

難加工材高度切削技術に関する試験研究（第3報）

早乙女 秀丸* 行武 栄太郎* 齋藤 和哉*

1. はじめに

機械加工業界は海外との厳しいコスト競争により、単純加工部品から高付加価値部品への対応が生き残りのカギとなっている。現在この高付加価値部品の多くは医療産業や航空機産業の部品であり、材質はチタン等の難加工材が多用されている。

本研究では、今後成長が見込まれる医療関連部品産業を念頭におき、感染症や汚染を防ぐため切削油を使用しない切削技術の開発を行った。

2. 目的

本研究では切削油を使用しない切削加工を実現するために、クーラントに強アルカリイオン水を使用した加工技術の開発を行った。

強アルカリイオン水とは pH12 以上の電解水で、主に部品の洗浄に使用されている。酸化還元電位(ORP)が非常に低いことから錆の発生が少ないとされている。また、表1に示すような特徴があり、切削油の代替品として期待が高まっている水である。しかし、切削加工に使用するためには、潤滑性等について不明な点があり、加工条件や最適工具条件を研究する必要がある。

本報では、クーラントに強アルカリイオン水を使用したセミドライ加工に関する実験結果を報告する。

表1 強アルカリ水の特徴

| | 強アルカリ水 | 従来の切削油 |
|---------|--------|--------|
| 潤滑性 | △未知 | ○高い |
| 冷却性 | ○ある | ○ある |
| 洗浄 | ○極めて容易 | ×必須 |
| 切屑リサイクル | ○極めて容易 | ×洗浄が必要 |
| 廃油処理 | ○容易 | ×処理が必要 |

3. 研究内容

3.1 強アルカリイオン水について

実験に使用した強アルカリイオン水は、山田マシンツール製アルクールで生成した。この装置は図1に示す陽イオン交換膜を使用した構造になっており、プラス極側に電解質水溶液（炭酸カリウム水溶液）を循環させ、マイナス極側には純水を通過させる方式を採用している。

この手法で生成させた強アルカリイオン水（pH≧12）は不純物が少なく、カリウムイオンが0.18%程度である。

本年度は、強アルカリイオン水の加工機への影響について調査するため、浸漬試験及び電気化学測定を行った。なお、調査では加工機の代わりとして、機械部品に多用されている機械構造用炭素鋼 S45C を試験材として使用した。

浸漬試験については、図2の状態試験片を浸漬液に浸し、表2の条件で試験を行った。

また、電気化学測定については、図3に示す装置構成で測定を行い、水溶液については強アルカリイオン水（pH12.5）、水道水、塩水を使用した。なお、水溶性切削油を比較液として使用しなかったのは、油分が対極や試験片に付着すると、正確な測定が行えないためである。

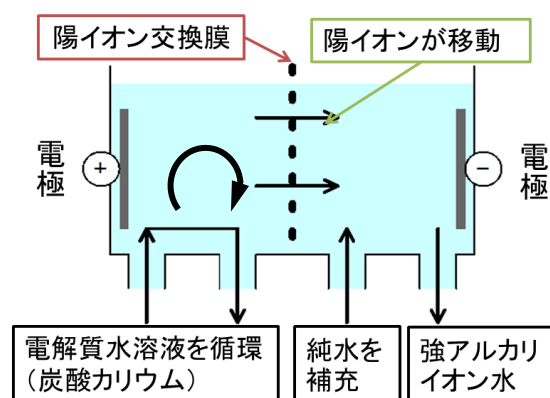


図1 強アルカリイオン水生成装置内部構造



図2 浸漬試験の状態

表2 浸漬試験の条件

| 項目 | 内容 |
|------|---|
| 試験片 | S45C 丸棒 |
| 浸漬時間 | 40 日間（10 日間ごとに撮影） |
| 浸漬温度 | 20℃ |
| 浸漬液 | 強アルカリイオン水（pH12.5）、 水溶性切削油（10%）、 水道水、塩水（5%）、 |
| その他 | 強アルカリイオン水のみ、10 日ごとに pH を測定 |

*先端材料部門

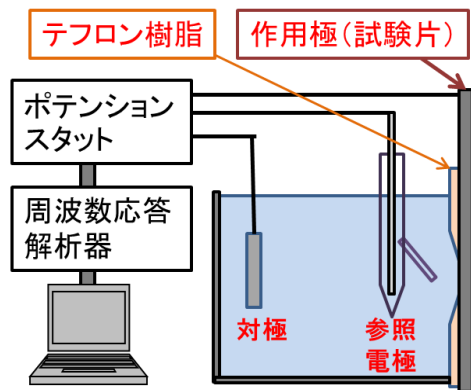


図3 電気化学測定概略図

3.2 被削材について

被削材には、φ60mmの純チタンTB340H（熱間圧延、ピーリング仕上げ）を用いた。被削材の機械的特性を表3に示す。

表3 被削材の機械的特性

| 耐力 (MPa) | 引張強度 (MPa) | 伸び (%) | 硬さ (HV0.5) | 被削性指数 |
|----------|------------|--------|------------|-------|
| 310 | 418 | 33 | 160 | 30 |

3.3 使用工具について

工具はチタン加工に推奨されている日本製チップを使用した。詳細仕様を表4に、ブレードの形状を図4に示す。

表4 チップの仕様

| 形状 | コーティング (μm) | 刃先半径 (μm) | 硬さ HV0.5 |
|------------|----------------|---------------|----------|
| CNMG120408 | なし | 16 | 1930 |
| 推奨切込 (mm) | 推奨切削速度 (m/min) | 推奨送り (mm/rev) | |
| 0.5~4 | 40~70 | 0.1~0.25 | |

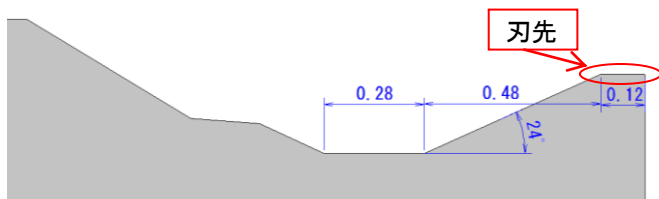


図4 ブレード形状

3.4 切削シミュレーション (CAE) について

切削試験の切削条件を決めるにあたり、米国THIRD WAVE SYSTEMSが開発した金属切削用有限要素法プログラムAdvantEdgeFEMを使用し、解析を行った。このCAEは切削加工に特化したソフトウェアであり、旋削やミーリング、ドリル加工などの解析ができ、2次元または3次元で結果を表示することが可能である。

また、解析結果の精度に大きく係わる解析モデルの要素分割や境界条件については、条件に合わせてソフトウェアが自動的に行う仕様となっている。

図5は被削材の違いによる切屑形状解析例であり、チタンがS45Cに比べ切屑が長く細くなる事が確認できる。このように解析結果を重ね合わせることで、被削材や加工条件の違いによる切屑形状の違い等を比較することが可能である。

本事業ではこのCAEを使用し、切屑の形状、切削温度の2点について解析を行い、加工条件の違いによる比較を行った。

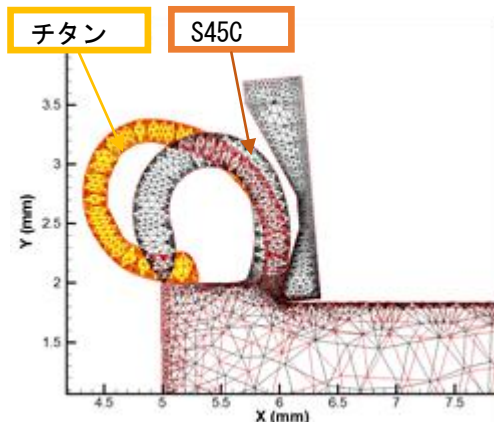


図5 CAE 設定画面

3.5 切削試験について

切削試験は、滝澤鉄工所製TCN-2000L6Yを使用した。本機器は様々な切削液に対応できるように、タンクの塗装をエポキシ系に変更し、スライドカバー等へ防錆対策を施している。

セミドライ装置はポンプを使用せずチャンバー内で生成されたミストを加工点に供給するフジBC技研製セミドライ装置MK-Vを使用した。これは、一般的なセミドライ装置はポンプ等の摺動部品で噴霧液を潤滑液として使用しており、強アルカリイオン水のように潤滑性が未知の液体は使用できないためである。また、工具フォルダについても、加工点に集中的にミストを噴霧できるように図6に示す専用フォルダを使用した。

なお、切削試験では加工条件の内、送り速度 (0.160mm/rev) を固定し、目標の算術平均粗さRaが約1μmとなるように設定した。また、周速についてはCAEの結果を元に設定を行った。

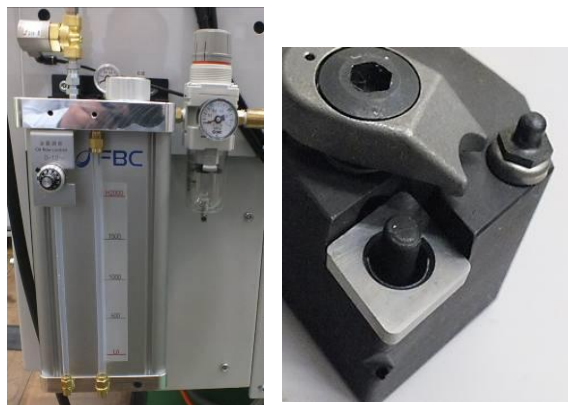


図6 セミドライ装置 (左: 本体, 右: 専用フォルダ)

3.6 評価機器について

切削工具に加わる三分力については、キスラー製の動力計9129AAを使用して測定を行った。

被削材の評価には、アメテック製表面粗さ輪郭形状測定機フォームタリサーフPGI1240でRaを、アメテック製真円度測定器タリロンド585で円筒度を評価した。

4. 研究結果と考察

4.1 強アルカリイオン水の加工機への影響

4.1.1 浸漬試験

図7に浸漬試験の結果を示す。比較として使用した水道水と塩水については、20日目の段階で錆が全体に発生しており、40日後の試験片は図8のとおり、黒く変色しているのが確認できた。それに対して、強アルカリイオン水と水溶性切削油は40日後も変化がなく、試験片も光沢があるのが確認できた。

図9は強アルカリイオン水のpH変化を表したグラフであるが、40日間で大きな変化はなかった。

| | 強アルカリイオン水 | 水溶性切削油 | 水道水 | 塩水 |
|------|-----------|--------|-----|----|
| 初日 | | | | |
| 20日目 | | | | |
| 40日目 | | | | |

図7 浸漬試験の結果

| 強アルカリイオン水 | 水溶性切削油 | 水道水 | 塩水 |
|-----------|--------|-----|----|
| | | | |

図8 40日後の試験片

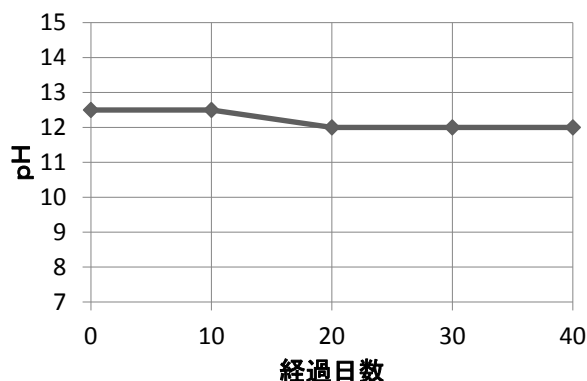


図9 強アルカリイオン水のpH変化

4.1.2 電気化学測定

図10は横軸に交流抵抗の実数成分 (Z') を、縦軸に交流抵抗の虚数 (負) 成分 ($-Z''$) を描いたナイキストプロットと呼ばれる、電気化学測定の結果である。一般的にグラフの半円弧が大きいほど、それぞれの抵抗成分が大きいことを示しており、腐食反応が起こりにくい。

今回の場合、塩水、水道水、強アルカリイオン水の順に半円弧が大きくなっており、強アルカリイオン水は他の水溶液に比べ、S45C材に対して腐食を起こしにくいことが確認できた。

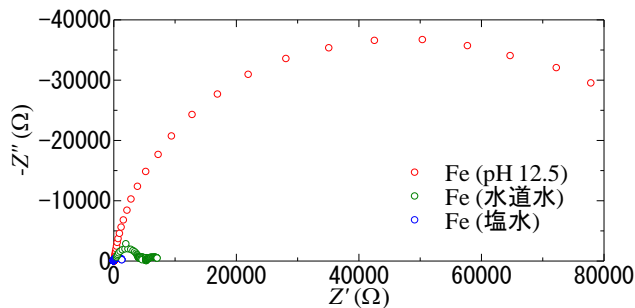


図10 電気化学測定の結果

4.2 CAEによる最適化

送り速度0.160mm/rev, 工具形状を固定し, 切削速度を変数としたCAEを行い, 最適な加工条件の検討を行った。

切削速度と刃先温度の解析結果については, 推奨切削速度の10倍にあたる550m/minまで解析を行ったが, 超硬工具の耐熱温度である800℃を超えることはなかった。

図11は, 切削速度55m/minと140m/minの切屑解析結果を重ねたものである。この結果から切削速度が速い140m/minの方が, 切屑が薄く長くなるのが分かる。これを踏まえ, 切削速度と切屑厚さの関係をまとめたのが図12になる。

切屑は薄く長くなると, 被削材への絡まり等を起こす可能性があり, 加工上良くない。最適値を決めるにあたり, 1回転あたりの送り量0.160mmの90%である0.145mmを切屑厚さの下限値として設定し, 70~140m/min付近を切削速度の最適値とした。

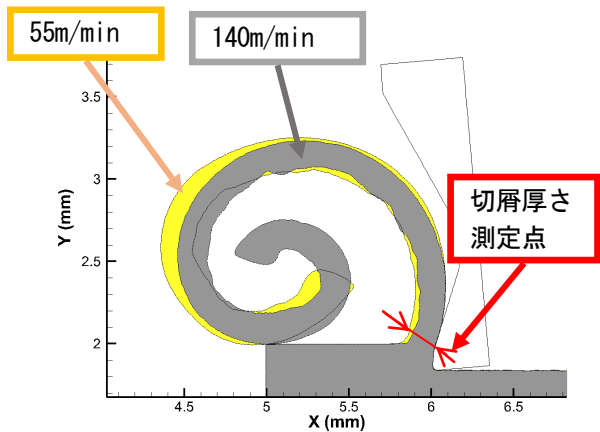


図11 切屑形状の比較

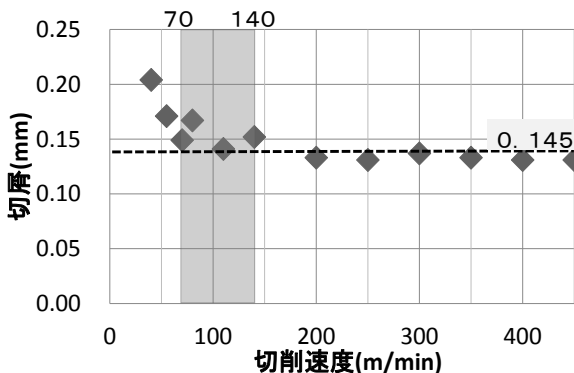


図12 切削速度と切屑厚さ

4.3 加工試験の結果

強アルカリイオン水のセミドライ加工を検討するため、切込量1.0mm、送り速度0.160mm/rev、工具形状固定で加工試験を実施した。切削速度については、CAEの結果をもとに、110m/minに設定した。

図13は表面粗さの測定結果である。比較として行ったドライ加工は切削距離2000m付近で刃先の破損もしくは摩耗が始まり、急激に粗さの値が大きくなる。それに対し、セミドライ加工は加工開始時の精度を維持し、切削距離2500mまで目標のRa1 μ mに近い値となった。

切削動力に関しても図14～16のとおり、ドライ加工は切削距離2000m以降負荷が増加しているのに対して、セミドライ加工はほぼ一定であるのが分かる。

この結果は円筒度（2500m加工後の被削材）の結果にも表れており、ドライ加工は25.25 μ m、セミドライ加工では19.23 μ mとなり、セミドライ加工の方が良好な結果となった。

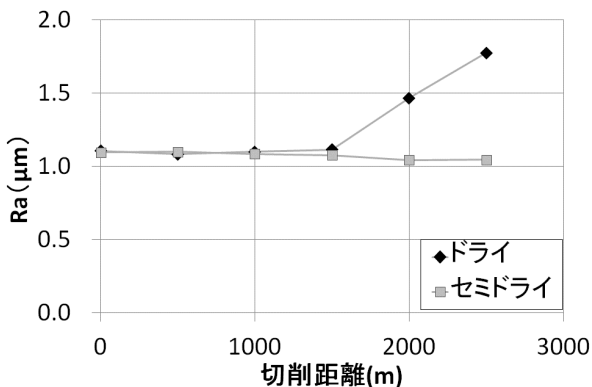


図13 切削距離と表面粗さ Ra

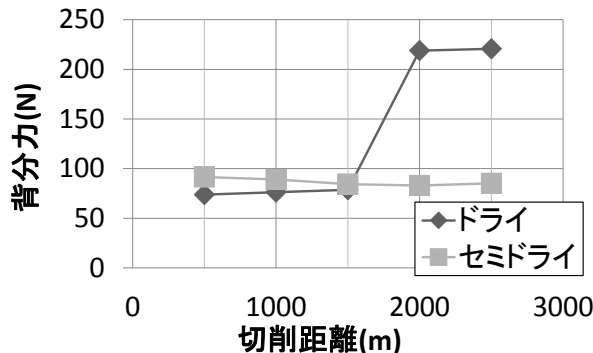


図14 切削距離と背分力

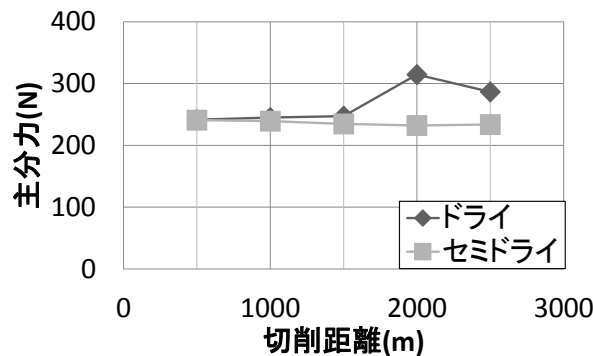


図15 切削距離と主分力

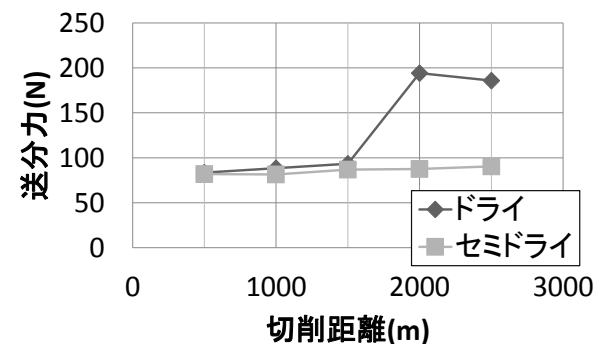


図16 切削距離と送分力

5. まとめ

- 1) 浸漬試験及び電気化学測定の結果から、強アルカリイオン水が機械へ与える影響は少ないことを確認した。
- 2) 表面粗さや背分力の結果から、強アルカリイオン水を使用したセミドライ加工は、工具摩耗の防止等にある一定の効果があることが確認できた。

6. 参考文献

- 1) 池堂雄介：加工効率と環境改善を両立する次世代加工液「アルクール」、機械技術、第60巻、第9号(2012) pp. 66-71
- 2) 山田雅英, 山田晴久, 佐藤貴之, 山口伸一郎, 岩井学：強アルカリイオン水による除去加工の研究—第1報：切削加工への適用, 2013年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集 (2013) pp. 383-384