公害防止のための切削油剤を用いない冷風旋削の研究*

奥村 成史^{*1}, 横川 和彦^{*2}
清水 茂夫^{*2}, 横川 宗彦^{*3}Study on Cooling Air Turning Performance without Fluid
for Anti-Pollution MeasuresSeiji OKUMURA^{*4}, Kazuhiko YOKOGAWA,
Shigeo SHIMIZU and Munehiko YOKOGAWA^{*2} Meiji University, Dept. of Science and Technology,
Higashimita 1-1-1, Tama-ku Kawasaki, 214-8571 Japan

In machining operation, cutting and grinding fluids are generally used for cooling and lubricating workpieces at the point of cutting. These fluids often contain sulfur, phosphorus, chlorine or other such extreme-pressure additives to improve the lubricating performance. These chemicals present health hazards. This paper describes the results of a study of a new turning method (Cooling Air Turning System). It eliminates hazardous conventional cutting fluid, provides a high turning performance.

Key Words: Turning, Tool Life, Tool Wear, Cutting Tool, Cooling Air, Environment Consciousness

1. 緒 論

切削油剤の使用目的は加工時における冷却と潤滑と切りくずの洗浄である。潤滑作用には不溶性の鉱物性油がよいが、冷却性の劣点と発火の危険性の点から水溶性油剤が多く用いられている。

鉱物性油を使用して作業をしているとき油が飛び散り、また床にこぼれた油が地中に染み込み地球環境を害している。

水溶性油剤を使用する場合も、その潤滑作用を向上させるために油剤には硫黄(S), りん(P), 塩素(Cl)などの極圧添加剤が含まれており、作業中にこれらの添加剤を含んだミストが飛び散り、作業者の皮膚や喉を傷め、作業環境を悪化させている。

また、この塩素を含んだ油剤の廃棄処理に当たっては高温処理のため地球温暖化を進めるだけでなく、焼却時に発がん性物質であるダイオキシンが発生するといわれている。

これら作業環境および地球環境への影響を抑えるため、研削では油剤の代わりに $-20\sim-40^{\circ}\text{C}$ 程度の冷風を研削点に供給する試みが行われており、油剤を用いた場合より研削性能が高いという効果も得られている⁽¹⁾⁽²⁾。しかしながら、切削加工に関しては公害防止あるいは環境保全という観点からの研究はほとんど行われていない。

本研究ではこの冷風を旋削加工に適用し、冷風を切削点に供給しながら加工する冷風旋削の研究を行った。連続切削、断続切削および難削材の切削において、冷風旋削が無供給の乾式切削に比べて有効であるかを調べた。

2. 実 験 方 法

2.1 冷風旋削システム 切削油剤の代わりに冷風を切削点に供給して切削を行い、切削点の上方から切りくずを吸引回収する冷風切削加工システムを考案した。

図1に示すように、コンプレッサで生成された圧縮空気をミストセパレータで微粒子を除き、エアドライヤで露点を十分に下げる。それを空気冷却装置で冷却して、逃げ面下方から切削点に供給し切削を行う。切削点の上方から真空ポンプで切りくずおよび冷風を吸

* 原稿受付 1998年9月7日。

^{*1} 准員, 明治大学大学院 (〒214-8571 川崎市多摩区東三田1-1-1)。^{*2} 正員, 明治大学理工学部。^{*3} 正員, 工学院大学工学部 (〒192-0015 八王子市中野町2665-1)。

Fig. 1 Diagram of cooling-air supply system in turning

Fig. 2 Cutting tool with pipe for supplying cooling-air

引する。切りくずは油剤を用いていないので再生利用がしやすく、資源の節減となる。

また、切削方式は片センタ支持・長手方向・丸削りである。

2.2 冷風供給方法 図2に示すように冷風はバイトホルダの側面を通り、バイトスローアウェイチップの横逃げ面下方から冷風を供給し、冷風が切削点に当たるようにして旋削を行った。

2.3 バイトの温度測定方法 加工前と加工直後のバイトの刃先温度を接触式の熱電対で測定した。

3. 実験結果

3.1 SCM435の冷風重切削、高速切削性能

3.1.1 高切込、準高速における冷風切削性能

三菱 HL-300-Va 形旋盤で TOSHIBA TANGAR-OY の超硬チップ SNMG 120404 TX 20 をホルダ DSBNR 2020 K 12(20×20 mm) を用いて、工作物周速度 145~192 m/min で切込み 2.0 mm, 送り 0.2 mm/rev で逃げ面摩耗幅が 0.2 mm になるまで SCM 435 (HB 255) を室温と室温の空気と冷風の 3 条件で切削した性能を図3に示す。15°Cの室温で完全ドライ切削をすると約 3 km 切削できた。15°Cの室温で 15°Cの圧縮空気を横逃げ面の下から供給すると約 6 km 切削できた。15°Cの室温で-20°Cの冷風を横逃げ面の下から供給すると約 7.9 km 切削でき、15°Cの室

Cutting Condition

Work : SCM435(HB255) Diameter of work : 98~74 mm
 Revolution : 625 min⁻¹ Cutting speed : 145~192 m/min
 Feed rate : 0.2 mm/rev Tool : Tip • Cemented carbide P20
 Side cutting edge angle : 15° [TOSHIBA TUNGAR OY]
 Depth of cut : 2.0 mm [SNMG120404 TX20]
 Holder • DSBNR2020K12(20×20mm)

Fig. 3 Cutting performance

温の完全ドライ切削の 3 km に対し 2.6 倍切削距離が延びた。

冷風供給の切削性能が室温による切削性能の 2.6 倍までよくなることがわかった。この場合のノーズ部、横逃げ面の切削経過距離に対する摩耗状態とバイト温度上昇を図4に示す。

15°Cの室温で切削した場合、最初 15°Cのチップ刃先温度が 450 m 切削すると 81.5°Cまで 66.5°C上昇する。15°Cの室温で 15°Cの空気を供給するとチップ温度は 11.6°Cまで降下し、これで 450 m 切削すると 68.5°Cまで 56.9°C上昇する。15°Cの室温で-20°Cの冷風を供給した場合はチップ温度は-20°Cから 49.8°Cまで(69.8°C)上昇する。

室温切削時の温度が 81.5°Cまで上昇したのに対し、-20°Cの冷風を供給すると切削温度は 49.8°Cと室温時の約 1/2 である。この切削温度の差が、横逃げ面摩耗幅が 0.2 mm になるまでの切削距離が 3 km から 7.9 km まで 2.6 倍延びた理由だと考えられる。

3.1.2 準高切込み、高速における冷風切削性能 森精機製作所 FRONTIER-LI 形旋盤でバイトホル

Fig. 4 Progress of flank wear and variation of temperature of cutting tool (Continuous cutting)

Cutting Condition

Work : SCM435(HB255) Cutting speed : 500 m/min
 Depth of cut : 1 mm Feed rate : 0.2 mm/rev
 Tool : Tip · Cemented carbide P30 Side cutting edge angle : 15°
 [MITSUBISHI MATERIAL]
 SNMG120404 UC6025
 Holder · PSBNR2525M12(25×25mm)

Fig. 5 Cutting performance

Fig. 6 Size and shape of Workpiece used in interrupted cutting

ダを PSBNR 2525 M 12(25×25 mm) と剛性を高くして、チップは SNMG 120404 の三菱マテリアル UC 6025 コーテッド超硬合金 P 系を使用し、切込み 1 mm、送り速度 0.2 mm/rev で 500 m/min の高速で室温と -45°C の冷風を供給して切削した性能を図 5 に示す。

室温の乾式の場合は逃げ面摩耗幅が 0.1 mm になる前に切れ刃が欠損(再現性あり)し 250 m までしか切削できないが、-45°C の冷風供給では逃げ面摩耗幅が 0.1 mm になるまでに約 500 m と 2 倍切削可能である。高速切削速度においても室温の乾式切削に比べ、-45°C の冷風供給では逃げ面摩耗幅が 0.1 mm になるまでの切削距離が 2 倍以上と大きい。

3・2 SCM435 の冷風断続切削性能

工作物を断続切削する場合、従来切削油剤を用いている場合は切削時に発熱し非切削時に冷却されるので、切削工具は発熱、冷却を繰返され、いわゆる熱衝撃により工具が破損され寿命が短くなる。このため、断続切削の場合には切削油剤を使用せず乾式で切削することも行われている。

冷風切削では断続切削に冷風がどのように影響するかを調べた。

3・2・1 断続切削用工作物の形状 工作物は SCM 435(HB 255)を用い、図 6 に示す外径 95 mm に対し、幅 15 mm の切欠きを 4 箇所設けてある。

3・2・2 冷風供給の有無による連続、断続切削性能 連続、断続切削を行い工具にかかる衝撃および発熱

による工具寿命を調べた。断続切削は図6のものを使用し、連続切削はこの形状で切欠きのないものを使用した。

三菱 HL-300-Va 形旋盤を用い、バイトホルダ DSBNR 2020 K 12, チップは TiN-Al₂O₃-TiC-TiCN-TiN の多層コーティングをした日立ツール GM 20 の SNMG 120408-V を用いた。切込み 2 mm, 送り 0.2 mm/rev, 工作物直径 95 mm, 切削速度 186.4 m/min で連続, 断続切削した結果を図7に示す。

12°Cの常温で連続切削した場合(記号▼), 横逃げ面摩耗幅が 0.2 mm になるまでに 2.3 km 切削できる。

-20°Cの冷風を与えて連続切削した場合(記号□), 横逃げ面摩耗幅がおよそ 0.1 mm に達したとき, チップに欠損が生じたが, それまでの切削距離は 3.1 km と常温より長い距離切削できている。バイト切れ刃部の温度も 450 m 切削するのに常温切削での 120°C に対し, -20°Cの冷風では 20°Cである。この温度差がバイトの長寿命化になったものと考えられる。

12°Cの常温で断続切削した場合(記号●), 横逃げ面

Cutting	Supply
● Interrupted cutting	None
▲ Interrupted cutting	Cooling air (Temp. of air : -20 °C)
▼ Continuous cutting	None
□ Continuous cutting	Cooling air (Temp. of air : -20 °C)
	[Room temp. : 12 °C]

Cutting Condition

Work : SCM435(HB255) Depth of cut : 2.0 mm
 Revolution : 625 min⁻¹ Cutting speed : 186.4 m/min
 Feed rate : 0.2 mm/rev Side cutting edge angle : 15°
 Tool : Tip • Cemented carbide P20
 TiN-Al₂O₃-TiC-TiCN-TiN Multi-layer coating
 [HITACHI TOOL SNMG120408-V]
 Holder • DSBNR2020K12(20 × 20mm)

Fig. 7 Cutting performance

摩耗が 0.2 mm までの切削距離は約 0.86 km であり, -20°Cの冷風を与えて断続切削した場合(記号△)は横逃げ面摩耗幅が 0.2 mm までの切削距離は 1.15 km である。よって冷風旋削加工は連続, 断続切削に対して有効である。

3・2・3 冷風供給の有無と工具種類に対する断続切削性能 日立ツール GM 20 TiN-Al₂O₃-TiC-TiCN-TiN 多層コーティング工具とステルラム社 MP30 の Al₂O₃ 主体のコーティングと NL92 の TiN-Al₂O₃-TiCN-TiN 多層コーティング工具の計 3 種類を用いて SCM 435(HB 255) の図6の工作物を回転数 625 min⁻¹, 切削速度 176~186.4 m/min, 切込み 2 mm, 送り 0.2 mm/rev の条件で断続旋削した結果を図8に示す。

ステルラム社の NL 92 はこの 3 種類の工具の中で, この実験では逃げ面摩耗幅が 0.2 mm になるまでの切削距離が長く, 12°Cの室温の状態では横逃げ面摩耗幅が 0.2 mm になるまでに切削距離 1.6 km の断続切削

Tool	Supply
■ Stellram MP37	None
▼ Stellram MP37	Cooling air (Temp. of air : -20 °C)
▲ Stellram NL92 Multi-layer coating	None
○ Stellram NL92 Multi-layer coating	Cooling air (Temp. of air : -20 °C)
● HITACHI Multi-layer coating	None
▲ HITACHI Multi-layer coating	Cooling air (Temp. of air : -20 °C)

Cutting Condition

Work : SCM435(HB255) Depth of cut : 2.0 mm
 Revolution : 625 min⁻¹ Cutting speed : 176~186.4 m/min
 Feed rate : 0.2 mm/rev Side cutting edge angle : 15°
 Tool : Tip • Cemented carbide P20

[Stellram Ltd. SNMG120408E-4T MP37 Al₂O₃ main coating
 Stellram Ltd. SNMG120408E-4T NL92
 TiN-Al₂O₃-TiCN-TiN Multi-layer coating
 HITACHI TOOL SNMG120408-V GM20
 TiN-Al₂O₃-TiC-TiCN-TiN Multi-layer coating
 Holder • DSBNR2020K12(20 × 20mm)]

Fig. 8 Cutting performance in interrupted cutting

ができ、 -20°C の冷風を切削点に供給して旋削すると、2.5 km の断続切削が可能であった。

これに対し、ステララム社の MP 37 は横逃げ面摩耗幅が 0.2 mm までの断続切削距離は約 125 m であり、 -20°C の冷風供給では断続切削距離は 1.2 km であり、全体的には NL 92 に比較すると半分以下の切削性能であるが、この場合でも冷風供給の効果が十分に作用している。日立ツール GM 20 は 3・2・2 項に詳しく述べてあるが、 12°C の室温で 860 m、 -20°C の冷風供給で 1.15 km であり、冷風供給では MP 37 と同じ切削距離であるが、室温での切削では MP 37 より優れている。

3・2・4 横逃げ面の摩耗状態 断続切削で使用した Al_2O_3 主体単層コーティングおよび $\text{TiN}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiCN}-\text{TiN}$ 多層コーティング工具の摩耗状態の写真を図 9 に示す。この写真のように MP 37 の Al_2O_3 主体のコーティングがしてあるチップは冷風供給の有無によらず切削の途中で破損してしまった(実験前に決めた逃げ面摩耗幅は 0.2 mm である)が、多層コーティングがしてある NL 92 チップは長い距離切削して摩耗幅が 0.2 mm になり、なかなかチッピングは生じなかった。切削前および 400 m 切削後のチップ先端の温度を図 9 に示す。

ここで、刃先温度と切削距離について観察する。図 9(a)、(b)はステララム社の MP 37 を用いた結果であり、図 9(a)は室温 12°C で切削したものである。よってチップ温度も切削をする前は 12°C であるが、切削

速度 176 m/min で切込み 2 mm、送り 0.2 mm/rev で 400 m 切削すると切削後は 91°C となっている。非常に高温で切削されており、温度上昇も $91-12=79^{\circ}\text{C}$ と高くなっている。そのため逃げ面摩耗幅が 0.2 mm になるまでに 125 m しか切削できないと考えられる。

図 9(b)は -20°C の冷風を切削点に供給しながら 400 m 切削したものである。よってチップ温度も切削する前は -20°C であるが、切削後は 30.5°C となっている。室温 12°C の切削に比べ、切削時の温度は 1/3 であり、温度上昇も 50.5°C で室温 20°C に対し 6 割であり、切削距離も 1.2 km と 9.6 倍と長い。

図 9(c)、(d)はステララム社の NL 92 を用いた結果であり、図 9(c)は室温 12°C で切削したものである。よってチップ温度も切削する前は 12°C であるが、400 m 切削すると切削後は 64.3°C となっている。温度上昇は 52.3°C で横逃げ面摩耗が 0.2 mm になるまでに 1.6 km と長い切削距離を切削している。

図 9(d)は -20°C の冷風を供給しながら 400 m 切削したものである。よってチップ温度は切削前が -20°C で 400 m 切削後が 23°C と低く温度上昇も 43°C であり、横逃げ面摩耗幅が 0.2 mm になるまでに 2.5 km の切削距離を示している。

MP 37 の Al_2O_3 主体のコーティングに対し NL 92 は $\text{TiN}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiCN}-\text{TiN}$ 多層コーティングであり、コーティングの種類の差が寿命の差となって表れている。

3・3 チタン(Ti-6AL-4V)の冷風切削性能 難削

Fig. 9 Progress of flank wear and variation of temperature of cutting tool (Interrupted cutting)

Cutting Condition

Work : Ti-6AL-4V Diameter of work : 45~68 mm
 Feed rate : 0.1 mm/rev Cutting speed : 31.1~47.0 m/min
 Side cutting edge angle : 45° Depth of cut : 0.5 mm
 Tool : Nose radius 0.4R High-speed steel SKH4 Throw-away tip

Fig. 10 Cutting performance of titanium alloy

材である工作物チタン(Ti-6 AL-4 V)を切削速度 31.3~47.0 mm/min で切込み 0.5 mm, 送り 0.1 mm/rev でノーズ半径 0.4 R, ハイス SKH 4 相当の日本高周波工業のスローアウェイチップ S 42(C; 1.37~1.43%, Cr; 3.8~4.3%, Mo; 3.25~3.75%, W; 8.7~9.3%, V; 3.7~4.1%, Co; 11.5~12.5%)で室温の+10°Cと冷風温度を-5°C, -10°C, -20°C, -30°Cと変化させた場合の切削性能を図 10 に示す。横逃げ面摩耗幅が 0.1 mm になるまでに, +10°Cでは切削距離が 141 m, -5°Cで 343 m, -10°Cで 785 m, -20°Cで 1 022 m, -30°Cで 1.411 km, と冷風温度が低いだけ切削距離は長くなり, 難削材といわれているチタン(Ti-6 AL-4 V)でも冷風温度が低くなるほど加工(被削)性が向上する。

3.4 ステンレス SUS304 の冷風切削性能 難削材であるステンレス SUS 304 を切削速度 47 mm/min で切込み 0.5 mm, 送り 0.2 mm/rev でノーズ半径 0.4 R, ハイス SKH 4 相当の日本高周波工業のスローアウェイチップ S 42 で旋削を行った。

室温+10°Cで旋削した場合と冷風温度を-10°C, -20°C, -30°Cと変化させて逃げ面の下方から冷風を供給し旋削を行ったとき, 横逃げ面摩耗幅が 0.1 mm に

Cutting Condition

Work : SUS304 Depth of cut : 0.5 mm
 Diameter of work : 68 mm Side cutting edge angle : 45°
 Cutting speed : 47 m/min Feed rate : 0.2 mm/rev
 Tool : Nose radius 0.4R High-speed steel SKH4 Throw-away tip

Fig. 11 Cutting performance of stainless

なるまでの切削距離を図 11 に示す。切削距離は室温の+10°Cで約 50 m, 冷風の-10°Cで約 100 m, -20°Cで約 140 m, -30°Cで約 185 mと冷風供給温度が低いだけ切削距離は長くなっている。

4. 結 論

-20~-45°Cの冷風を切削点に供給して旋削を行った結果, 以下の結論を得た。

- (1) 冷風を切削点に供給することにより逃げ面摩耗が減少し, 工具寿命を延ばすことができる。
- (2) 断続切削においても冷風旋削は有効である。
- (3) 難削材といわれるチタン(Ti-6 AL-4 V)やステンレス(SUS 304)においても冷風供給の効果は大きく, 冷風供給温度が低いほど逃げ面摩耗が減少する。

本研究に対し, 学生, 長浜貴也君および青木淳君の協力に感謝する。

文 献

- (1) 本間宏之・横川和彦・横川宗彦, 公害防止のための研削油剤を用いない CBN 冷風研削技術の研究, 精密工学会誌, 62-11(1996), 1638-1642.
- (2) 奥村成史・横川和彦・横川宗彦, 公害防止のための研削油剤を用いない在来砥石による冷風研削の研究, 砥粒加工学会誌, 41-12(1997), 465-470.