

油膜付き水滴加工液の研削加工への応用

佐藤豊^{*1}、河田圭一^{*1}、水野和康^{*1}

Application of Oil Film on Water Fog Cutting Fluid to Surface Grinding

Yutaka SATO , Keiichi KAWATA and Kazuyasu MIZUNO

Industrial Technology Division, AITEC^{*1}

油膜付き水滴加工液の研削加工への適用を目的として、油膜付き水滴の冷却性能、研削抵抗、仕上げ面粗さ、研削比を水溶性研削液のそれらと比較した。横軸平面研削盤を用いて、ダイス鋼 SKD11 のブランチ研削を行った。砥石は、CBN 砥石と多結晶アルミナ砥石を用いた。冷却性能は、残留応力と研削焼けで判定したところ、砥石切り込みが $5\mu\text{m}$ までは油膜付き水滴と水溶性研削液はほぼ同等の性能を示した。研削抵抗は、水平力において油膜付き水滴の方が小さい値になった。仕上げ面粗さ、研削比に差は認められなかった。この結果から、油膜付き水滴は、砥石切り込みの小さい仕上げ領域で、環境に配慮した加工液として適用できる可能性を確認した。

1. はじめに

これまで、環境に配慮した加工法として、油膜付き水滴加工液を用いた切削加工を継続して研究してきた。ここでは、アルミニウム合金の切削加工において水溶性加工液よりも優れていること¹⁾や鋼の加工では水溶性加工液の代替として十分使えることを確認してきた²⁾。本研究は、他の機械加工法への応用として、切削加工とともに機械部品の製作に多く用いられている研削加工を取り上げたものである。

研削加工は、材料の除去を行う砥粒が大きな負のすくい角を持つことと除去速度が速いことから、切削加工に比べ、加工部がより高温になる。このため、研削液は冷却性を重視して、水溶性研削液が選択され、しかも大量に加工点へ供給する方法がとられてきた。水溶性研削液は、切削液と同様に、廃液処理の問題を抱えており、水溶性研削液に代わる加工液や加工法が検討されている。そこで、切削加工において、環境に配慮した加工液として効果が認められた油膜付き水滴加工液を研削加工に適用した場合の性能を把握し、従来の水溶性研削液に変わって環境に配慮した方法となりうるかを検討した。

2. 実験方法

2.1 油剤と供給法

この実験に用いた油膜付き水滴加工液は、蒸留水から水滴を生成し、その後水滴の周りに合成エステル（協同油脂製、S-35）の油膜を張らせ、加工点に供給される。これらの過程は、専用ノズル内で行われる。圧縮空気は、

水滴と油ミスト生成、および油膜付き水滴を加工点へ搬送する役割を果たす。本実験での消費量は、水、油剤、空気それぞれ 20ml/min、0.17ml/min、100NI/min であった。

比較対照となる従来加工法では、ケミカルソリューション型の油剤（タイユ製、ハイチップ WX-832）を使用し、それを水道水で 50 倍に希釈し（以下この加工液をソリューションという）、研削盤の付属ノズルから、加工点に 6l/min の割合で供給した。

油膜付き水滴とソリューションのほかに全く加工液を供給しないドライの条件でも研削を行い、3 条件下の研削特性を比較した。

2.2 砥石と被削材

砥石は、焼き入れ鋼の研削に極めて優れている CBN 砥石（CBN170N75B、砥石径 250mm、砥石幅 20mm）と近年開発された多結晶アルミナ砥石（SW60J8V、砥石径 250mm、砥石幅 25mm、以下 SW 砥石という）を使用した。後者は、アルミナ系の砥石であるが、砥粒が微小破壊を起こしやすく、焼き入れ鋼の加工においても研削能力が持続する特徴を持つとされている³⁾。この砥石は、ツルーイング・ドレッシングが単石ドレッサを用いて同時に行えることや価格も安いことから、CBN 砥石の代替として焼き入れ鋼の研削用に需要が伸びている。

CBN 砥石の作業面の調整は、次の手順で行った。最初に C60K 砥石を装着したブレイキツルアでツルーイングを行い、その後 WA スティック砥石をブランチ研削してドレッシングを行った。SW 砥石の作業面は、単石ドレ

^{*1}工業技術部 機械電子室

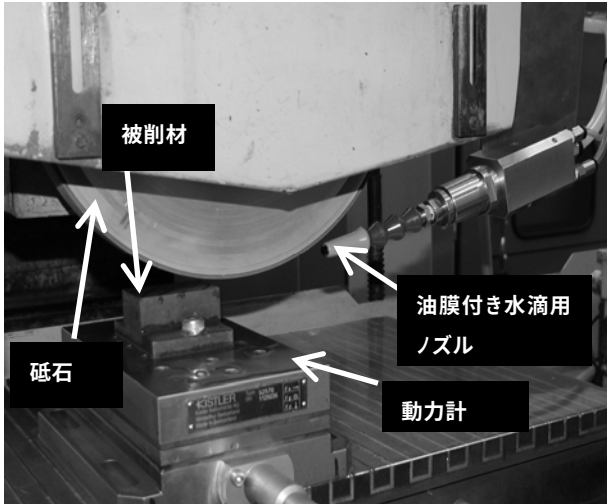


図1 実験装置

表1 加工条件

主軸回転数	2200rpm
砥石周速度	1727m/min
テーブル左右速度	13.7m/min
研削方式	プランジ研削
砥石切り込み量	2、5、10 μ m
研削幅	10mm

ッサを用い、切り込み 10 μ m、送り 300mm/min の条件でドレッシングした。

被削材は、HRC60、3～61.5 に調質したダイス鋼（SKD11）を用いた。

2.3 加工条件

実験は横軸平面研削盤を用いて行った。図1に実験装置を示す。研削盤のマグネットチャック上に動力計を設置した。動力計に被削材を固定し、表1の加工条件でプランジ研削を行った。

2.4 特性値と測定方法

加工液の性能を表す特性値として、研削焼け、残留応力、仕上げ面粗さ、研削抵抗、研削比を取り上げ、加工液の種類を変えた場合の違いを調べた。

研削焼けは、加工後の研削面を目視で観察し、焼けの有無を判定した。残留応力は、X線残留応力測定装置（（株）リガク微小部 X線応力測定装置）により測定した。仕上げ面粗さは、触針式粗さ計で測定した。研削抵抗は、圧電型動力計により測定した。

研削比は、被削材除去量／砥石摩耗量で定義されている。被削材の除去量は、実際の切り込み深さをマイクロメータで測定し、これとプランジ研削幅と材料の長さを乗じて算出した。砥石摩耗量は、加工前の砥石形状と加工後の砥石形状をカーボン板に転写した後、それらの形状を触針式粗さ計により測定し、その差から砥石摩耗量を求めた。この2つの計算値から、研削比を算出した。

表2 研削焼け（CBN 砥石）

切り込み	2 μ m	5 μ m	10 μ m
油剤			
油膜付き水滴	無	無	有
ソリューション	無	無	無
ドライ	無	無	有

表3 研削焼け（SW 砥石）

切り込み	2 μ m	5 μ m	10 μ m
油剤			
油膜付き水滴	無	有	有
ソリューション	無	有	有
ドライ	無	有	有

3. 実験結果および考察

3.1 研削焼け

研削焼けは、加工部が高温にさらされ短時間のうちに酸化膜が形成されることにより発生するので、研削焼けの有無は、加工面の到達温度と関連を持ち、加工液の冷却効果の大小を示す指標となる。

切り込み 2、5、10 μ m の3条件で研削を行い、加工後の表面を目視観察した結果を表2と表3に示す。

表2から、CBN 砥石では、ドライと油膜付き水滴の加工において、切り込みが 10 μ m になると軽微な焼けが発生した。しかし、ソリューションでは、10 μ m においても焼けは認められなかった。切り込みが 10 μ m の条件では、ソリューションは冷却効果に不足はないが、ドライと油膜付き水滴は不足することが分かる。

一方、SW 砥石では、5、10 μ m の切り込みにおいて、すべての加工液に焼けが観察された。SW 砥石は CBN 砥石に比べ発熱が多いため、研削焼けが発生しやすい。焼けを防ぐためには、いずれの加工液でも切り込みを 2 μ m 以下にすることが必要になる。

3.2 残留応力

残留応力は、加工部の発熱と冷却の作用が複合して発生する。研削加工では、発熱が多く冷却効果が少ないと、加工後の表面には、引張り応力が残留することが知られている⁴⁾。このため、残留応力の大小や残留応力が引張りか圧縮かで加工液間の冷却効果を比較することが可能になる。

CBN 砥石で加工した場合の測定結果を図2に示す。残留応力値が負のとき圧縮応力、正のとき引張り応力になるように符号を定めた。油膜付き水滴は、切り込み 2 μ m で 550MPa、切り込み 5 μ m で 500MPa 程度の圧縮応力であった。一方、ソリューションは、それらが 400MPa、350MPa となった。この領域では、油膜付き水滴の沸騰、蒸発作用による急冷効果が作用して、ソリューションより残留応力が大きくなったものと推測される。切り込み

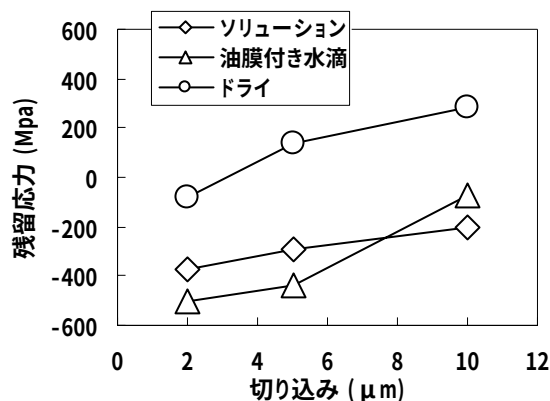


図2 CBN 砥石による残留応力

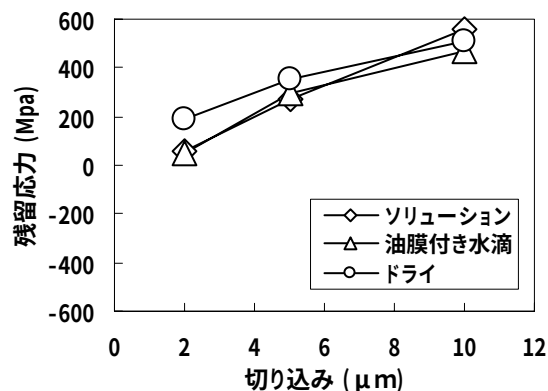


図3 SW 砥石による残留応力

が 10 μm に増加すると、油膜付き水滴は大きく変化し、70 MPa の圧縮応力となったが、ソリューションは 200MPa の圧縮応力にとどまった。このことは、切り込みが 10 μm になると、油膜付き水滴の冷却効果がかなり不足することを示しており、研削焼けの観察結果と符合する。ドライは冷却効果がないため、切り込み 2 μm においても 0MPa に近い値を取り、切り込みの増加とともにほぼ直線的に増加し、10 μm において、300 MPa の引張り応力となった。

図3は、SW 砥石の場合で、すべての切り込みと加工液で引張り応力となった。切り込みが 5 μm 以下では、CBN 砥石と同様に、油膜付き水滴とソリューションの応力値は同程度の値をとり、ドライよりは圧縮側に位置している。切り込みが 10 μm では、3 者の値が接近しており、いずれの加工液においても冷却能力がかなり不足していることを示している。

以上の結果から、残留応力を指標として見た油膜付き水滴の冷却性は、砥石切り込みが 5 μm 以下の条件では、ソリューションと同等以上と見なせる。

3.3 仕上げ面粗さ

研削加工は、良好な仕上げ面粗さを求められる加工法であり、環境に優しい加工液であっても仕上げ面粗さを大きくするような加工液は採用されない。このため、油膜付き水滴を用いた場合の仕上げ面粗さを他の加工条件と比較した。

表4に CBN 砥石で加工した場合の仕上げ面粗さを示す。ソリューションの仕上げ面粗さがわずかに小さいが、それほど大きな差は認められない。また、CBN 砥石では、切り込みを大きくしても、仕上げ面粗さは変わらなかった。表5は、SW 砥石の仕上げ面粗さを示す。この砥石の場合も、研削液の種類は、どの砥石切り込みに対しても影響がなかった。しかし、砥石切り込みが大きくなると、仕上げ面粗さが大きくなる傾向を示した。

以上の結果から、油膜付き水滴は、CBN、SW 砥石を用

表4 CBN 砥石による仕上げ面粗さ Ra (μm)

油剤 \ 切り込み	2 μm	5 μm	10 μm
油膜付き水滴	0.4	0.4	0.4
ソリューション	0.3	0.3	0.4
ドライ	0.4	0.4	0.4

表5 SW 砥石による仕上げ面粗さ Ra (μm)

油剤 \ 切り込み	2 μm	5 μm	10 μm
油膜付き水滴	0.4	0.6	0.7
ソリューション	0.4	0.6	0.7
ドライ	0.4	0.6	0.7

いた加工において、仕上げ面粗さを悪化させないことが確認できた。

3.4 研削抵抗

CBN 砥石について、加工液ごとの研削抵抗を図4と図5に示す。図4は、研削抵抗のうち垂直力を示したもので、この力は砥粒の被削材への食い込み易さの指標である。図5の水平力は、砥石の切れ味を示すもので、研削動力を決定する。

図4から、垂直力はいずれの切り込みにおいても、研削液の影響をほとんど受けないことが確認できる。

一方、水平力は、切り込みの増加とともに、ほぼ直線的に抵抗が増加していくが、研削液により大きさに違いがみられ、油膜付き水滴の水平力が最も小さく、ソリューション、ドライの順に大きくなった。油膜付き水滴は、水滴の周りに合成エステルの油膜を張らせたものであることから、加工点に供給された合成エステルの潤滑作用が有効であると考えられる。一方、ソリューションは、冷却性に重点を置いた研削液で、潤滑効果は小さいことが知られている。また、ドライは全く潤滑効果が期待できないため、上述の順で、水平力の値が決定されたものとする。研削動力あるいは砥石切れ味の指標である水

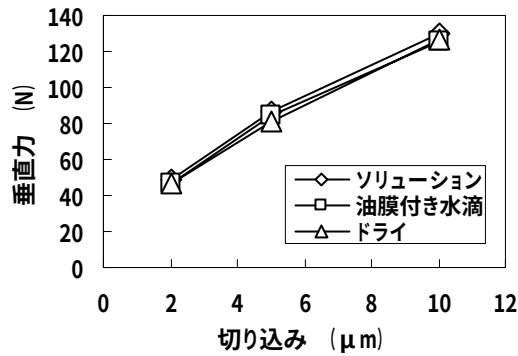


図4 CBN 砥石の垂直方向研削抵抗

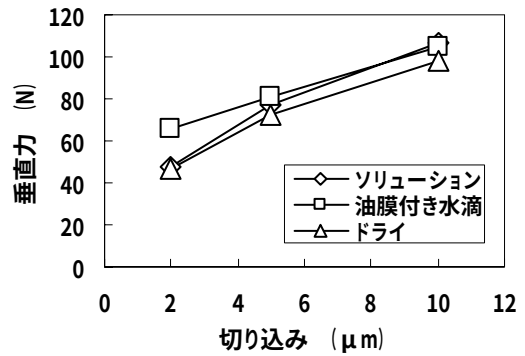


図6 SW 砥石の垂直方向研削抵抗

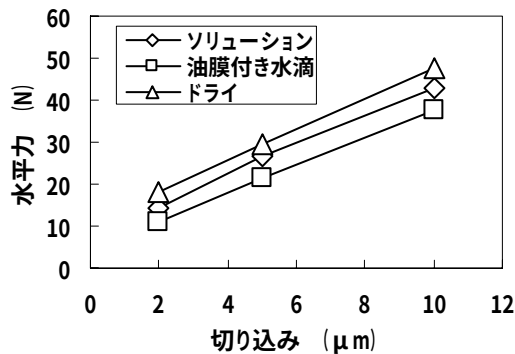


図5 CBN 砥石の水平方向研削抵抗

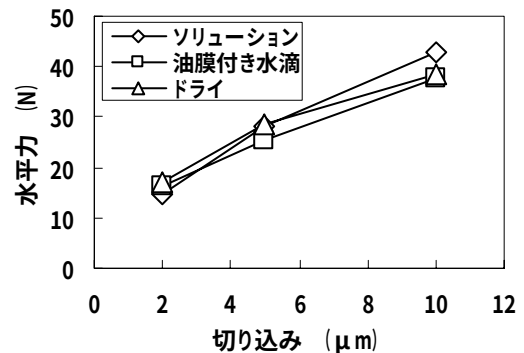


図7 SW 砥石の水平方向研削抵抗

平力については、油膜付き水滴が優れているといえる。

同様に、SW 砥石について、研削抵抗の垂直力の測定結果を図6、水平力を図7に示す。SW 砥石の垂直力は、CBN 砥石と異なり、ドライで小さく、油膜付き水滴とソリューションは、ほぼ同じであった。油膜付き水滴の切り込み2μmは、他の条件に比べ、大きな値になったが、その原因は、今のところ不明である。

SW 砥石での加工は、研削焼けが発生しやすいことと残留応力が引張り側にあることから、CBN 砥石での加工に比べ、加工点の温度が高く、材料の加工点における硬さが低下しているものと推測される。その中でもドライは最も温度上昇が大きく、したがって被削材の軟化も著しいため、垂直力が小さくなったものと考えられる。

水平力は、潤滑効果と加工点の温度上昇による被削材強度の低下が複合して作用すると考えられるため、潤滑効果のある油膜付き水滴と材料の軟化が最も大きいドライで小さく、潤滑効果が少なくまた加工点の温度が低く軟化が少ないソリューションで少し大きな値を取った。

3.5 研削比

SW 砥石でダイス鋼を研削した場合、砥石摩耗は非常に大きい。この砥石は、砥石をある程度摩耗させることを前提として、使用する砥石である。このため、砥石の研削比は、砥石摩耗がより重視される CBN 砥石につい

て求めた。油膜付き水滴とソリューションを用いた場合、被削材除去量5050mm³に対して、いずれの加工液においても砥石半径の減少量は2μmであった。これらの値から研削比300が得られる。ソリューションと同じ研削比になることから、油膜付き水滴を使用して研削を行っても、砥石摩耗は増加しないことが確認できた。

4. 結び

油膜付き水滴加工法は、従来法に比べ少量の加工液を使用する方法であるが、予想以上の冷却効果を持ち、しかも、仕上げ面粗さを悪化させないこと、砥石の切れ味低下を引き起こさないことおよび砥石寿命を短くしないことが確かめられた。この加工法を採用するためには、油膜付き水滴供給装置が必要になること、加工後の切りくずを洗い流す装置が必要になることなど種々の制約があるものの環境を配慮した加工法の一つとして有効であると考えられる。

文献

- 1)河田ほか：愛知県工業技術センター報告，**37**，37 (2001)
- 2)河田ほか：愛知県産業技術研究所研究報告，**1**，33(2002)
- 3)例えば、ノリタケカンパニーカタログ：CX 砥石
- 4)能上進：研削加工皆伝，P174(2000)，切削油技術研究会