

# プラズマ照射により表面改質された SUS304 の切削加工

## The Effect of plasma radiation on the Orthogonal Cutting Behaviour on SUS304

苫小牧高専○目黒 雅樹, 苫小牧高専 ○池田 慎一

National Institute Technology, Tomakomai college ○Masaki MEGURO, ©Shinniti IKEDA

### 要旨

SUS304 の板材の端面（被削面）に大気プラズマを照射し、超硬工具で低速二次元切削を行った。その結果、照射部の切削抵抗、切削抵抗の変動量、仕上げ面粗さ、切りくず厚さおよび切りくずカール半径が増加した。しかし、照射直後の被削面をアセトンで洗浄し切削することで、切削抵抗等で確認できたプラズマ照射による効果は消失した。

### 1. 緒言

金属の切削加工では精度の高い加工であるほど切削油剤の使用が必要となるが、切削油剤は関連する様々な諸問題が発生することがある。近年では、多軸マシニングセンタの登場により加工機が使用する消費電力の約 4 割を切削油剤関連が占めるとも言われており、切削油剤に関わる問題は多岐に渡っている<sup>(1)</sup>。

著者らは切削油剤を一切使用しない完全乾式切削の試みの一つとして大気圧プラズマを利用した方法の検討を行っている。これまでの研究では純アルミニウム (A1030)、チタン合金 (Ti-6Al-4V) およびステンレス鋼 (SUS304) の圧延板を切削用試料とし、所定の予備切削後、その被削面に低温プラズマを照射し、低速二次元切削したときのプラズマ照射による効果を確認している<sup>(2)~(4)</sup>。SUS304 の切削では、プラズマ照射部は無照射部に比べ、切削抵抗の最大値、切削抵抗の変動量、切りくず厚さおよびカール半径が増加し、排出される切りくずの形状がプラズマ照射により流れ型からむしれ型に変化することを確認している。また、これらのプラズマ照射の効果が時間の経過と共に減少することやアセトンで洗浄することで消失することも確認している<sup>(4)</sup>。さらに、プラズマ照射後の被削面の濡れ性を接触角として測定し、上述した時間経過に伴うプラズマ照射の効果の減少や消失、つまり、切削抵抗の変動が予備切削面の接触角の変動に対応していることも確認している。これらの結果から被削面にプラズマ照射することで、SUS304 を覆っている不動態被膜の消滅が、これらの現象を起こす大きな要因としているが、この効果のメカニズムを解明するまでには至らず、不明な点が多く残されている。

そこで、本研究では、これまでと同様の試料であるオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の板材を切削用試料とし、その端面にプラズマを照射し、低速二次元切削したときの切削抵抗および切りくず形状に及ぼすプラズマ照射の効果を詳細に調査する。また、プラズマ照射により表面改質された照射面の詳細については FT-IR で測定し、SUS304 の切削機構について明らかにする。

### 2. 実験方法

被削材は板厚 2mm のステンレス鋼 SUS304 の板材 (100×50mm) を切削用試料とし、試料の端面をすくい角 5° の超硬工具 (K-10) で低速二次元切削する。試料はプラズマ照射部と無照射部を明確に分け、各領域から排出される切りくずが干渉しないように、試料端面に 3 箇所切り欠きを設け、(I) ~ (IV) の 4 領域に分割する。Fig.1 に低速二次元切削の概要を示す。本切削を行う前に表面層のひずみを均一にするために予備切削を行う。予備切削は切削速度を 2mm/s、切込み量 0.01mm で数回切削を行い、被削面を仕上げる。プラズマの照射にはキーエンス製のプラズマ照射器 ST-7000 を使用し、照射時間は 10s、照射器と照射面との距離は 10mm とする。本切削は予備切削面をアセトンで洗浄した後、4 領域のうち、(III) および (IV) の 2 領域をプラズマ照射部とし、

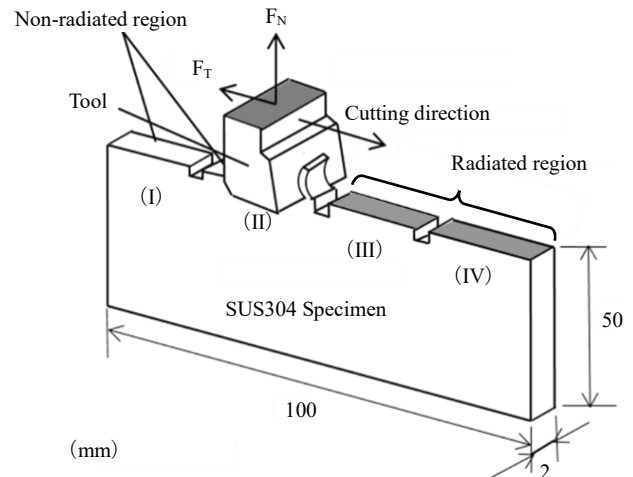


Fig.1 the orthogonal cutting model of SUS304

切削速度 2mm/s、切込み量 0.01mm で行うが、(III) の領域のみ本切削直前にプラズマ照射部をアセトンで洗浄する。本切削したときの切削抵抗（主分力： $F_T$  及び背分力： $F_N$ ）は圧電式の工具動力計で測定し、切りくずの外観は光学顕微鏡で観察を行う。切りくず厚さおよび切りくずカール半径についても切りくず外観の観察からそれぞれ測定する。

本切削直前の (I) ~ (IV) の 4 領域の被削面の詳細を調べるためにフーリエ変換赤外分光法による赤外分光分析を行う。ただし、測定法は、平滑な被削面上の種々の物質の吸着状態を測定するため、薄膜等の測定に有効な高感度反射法とする。分析用試料は、被削材よりワイヤーカット放電加工機で円板状 ( $\phi 38\text{mm}$ ) に切り抜き、表面を 1500 番のエメリー紙で研磨し仕上げる。赤外スペクトルのバックグラウンドは無照射の状態の試料 (I), (II) で測定する。

### 3. 実験結果および考察

Fig.2 に (I) および (II) の無照射部、(III) のプラズマ照射直後にアセトンで洗浄したプラズマ照射部、(IV) プラズマ照射部をそれぞれ切削速度 2mm/s、切込み量 0.01mm で切削したときの切削抵抗の主分力  $F_T$  および背分力  $F_N$  の変化を示す。(I) ~ (IV) は Fig.1 の (I) ~ (IV) の 4 領域に対応している。(I) および (II) の無照射部の主分力および背分力は切削開始から約 5mm、ある一定の傾きで増加しているが、(IV) のプラズマ照射部では切削開始直後から無照射部に比べ主分力および背分力は増大し、その変動量も大きくなっている。切削抵抗の無照射部およびプラズマ照射部の比較では、各領域の切削開始から 10mm 以降の最大値および変動量（最大値）の値で比較する。主分力では無照射部の最大値は (I) で 185N、(II) で 195N、それぞれの変動量は

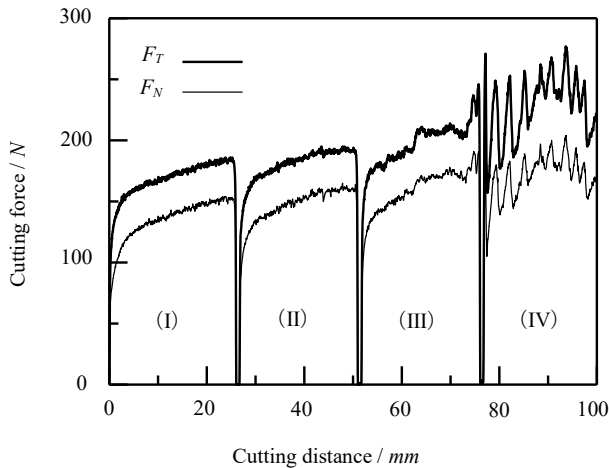


Fig.2 The effective of the Plasma irradiation no the cutting force  
(I), (II) Non-Plasma radiation,  
(III) Cleaned acetone on the morrow of Plasma radiation,  
(IV) Plasma radiation

(I) で約 5N, (II) で約 10N を示している。一方, (IV) のプラズマ照射部では主成分力は約 280N で, その変動量も約 70N を示している。一方, (IV) のプラズマ照射部では主成分力は約 280N で, その変動量も約 70N を示している。しかし, (III) のプラズマ照射直後にアセトンで洗浄したプラズマ照射部は (IV) の照射部に比べ, 切削抵抗およびその変動量も小さくなっている。(III) のアセトン洗浄部では主成分力の最大値が 210N, その変動量が約 10N を示しており, プラズマ照射部より, 無照射部に近い値となっている。これらの結果は背成分力についても同様の傾向を示している。排出される切りくず形状もこの切削抵抗の変化に伴い変化している。

切りくず厚さは無照射部 (I) および (II) で 0.05mm となった。プラズマ照射部 (IV) では 0.08mm とプラズマ照射により増加している。ただし, プラズマ照射直後にアセトンで洗浄することによって (III) では 0.06mm とプラズマ照射部に比べ減少している。切りくずのカール半径についても (I) では 1.5mm, (II) で 2.0mm となっているが, 照射部では 2.6mm と無照射部に比べ増加している。同様にアセトン洗浄部 (III) では 2.1mm となり照射部に比べ減少している。つまり, 被削面へのプラズマ照射により, 切りくず排出機構に影響を及ぼし, 切りくず形状が流れ型からむしれ型に変化し, 切りくず厚さおよびカール半径が増加し, その結果, 切削抵抗およびその変動量が増大したが, プラズマ照射直後にアセトンで被削面を洗浄することによって, これらのプラズマ照射による効果が消失し, 切削抵抗が減少したと思われる。

Fig.3 に (a) プラズマ照射部および (b) プラズマ照射部をアセトンで洗浄した照射部のそれぞれの表面を FT-IR により赤外スペクトルを 0~180min まで 30min 間隔で測定した結果を示す。プラズマ照射後 0min の赤外スペクトルは (a), (b) いずれも, プラズマ照射後の試料の測定値を示している。その直後, (b) のみアセトンで一度洗浄している。

照射直後, プラズマ照射により, 生成され吸着したと考えられる水酸基に起因するピーク (伸縮振動数:  $3600\sim 3750\text{cm}^{-1}$ ) が確認できる。以降については, この水酸基のピークに注目すると, (a) では, ばらつきはあるものの, 時間経過に伴いピークが小さくなっている。一方, (b) ではアセトンで洗浄後 30min で急激にピークが小さくなっている。これらの結果から, プラズマ照射部ではプラズマ照射により被削面に形成された水酸基が時間経過

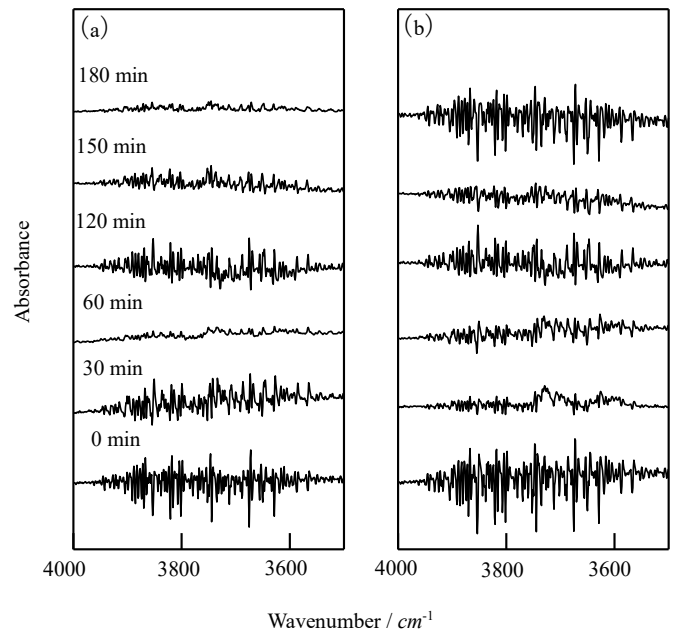


Fig.3 Influence on spectrum of FT-IR on surface of SUS304  
(a) Cleaned acetone on the morrow of Plasma radiation  
(b) Plasma radiation

に伴い消失するために水酸基のピークが小さくなったものと考えられ, 照射後のアセトン洗浄部では, 吸着している水酸基が容易に除去されるものと考えられる。つまり, プラズマ照射の効果は単に被削面の不動態被膜を破壊・除去するだけではなく, 水酸基の層を形成する効果があるものと推測される。この水酸基の層は空気中の酸素が不動態被膜を再生することを妨げ, その結果, 切削抵抗が増加したものと考えられる。

#### 4. 結言

SUS304 の切削試料にプラズマ照射を行った被削面と, プラズマ照射直後にアセトンで洗浄した被削面を, 低速二次元切削した結果, 以下の結論を得た。

- (1) プラズマ照射部では無照射部に比べ, 切削抵抗の最大値, 切削抵抗の変動量, 切りくず厚さおよびカール半径が増加したが, プラズマ照射部をアセトンで洗浄することで, これらの現象は消失した。
- (2) 切りくずの形状はプラズマ照射により流れ型からむしれ型に変化したが, プラズマ照射部をアセトンで洗浄することで, 再び流れ型に変化した。
- (3) プラズマ照射では水酸基に起因する赤外スペクトルのピークが確認できたが, 時間経過に伴い消失した。また, 水酸基のピークはアセトンによる洗浄で容易に消失した。

#### 参考文献

- (1) 機械技術 (日刊工業新聞社), (1999)。
- (2) 伊藤裕一郎他, 2007 年精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, (2007), 77-78。
- (3) 馬場康成他, 2014 年精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, (2014), 81-82。
- (4) 星野啓太他, 2018 年精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, (2018), 21-22。