水溶性研削油剤の作用に関する研究 (第1報)*

—防錆剤の濃度と研削結果—

中 島 利 勝** 塚 本 真 也** 原 田 真***

Effects of Water Soluble Type Grinding Fluids (1st Report)
—Relations between Concentration of Anticorrosive Additives and Grinding Results—

Toshikatsu NAKAJIMA, Shinya TSUKAMOTO and Makoto HARADA

The purpose of this study is to establish a standard for proper selection of water soluble type grinding fluids, by making clear effects of the fluids from the viewpoint of cooling and lubricant actions. This paper describes relations between grinding results and concentration of anticorrosive additives, which are indispensable components in water soluble grinding fluids. Effects of grinding fluids, in which three kinds of anticorrosive additives are individually contained, are first investigated to point it out that there exist the optimum concentration with grinding results for individual anticorrosive additive. Effects of grinding fluids, in which two kinds of anticorrosive additives are mixed, are then analyzed experimentally to make clear effects of the mixing ratio and the mixing concentration of anticorrosive additives on grinding results.

Key words : water soluble type grinding fluid, anticorrosive additive, cooling action, lubricant action, grinding force, wheel wear rate, surface temperature, surface roughness

1. 緒 言

研削加工においては、切りくずが微小であるために比研削エネルギーが大きいこと、研削速度が非常に高速であること、砥粒の上すべり現象¹⁾が存在することなどのために、多量の研削熱が発生する。この研削熱は工作物の熱変形過程を支配し²⁾、その結果、加工精度を劣化させると同時に工作物表層の残留応力と加工変質層を生じさせる³⁾から、研削油剤は高品質研削加工を行うためには、不可欠なものである。研削油剤の作用は、切れ刃と工作物との干渉領域に作用して摩擦抵抗を減少させて研削熱の発生を抑制する潤滑作用と、発生した研削熱および工作物中に流入した研削熱を除去する冷却作用に大別される。しかし、潤滑作用と冷却作用の研削点における作用機構ならびに両作用の研削結果に及ぼす影響の度合いについては、いまだ十分に解明されていないと考えられる。

そこで、本研究においては、水溶性研削油剤に焦点を絞り、研削油剤の主作用である潤滑作用と冷却作用

に着目して、鉱油、油性剤、極圧添加剤、界面活性剤、防錆剤、水の組合せにより、水溶性研削油剤では最も潤滑作用の大きいエマルジョン形から、最も冷却作用の大きい水までの間を数ランクに分けた研削油剤を調製し、それらの研削油剤の特性値と研削結果との関係を実験的に検討することによって、水溶性研削油剤の研削点における作用機構を解明し、これによって、水溶性研削油剤の定量的評価法ならびに合理的選定基準を確立するための基礎資料を得ようとするものである。

本報告は、水溶性研削油剤のうち最も冷却作用の大きい水と合成研削液⁴⁾の組成の大部分を占める防錆剤のみを含む研削液を用いて、防錆剤の種類と濃度が研削結果に及ぼす影響について、水による研削結果と比較することにより実験的に検討したものである。まず、一般によく用いられる3種類の防錆剤をそれぞれ単独に含む単一成成分の研削液について、防錆剤の種類・濃度と研削結果との関係を検討する。次いで、2種類の防錆剤の混合比と混合濃度を組織的に変化させた二成分系の研削液について、濃度と研削結果との関係を検討する。

* 原稿受付 昭和60年5月4日、昭和60年度精機学会春季大会学術講演会(昭和60年3月27日)にて発表

** 正 会 員 岡山大学工学部(岡山市津島中3-1-1)

*** 正 会 員 住友重機械工業(株)(倉敷市玉島乙島8230)

Fig. 1 Grinding results measuring system

2. 実験方法

2.1 研削液の準備

実験に用いた防錆剤および研削液の諸条件は次のとおりである。

水：煮沸水（以下記号 W で記す。）

防錆剤：(1) トリエタノールアミン (A)，(2) ほう素含有アルカノールアミン化合物 (B)，(3) 1:3 モル比の二塩基酸トリエタノールアミン塩 (D)

防錆剤濃度：0~5%（体積濃度）

研削液供給法：普通給液法

研削液流量：15 L/min

研削液温度：18±0.5°C

実験用の水と防錆剤の希釈に用いた水は、極圧添加剤の成分である水道水に含まれる塩素の影響を除外するために 30 min 間沸騰させた煮沸水を使用した。防錆剤としてはアミン系の単体、化合物、塩の 3 種類を使用した。実験に際して防錆剤の種類・濃度を変化させるときは、前実験に使用した研削液の影響を排除するために、まずタンク内の研削液を排出したのち、水道水によりタンク内と循環経路を洗浄し、さらに次回に使用する研削液で洗浄したのち、実験に供する研削液を新たにタンク内に入れた。また、研削液温度の影響を少なくするために、タンク内に恒温装置を組み込んで、18±0.5°C と一定にした。

2.2 研削実験装置および条件

図 1 に実験装置の概略を示す。研削抵抗は主軸の静圧軸受 ⑥ 内のポケットに圧力変換器 ③ を取り付けて検出した。砥石台移動量と工作物の寸法生成量は、電気マイクロメータ ① で検出した。工作物表面温度は図 ④ に示すように、φ 76 μm のコンスタンタン線と工作物との間に熱電対を構成し、スリップリング ② を介して検出した。これらの測定電圧は、それぞれアンプ ④ に導いたのち、データレコーダ ⑤（周波数特性 10 kHz）に記録した。砥石摩耗量はアクリル板に砥石作

Fig. 2 Grinding forces with grinding fluid concentration

用面を転写することによって、また工作物表面粗さは、触針式表面検査機を用いてそれぞれ測定した。その他の実験条件は以下に示すとおりである。

研削方式：円筒プランジ研削

研削砥石：WA 80 L 7 V (φ 405×50 mm)

工作物：SCM 435 (φ 150×30 mm, HV=282)

砥石周速度： $V_s=46.1$ m/s

速度比： $K_v=0.0207$

プランジ速度： $v_p=0.5\sim10$ μm/s

ドレッシング条件：切込み 20 μm×送り 0.2 mm/rev of G. W.×5 回

研削系の剛性： $k_{sy}=14.15$ N/μm

3. 防錆剤の濃度の研削結果に及ぼす影響

3.1 単一成分系の研削液

ここでは、防錆剤 A, B, D をそれぞれ単独に含む単一成分系の研削液について、それらの濃度に対する研削結果の変化を検討する。

図 2 は防錆剤 D の濃度を変化させた時の、プランジ速度 v_p に対する定常研削状態での研削背分力 p_s 、研削主分力 q_s の変化を示す。図より p_s 、 q_s ともに v_p の増加に対してわずかに上に凸の曲線で示される。 v_p を変化させても濃度 0% すなわち煮沸水 W の時の p_s 、 q_s が常に最大の値となり、濃度が増加すると、 p_s と q_s の値は始め減少し、最小値を経たのち増加する。すなわち v_p の増加に対しては、研削抵抗は増大する変化過程となるが濃度が増加すると、 v_p に対する研削抵抗の増加割合が変化することがわかる。

濃度の影響を明確にするために、図 3 においてプランジ速度 $v_p=8$ μm/s に固定して、防錆剤 A, B, D の濃

Fig. 3 Variations of grinding forces with concentration of anticorrosive additives

度に対する研削抵抗 p_s , q_s の変化を示す。まず、防錆剤 D について、両者の関係を検討すると、 p_s , q_s は 0% (W) が最大値をとり、濃度がわずかに増加すると、急速に減少し、1% で最小値となる。その後、濃度の増加に対して、 p_s , q_s はともに増大する変化過程となる。防錆剤 A, B の研削抵抗の変化形態は、定性的には防錆剤 D の場合と同じであるが、濃度に対する変化の振幅は D の場合と比べて小さく、さらに A と B の変化曲線は近接している。最小値は A では 3%, B では 2% に存在し、その最小値も D の場合より大きい。

ここで、冷却性と潤滑性の観点から研削抵抗の変化を考察すると、研削液の冷却性が低下すれば、流入熱によって工作物は膨張し、その結果、砥石切込み量が大きくなるから研削抵抗は増大し、潤滑性が向上すれば、摩擦抵抗が小さくなるから研削抵抗は減少するものと考えられる。これらのことから判断すると、図 3 に示すように、濃度の増加に対して、それぞれ極小値をとる研削抵抗の変化は、冷却性あるいは潤滑性のどちらか一方のみの影響では説明できない。すなわち、冷却性と潤滑性の両効果が組み合わさった形で研削抵抗に影響し、その影響の度合いが濃度によって異なるために、研削抵抗はある濃度で極小値を経たのち、増大する変化過程となるものと考えられる。さらに、防錆剤の種類が異なると、濃度に対する冷却性と潤滑性の変化が異なると予想されるために、研削抵抗の変化曲線および極小値となる濃度が防錆剤の種類によって異なると考えられる。

図 4 は定常研削状態における工作物表面温度 $(\theta_w)_s$ の濃度に対する変化を示す。この場合の温度は、研削液温度からの上昇分として示されている。 $(\theta_w)_s$ の変化は、研削抵抗 p_s , q_s の変化と定性的には同じである。

Fig. 4 Variations of surface temperature of workpiece with concentration of anticorrosive additives

Fig. 5 Relations between tangential grinding force and surface temperature of workpiece

極小値をとる濃度も、A では 3%, B では 2%, D では 1% である。しかし、 p_s , q_s の場合と比べて、変化の割合が異なる。特に極小値を経たのちの $(\theta_w)_s$ の濃度に対する増加傾向は、 p_s , q_s に比べて急激である。ところが、研削熱の工作物への流入割合が一定であれば、発生研削熱量は、 $q_s \cdot V_s \cdot (1 + K_v)$ で与えられるため⁹⁾、 $(\theta_w)_s$ の変化の割合は q_s の変化の割合と一致するはずである。しかし、上述のように $(\theta_w)_s$ と q_s の変化は若干の差異がある。これは、濃度によって発生熱の工作物への流入割合が変化する。すなわち、研削液の冷却性が濃度に対して変化するためであると考えられる。このことを明確にするために、 q_s と $(\theta_w)_s$ を両軸にとって比較したのが図 5 である。図よりわかるように、濃度が一定ならば、 q_s と $(\theta_w)_s$ の間には線形関係が存在するが、濃度が増加すると、直線の傾きが小さくなる。すなわち、濃度が増加すると、同じ研削主分力 q_s で発生熱量が同一でも、工作物表面温度 $(\theta_w)_s$ はより高くなるのがわかる。図 5 における直線の勾配 $(q/\theta_w)_s$ は発生研削熱量 $q_s \cdot V_s \cdot (1 + K_v)$ のうち工作物に流入する熱の割合に比例した値であり、この値が大きい程、発生研削熱量に比べて流入した熱量の割合が小さいことを示す。すなわち、 $(q/\theta_w)_s$ は研削液の冷

Fig. 6 Relations between value of $(q/\theta_w)_s$ and concentration of anticorrosive additives

Fig. 7 Variations of wear rate of grinding wheel with concentration of anticorrosive additives

却性を評価できる値であると考えられ、 $(q/\theta_w)_s$ の値が大きいほど、研削液の冷却性が高いことを示している。以上のことより、図5から、濃度が一定であれば研削液の冷却性が一定であることを示し、濃度が増加すると冷却性が低下することがわかる。

図6に煮沸水Wと防錆剤A, B, Dの濃度の増加に対する $(q/\theta_w)_s$ の変化を示す。 $(q/\theta_w)_s$ はWが最大の値をとり、A, Bの場合は、濃度の増加に対して $(q/\theta_w)_s$ は直線的に減少し、その変化は非常に接近している。Dの場合は、濃度が増加し始めると $(q/\theta_w)_s$ は始め急激に減少し、その後、減少傾向はゆるやかになるが、濃度のどの点においても、A, BよりもDの $(q/\theta_w)_s$ の値は小さい。以上の変化過程から、冷却性はWが最も良好で、A, B, Dの順に冷却性は低くなり、さらに濃度の増加に対しては、各研削液の冷却性はそれぞれ低下することがわかる。

図7、図8はそれぞれ砥石摩耗速度 C_0 とスパークアウト完了後の工作物表面粗さ $(R_{max})_f$ の濃度の増加に対する変化を示す。 C_0 と $(R_{max})_f$ の変化は定性的には図4の $(\theta_w)_s$ の変化と同じである。しかし、図4、図7および図8において、それぞれの値を水に対する値で除すことによって無次元化した θ_w^* 、 C_0^* 、 R_{max}^* を比

Fig. 8 Variations of surface roughness of workpiece with concentration of anticorrosive additives

Fig. 9 Grinding forces for mixed grinding fluid of three kinds of anticorrosive additives

較すればわかるように、防錆剤濃度に対するそれらの値の変化割合は異なっている。すなわち変化の振幅が最小なのは、 θ_w^* であり、次いで R_{max}^* となり、振幅が最も大きいのが C_0^* である。これは、冷却性と潤滑性の影響度がそれぞれの研削結果によって異なるためであり、 θ_w^* 、 R_{max}^* 、 C_0^* の順に濃度の増加に対する潤滑性の影響が強く、相対的に冷却性の影響が弱くなっているためであると考えられる。

3.2 二成分系の研削液

前節において、防錆剤A, B, Dをそれぞれ単独に含む研削液では、濃度に対する研削結果の最小値はAでは3%、Bでは2%、Dでは1%に存在することが明らかとなった。そこで、この単独に用いた場合のそれぞれの最適濃度を含む混合液を作成し、さらによい研削液となるかの確認実験を行った。図9の実線はAを3%、Bを2%、Dを1%含み、合計濃度6%の混合液における定常研削状態での研削背分力 P_s と研削主分力 q_s のプランジ速度 v_p に対する変化を示す。破線はA, B, Dのそれぞれの単独成分における最適濃度の場

Fig. 10 Relations between grinding forces and mixing ratio of two kinds of anticorrosive additives

合を示す。図より混合液では、A, B よりも小さな研削抵抗の値を示すが、すべての v_p の値に対して D よりも大きな値となっている。したがって 3 種類の防錆剤のうち最も研削抵抗の値が小さくなる $D=1\%$ の研削液に A, B の最適濃度を加えることによって、研削抵抗に関しては、研削性能が低下した研削液となっていることがわかる。このことは、研削油剤の開発を行う場合には、単独成分における最適濃度をただ単に寄せ集めただけでは、さらに良い研削油剤ができるとは限らないことを示していると考えられる。

混合液における研削結果の変化をさらに明確にするために、防錆剤 A, D の二成分系の研削液における混合濃度、混合比を組織的に変えた実験を行った。

図 10 はプランジ速度 $v_p=5\mu\text{m/s}$ における A と D の混合濃度 $C_{(A+D)}=4\%$ に固定し、混合比 $C_D/C_{(A+D)}$ を 6 段階に変化させた場合の、無次元化した研削抵抗 p_s^*, q_s^* の変化を示す。横軸の左端は D の濃度 $C_D=0\%$ 、したがって、この場合は A のみを 4% 含む、右に行くにつれて、 $C_D=0.8\%, 1.6\%$ と変化し、右端では D のみを 4% 含む研削液となっている。図中の破線は、混合液に含まれる A, D の濃度をそれぞれ単独に 0% から 4% まで変化させた時の研削抵抗の変化を示す。ただし、この場合には A と D の濃度の増加方向は逆である。 $C_D=0\%$ のところでは、混合液は A のみを 4% 含む研削液となっているために、A+D の曲線は A の曲線と一致し、D の濃度がわずかに増加すると、A+D の曲線は減少し始め、D の曲線が極小値をとる付近で、A+D の曲線も極小値を示す。しかし、その極小値は D

Fig. 11 Effects of mixing ratio and mixing concentration on grinding forces

の場合よりもかなり大きい。さらに D の濃度が増加すると、相対的に A の混合比が減少するために、A+D の曲線は D の曲線に漸近しながら増大する変化過程となる。さらに詳細に検討すると、A+D の曲線と D の曲線の交点すなわち $C_D=0.3\%$ 以下では、A と D の破線よりも A+D の曲線は小さな値を示す。これは、この混合比の範囲では、A と D を単独に用いた時よりも、混合液による研削結果が良好であることを示している。だが、 $C_D>0.3\%$ の領域では、A+D の曲線は A と D の単独の曲線に挟まれた内部を通り、A と D を混合することによって、研削抵抗の観点からは、単独の D の場合よりも研削液の性能が低下している。

図 11 は A と D の混合濃度 $C_{(A+D)}=1, 2, 3, 4\%$ と変えて、さらに混合比を 6 段階に変化させた場合の無次元化した研削抵抗 p_s^*, q_s^* を示す。図中の破線は極小値を結んだ包絡線である。D の混合比 $C_D/C_{(A+D)}$ が増加するに従って、各曲線は減少し始め、途中で極小値を取り、その後、増大する変化過程となる。ただし、 $C_{(A+D)}=1\%$ の時は、 $C_D/C_{(A+D)}=1$ の点で極小値となる。包絡線の変化曲線から $C_{(A+D)}$ の値が増加すると、その時の極小値は増大することがわかる。また各曲線の最大値と最小値の差すなわち変化の振幅は、 $C_{(A+D)}$ が増大するに従って、小さくなる傾向を示す。

図 12 は、図 11 の実験条件における無次元化した $\theta_w^*, C_0^*, R_{\max}^*$ を示す。これらの研削結果の場合にも、 p_s^*, q_s^* の極小値をとる混合比 $C_D/C_{(A+D)}$ の点でそれぞれ極小値をとる。しかし、変化の振幅はそれぞれ

Fig. 12 Variations of surface temperature of workpiece, wear rate of grinding wheel and surface roughness of workpiece with mixing ratio and mixing concentration

の研削結果で異なることがわかる。これは図4、図7、図8で考察したように、潤滑性と冷却性の影響度がそれぞれの研削結果で異なるためと考えられる。

以上、防錆剤の単一成分系および二成分系の研削液を用いた研削実験の解析から、防錆剤の濃度の研削結果に及ぼす影響について検討した。しかし、水溶性研削油剤の定量的評価法ならびに合理的選定基準を確立するためには、研削液の有する潤滑性を具体的に評価する特性値を測定する手法を開発することが必要であると考えられる。

4. 結 論

本報告では、水溶性研削油剤のうち、最も冷却性の優れている煮沸水と3種類の防錆剤を用いて、その濃度の研削結果に及ぼす影響について実験的に解析した。まず、防錆剤をそれぞれ単独に用いた単一成分系の研削液について検討し、ついで2種類の防錆剤の混合濃度と混合比を組織的に変化させた二成分系の研削液について検討した。得られた主な結論は次のとおり

である。

- (1) 単一成分系の研削液を用いた実験における研削抵抗は、煮沸水の場合が最大の値を示し、防錆剤濃度の増加に対して、途中で極小値をとる変化過程を示す。極小値となる濃度と研削抵抗の変化の振幅は防錆剤の種類によって異なる。
- (2) 単一成分系の研削液における砥石摩耗速度、定常研削状態の工作物表面温度およびスパークアウト完了後の工作物表面粗さの変化過程は、研削抵抗の場合と定性的には同じであるが、変化の割合はそれぞれの研削結果で異なる。
- (3) 定常研削状態における研削主分力 q_s と工作物表面温度 $(\theta_w)_s$ の比 $(q/\theta_w)_s$ は研削液の冷却性を評価する値であると考えられ、防錆剤の濃度の増加に対して $(q/\theta_w)_s$ は減少し、冷却性が低下することを示す。
- (4) 単一成分系における最適濃度をただ単に寄せ集めただけの混合液では、さらに良い研削油剤となるとは限らない。
- (5) 二成分系の研削液では、ある混合比で研削抵抗は極小値を取り、混合濃度を増加させるとその極小値は増大し、その時の混合比も移動する。

本研究の一部は昭和59年度文部省科学研究費補助金（奨励研究A）によって行われたことを付記する。また、本研究の遂行にあたっては、日本グリース（株）から試料の提供をいただいたことを記し、感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岡村健二郎，中島利勝：砥粒切れ刃による切削現象の研究（第2報），精密機械，**32**，8（1966）551。
- 2) 中島利勝，塚本真也，原田 真：研削熱による変形が寸法生成過程に及ぼす影響の研究，精密機械，**51**，8（1985）1588。
- 3) 岡村健二郎，中島利勝，宇野義幸：過渡的切削過程における表面特性の研究（第1報）および（第2報），**39**，6（1973）590および**39**，8（1973）794。
- 4) 山西漢男：ホウ素系防錆剤を合成研削液に利用するメリット，機械技術，**32**，5（1984）100。
- 5) 佐藤健児：研削理論（第5報），精密機械，**19**，1（1953）7。