

プラズマ照射により被削面の濡れ性を变化させた SUS304 の被削性について

苦小牧高専 ○星野 啓太, 苦小牧高専 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, 切削抵抗の変動量および仕上げ面粗さが増加した. 被削面へのプラズマ照射の効果は被削面の濡れ性を向上, つまり, 接触角を減少させることにより, 切削抵抗を増加させることが確認できた

1. 緒言

切削加工を行うときには, 工具寿命の向上のために切削油剤を使用することが一般的であるが, 製品の洗浄等によるコスト増加, 作業環境の悪化等の諸問題が発生する. さらに, マシニングセンタ等の加工機を使用する加工工場では消費電力の約 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る¹⁾. 例えば, チタン合金 Ti-6Al-4V の切削加工では, 被削材の熱伝導率が小さく工具材料との親和性も高いため工具摩耗が顕著に現れることから, 現状では切削油剤が必要不可欠となっている²⁾.

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) 等の圧延板を焼きなましたものを切削用試料とし, 所定の予備切削後, その被削面に低温プラズマを照射し, 切込み量 0.02mm, 切削速度 2mm/s で低速二次元切削し, プラズマの照射部における切削抵抗が無照射部に比べ変化することを確認している. これは被削面の酸化被膜がプラズマ照射によるエッジング効果により除去され, 切りくずの排出過程に影響を及ぼしたためとしている³⁾. このプラズマ照射による切削抵抗への効果は, アルミニウムを含む他の金属の乾式切削技術に応用できる可能性があると考えられるが, 切削機構に及ぼすプラズマ照射のメカニズムについては不明な点が多い.

そこで, 本研究では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について調査する. さらに, プラズマ照射の効果の詳細を調べるために, プラズマ照射した被削面の濡れ性すなわち, 接触角を測定し, 切削抵抗および切りくず形状に及ぼす接触角の影響を明らかにすることで, 最終的に SUS304 の切削性に及ぼすプラズマ照射のメカニズム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) で低速二次元切削した. 試料はプラズマ照射部と無照射部を明確に分けた. さらに, 各領域から排出される切りくずが干渉しないように, 試料の端面の 3 箇所を切り欠きを設け, (I)~(IV) の 4 領域に分割した. 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, 被削面を仕上げた. 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 とした. 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),

(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 で行った. 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した.

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被削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⁴⁾ を用いて求めた. 接触角の測定はプラズマ照射直後からの一定時間経過後に測定した. 本切削についても同様の時間間隔で行った.

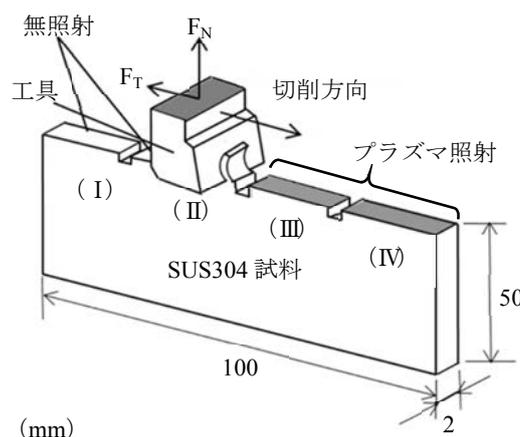


図 1 二次元切削モデル

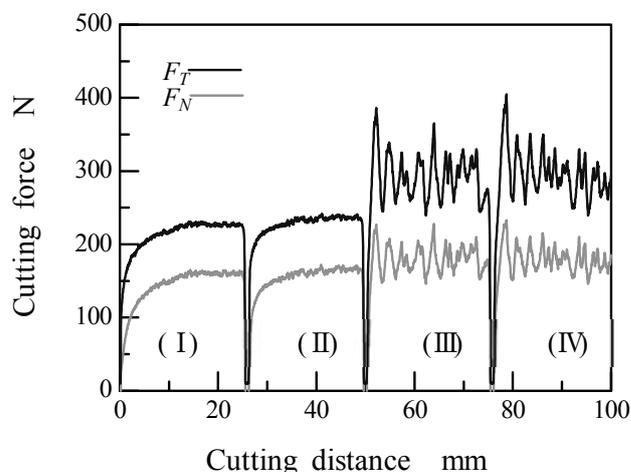


図 2 切削抵抗に及ぼすプラズマ照射の影響

(I)無照射部, (II)無照射部
(III)プラズマ照射部, (IV)プラズマ照射部

3. 実験結果および考察

図2に切削速度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。無照射部の主分力および背分力は切削開始から約10mmで定常状態となっているが, プラズマ照射部では各領域の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。例として主分力では無照射部の最大値は(I)および(II)で約230Nで, その変動量は約10Nを示している。無照射部の各切削抵抗では大きな変動はなく一定値を示している。一方, プラズマ照射部では主分力は(III)では約340N, (IV)では約330Nで, 各変動量は(III)および(IV)のいずれの照射部も無照射部に比べ, 約1.4倍の増加が確認でき, その変動量は5~10倍となっている。この切削抵抗およびその変動量の変化に伴い排出される切りくず形状も変化している。

無照射部(II領域)では切りくず厚さが0.07mmになった。プラズマ照射部(III領域)では0.11mmとプラズマ照射により増加している。切りくずのカール半径についても無照射部は2.7mm, 照射部は3.3mmと無照射部に比べ増加している。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, 切りくず厚さ及びカール半径が増加する。その結果, 切削抵抗およびその変動量が増大したものと考えることができる。

次に被削面に及ぼすプラズマ照射の影響を調べるために接触角を測定する。図3にプラズマ照射面および無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。接触角は多少のばらつきがあるものの無照射部では, 予備切削直後で約44°を示すが時間経過に伴い減少し, 300min以上では約25°を示している。プラズマ照射部ではプラズマ照射直後で約4°であったが約90min後には接触角が一定となり, 約25°となっている。これらの結果より, 被削面にプラズマ照射すると濡れ性が向上し, 接触角が激減する。接触角は照射直後からの経過時間に伴い増加し, その後, 一定となっている。次にこの接触角の変化と切削抵抗の関係について調べる。

図4に(III)領域のプラズマ照射直後, 30, 60 および90min経過後の切削抵抗を示している。材料の弾性変形により切込み量が変化しているため各時間の主分力の最大値が直接比較は難しい。そこで, 主分力の変動量を比較する。照射直後の変動値は約110Nだが, 30min後は約70N, 60min後には約50N, 90min後は10Nと最終的に(I)及び(II)領域無照射部と同様の値を示す。

プラズマ照射の効果はプラズマ照射部の切削抵抗, 切りくず形状, 切りくず厚さ, カール半径の増加や変化から, 同様の現象を, 張らはアルゴン雰囲気内での予備切削後, 表面に不動態被膜が存在しない状態で本切削を行った場合に確認している⁵⁾。つまり, プラズマ照射のエッチング効果にはSUS304の表面に存在する不動態被膜を破壊・除去する効果が期待できる。無照射部では, 被削面に不動態被膜があることで表面層の転位の動きを阻害し, 加工硬化を生じることによって, せん断破壊が容易に起こりやすくなる。その結果, 流れ型の切りくずが排出されると考えられる。プラズマ照射により, この不動態皮膜が消滅すると, 工具刃先前方での加工硬化が生じにくく, 結果としてむしれ型の切りくずが排出されることとなり, 切削抵抗のおよびその変動値が増加すると考えられる。

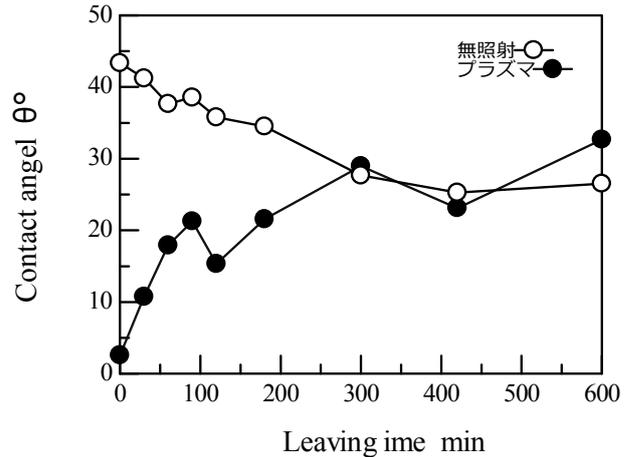


図3 濡れ性に及ぼす時間経過の関係

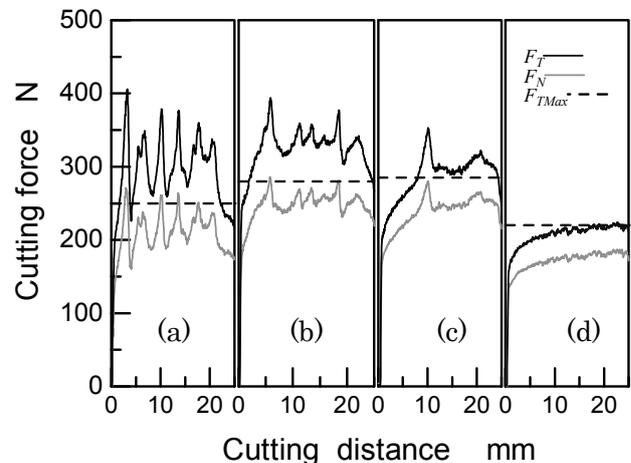


図4 切削抵抗に及ぼす時間経過の関係

(a) 0min, (b) 30min, (c) 60min, (d) 90min

この効果は, プラズマ照射から一定時間, 継続し, この効果の度合いは接触角の変化に対応しており, 被削面の不動態被膜の状態に対応しているものと考えられる。

4. 結言

SUS304の切削試料にプラズマ照射を行い, 低速二次元切削および濡れ性による評価を行った結果, 以下の結論を得た。

- 1) 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。
- 3) 切削抵抗は予備切削面の接触角の増加に伴い減少した。

参考文献

- 1) 機械技術 (日刊工業新聞社), (1999).
- 2) チタンの加工技術 (日刊工業新聞社), (1992), 20.
- 3) 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.
- 4) 福山紅陽, 撥水性の評価表, (2008)
- 5) 張春艶他, 2005年度精密工学会秋季大会学術講演会 (2005), 693.