ノート

クーラントに添加したアルカリ電解水とバブル水が工具寿命に与える影響

遠藤　桂一郎[*]　岡田　英樹[*]　中川　昌幸[**]
嶋　優仁[***]　廣井　奈緒子[***]　山口　貴史[***]

The Effects of Coolant with Alkali Water and Bubble Water on Tool Life

ENDO Keiichiro[*], OKADA Hideki[*], NAKAGAWA Masayuki[**],
SHIMA Yuji[***], HIROI Naoko[***] and YAMAGUCHI Takashi[***]

1. 緒　　言

切削加工の現場では，加工性を向上させる手段のひとつとして切削油剤が使用されている。主に水溶性切削油剤を水で希釈したクーラントが使用されているが，工場環境悪化ならびに加工特性悪化に関する問題がある。それらは，クーラントの腐敗による悪臭の発生，クーラントの切削性能の低下によるものである。そこで，腐敗抑制効果に加えて加工特性の向上が期待できるアルカリ電解水が現在注目されている。過去の研究では，アルカリ電解水やバブル水を添加することによる工具寿命向上効果が報告[1)]されている。対象材料は炭素鋼 S45C と難削材のチタン合金(Ti-6Al-4V)である。

本研究では，過去に報告されていない難削材の Ni 基耐熱合金インコネルを対象として，加工特性を確認した。使用したクーラントは，水溶性切削油剤を水，アルカリ電解水，バブル水を添加したアルカリ電解水で希釈したものである。アルカリ電解水とバブル水が工具寿命に与える影響を調べるために，ドリルによる加工試験によって，工具寿命の確認と加工穴内面の表面粗さ測定，加工中の切削抵抗の測定を行った。あわせて，アルカリ電解水とバブル水を添加したクーラント特性との関係を調査した。

* 研究開発センター
** 下越技術支援センター
*** 株式会社山口製作所

2. 実験方法

2.1　供試材

本研究では難削材であるインコネル 600 を用いた。形状は 120mm×120mm，板厚 t = 5mm である。インコネル 600 の代表的な物理的性質[2)]と（株）リガク製（型番 ZSX Primus Ⅱ）の蛍光 X 線分析装置で測定した主要な化学成分を表 1，表 2 にそれぞれ示す。日本電子（株）製 FE-SEM（型番 JSM-7800F PRIME）で観察した組織を図 1 に示す。

表 1　物理的性質

ブリネル硬さ		120～290
ヤング率	（GPa）	157
引張強さ	（MPa）	600～1200
融点	（°C）	1370～1425
熱膨張係数（20～100°C）	（10^{-6}/K）	11.5～13.3
熱伝導率（23°C）	（$Wm^{-1}K^{-1}$）	14.8

表 2　主要な化学成分

単位:mass%

Ni	Cr	Fe	Mn	Si	Al	Ti
72.01	17.24	9.90	0.28	0.18	0.09	0.15

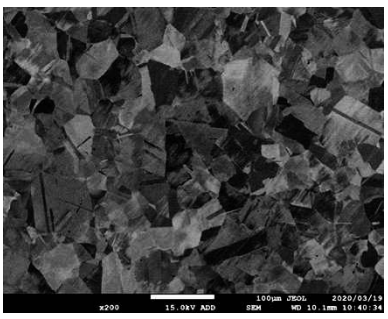

図 1　組織

2.2　工具寿命の比較試験とその品質評価方法

クーラント W，クーラント A，クーラント AB の 3 条件について，工具寿命を比較するためにドリル加工試験を行った。表 3 に切削条件とクーラントの混合条件を示す。加工試験装置として大隈豊和機械（株）製立型マシニングセンタ（型番 MILLAC-5EX）を使用した。試験はクーラント W について 6 回，クーラント A について 2 回，クーラント AB について 2 回行った。本研究では工具寿命は工具が折損するまでの加工穴数とした。工具寿命比較試験の模式図を図 2 に示す。各クーラントにおいて，クーラントタンク内のクーラントを入れ替えて加工試験を行った。クーラント AB はクーラントノズル手前のバブル発生装置を通してバブルを発生させたのち，ワークへ供給した。

その時の加工穴をワイヤー放電加工機で半割れにし，（株）東京精密製の接触式形状粗さ測定機（型番 5000DX）を用いて，穴内面の表面粗さ（算術平均粗さ Ra）を測定した。カットオフ波長 λc は 0.8mm とし，測定長さは加工開始位置付近から 3mm とした。測定回数は各クーラントにおいて各 3 回とした。

2.3　切削抵抗の測定方法

クーラント W，クーラント A，クーラント AB の 3 条件について，ドリル加工試験を行った。表 4 にクーラントの混合条件を示す。切削条件と加工試験装置は 2.2 と同じとした。切削抵抗測定の模式図を図 3 に示す。切削抵抗を測定するためにワーク下部に切削動力計を設置し，各クーラントにおけるスラスト方向の切削抵抗を測定した。切削抵抗は日本キスラー（株）製の切削動力計（型番 9271A）を用いて測定し，（株）共和電業製のデータロガー（型番 EDX1500A）によってデータを記録した。クーラントは，加工点より高い箇所に設置したクーラントタンクから自由落下でワークへ供給した。各クーラントにおいてクーラントタンク内のクーラントを入れ替えて加工試験を行った。加工試験は工具 1 本につき 1 穴加工することとし，各クーラントにおいて 3 回行った。ただし加工中に折損したデータは除いた。

表 3　切削条件とクーラントの混合条件

項目	条件
工具	TiNコートハイス鋼ドリル(直径Φ2.0mm)
主軸回転数	398min^{-1}
切削速度	2.5m/min
送り量	0.05mm/rev
ステップ量	0.75mm/step
加工深さ	貫通穴
クーラントW	水溶性切削油剤5%＋水95%
クーラントA	水溶性切削油剤5%＋アルカリ電解水95%
クーラントAB	水溶性切削油剤5%＋アルカリ電解水95%にバブルを発生させたもの

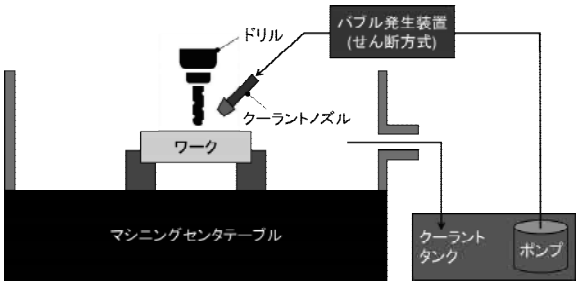

図 2　工具寿命の比較試験

表 4　クーラントの混合条件

項目	条件
クーラントW	水溶性切削油剤5%＋水95%
クーラントA	水溶性切削油剤5%＋アルカリ電解水10%＋水85%
クーラントAB	水溶性切削油剤5%＋アルカリ電解水10%＋バブル水85%

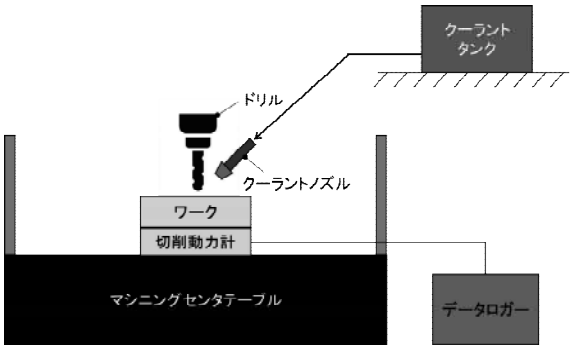

図 3　切削抵抗の測定

2.4　クーラントの特性評価方法

クーラント W，クーラント A，クーラント AB を用いて，蒸発熱と液滴半径を測定した。クーラントの混合条件を表 5 に示す。蒸発熱はティー・エイ・インスツルメント・ジャパン（株）製の示差走査熱量計（型番 DSC250）を用いて，約 15mg のクーラントを 40℃から 50℃に加熱し，保持して蒸発熱量を測定した。濡れ性を評価するための液滴半径は協和界面科学（株）製の接触角計（型番 DMs-401）を用いて，PET 材表面に 1μL のクーラントを滴下し，約 6 分後の液滴半径をカメラで各 2 回測定した。

3. 結果と考察

3.1　工具寿命と穴内面の表面粗さとの関係

工具寿命の比較試験結果を図 4 に示す。クーラント W およびクーラント A と比べてクーラント AB は工具寿命が向上した。この時の加工穴内面の表面粗さを測定した結果を図 5 に示す。クーラント W とクーラント A では工具寿命が 20 穴程度であるため，同程度の加工穴数として 1 穴目と 20 穴目の粗さを測定し比較した。1 穴目はクーラント W と A において粗さに大きな差がないが，クーラント AB は若干小さかった。20 穴目はクーラント W では著しく粗さが増加していた。これは粗さと工具摩耗の関係 [3] によって，工具摩耗が進行し寿命に至ったと考えられる。クーラント A および AB の粗さは 20 穴目でもあまり増加しなかった。これらは 20 穴目においても工具摩耗量は少ないと考えられる。実際にクーラント AB の工具寿命は最大 150 穴まで加工が可能であった。しかしクーラント A は粗さが小さいが工具寿命は短かった。これは工具摩耗の進行によるものではなく，切くずのかみ込みによる折損ではないかと考えられる。したがってクーラントの効果を確認する試験を行う場合は，切りくずの排出を促すスルーホール付きのドリルを用いることが望ましいと思われる。

3.2　切削抵抗の測定結果

切削抵抗の測定結果を図 6 に示す。グラフの縦軸は加工によってドリルがワークを貫通するまでの切削抵抗の積算値とした。クーラント W と比べてクーラント A は切削抵抗が若干低下し，クーラント AB はさらに低下した。

表 5　クーラントの混合条件

項目	条件
クーラントW	水溶性切削油剤10%＋水90%
クーラントA	水溶性切削油剤10%＋アルカリ電解水10%＋水80%
クーラントAB	水溶性切削油剤10%＋アルカリ電解水10%＋バブル水80%

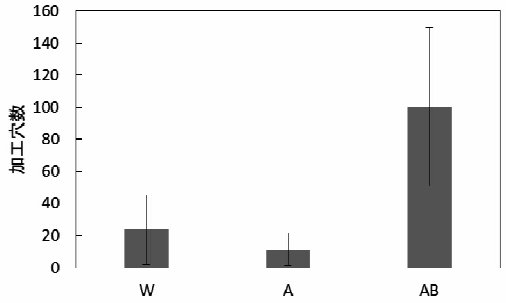

図 4　工具寿命

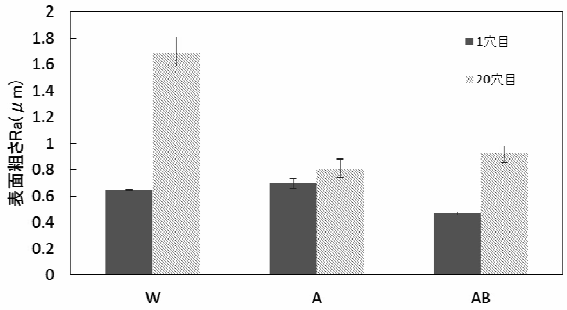

図 5　表面粗さ測定結果

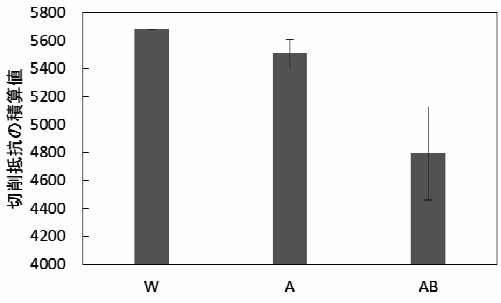

図 6　切削抵抗の測定結果

3.3　クーラントの特性評価結果

蒸発熱と液滴半径の測定結果を図 7 と図 8 に示す。蒸発熱はすべてのクーラントにおいてほとんど差がなかった。液滴半径は AB が最も大きく，次にクーラント A が大きかった。クーラント W はクーラント A および AB と比べて小さかった。この結果から，アルカリ電解水を添加したものは濡れ性が高く，バブル水を加えるとさらに濡れ性が向上することがいえる。したがって，濡れ性が高いことで浸透しやすくなり，表面との接触面積が大きくなるため潤滑性や冷却性が向上すると考えられる。

3.4　加工特性とクーラント特性の関係

3.1 と 3.2 によってクーラント AB を用いた加工特性として，工具寿命の向上や切削抵抗の低下がみられた。

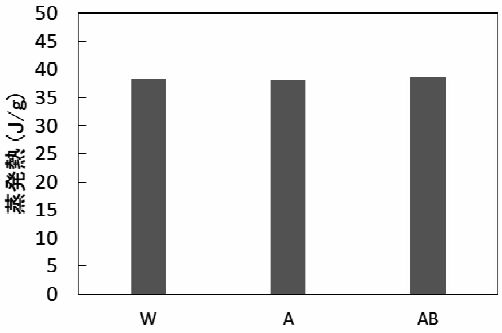

図 7　蒸発熱の測定結果

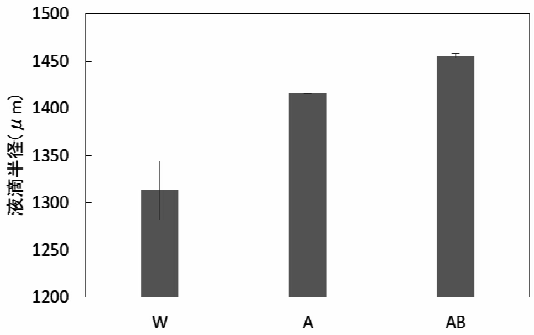

図 8　液滴半径の測定結果

これは前項 3.3 で示されたようにクーラントにアルカリ電解水とバブル水を添加することによって，高い濡れ性が得られ，潤滑性や冷却性が向上したことによる効果と考えられる。

4. 結　　言

(1) 本研究ではアルカリ電解水とバブル水を含むクーラントを用いてインコネル 600 を対象に，工具寿命比較試験，切削抵抗の測定を行った。併せてクーラント特性評価を行った。

(2) 工具寿命の比較試験を行った結果，アルカリ電解水を添加したクーラントにバブルを発生させたものは，工具寿命が向上した。その時の加工穴内面の粗さも小さかった。

(3) 切削抵抗測定の結果，クーラントにアルカリ電解水を添加したものは切削抵抗が低下した。アルカリ電解水にバブル水を添加することでさらに低下した。

(4) クーラントの特性を評価した結果，アルカリ電解水を添加したものは濡れ性が高いことがわかった。アルカリ電解水にバブル水を添加することでさらに濡れ性が向上することがわかった。

参考文献

1) 田辺郁男，ジュニオールライムンドダクルス，イエートットソー，富岡恭平，高橋智，”マイクロバブルを混入した強アルカリ水を用いたドリル加工技術”，日本機械学会論文集，79 巻，799 号，2013，pp．299-309.

2) インコネルとは，http://www.rms-takayama.com/inconel/inconel.html，2020 年 3 月 16 日.

3) 佐田登志夫，天野和義，”切削仕上面の粗さとバイトの摩耗との関連”，精密機械，26 巻，310 号，1960，pp.40-44.