

プラズマ照射したチタン合金 Ti-6Al-4V の切削

苫小牧高専 ○馬場康成, 藪 静流, 堀川洋平, 池田慎一

要旨

チタン合金 Ti-6Al-4V 試料の被削性に及ぼすプラズマ照射の影響を調べるため、プラズマ照射部および無照射部の低速二次元切削を行った。切削はチタン合金の端面 (2mm×80mm) を 120 mm/min, 切込み量 0.02 mm で行った。その時の切削抵抗の測定および切りくず形状の観察を行った。その結果、無照射部に比べプラズマ照射部の切削抵抗と切りくずのカール半径はわずかではあるが増加した。

1. 緒言

チタンの比重は鋼・ステンレスの約 40% と軽く、また、実用金属のなかでも最大クラスの比強度を持っている。そのため航空機機体やゴルフクラブ、メガネフレームといった高度先端技術の各種機器から日常生活必需品にいたるまで幅広い分野に使用されている。しかし、チタン合金は熱伝導率が低いため切削を行うと発生した熱が工具先端に集中しやすく、さらに、工具材料との親和性が大きいことから切削抵抗が大きくなるため、工具寿命が短くなる。そのため難削材と言われている¹⁾。その対策として、切削油剤の使用が不可欠となる。切削油剤は生産性を向上させるために、加工形態や切削条件を考慮して最適なものが選ばれている。しかし、切削油剤の使用には油剤に含まれる物質による環境、人体への悪影響や破棄物として処理される際のコスト増加といった問題がある。

一方で、切削油剤を全く使用しない完全乾式切削の試みの一つとして、大気圧低温プラズマを利用した切削が行われている。SUS304 の板材の端面にプラズマを照射して低速二次元切削した研究では切削抵抗の増加の増加が確認されている²⁾。プラズマ照射の効果による切削抵抗や表面性状への影響は、切削油剤に係る

問題の改善に貢献できる可能性がある。しかし、このようなプラズマ照射の効果を利用した報告はほとんどなく、その詳細も不明な点が多い。

そこで、本研究ではチタン合金の切削に及ぼすプラズマ照射の効果の詳細に調べるため、チタン合金 Ti-6Al-4V の板材の端面を無照射部およびプラズマ照射部とし低速二次元切削し、そのときの切削抵抗の測定および排出される切りくずの観察を行う。

2. 実験方法

被削材は板厚 2 mm のチタン合金 Ti-6Al-4V 試料 (80 × 30 mm) である。切削はこの試料の端面 (80 × 2 mm) を最大 0.03 mm の切込み量で行うが、排出される切りくずがカールして試料端面に接触し、切りくず形状に影響を及ぼすことが考えられるため、試料端面を 4 領域 (1 領域の切削距離は約 20 mm) になるように 3 箇所に約 1 mm 幅の切り欠きを設けた。この切り欠きによって分割されたそれぞれの領域をプラズマ照射部または無照射部とした。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 を使用した。照射部のプ

表 1 切削条件

予備切削	
切削速度	120 mm/min
切込み量	0.03-0.02-0.01 mm
最終切込み量	0.01 mm
切削油	無
本切削	
切削速度	120 mm/min
切込み量	0.02 mm
切削油	無
プラズマ照射	
照射距離	10mm
照射時間	10sec
切削工具	
工具材種	K-10 (WC)
すくい角	5°
逃げ角	6°
刃先先端の丸み	5 μ m

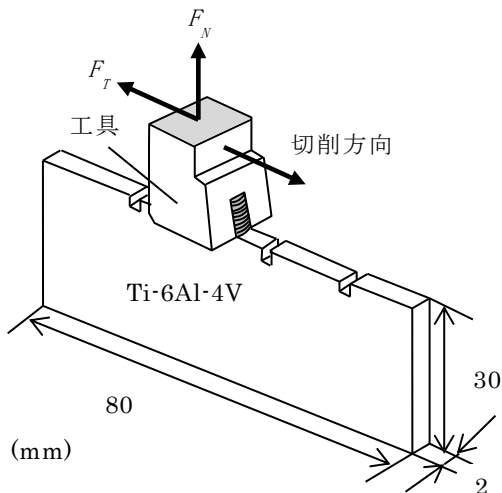


図 1 切削の概要

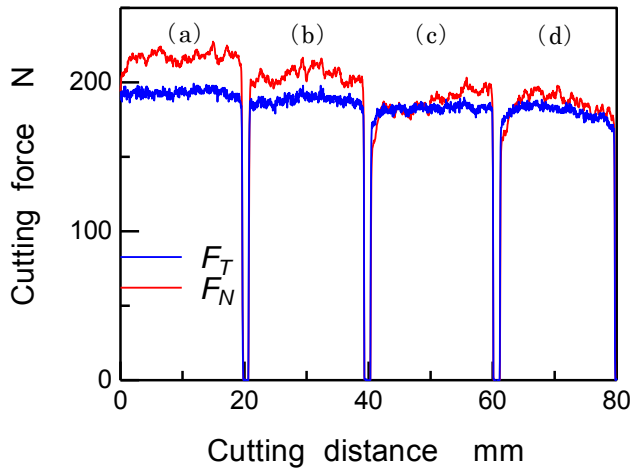


図2 無照射部および照射部の切削抵抗
 最終切込み量：0.01 mm，
 切込み量：0.02 mm，
 切削速度：120 mm/min
 (a)・(b)：照射部，(c)・(d)：無照射部

プラズマ照射時間は 10 sec，照射器と予備切削面との距離は 10 mm とした。本切削を行う前に試料表面のひずみを均一にするため，切込み量 0.03~0.01 mm まで減少させながら一連の予備切削を行った。最終的には 3 種の最終切込み量 0.01, 0.02 および 0.03 mm で予備切削面を仕上げた。本切削は仕上げた予備切削面をアセトンで十分に洗浄した後，4 領域中の 2 領域に大気プラズマを照射した照射部，残りの 2 領域を無照射部として，切込み量 0.02 mm，切削速度 120mm/min で行った。図 1 に実験装置模式図，表 1 に切削条件を示す。

以上の条件で本切削した時の切削抵抗(主分力： F_T ，および背分力： F_N)を圧電式の工具動力計で測定し，切りくず形状は光学顕微鏡で観察を行い，チタン合金の切削に及ぼす大気プラズマの影響を調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 切削抵抗

図 2 に最終切込み量 0.01 mm で仕上げた予備切削面の 4 領域(約 20 mm/領域)をそれぞれ (a)・(b) プラズマ照射部，(c)・(d) 無照射部とし，切込み量 0.02 mm，切削速度 120 mm/min で低速二次元切削したときの主分力および背分力を示す。主分力および背分力はそれぞれの領域での切削開始時から 10mm 近傍で比較する。主分力は照射部 (a) で 199 N，(b) で 198 N となっているが，無照射部 (c) で 187 N，(d) で 187 N となっており，無照射部に比べプラズマ照射部では増加している。背分力についても，主分力と同様に，(a) で 219 N，(b) で 217 N，(c) で 194 N および (d) で 198 N を示しており，(c) および (d) の無照射部に比べ，(a) および (b) の照射部の方が大きな値を示している。このときの切削方向の仕上げ面粗さは最大高さでプラズマの照射の有無に関係なく約 $0.6\mu\text{m}$ を示した。

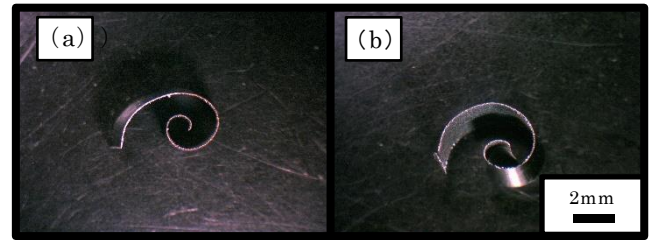


図3 切りくずの光学顕微鏡写真
 (a)：照射部，(b)：無照射部

以上のように，主分力および背分力はプラズマ照射によって増加する傾向を示している。この結果は，プラズマを照射したステンレス鋼の切削の結果と同様で予備切削面の表面に生成されている酸化皮膜(不動態皮膜)が，切削進行に伴う工具前方の盛り上がり部の拡大を抑制し，せん断角を増加させるが，プラズマ照射によって，この酸化皮膜が破壊され，工具前方の盛り上がり部が拡大し，せん断角が小さくなり，最終的に，主分力および背分力が大きくなったものと考えられる。しかし，ステンレス鋼に比べチタン合金の加工硬化指数 n 値が小さいために，プラズマ照射の効果が小さくなったものと考えられる。

3.2 切りくずの観察

図 3 にプラズマ照射部 (a) および無照射部 (b) をそれぞれ切込み量 0.02 mm，切削速度 120 mm/min で低速二次元切削したときの切りくずの光学顕微鏡写真を示す。図 3 (a) 照射部は図 2 の (a) 照射部に，図 3 (b) 無照射部は図 2 (c) 無照射部に対応している。切りくずはいずれもカールした形状で生成され，排出される切りくずの先端(カールした切りくずの外側の端)が被削面と接触するため，プラズマの照射がカール半径に影響を及ぼすことが考えられる。そのため，切りくずのカール半径は各領域の中央付近で比較すると照射部 (a) では 1.7 mm であるのに対し，無照射部 (c) では 1.5mm となっており，照射部に比べるとわずかではあるが小さくなっている。

切りくずのカール半径は工具すくい面と切りくずのすくい面側との接触面積に密接に関係していると考えられる。通常，チタン合金 Ti-6Al-4V を切削すると鋸刃状の切りくずが排出されると，せん断角が大きくなり，工具すくい面と切りくずの接触面積が小さくなるため，工具刃先に切削抵抗が集中しチッピングを起こすなど工具摩耗が激しくなるといわれている³⁾。本研究で行ったチタン合金の切削では，プラズマ照射により，工具すくい面と切りくずの接触面積が増加することにより，切削抵抗は増加するものの，工具刃先への切削抵抗の集中が緩和され，工具摩耗を抑制する可能性があると考えられる。

引用文献

- 1) 狩野勝吉，切削加工ハンドブック，森北出版(株)。
- 2) 張春艶，他 2 名，2005 年度精密工学会 秋季大会 学術講演会，(2005) 693。
- 3) チタンの加工技術(日刊工業新聞社)，(1992) 20。