

# 磁場援用切削加工に関する研究

—超硬工具の工具摩耗抑制効果について—

Basic Study on Magnetic-Field Assisted Cutting

—Improvement of Tool Wear—

中野文昭\*・柳原 聖\*\*・山口ひとみ\*\*\*・谷 泰弘\*\*・神田雄一\*\*\*\*

Fumiaki NAKANO, Kiyoshi YANAGIHARA, Hitomi YAMAGUCHI, Yasuhiro TANI and Yuichi KANDA

## 1. 緒 論

近年、環境問題から切削油剤の使用を低減する動きが見られる。油剤の低減により問題となるのは、工具の冷却と潤滑である。そのため、コーティング技術が工具寿命の延長に重要な役割を担ってくると考えられる。しかしながら、超硬工具のコーティング層は数 $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ と薄く、コーティング層に多大な負担を強いるような切削においては、工具の母材を含めて工具寿命の延長を考える必要がある。すなわち、コーティング層や工具母材に影響をおよぼす熱や切削抵抗を、切削剤に代わって何らかの形で緩和する必要がある。切削剤を使用しない策として、冷風切削<sup>1)</sup>、窒素ブロー加工<sup>2)</sup>、あるいは工具・被削材間熱電流のアクティブ制御等<sup>3)</sup>が挙げられる。ところが、これらの切削加工においては比較的大きな付帯設備が必要になる等、実用化にはさらなる研究開発が望まれている。

そのような中で、著者らは磁場が切削加工点におよぼす影響を検討している。トライボロジーの分野においては、接触界面に磁場を印加することで摩耗形態が変化するなど興味深い報告もある。

中でも、超硬工具は主成分であるタングステンカーバイド(以降、WC粒子)をコバルト(以降、Co)で焼結したものであり、Coは強磁性体であることを考慮すると、加工中に磁場を工具に印加すれば工具寿命の向上など何らかの効果が予想されるからである。

本研究においては、これらトライボロジーの分野における知見や工具を構成する材質の固有の特性を積極的に利用して、難削材加工への応用を試みた。本報においては、工具を構成する成分の磁気特性を積極的に利用した磁場援用

切削加工を提案し、超硬工具の耐摩耗性の向上を試みる。

## 2. 磁場援用切削加工の概念

### 2.1 超硬工具の摩耗と磁場による摩耗抑制法

超硬工具は、WCの粉体を主成分として3-20 wt %のCoバインダが添加されて焼結されている。切削工具の工具すくい面は、圧力数百MPa、摂氏千数百度の過酷な環境に曝されている。しかしCoは融点が1490°Cと低いため、超硬工具の摩耗原因の一つとして、図1のようにCoが溶融して滲み出してしまい、WC粒子の結合が低下して、摩耗が進行してゆくと考えられている<sup>4)</sup>。更にCoは鉄系材料と親和性が高く、鋼材あるいはステンレス鋼の切削では、Coの滲み出しが生じ易いと考えられる。

一方、Coは強磁性体である。したがって、磁界を工具に付与してCoを磁力により固定化できれば、滲み出しを抑制することが可能と考えられ、結果として工具の長寿命化が図れると予想される。

### 2.2 実験方法

前節の考え方を参考に、磁場が工具寿命におよぼす影響を実験的に明らかにする。主な実験条件を表1に示す。実験においては、無段変速旋盤(オークマ製LS450、振り450mm、芯間距離800mm、5.5kW)を使用した。被削材は、 $\phi 50 \times 400$ のSUS304、工具はP30のスローアウェイチップ(三菱マテリアル製SNGA120408)を用い、乾式

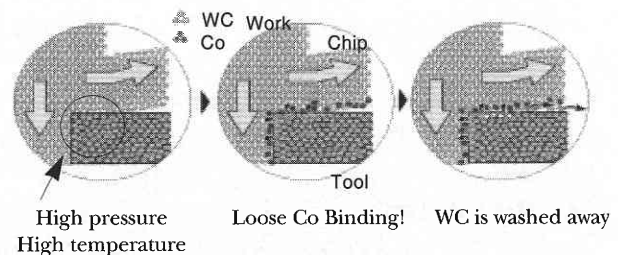


Fig. 1 Wear mechanism of cemented carbide tool

\*オリンパス光学工業(株)

\*\*東京大学生産技術研究所 情報・システム大部門

\*\*\*宇都宮大学工学部

\*\*\*\*東洋大学工学部

切削を行った。

切削速度は、あらかじめ SUS 304 の切削温度を工具被削材間熱電対法で計測したうえで決定した。これは、Co のキュリー点が 1117°C であるため、加工条件によっては Co が強磁性体から常磁性体へと変化してしまう可能性があり、工具摩耗が抑制されたとしても、その効果が磁場によるのであるか判断が難しいと考えられたからである。計測では、切削速度 120 m/min において、工具と切りくずの接触点における切削温度が 896°C であることがわかった。工具・被削材間熱電対法においては、切削温度は接触部分の平均温度として計測される<sup>5)</sup>。したがって、工具すくい面の温度分布としては実際には最高で平均温度の 1.2~1.5 にのぼる。また、文献<sup>6)</sup>においては、SUS 304 を切削断面積 0.4 mm<sup>2</sup>/rev、切削速度 100 m/min で加工する時の切削温度は、切れ刃から 0.4 mm の位置において最高約 1100°C の温度が記録されている。よって、上記の結果を勘案し、表 1 (1) に示すように切削速度 120 m/min とし、切込み、送りは比較的高い負荷になる条件とした。また、中切削から軽切削時の磁場の効果を検討するため表 1 (2) の条件でも実験した。

磁場は図 2 のように Nd-Fe-B 磁石 (住友特殊金属製

Table 1 Cutting conditions

Experiment No.	(1)	(2)
Cutting speed m/min	120	80
Feed mm/rev	0.5	0.2
Depth of cut mm	2	1
Work	SUS304	
Tool material	P30	
Insert	SNGA120408	
Holder	ESBNR2020	
Coolant	None	

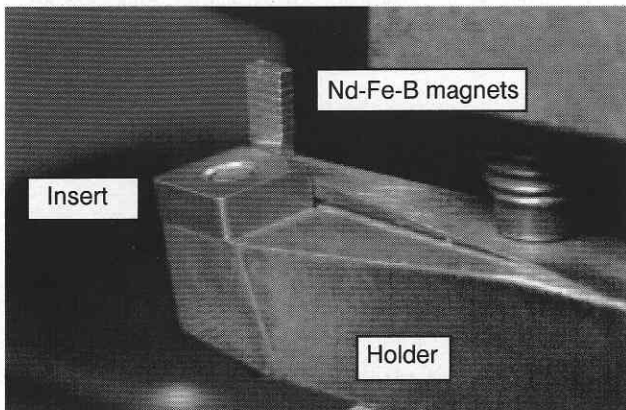


Fig. 2 Tool holder and insert with Nd-Fe-B magnets

NEOMAX-35 H, 5.0 × 2.3 × 1.0 t, 10 個) をツールホルダに取り付けて印加した。この磁石の個数と設置位置については、工作物や切りくずと磁石の干渉を避けることが可能であり、かつ切れ刃にできるだけ強い磁場を印加できる個数、ならびに位置とした。図 3 に前逃げ面方向からみた磁力線の FEM 解析図を示す。図より、磁力線は工具切れ刃から工具内部へ向かうようになっていることが理解できる。このとき工具切れ刃における磁束密度は計測から 5~7 mT であった。

以上、このように磁場を加工点付近に印加しながら切削する方法を磁場援用切削法と呼ぶ。

### 3. 実験結果

#### 3.1 磁場援用切削による工具摩耗の抑制

表 1 の (1) の条件で、通常の乾式切削 (以降通常切削

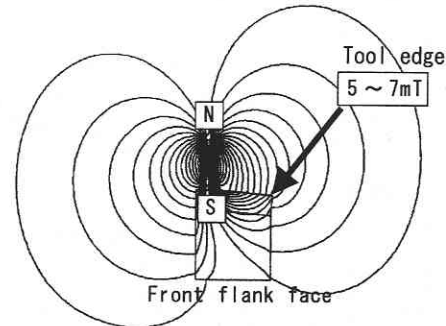


Fig. 3 FEM analysis of magnetic field

Cutting condition, Table 1(1)

Cutting distance, 360 m

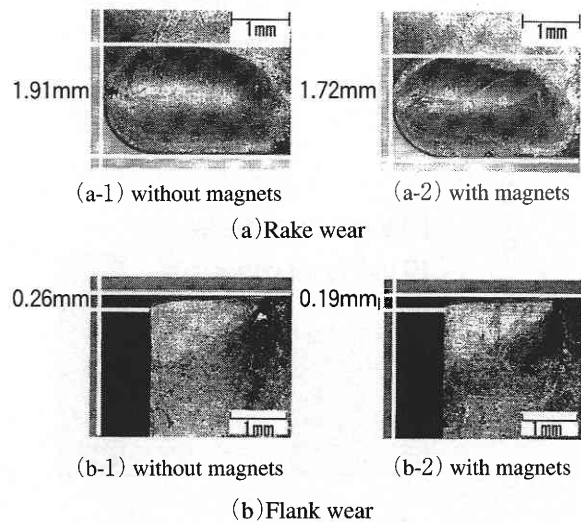


Fig. 4 Difference of tool wear by the existance of magnetic field

研 究 速 報

とする)と磁場援用切削による工具の摩耗状態を図4に示す。(a-1), (a-2)はそれぞれ通常切削と磁場援用切削によるすくい面の摩耗状態, (b-1), (b-2)は同様に逃げ面の摩耗状態になる。このように, 磁場の有無によりすくい面磨耗, 逃げ面磨耗に大きな差が認められる。

比較的負荷の高い切削条件表1(1)と負荷の軽い切削条件(2)における逃げ面磨耗の変化をそれぞれ図5(a), (b)に示す。図から磁場を印加した場合, 比較的負荷の軽い条件(b)では切削温度が低いためかほとんど工具磨耗に差異は見られない。ところが, (a)のように切削速度が高くなると磁場の効果が生じるのが工具逃げ面磨耗の進行が緩やかになり, 磁場の有無により逃げ面磨耗の差が1.2~1.5倍程度あることがわかる。

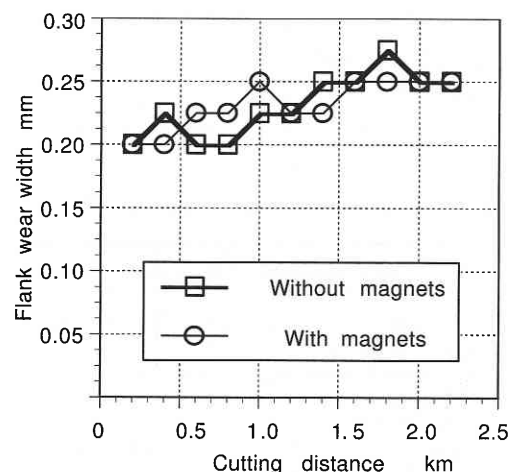
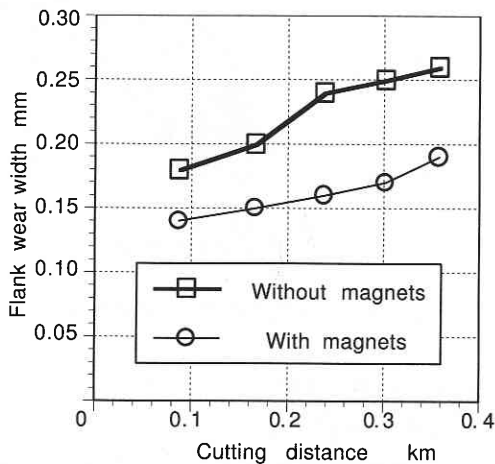
3.2 工具磨耗メカニズムの検証

前節の工具寿命の向上が2.1節の仮説に基づくのであるか, SEM-EDXにより切れ刃近傍のCo濃度を計測した。

その結果を図6に示す。図から, 切削前の切れ刃近傍のCo濃度は5.2wt%程度であるが, 通常切削を行うと切削後には約7.8wt%程度にCo濃度が高くなっていることがわかる。つまり, 高い切削温度により工具のCoが刃先近傍へと滲み出ていることが示されている。ところが磁場援用切削を行った場合, 工具のCo濃度は新品工具とほぼ同じ5.2wt%であった。

このように磁場援用切削によりCoの滲みだしが抑制されて工具寿命が向上したとも考えられる一方で, 磁石を工具切れ刃近辺に取り付けたことで, 工具全体の表面積が大きくなり, 取り付けられた磁石自体が放熱フィンとしての作用を引き起こし, 工具刃先近傍を冷却した影響も否定できない。

よって, 磁場援用切削で取り付けられた磁石と同じ表面積のアルミ放熱板を工具に取り付けて工具磨耗に対する冷却の影響を検討した。図7は, 切削速度150m/min送り



(a) Effect under heavy load condition Table 1(1)

(b) Effect under light load condition Table 1(2)

Fig. 5 Difference of flank wear by the existence of magnet field

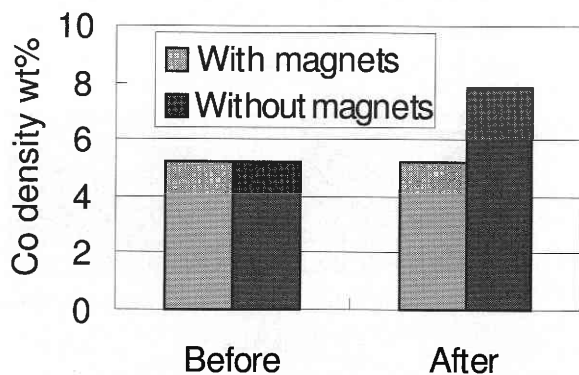


Fig. 6 Co density on flank surface before or after cutting tests

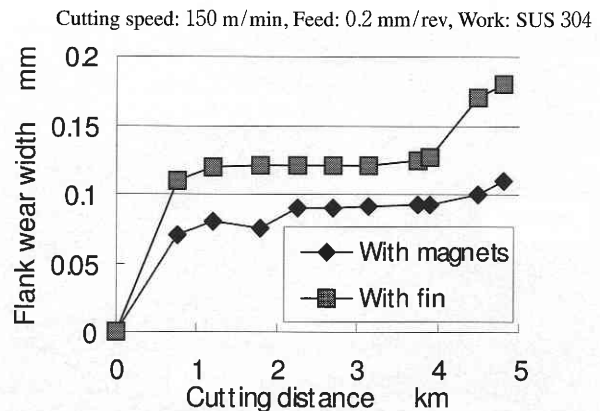


Fig. 7 Relationship between flank wear and total surface area increasing of tool

0.2 mm/rev で SUS 304 を切削して、放熱フィンを取り付けた工具と磁場援用切削の逃げ面摩耗の変化を比較したものである。なお、本来ならば表 1 (1) の条件にて実験をすべきであったが、被削材のサイズと使用した旋盤の減速比の関係でここでは若干切削速度が高く、また、良好な切りくず折断を得るために送りは少し下げている。

工具に取り付けた磁石が放熱板としての作用を引き起こして工具刃先を冷却し Co の滲みだしを抑制したのであれば両者とも同じ摩耗曲線となるであろう。しかし、結果は明らかに磁場を利用した場合に摩耗が抑制されている。よって、磁場が工具中の Co の滲み出しを抑制していることが裏付けられた。

### 3.3 磁界強度の工具摩耗への影響

磁場の作用により Co の滲みだしが抑制されて工具寿命が向上することがわかったが、磁界の強度や方向についても影響度を把握し、加工の最適化を図ることは重要と考えられる。

磁界の強度の工具摩耗への影響を図 8 に示す。切削条件は切削速度 150 m/min 送り 0.2 mm/rev、被削材は SUS 304 である。逃げ面摩耗のデータは、4, 5, 6 mT の磁場を工具切れ刃近傍に印加した際のものである。

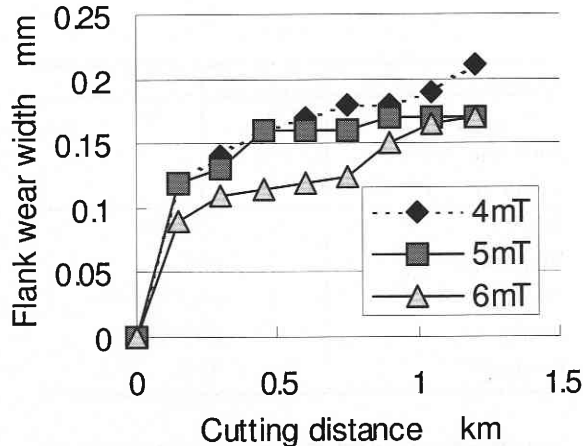


Fig. 8 Relationship between flank wear and magnetic-field strength

結果より、印加する磁場の強度の増加にともない工具摩耗が減少していることが確認できる。7 mT 以上の磁場については、現状では磁石を積層しながら磁界の強度を変化させているために限界があり残念ながら本実験の範囲内では検討できていない。今後の課題としたい。

## 4. 結 論

超硬工具の工具摩耗の抑制を目的に、工具切れ刃に磁場を印加しながら加工する磁場援用切削加工法を提案した。実験では、磁場を超硬工具の切削加工点近傍に印加することで、比較的負荷の大きい切削領域では工具寿命が 1.2 ~ 1.5 倍程度向上することがわかった。これは、磁場により超硬工具の Co バインダの高温下における滲み出しが抑制されたからである。また、工具摩耗量は磁場の強度にある程度依存し、磁界の強度が強ければ摩耗量は減少する。

このような加工法を実加工に適用すれば、切削剤を低減することが可能であり、環境負荷低減とコスト低減に極めて有用と考えられる。

本研究を行うにあたりご協力いただいた、三菱マテリアル (株)、住友特殊金属 (株)、東洋大学工学部卒業生の安井浩司君、また、貴重なご助言をいただいた三菱マテリアル (株) 狩野勝吉氏に御礼申しあげる。

(2000年7月18日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 横川和彦, 横川宗彦, ISO 14000 取得のための冷風切削・研削技術, 機械技術, Vol.45, 8 (1997) 52.
- 2) 鈴木秀治, 窒素ガスドライ加工システム, '98 工作機械関連技術者会議, (社) 日本能率協会, B 1-3-1, 1998.
- 3) 山本祐二, 電場・磁場による摩擦・磨耗のアクティブ制御, トラボロジスト, Vol.33, 8 (1993) 678.
- 4) 鳴瀧則彦, 岩田一明, 奥島啓式, 工具摩耗面のマイクロアナライザ観察, 精密機械, Vol.32, 9 (1966) 607.
- 5) 柳原 聖, 廣田平一, 強化粉末高速度鋼の被削性, 精密工学会誌, Vol.64, 1 (1998) 142.
- 6) 北川武揚, 前川克廣, 高マンガン鋼旋削時の超硬工具の摩耗とその解析的予測 (その 1) — 工具摩耗特性と切りくず生成モデル —, 精密機械, Vol.50, 11 (1984) 1753.