

難加工材高度切削技術に関する試験研究

早乙女 秀丸* 行武 栄太郎* 磯山 亮* 上田 聖* 石川 裕理* 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。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以上の電解水であり、主に部品の洗浄に使用されている水のことである。酸化還元電位(ORP)が非常に低いことからさび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の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、潤滑性や冷却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。

本年度は、クーラントに強アルカリイオン水を使用したウェット加工及びセミドライ加工について実験を行い、従来の切削油を使用した加工及び何も使用しないドライ加工との比較を行ったので、その報告をする。

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(図1)で生成した。この装置は図2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 \geq 12)には不純物は少なく、カリウムイオンが0.18%程度である。



図1 強アルカリイオン水生成装置

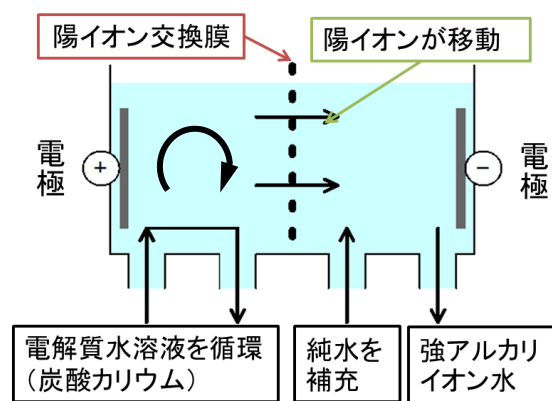


図2 強アルカリイオン水生成装置内部構造

3.2 被削材について

被削材には、 ϕ 60mm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2に、外周から中心に向けての硬さ分布を図3に示す。

表2 機械的特性

0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
310	418	33

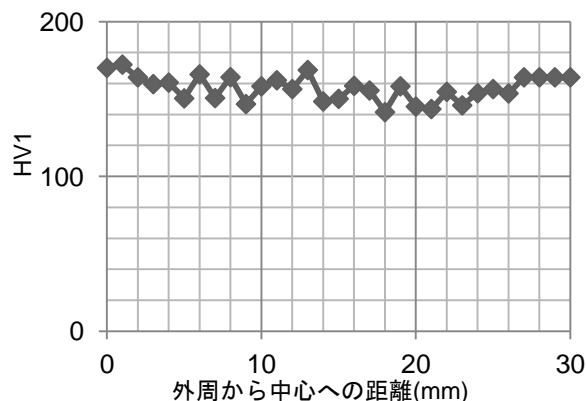


図3 被削材の硬さ分布

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3に、ブレーカの形状を図4に示す。

表3 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	

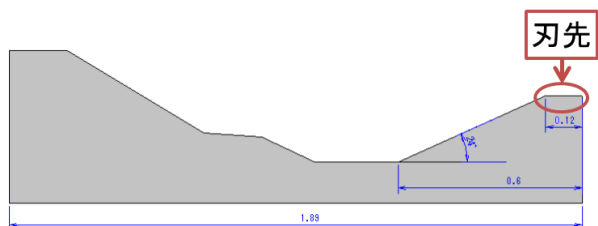


図4 ブレーカ形状

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できる。解析条件は図5に示す設定画面において行い、工具及び被削材の形状や材料特性、加工条件等について入力を行う。また、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。

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。

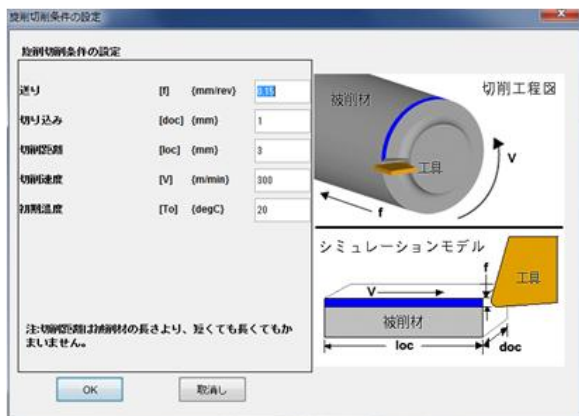


図5 CAE 設定画面

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。また、強アルカリイオン水に対応したフジBC技研製セミドライ装置MK-Vや高圧クーラントが搭載されており、クーラント条件を変更した試験が可能となっている (図6)。

切削試験では加工条件の内、切込 (0.5mm) と送り速度 (0.160mm/rev) を固定し、目標の算術平均粗さ Raが約1.0 μm 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 切削試験機 (上: 旋盤, 下: セミドライ装置)

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。また、三分力とともに切屑の生成過程やクーラントの状況を確認するためにフォトロン製のハイスピードカメラFASTCAM SA5を使用し、刃先近傍の観察を行った (図8)。

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PGI 1240 (図9) で、RaとRSm (粗さ曲線要素の平均長さ) について評価を行った。

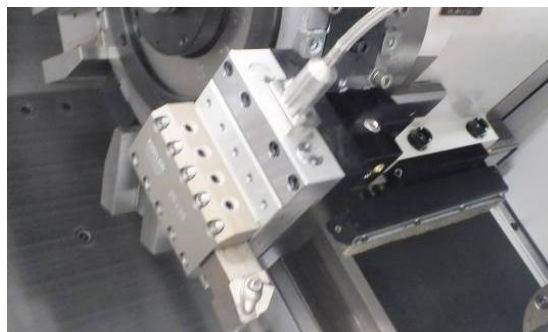


図7 切削動力計

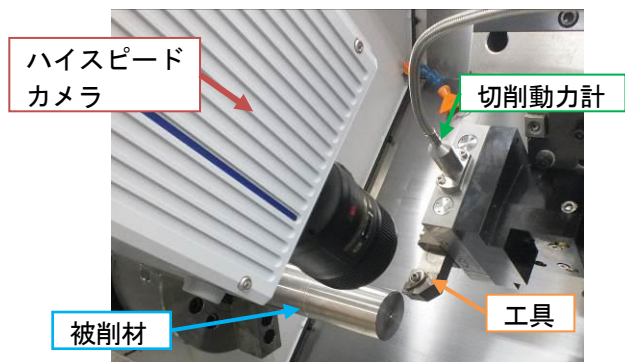


図8 計測器の配置



図9 表面粗さ輪郭形状測定機

4. 研究結果と考察

4.1 シミュレーションによる最適化

切込量0.5mm, 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シミュレーションを行い, 最適な加工条件の検討を行った。

切削速度110m/minのシミュレーション結果を図10に, 切削速度と刃先温度の解析結果を図11に示す。切削速度の向上とともに刃先温度も上昇していくことが確認できる。超硬工具の耐熱温度は800℃近傍であるが, 推奨切削速度の7倍以上にあたる550m/minまで上げて刃先は550℃であり, 耐熱温度を超えることはなかった。

図12は切削速度と切屑厚さの解析結果であり, 切削速度の向上とともに切屑が薄くなっていくことが確認できる。切り屑が薄くなると折れにくくなり, 被削材への絡まり等を起こす長い切り屑となる。

上記のことを参考に最適値を決めるにあたっては, 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。

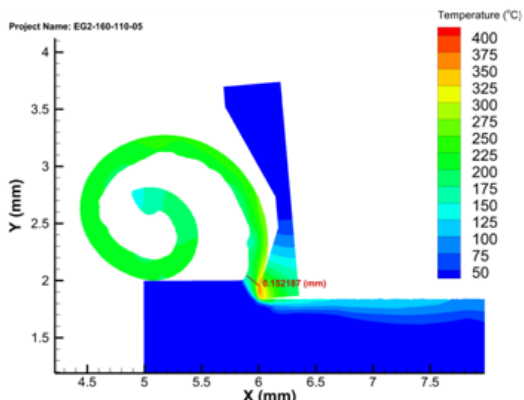


図10 温度分布と切屑形状 (切削速度110m/min)

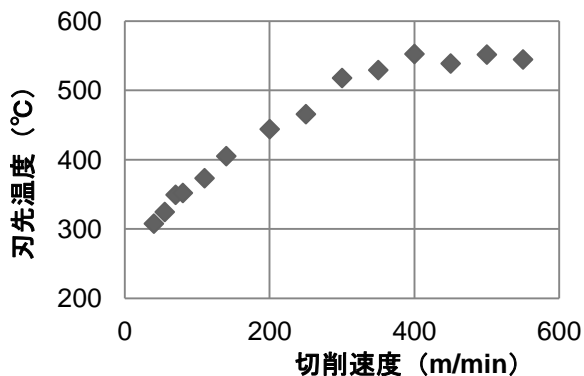


図11 切削速度と刃先温度

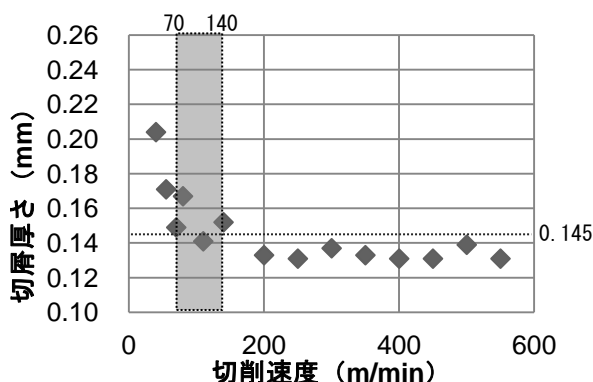


図12 切削速度と切屑厚さ

4.2 加工試験の結果

シミュレーションの結果を元に切削速度を55・70・110・140m/minに設定し, 切込量0.5mm, 送り速度0.160mm/rev, 工具形状は固定し加工試験を行った。また, クーラントについては, ドライ, 水溶性切削油のウェット, 強アルカリオン水のウェット及びセミドライの計4種類について試験を行った。

図13, 14は各加工の表面粗さの測定結果である。強アルカリオン水のウェット加工については表面性状が目標に近く, ほぼ切削油と同等の精度であった。これは, 図15のとおり刃先まで強アルカリオン水が潤沢に行き渡っており, 効率的に冷却されたためと思われる。強アルカリオン水のセミドライ加工については, 55~70m/minでは目標に近い最適な加工であった。その他, 切削動力については図16~18のとおり, どの条件においても大きな差は見られなかった。

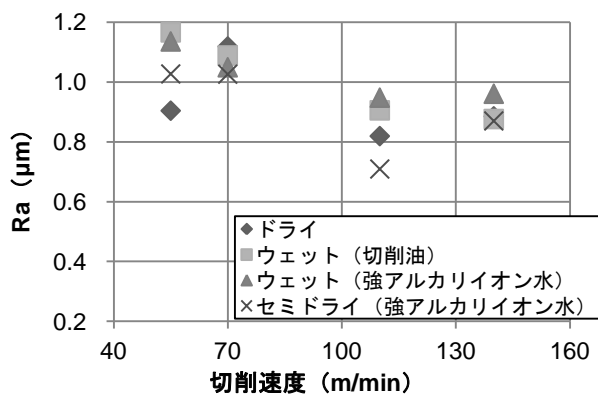


図13 切削速度と表面粗さ Ra

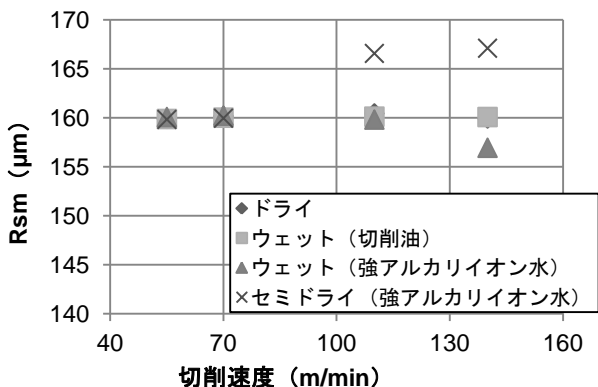


図14 切削速度と表面粗さ Rsm

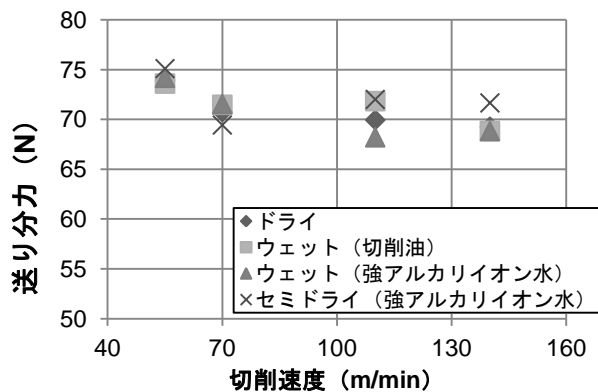


図18 切削速度と送り分力



図15 工具刃先 (ウェット・強アルカリイオン水)

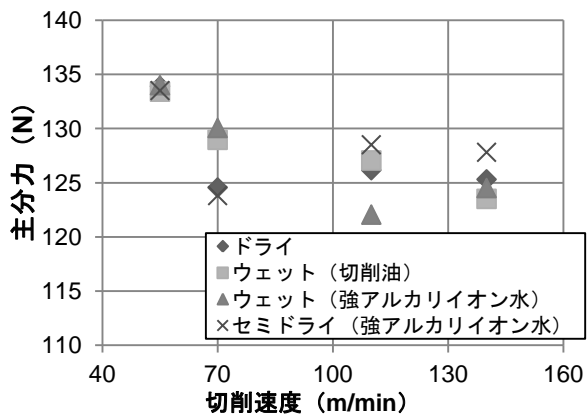


図16 切削速度と主分力

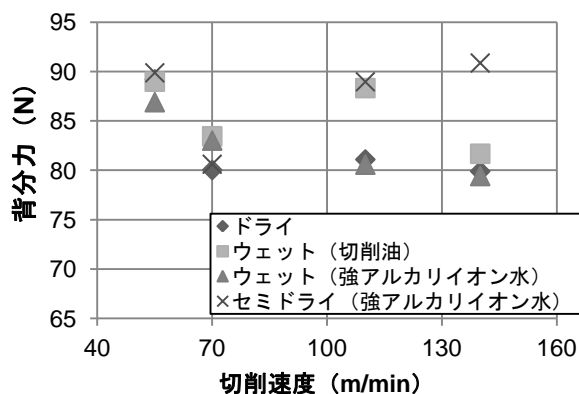


図17 切削速度と背分力

5. まとめ

- (1) 切込量0.5mm, 送り速度0.160mm/revの切削シミュレーションにおいて, 切屑厚さの下限を0.145mmとした場合, 切削速度70~140m/minが最適値である。
- (2) ウェット加工において, 0.5mmと切込量が浅い条件では強アルカリイオン水と水溶性切削油はほぼ同等程度に加工ができることが確認できた。
- (3) 強アルカリイオン水によるセミドライ加工は, ウェット加工より切削速度が劣るものの, 70m/min近傍での加工ではウェット加工と同等であることが確認できた。

6. 今後の課題

実用に向けては, 切込量を増やした条件や工具摩耗等を明らかにする必要があり, さらなる加工データの蓄積が課題である。

また, 強アルカリイオン水の使用を減らすセミドライ加工については, ウェット加工と同等の切削速度に上げられるように, 引き続きH27年度で検討及び実験を進めていき解決を図りたい。

7. 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