

# 大気圧中でプラズマを照射したステンレス鋼の乾式切削

室蘭工業大学 田頭 孝介, 室蘭工業大学大学院 ○高橋 維玖馬

## 要 旨

オーステナイト系ステンレス鋼の予備切削面に大気圧低温プラズマを照射し, 切削油剤あるいは塗布剤を一切用いずに低速二次元ドライ切削した. その結果, プラズマ照射時間の増加に伴い切削抵抗と切りくず厚さが減少し, 切削仕上げ面粗さが向上した. これは, 大気中の水蒸気がプラズマ化され, 電離した水酸基 (以下 OH 基) が転位近傍の金属原子と化学吸着し, 転位を固着したためであろう.

## 1. 緒 言

ステンレス鋼 (SUS304) のような軟質材を乾式切削加工するとバリが発生し, 良好な仕上げ面が得られない. しかし, 有機極性物質 (オレイン酸など) を 0.2wt% 溶解した流動パラフィン溶液を塗布し二次元乾式切削すると, 塗布剤は工具の刃先, すくい面あるいは逃げ面に全く接触しないにもかかわらず, 切削抵抗と切屑厚さが減少し, 切削油剤を用いたときと同様, 仕上げ面性状が向上する<sup>1)~3)</sup>. 金枝らはオレイン酸の境界潤滑作用に注目し塗布効果を説明している<sup>4)</sup>が, 著者らは極性物質と金属の化学吸着を無視できないと考えている. そこで, 今回は大気中の  $H_2O$  をプラズマ化し, 電離した OH 基を被削材の表面に化学吸着させ完全乾式切削を試みた.

## 2. 実験方法

供試材は 18Cr-8Ni オーステナイト系ステンレス鋼板 (1.5mm $t$ , JIS SUS304) で, これを Fig.1 のように 100×35×1.5mm に切断し, 被削面 (100×1.5 mm) の三箇所を溝加工し, 最終切削 (以下, 本切削と呼ぶ) 時に 4 つの領域 (I ~ IV) からデータが得られるようにした. 次に, 真空中で 1323K, 1.8ks で溶体化処理し, 直ちに急冷した. ここでの硬さは 172HV0.2 である.

次に, 被削面に 0.2mass% オレイン酸を含む流動パラフィン溶液を約 1 $\mu$ m の厚さで塗布し, 切込み量 10 $\mu$ m で一連の予備切削を行い「予備切削材」を作成した. この段階での表面粗さ ( $R_z$ ) は 1.4 $\mu$ m 以下である. 切削速度は前報<sup>1)~3)</sup> と同じようにすべて 1.67mm/s で行った. 予備切削を終えた本切削用の被削面 (以下, 予備切削面と呼ぶ) にはオレイン酸が全く付着していないことをフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) で確認した.

予備切削面に大気圧中で低温プラズマ照射し, 本切削した. プラズマ照射器 (キーエンス製: ST-7000) と予備切削面の距離は 10mm とし, 照射時の消費電力は 400W, 空気流量は 0.83 l/s とした. 照射時間は 4 つの領域に対し, それぞれ 0, 10, 20 および 30s とした.

照射後の予備切削面の硬さはそれぞれ 339, 358, 361 および 380 HV0.2 で, 照射時間の増加とともに被削面が硬化している. 本切削は切込み量  $t$  を 20 $\mu$ m とした. 切削用超硬工具 (K-10(WC)) のすくい角は 5°, 刃先丸み半

径は 5 $\mu$ m である.

照射によるステンレス鋼表面の OH 基の吸着形態を知るために, FT-IR により赤外スペクトルを測定した. なお, 代表的な水分子の三つの各吸収帯は 1596 $cm^{-1}$ : はさみ変角振動, 3652 $cm^{-1}$ : 対称伸縮振動, 3756 $cm^{-1}$ : 逆対称伸縮振動, である<sup>5)</sup>.

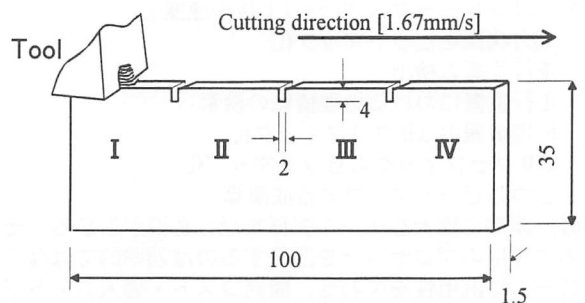


Fig.1 Schematic illustration of cutting test

## 3. 実験結果及び考察

Fig.2 にプラズマ照射時間と切削抵抗 (主成分力  $F_T$ , 背成分力  $F_N$ ) の関係を示す. 無照射の場合, 主成分力と背成分力はそれぞれ 318N と 194N であるのに対し, 30s の照射ではそれぞれ 78N と 62N となり, 照射時間の増加とともに切削抵抗は大幅に減少した.

Fig.3 にプラズマ照射時間と切りくず厚さの関係を示す. また, Fig.4 に切削途中における側断面写真を示す. 無照射部では, 切りくず形状はむしり型で, すくい面に対し垂直方向の切りくず厚さは最大 290 $\mu$ m (平均 256 $\mu$ m) で, 切削面の  $R_z$  は 14.0 $\mu$ m である.

30s 照射部では, 薄いせん断型切りくずとなり, 切りくず自由表面のプロフィールはこの歯状<sup>3)</sup>となっている. このとき, 切りくず厚さは平均 57 $\mu$ m となった. 切りくずは微細なせん断変形と破壊に基づくラメラ構造を示し, 切りくず素片間隔が減少した.  $R_z$  は 1.09 $\mu$ m で 10s 照射 ( $R_z$ : 1.63 $\mu$ m) よりさらに向上している. 以上の結果は, 予備切削面にオレイン酸などの有機極性物質を約 1 $\mu$ m 塗布し, 乾式切削したときと同じであった.

Fig.5(a)~(c) に各種切削面の赤外スペクトルを示す. 曲線(a)はプラズマ照射前の予備切削面のスペクトルで, 特徴的な吸収帯ピークが認められない. 曲線(b)では照射前

と比べ波数1540と1690 $\text{cm}^{-1}$ 及び3640と3900 $\text{cm}^{-1}$ で強いピークが認められる。これらの値は実験方法で述べた波数とやや異なるが、それはプラズマ照射面の金属原子と化学吸着したOH基及びそれに水素結合した水分子の存在によるものであろう。曲線(c)でも波数1540と1690 $\text{cm}^{-1}$ 及び3730と3820 $\text{cm}^{-1}$ で強いピークが認められる。

以上より、ステンレス鋼の予備切削面をプラズマ照射すると大気中の水分子が電離し、OH基が化学吸着していることはほぼ間違いない。吸着箇所は転位近傍の金属原子であり、ステンレス鋼を構成している陽性元素( $\text{Fe}^{2+}$  or  $^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ )とOH基がイオン結合により化学吸着しているものと思われる。その結果、表面エネルギーが低下し安定な状態になるのであろう<sup>6)</sup>。また、 $\text{H}_2\text{O}$ 分子の電離により生じた $\text{H}^+$ が試料中へ拡散性水素として侵入し、表面層を脆化させた可能性も否定できない。

このように、OH基が転位を固着することにより予備切削面の塑性変形能を低下させ、微細なせん断型切りくずが容易に排出され、切削抵抗が減少したものと考えられる。

#### 4. 結 言

オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 に大気圧中で低温プラズマを照射(0~30s)した後、完全乾式切削を行い、以下の結論を得た。

- (1) プラズマ照射時間の増加とともに、切削抵抗が減少し、切りくず厚さが減少した。また、切りくず自由表面の形状は微細なこの歯状へ変化し、切りくず素片間隔が減少した。
- (2) FT-IR の測定結果から、プラズマ照射により、水酸基が母材表面層の転位近傍の金属原子と化学吸着し転位を固着したものと推定される。
- (3) 予備切削面にプラズマを照射した効果は有機極性物質を塗布した効果と類似であった。

#### 参 考 文 献

- 1) 池田慎一, 田頭孝介, 他二名: アルミニウムの切削挙動に及ぼす流動パラフィン塗布剤中のオレイン酸濃度の影響, 精密工学会誌, **66**, 7 (2000), 1103.
- 2) 田頭孝介, 池田慎一, 米川賢: 希薄なオレイン酸を塗布した純鉄の切りくず生成機構, 精密工学会誌, **66**, 12(2000), 1917.
- 3) 池田慎一, 田頭孝介: 炭素数の異なるカルボン酸の塗布によるアルミニウムの切削抵抗の減少, 精密工学会誌, **67**, 7(2001), 1150.
- 4) 金枝敏明, 河坂博文: 軟質金属における塗布効果(第一報) -発生条件ならびに塗布剤の境界潤滑特性-, 精密工学会誌, **61**, 5 (1995), 702.
- 5) 荒木峻, 益子洋一郎, 山本修: 有機化合物のスペクトルによる同定法, 第6版, 東京化学同人, (1999), 74.
- 6) 近藤保: 界面化学, 三共出版, (1995), 5.

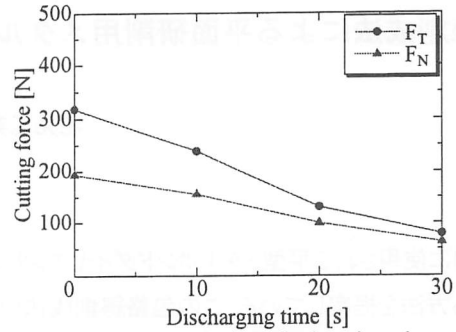


Fig.2 Relation between plasma discharging time and cutting force (mean value)

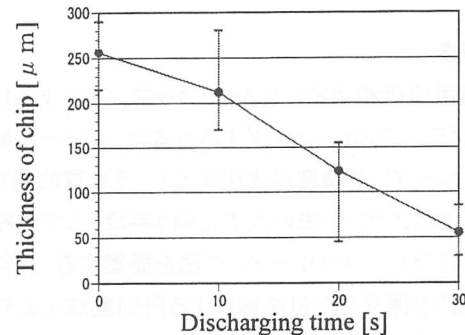


Fig.3 Relation between plasma discharging time and the thickness of chip

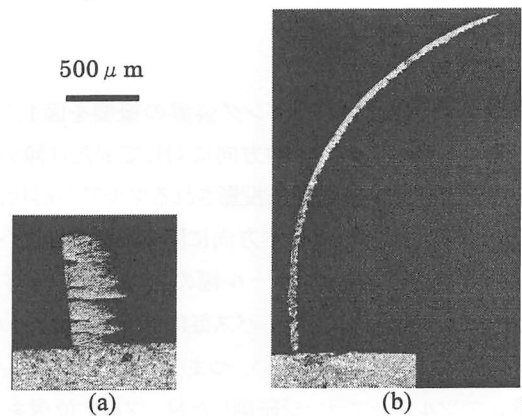


Fig.4 Optical micrographs of the cross section (parallel to cutting direction) of specimens. Plasma discharging time : (a) 0s, (b) 30s

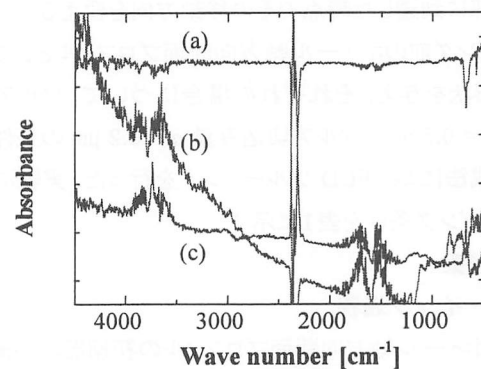


Fig.5 Infrared spectrum on SUS304 surface. Plasma discharging time : (a) 0s, (b) 10s, (c) 30s