クーラント供給方法の違いによる 超耐熱合金の切削*

林 貞男**

Machining Superalloys by Using Some Coolants in Different Applying Methods/Sadao HAYASHI

Key words: inconel 713, alumina coated tool, nickel based superalloys, tool life, cutting with air, cool air or mist, surface finish

1. はじめに

機械加工現場において高精度かつ高能率な加工を実現することは永遠の課題であり、これまで種々取り組みがなされてきた。そして新しい機械材料が開発されるたびに、それに適した加工条件が追求され続けてきている。

このことは、ジェットエンジン部品、ロケット部品、原子力部品に多用される超耐熱合金においてももちろんで、種々の研究がなされている^{1)~4)}。これまでこれらの材料の切削加工には、多量の切削油剤が不可欠とされてきた。これはこれらの材料は機械加工の分野では非常に難削性が高く、切削油剤の大量使用により工具寿命をすこしでも伸ばそうということからであった。

しかるに、近年では能率向上の要求以上に、ISO 14001をはじめとする環境問題に対する関心の高まりから、主に作業環境の改善を狙いとして、いわゆるドライ加工あるいはセミドライ加工と呼ばれる加工法などの要求が高まってきた。

このような状況下でインコネル 713 の仕上げ加工において、従来どおり、K 種超硬を用い⁵⁾低速でしかも切削油剤を多量に使用している企業より切削加工能率改善の要望が持ち上がった。

著者は、超耐熱合金としてインコネル 713 をとりあげ、旋削仕上げ加工において、環境面を考慮したドライ加工、切削液の少量滴下による加工あるいはまた切削、切込みお

よび送りの三方向からエア、クールエア、およびミストを吹きつけながら切削を行い、これらが、工具寿命、仕上げ面粗さ、あるいは切削力に及ぼす影響について実験を行ってきている。本稿ではこれらと従来の切削油剤を大量消費する加工方法と比較してみたので紹介する。

2. 被削材

超耐熱合金の基本的材料特性は、高温強度が大きい、高温での化学的安定性に優れるといった耐熱性が主なものである⁶⁾。これに加え、加工硬化が生じやすい、熱伝導率が低い、工具材料との親和性が大きいといった材料特性は、機械加工では難削性を引き起こす要因となる。実験に用いたインコネル 713 の成分を表 1 に示すが、同じ Ni 基超耐熱合金のインコネル 718 とかハステロイの 50 数%に比較して Ni 成分が非常に多く 70%以上にもなる。しかし常温でピッカース硬さ 390 程度と硬度は高くない。

3. 使用工具

工具材料と被削材料との高温高压下における激しい摩擦現象である切削作業において、切削工具に要求される特性は、

- ① 常温、高温硬度が高いこと
- ② 靱性、すなわち機械的衝撃性が高いこと
- ③ 耐熱衝撃性、耐熱疲労性が優れていること
- ④ 耐酸化性、耐拡散性など高温化学安定性が高いこと
- ⑤ 耐溶着性が高いこと

等⁷⁾である。特に耐熱合金の切削においては①、③、⑤の特性が必要とされる。既存の工具材種中でこれらの特性を

* 原稿受付 平成 14 年 3 月 18 日

** 正 会 員 国立米子工業高等専門学校機械工学科 (米子市彦名町 4448)

1968 年大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了、工学修士、1987 年国立米子工業高等専門学校機械工学科教授。現在に至る。地域中小企業の品質管理活動の指導にあたりとともに、現在各種難削材の加工に関する研究に従事。

表 1 インコネル 713 の成分

成分	Ni	Cr	Al	Mo	Ti	C	Zr	B	Nb+Ta
含有量(%)	Bal.	12.5	6.1	4.2	0.8	0.12	0.1	0.012	2.2

すべて満足しているものはないといってよい。ここでは、耐摩耗性を重視して工具材種は超硬合金に Al_2O_3 系、 TiCN 系、 TiN 系コーティング工具を選定した（これらを以後 Al コート、 TiCN コートおよび TiN コート工具という）。さらに、耐熱合金用である CBN 工具も用い、また、現場との比較のため超硬 K10 工具も用いた。使用した工具の形状は (-6, -6, 6, 6, 15, 15, 0.8) である。

4. 乾切削の結果⁸⁾

工具寿命判定基準をフランク摩耗幅 0.3 mm と設定し、三種類のコーティング工具が工具寿命にどのように影響するかをみたのが図 1 である。図から Al コート工具が良好な成績を示している。これはこの工具が超硬に Al_2O_3 層を CVD コートした工具であり、耐熱性、耐酸化性に優れるとともに、 Al_2O_3 が Ni とか鉄に対して高温でも、化学的に不活性なため⁹⁾と考えられる。

5. 切削液の滴下⁸⁾

環境面への配慮から前述のように切削液の使用が自粛される傾向にある。切削液の切削現象に及ぼす効果はその冷却性と潤滑性の二面が考えられる。冷却効果が無視できる程度の切削液 (5 mL/min) を工具-工作物の接触点辺りに裏側から滴下しながら（実験に用いた NC 旋盤は工具を裏向きに置くタイプで、切削液を工具-工作物接触点付近に滴下すればよい）同様に実験を試み、切削液の潤滑効果を調べた。用いた切削液は JIS, W1 種 1 号に相当する水溶性の切削液である。

図 2 は液滴下が工具寿命に与える影響を工具別にみたもので、どの工具においても液の滴下により工具寿命は延長されるが、切削速度が遅いほど、液滴下の工具寿命延長に対する効果は大きく、特に超硬 K10 工具では顕著である。

図 3 は Al コート工具で切削速度 $V = 90$ m/min の時の切削時間に対する切削力の変化をみたものである。切削液を滴下した場合としない場合について示した。一般の切削と異なり、切込みの小ささが起因してか背分力が一番大きく、次いで主分力、送り分力の順になっている。切削の進行にともなって各分力とも増加するが主、送り分力の増加に比して背分力の増大は著しい。また切削液の滴下によって背分力に著しい減少効果が得られることもわかる。

6. エア、クーラエアおよびミストの吹き付け効果¹⁰⁾

使用工具材種を Al コートとし、切込み $d = 0.1$ mm、送り $f = 0.2$ mm/rev と固定して、エア、クーラエアおよびミストを吹き付けなが

図 1 工具寿命に及ぼす工具材種の影響
切込み $d = 0.1$ mm 送り $f = 0.1$ mm/rev

図 2 液滴下が工具寿命に与える影響
切込み $d = 0.1$ mm 送り $f = 0.2$ mm/rev

図 3 切削力に及ぼす液滴下の影響 切削速度 $V = 90$ m/min
切込み $d = 0.1$ mm 送り $f = 0.2$ mm/rev

図4 V-T線図(エアブロー)
切込み $d=0.1$ mm 送り $f=0.2$ mm/rev

らの切削を行った。これら吹き付け媒体の仕様は以下のとおりである。

エア：圧力 0.2 (MPa)，吹出口温度 20 (°C)

クーラエア：圧力 0.5 (MPa)，吹出口温度 0 (°C)

ミスト：圧力 0.15 (MPa)，油量 0.1 (L/min)

そしてこれらの吹き付け媒体は、それぞれ切削、切込みおよび送りの三方向から吹き付けた。またこれらと比較のため、切削液を大量に（液量 5.7 (L/min)）用いる切削も行った。前述と同様、工具寿命判定基準を $V_B = 0.3$ mmと定め、各切削における V-T 線図を得、図 4～図 6 に示した。

図 4 はエアブロー切削のときの V-T 線図で、この図より、送り方向からエアブローしたとき、工具寿命が延びることがわかる。これはこの方向からエアを吹き付けたときが切りくず除去効率が最もよく、発生する切削熱を有効に持ち去ってくれるからではないかと考えられ、切込み方向、切削方向とエアブローの方向を変えると、この順に工具寿命は短くなる傾向がある。

図 5 はクーラエアブロー切削時の V-T 線図であり、エアブロー切削と同じことがいえる。このことから、温度 0°C 程度の冷風では、工具の冷却効果はあまり期待できず、もっぱら切りくずの吹き飛ばし効果のみしかないとをうかがわせる。

一方、図 6 はミスト切削および切削液を大量に用いた場合であり、ミスト切削は前の二つとは大きく異なっている。第一に、この場合の工具寿命は前二者の場合より相対的に長いことである。二番目に切削方向からミストを吹き付けたときが最良であること、さらに吹き付け方向別の V-T 線図の傾きが異なることが挙げられる。切削方向からミストを吹き付けるとこの傾きが緩やかとなり、切削速度の減少による工具寿命の伸びは大きくなることがわかる。また切削液を大量に使用しても工具寿命が飛躍的に伸びるともいえないことがわかる。これらのことから、インコネル 713 のような超耐熱合金の切削に当たっては、切削

図5 V-T線図(クーラエアブロー)
切込み $d=0.1$ mm 送り $f=0.2$ mm/rev

図6 V-T線図(ミスト及び切削液使用)
切込み $d=0.1$ mm 送り $f=0.2$ mm/rev

系全体に大量の切削液をかけるよりは、有効な切りくず除去法により、切削熱を切りくずに持ち去らせること、および工具だけの冷却と工具-工作物間の潤滑がうまくいった方が効果があるといえる。

図 7 は切削条件が仕上げ面あらさに及ぼす影響をみたものである。縦軸は算術平均あらさを取り、横軸に各切削条件がとってある。仕上げ面あらさは切削時間の経過によってかなりばらつくが、ここでは工具寿命に至るまでの平均をとって図示した。この図によると、すべての切削速度において切削液をかけると、仕上げ面が他の場合に比較して劣化することがわかる。また乾切削の場合は工具摩耗の進行が早いからか全体として仕上げ面は良くない。一方エアを送り方向から吹き付けるとすべての切削速度において仕上げ面は良好となる。また 130, 150 m/min といった切削速度域を除くと、ミスト切削はすべての方向において良好な仕上げ面を得ている。

図7 切削条件が仕上げ面あらさに及ぼす影響
切込み $d=0.1\text{ mm}$ 送り $f=0.2\text{ mm/rev}$

7. おわりに

以上の結果は、実験の効率を上げるために切削速度を大きくとり、工具寿命を短くして得られた結果である。生産現場に持っていくためには工具寿命が秒単位の話ではそのまま使えず、まだまだ研究の積み重ねが必要である。インコネル 713 のような超耐熱合金の切削に当たっては、切削系全体に大量の切削液をかけるよりは、有効な切りくず除去法により、切削熱を切りくずに持ち去らせること、および工具だけの冷却と工具-工作物間の潤滑をうまく行った方が効果的で、その結果として、その方が仕上げ面も良好となるという本稿の結果は、定性的には現場でも適用可能なものと思われる。

少量の切削油剤の滴下で現状と同等の、いやそれ以上の効果が得られるような加工法が1日も早く実現され、切削加工コストの削減と環境リスクの回避が1日でも早く解決されることを望みたい。

参考文献

- 1) 鳴瀧則彦：難削材の切削加工概論，精密工学会誌，58，12（1992）1949.
- 2) 山本重男，山崎道男：高マンガン鋼，ニッケル基超耐熱合金の開発動向と被削性，機械と工具，29（1985）71.
- 3) 竹山秀彦，飯島 昇：耐熱合金の難削特性と工具材の適応性に関する研究，精密工学会誌，55，8（1989）1481.
- 4) 板倉勝利，黒田基文，重川英文，猪谷彦太郎，山本恵一，有浦泰常：超耐熱合金インコネル 718 の切削加工におけるコーテッド超硬工具の摩耗機構，精密工学会誌，65，7（1999）976.
- 5) 鳴瀧則彦：難削材の切削加工，日刊工業新聞社（1989）.
- 6) 田中良平：耐熱合金のおはなし，（財）日本規格協会，（1990）.
- 7) 狩野勝吉：難削材の切削加工—豊富なデータと最新加工—工業調査会（1989）.
- 8) S. Hayashi: Finish Cutting for Inconel 713 (1st report) —Lubricating Effects of Cutting Fluid—, Proc. of ICPCG 98, (1998) 223.
- 9) K. J. Weinmann: On the Wear Mechanisms and Cutting Performance of Silicon Carbide Whisker-Reinforced Alumina, ASME Trans., B, 114, (1992) 301.
- 10) S. Hayashi: Finish Cutting for Inconel 713 (2nd report) —Effect of Air Blow, Cool Air Blow & Mist—, Proc. of ICPMT 2000, (2000) 30.