

磁場援用切削加工に関する研究

—続報 オーステナイト系ステンレス鋼の被削性向上について—

Basic Study on Magnetic-Field Assisted Cutting

—(Subsequent report) Improvement of Machinability in Cutting Austenitic Stainless Steel—

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

前報¹⁾においては、磁場が超硬工具の成分であるCoバインダに作用してCoの流失を防ぎ、工具摩耗を抑制することを示した。すなわち、工具に対する磁場の作用が示された。一方、磁場が被削材に作用して被削性を改善させる可能性も考えられよう。

たとえばトライボロジーの領域では、鉄鋼やニッケルなどの強磁性材料の磁場中における引っ張り試験において供試材の応力低下が認められたり、磁場中における乾燥摩擦試験において、磁場が金属同士の接触界面における酸化膜形成を促進し、摩耗形態を変化させるなどの報告もある^{2), 3)}。

強磁性材料の開発分野においては、磁区構造と結晶粒界との相互作用が近年明らかになってきている。結晶粒界は粒界を挟む粒子間の原子配列や周期と関係があり、材料の破壊強度や耐食性、電気的性質などに影響をおよぼす可能性も示唆されている⁴⁾。

本報においては、磁場が被削材に何らかの作用をおよぼすことで被削性を改善するかどうか実験的に検討した。その結果、オーステナイト組織を有する金属では加工面の面粗さが向上したり切削抵抗の変動が抑制されるなどの興味深い結果が得られたのでここに報告する。

2. 磁場援用切削加工法

主な実験条件を表1に示す。実験条件の詳細については前報に準ずる。実験においては、無段変速旋盤(オークマ製LS 450, 振り450 mm, 芯間距離800 mm, 5.5 kW)を使用した。被削材は、 $\phi 50 \times 400$ のSUS 304, 工具はP30のスローアウェイチップ(三菱マテリアル製SNGA 120408)

*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

を用いた。

磁場は図1のようにNd-Fe-B磁石(住友特殊金属製NEOMAX-35 H, $5.0 \times 2.3 \times 1.0$ t, 10個)をツールホルダに取り付けて印加した。

3. 実験結果

3.1 加工面粗さの向上

材料の被削性を表す評価指標は工具寿命, 加工面の粗さ, 切削抵抗, 切りくず折断の4項目がある。このうち工具寿命への磁場の影響については前報にてすでに検討した。本

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	

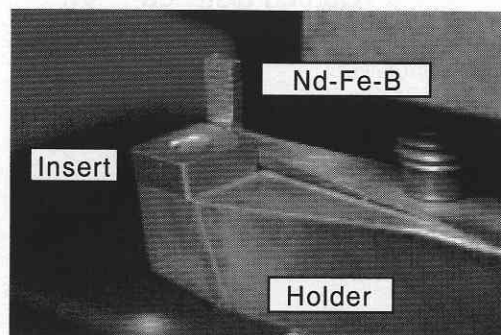


Fig. 1 Tool set-up with Nd-Fe-B magnets

報においては、加工面粗さ等他の因子への影響を調べる。

最初に SUS 304 を通常の乾式切削をした場合と、磁場援用切削をした場合の加工面の面粗さを比較した。図 2 (a), (b) は、表 1 (1), (2) のそれぞれの条件に対応した加工面粗さの変化を示す。図によると、比較的負荷の大きい表 1 (1) の条件では、構成刃先の影響がないためかほとんど磁場の有無による加工面の面粗さへの影響は認められない。ところが、構成刃先の凝着の影響があると思われる比較的負荷の軽い表 1 (2) の加工条件においては、磁場援用切削により面粗さが 10 ~ 40 % 向上していた。

この原因が構成刃先の凝着によるものかどうか、図 3 のように超硬工具の逃げ面を SEM にて観察した。その結果、図 3 (b) の磁場援用切削の方が図 3 (a) の通常切削と比較して逃げ面溶着物質が少ないことがわかった。

3.2 切削抵抗の変動と磁場の関係

構成刃先の生成脱落は、加工面粗さに悪影響をおよぼすだけでなく切削抵抗に大きな変動をもたらす。切削抵抗の変動は、被削材あるいは工具等加工を行っている系の固有振動数如何によりびびりを励起する可能性がある。しかし磁場により凝着現象が緩和されれば、切削抵抗の変動が少なくなり、びびりが緩和されるかもしれない。

そこで、切削抵抗の変動が大きく現れて工具びびりが生じ易いようにするため、工具の突き出し量をツールポストから通常 20 mm であるのを 37 mm と大きくして表 1 (2) の条件で切削を試みた。図 4 に切削抵抗背分力の FFT 解析結果を示す。

通常切削時の背分力スペクトルが図 4 (a)、5 mT の磁場による磁場援用切削時の背分力スペクトルが図 4 (b) である。まず通常切削では、図 4 (a) のような約 6 kHz の工具びびりによる一次振動モードのスペクトルピークが認められた。しかし、5 mT の磁場を印加すると、図 4 (b) の

ように 6 kHz 付近にあった振動のピークが急激に収まるのがわかった。

次に、上記工具びびりの抑制効果がどの程度の磁場の強度により発現するのかを確認した。図 5 に、工具切れ刃部における磁場の強度と、切削抵抗背分力を FFT 分析した際の約 6 kHz の卓越周波数との関係を示す。図を見ると、磁束密度が 0 ~ 4 mT の場合は振幅が 60 ~ 100 N と大きいですが、磁束密度が 3 mT を超えると振幅は小さくなり、5 ~ 6 mT で 15 N 程度に収束しているのがわかる。

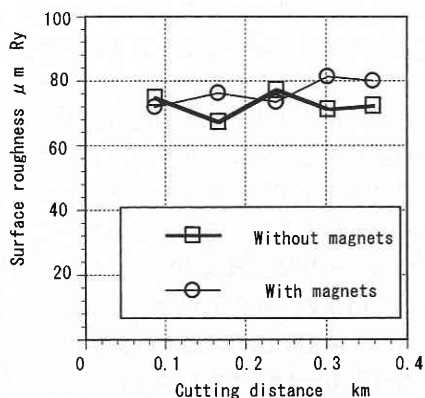
4. 磁場援用切削による被削性向上のメカニズム

これまでの結果から磁場の有無により SUS 304 の被削性が改善される効果が認められた。しかし、磁場が影響をおよぼすと考えられる対象には、工具、工具・工作物界面、被削材の 3 つが考えられ、被削性向上の原因が材料の磁気特性に依存するの現状では判別できない。よって、本章では、この 3 つの対象について各々考察を加えることで、被削性改善の原因を検証する。

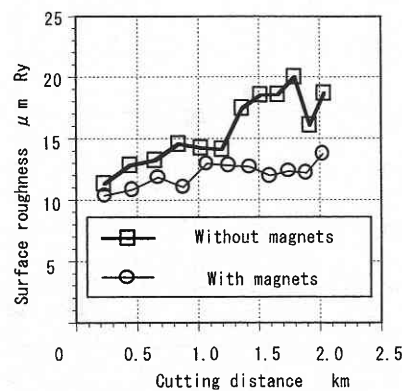
まず、磁場による加工面粗さの改善ならびに工具びびり抑制の効果は、超硬工具を使用した時にのみ起こる現象なのかどうか、Ti コーテッド工具、 Al_2O_3 セラミック工具と工具材種を変えながら実験を行った。その結果、磁場による加工面粗さの向上と工具びびり抑制の効果は工具材種とは関係がないとわかった。

次に、磁場が工具・工作物界面に影響をおよぼす可能性を検討した。磁場には、金属どうしの摩擦において各々の金属表面の酸化を促進し摩擦係数を激減させる効果が報告されている^{2), 3)}。

そこで、窒素ブロー切削により工具近傍の酸素の供給を遮断して工具表面の酸化と加工面粗さの関係を調べることとした。切削距離に応じた加工面粗さの推移を図 6 に示



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



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

Fig. 2 Difference of surface roughness by the existence of magnetic field

研究速報

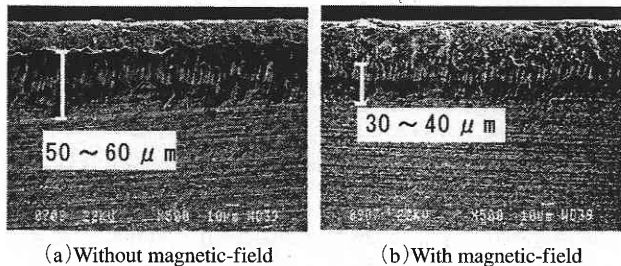
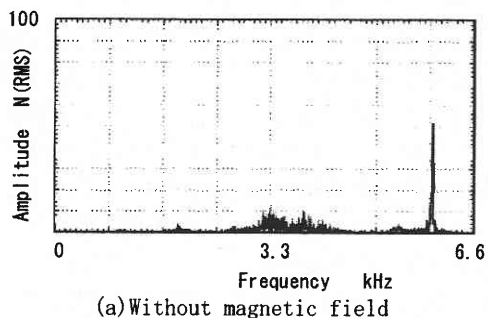
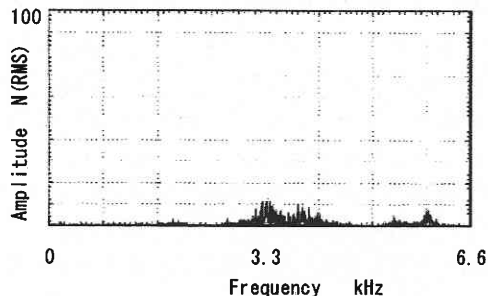


Fig. 3 Difference of adhesion of work material to flank surface of tool by the existance of magnetic field



(a) Without magnetic field



(b) With magnetic field(5mT)

Fig. 4 FFT analyses of thrust cutting forces

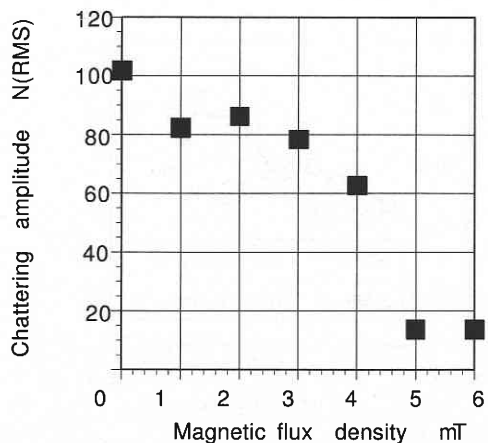


Fig. 5 Relationship between magnetic flux density and chattering amplitude of thrust cutting forces

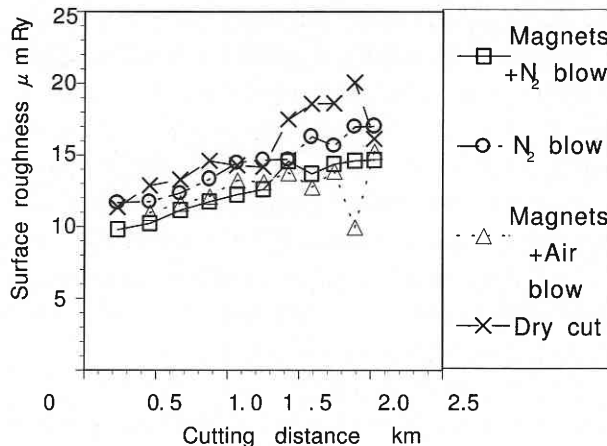


Fig. 6 Difference of magnetic effect on machined surface by the existance of oxygen

す。図では、窒素ブローと磁場援用切削を併用した場合、エアブローと磁場援用切削を併用した場合、単に窒素ブロー切削ないしは乾式切削を行った場合の四つの加工形態で比較している。磁場援用切削と通常切削では、明らかに磁場援用切削を併用した2つの方法において加工面粗さが向上していた。しかし、磁場援用切削を併用した両方を比較すると、窒素ブローとエアブロー切削の間に有意差は認められなかった。つまり、加工面粗さの改善は、磁場が工作物や工具表面に酸化膜を形成し、酸化作用を促進させることにより摩擦を改善し、被削性を改善したのではないと判明した。

最後に、加工面粗さの改善と工具びびり抑制の現象が被削材材種に依存するかどうかを SUS 420 J, 黄銅, 純銅, アルミ合金で調べた。しかし、加工面粗さの向上や工具びびりの抑制といったような磁場の効果は認められなかった。

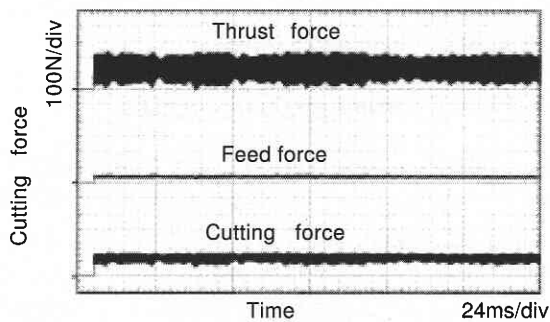
以上の結果を考慮すると、被削性向上の原因は工作物固有の物性、すなわちオーステナイト系ステンレス鋼特有の物性に依存しているとしか考えられない。オーステナイト系ステンレス鋼において磁場と因果関係の深い現象には磁場誘起マルテンサイト変態^{5)~8)}が考えられる。

もともと、オーステナイト組織は加工誘起マルテンサイト変態が生じることでよく知られているが、磁場援用切削により磁場誘起マルテンサイト変態が加工点付近で相乗的に生じることも考えられる。マルテンサイト組織が爆発的に生じたのであれば、組織変態により構成刃先の凝着が妨げられ加工面粗さが向上したり、また、構成刃先の凝着が減少することで切削抵抗の変動が減少し、工具びびりが抑制されることも十分考えられよう。

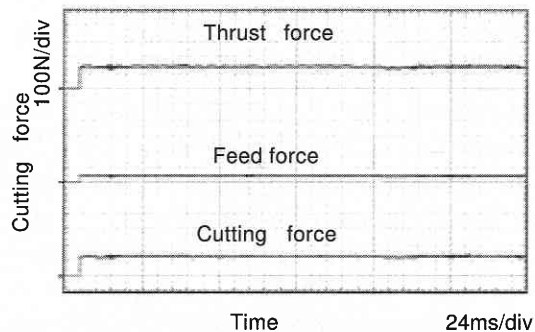
そこで、磁場誘起マルテンサイト変態がこれまでの原因かどうかインバー合金を磁場援用切削してその効果を裏付

Table 2 Cutting conditions of invar alloy

Cutting speed m/min	80
Feed mm/rev	0.2
Depth of cut mm	0.25
Work	Invar alloy
Tool material	P30
Insert	SNGA120408
Holder	ESBNR2020
Coolant	None



(a) Without magnets



(b) With magnets

Fig. 7 Difference of cutting forces in machining invar alloy by the existance of magnetic-field

けることとした。インバー合金は、オーステナイト組織を有する合金で難削材として知られている。インバー合金を表2の条件にて通常切削と磁場援用切削を適用した際の切削抵抗の変動を図7に示す。

切削抵抗の各分力とも磁場援用切削を適用すると加工抵抗の変動が少なく、極めて平滑な抵抗値の波形が得られていることが判断できる。

同時に、図8に加工面粗さを示すが、磁場援用切削により R_y が $11.3 \mu\text{m}$ から $8.4 \mu\text{m}$ と向上している。よって、オーステナイト組織を有する金属の被削性向上は、磁場誘起マルテンサイト変態が原因と結論づけられた。

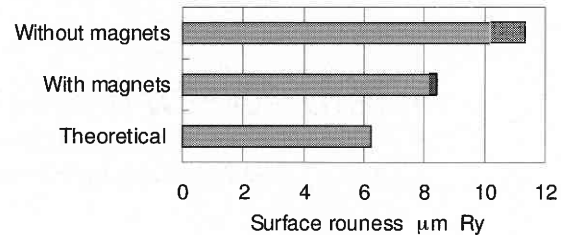


Fig. 8 Difference of surface roughness in machining of invar alloy

5. 結 論

磁場の作用により材料の被削性が向上する可能性を示すため、オーステナイト組織を有する合金に磁場援用切削を適用した。その結果、実験の範囲において以下の効果が認められた。

- (1) オーステナイト系ステンレス鋼に磁場援用切削を行うと、比較的負荷の少ない条件では工具への被削材の凝着が減少して、切削抵抗の変動が小さくなる。その結果、加工面粗さが磁場を印加しないときよりも10～40%程度向上したり、切削抵抗の変動が少なくなるために工具びびりが生じにくくなる。
- (2) 上記は、オーステナイト組織を有する被削材に磁場援用切削を適用するときだけに生じ、磁場誘起マルテンサイト変態がその原因と考えられる。

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)、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) 中野文昭・柳原 聖・山口ひとみ・谷 泰弘・神田雄一、磁場援用切削加工に関する研究(第1報)―超硬工具の工具摩耗抑制効果について―、生産研究、Vol. 52, No. 9, (2000) 402.
- 2) 熊谷一男、磁場によって変わる金属の摩耗、熱処理 Vol. 31, 4 (1991) 189.
- 3) 平塚健一、磁気とトライボロジー、トライボロジスト、Vol. 33, 9 (1988) 671.
- 4) 川原浩一、強磁性多結晶材料の磁区構造と粒界との相互作用の観察、日本機械学会誌、Vol. 103, No. 974, (2000), 62.
- 5) ステンレス協会、ステンレス鋼便覧 第3版、日刊工業新聞社、(1995), p. 77.
- 6) 西山善次、マルテンサイト変態-基本編-, 丸善、(1958), p. 215.
- 7) 清水謙一、マルテンサイト変態における磁場効果、日本金属学会会報、Vol. 25, 5 (1986) 392.
- 8) 掛下知行、マルテンサイト変態におよぼす強磁場・超高静水圧効果―磁場の効果I―、バウンダリー、2 (1993) 56.