

# プラズマ照射により表面改質された SUS304 の切削加工

苫小牧高専 ○目黒雅樹, 五十川智芹, 千葉一生, 原 聖矢, 池田慎一

## 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清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, 切削油剤に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の効果を確認している<sup>2)~4)</sup>.

SUS304 を切削試料としたときは, 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ろ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も確認している. さらに, プラズマ照射後の被削面の濡れ性について接触角で測定し, 上述した時間経過に伴うプラズマ照射の効果の減少, つまり, 切削抵抗の減少が予備切削面の接触角の増加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が消滅するために, これらの現象が起こるとしているが,

この効果のメカニズムを解明するまでには, 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, 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の詳細について調査する. また, プラズマ照射し表面改質された被削面の濡れ性についても接触角を測定することで評価し, 同様に切削抵抗および切りくず形状に及ぼす接触角の影響を調査することで, 表面改質した 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 箇所の切り欠きを設け, (I) ~ (IV) の 4 領域に分割する. 図 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清浄した後, 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, 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清浄する. 本切削した時の切削抵抗 (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, 切りくずの外観の観察は光学顕微鏡で行った. 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.

被削面の濡れ性の評価についてはプラズマ照射を行った照射面および無照射面に市販の純水の液滴を垂らし, 側面から光学顕微鏡で液滴の接触角を  $1/20$  法<sup>4)</sup>を用いて求める. 接触角はプラズマ照射直後からの時間の経過と共に測定する.

## 3. 実験結果および考察

図 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清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

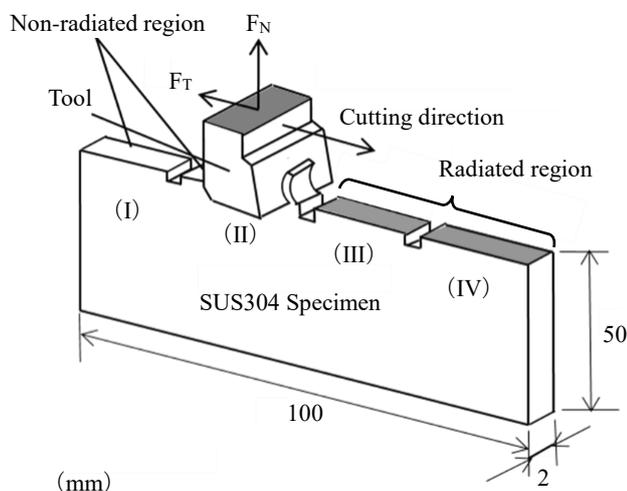


図 1 低速二次元切削の概要

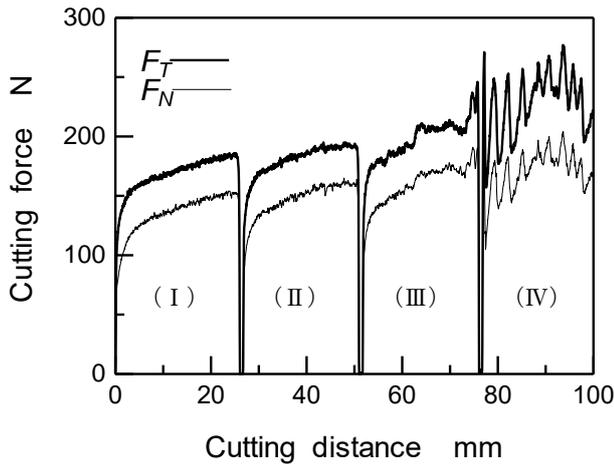


図2 切削抵抗に及ぼすプラズマ照射の影響

- (I) 無照射部, (II) 無照射部,  
 (III) プラズマ照射直後アセトン清浄部,  
 (IV) プラズマ照射部

で切削したときの切削抵抗の主成分  $F_T$  および背成分  $F_N$  の変化を示す。(I)～(IV)は図1の(I)～(IV)の4領域に対応している。(I)および(II)の無照射部の主成分および背成分は切削開始から約5mmで、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成分および背成分は増大し、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。主成分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(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清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)のアセトン清浄部では主成分の最大値が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清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。同様にアセトン清浄部(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清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。

図3にプラズマ照射面およびプラズマ照射面をアセトン

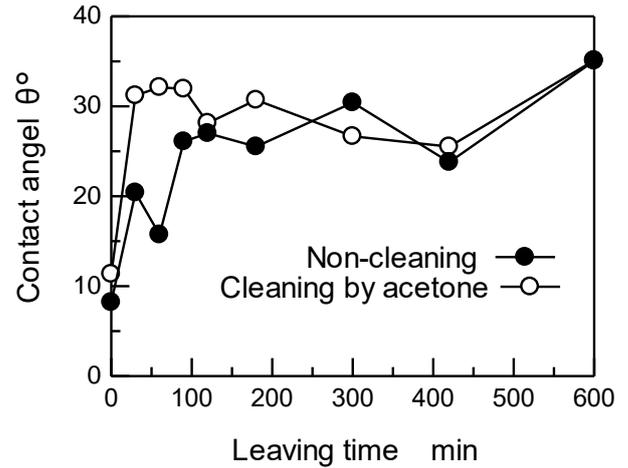


図3 接触角に及ぼす経過時間の影響

で清浄した照射面の接触角に及ぼすプラズマ照射直後からの経過時間の影響を示す。接触角はプラズマ照射部((IV)に相当)では、照射直後で8°を示すが時間経過に伴い増加し、約100min以上では25～30°を示している。(III)に相当するプラズマ照射部では、プラズマ照射直後はアセトンで清浄していないため、接触角が11°と照射面とほぼ同様であったが、30min後の測定直前に、アセトンで清浄したために、接触角は約30°に急増している。プラズマ照射部の30min後の接触角は約20°であることを考えると、プラズマ照射によって濡れ性が向上した被削面がアセトンで清浄することで、濡れ性が急激に悪化したと言える。このアセトンによる接触角の増加は切削抵抗の減少と対応している。つまり、プラズマ照射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、プラズマ発生に伴う水蒸気に起因する官能基の吸着を促し、この吸着現象はアセトンにより、容易に除去され、その結果、不動態被膜が再生したために、切削抵抗が減少したものと考えられるが、不動態被膜直下の加工変質層の影響も考慮する必要がある。

#### 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清浄した被削面を、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清浄することで、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。プラズマ照射部をアセトンで清浄することで、再び流れ型に変化した。
- 3) プラズマ照射面の接触角は照射面をアセトンで清浄することで増加した。

#### 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。