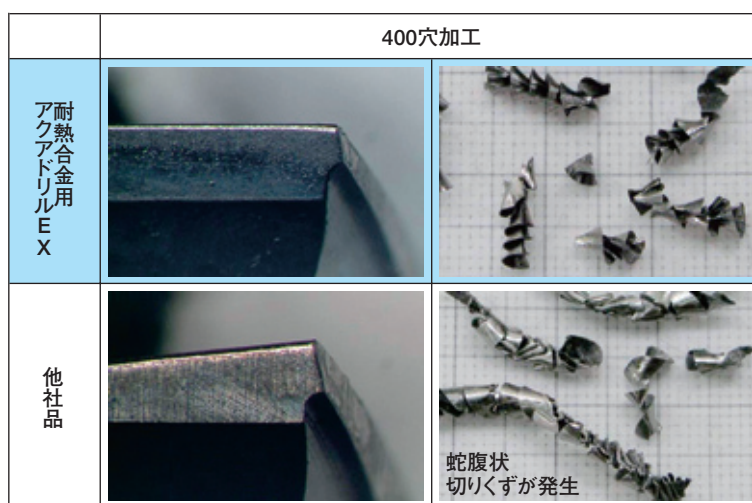


図11 切れ刃の摩耗、切りくず比較 (Ti6Al-4V)

5. 加工コスト削減と汎用性

アクアドリルEX耐熱合金用は、高品位で長寿命な穴あけ加工が可能であるため、加工コストを大きく削減できる付加価値の高い工具である。また、インコネル718に代表されるNi基合金に加え、チタン合金

(Ti6Al-4V)の加工も可能であり、汎用性に優れている。是非、一度アクアドリルEX耐熱合金用を使用し、その効果を実感していただきたい。

参考文献

- 1) 相田収平・石川淳・田村信・須藤貴裕：超耐熱合金の高速切削加工
新潟県工業技術総合研究所工業技術研究報告書 40号 P.3-7
- 2) 財団法人あいち産業振興機構：「難削材(耐熱合金インコネル材)の加工技術高度化の研究開発」
研究開発成果等報告書 P.2

用語解説

- ※1 **インコネル**
スペシャルメタライズ社(旧インコ社)製ニッケル基合金の商標名。耐熱性、耐蝕性、耐酸化性、耐クリープ性などの高温特性に優れた材料。
- ※2 **耐クリープ性**
高温において一定の応力のもとでひずみが時間とともに増加する現象を高温クリープといい、これに耐える性質。
- ※3 **せん断強度**
材料が破断せずに耐えられる最大せん断応力。
- ※4 **チゼル部**
ドリル先端の中心部。
- ※5 **第2切れ刃**
シンニング(※6)加工により形成される切れ刃。
- ※6 **シンニング**
先端の心厚をとくに薄くした部分。切削抵抗を小さくするためのもの。