研削油剤が研削加工中の砥粒破碎に及ぼす影響*

樋口 勝敏^{*1}, 横川 和彦^{*2}

Effects of the Characteristics of Grinding Fluids on the Fracture of Abrasives during the Grinding Process

Masatoshi HIGUCHI and Kazuhiko YOKOGAWA

For better grinding performance, three significant aspects involved, namely, the grinder, the grinding wheel and the grinding fluid, must be improved together and brought to a required level. This paper attempts to clarify the effects of the grinding fluid additives on the grinding performance by using a three-face Makitsuke nozzle which ensures a supply of fluid directly to the grinding point and observing specifically the fracture behavior of abrasives during grinding. As a result, a higher grinding ratio and better surface roughness were obtained with reduced grinding resistance and wheel edge wear.

Key Words: Makitsuke Nozzle, Grinding Fluid, Emulsion, Soluble, Solution, Grinding Ratio, Tangential Grinding Force, Surface Roughness

1. はじめに

研削加工技術は、研削盤、研削砥石、研削油剤のそれぞれが三位一体となって向上することによって技術向上がなされる。本報は研削点に確実に研削油剤を供給する三面巻付けノズルを用いて研削油剤の添加剤の研削性能に及ぼす影響を、研削作業中における砥粒の破碎の挙動に注目しながら研削比、研削面粗さ、研削抵抗、砥石エッジ摩耗を向上させた結果を述べる。

2. 三面巻付けノズル研削法

三面巻付けノズル⁽¹⁾⁽²⁾の図1の構成のものを使用し、研削油剤を砥石外周面では砥石法線方向に、砥石側面では60°方向から供給する方法を行い、外周研削点および側面研削点で十分な研削油剤中で研削できるようにした。

3. 市販研削油剤の研削性能

市販されている表1の研削油剤のソリュブル形 SUNLIGHT EC-11 およびエマルジョン形 SUN-

CUT HP-104を用いて砥石A80J7V75RとWA80J7V75Rの研削性能を図2に示す。

研削比はいずれの単位時間当たり研削代断面積においてもエマルジョン形SUNCUT HP-104はソリュブル形SUNLIGHT EC-11より優れている。

研削面粗さは単位時間当たり研削代断面積90 mm²/minでは研削油剤の差はほとんど見られないが、単位時間当たり研削代断面積が大きくなるにつれ、エマルジョン形がより良くなり、240 mm²/minではエマルジョン形の4.5 μm R_zに対し、ソリュブル形は8.5 μm R_zと、倍近い研削面粗さとなる。

接線研削抵抗は単位時間当たり研削代断面積が60~180 mm²/minの間は大差ないが、240 mm²/minになるとソリュブル形を使用した場合がエマルシ

図1 三面巻付けノズル構成図

* 原稿受付 平成3年8月27日。

^{*1} 正員, 明治大学大学院 [現: (株)東芝 ●235 横浜市磯子区新杉田町8]。^{*2} 正員, 明治大学理工学部 (●214 川崎市多摩区東三田1-1-1)。

ン形より低い。これは単位時間当たり研削代断面積が大きくなると、砥粒にかかる負荷が大きくなり研削熱が生じ、ソリューブル形は熱衝撃により、砥粒が破碎し、新しい切れ刃が自生するためである。また、この自生発刃のため研削面粗さが悪化し、研削比も低くなったのである。

WA 80 J 7 V 75 R は A 80 J 7 V 75 R より破碎しやすい⁽³⁾、研削性能も悪くなっている。

4. エマルション形研削油剤の開発

研削油剤はソリューブル形よりエマルション形が優れていることがわかったので、研削性能のよい A 80 J 7 V 75 R 砥石を用い、エマルション形で塩素および硫黄の添加剤を表 2 のごとく配合した研削油剤の研削性能を図 3 に示す。

表 2 における MGF-0~3 の大きな違いは、MGF-0 は鉱油と界面活性剤からなるベースとなる研削油剤であり、MGF-1 はこれに塩素化パラフィンを加え、塩

素系添加剤の影響を見るためであり、MGF-2 は不活性硫化油脂を加え、硫黄系添加剤の影響を、MGF-3 は塩素化パラフィンと不活性硫化油脂を加えた MGF-1 と MGF-2 を併せ持たせたものである。

図 3 は単位時間当たり研削代断面積 $180 \text{ mm}^2/\text{min}$ における MGF-0~3 の研削性能である。研削比、研削面粗さに対する添加剤の影響は大きい。塩素化パラフィンより不活性硫化油脂が効果はより大きく、その両者を添加した MGF-3 においては MGF-0 に対し、研削比で 2.5 倍、研削面粗さで約 $1/1.8$ となり、添加剤の影響が非常に大きく現れている。

接線研削抵抗も心持ちではあるが MGF-1, 2, 3 の順に小さくなり、添加剤の潤滑効果が現われている。

表 2 水溶性研削油剤の成分表

GRINDING FLUID	COMPONENT	SULFUR %	CHLORINE %	PATTY OIL %	SURFACE ACTIVE AGENT %
MGF-0	anion type surface active agent, alkanoil amine, nonion type surface active agent, copper corrosion inhibitor, biocide, mineral oil (ISO VG46)	---	---	---	12.0
MGF-1	anion type surface active agent, alkanoil amine, nonion type surface active agent, chlorinated paraffin, copper corrosion inhibitor, biocide, mineral oil (ISO VG46)	---	10.0	---	10.6
MGF-2	anion type surface active agent, alkanoil amine, nonion type surface active agent, inactive sulfurized fatty oil (2), copper corrosion inhibitor, biocide, mineral oil (ISO VG46)	2.25	---	12.75	11.1
MGF-3	anion type surface active agent, alkanoil amine, nonion type surface active agent, inactive sulfurized fatty oil (2), chlorinated paraffin, copper corrosion inhibitor, biocide, mineral oil (ISO VG46)	2.25	10.0	12.75	14.5

表 1 水溶性研削油剤の成分表

GRINDING FLUID	COMPONENT	SULFUR %	CHLORINE %	PATTY OIL %	SURFACE ACTIVE AGENT %
SUNCOOL GP-100	anion type surface active agent, alkanoil amine, copper corrosion inhibitor, anti foam agent, biocide, fungicide, water	---	---	---	3.0
SUNLIGHT EC-11	anion type surface active agent (soap, etc), nonion type surface active agent, fatty acid ester, chlorinated paraffin, anti foam agent, biocide, water	---	2.0	5.0	43.0
SUNCUT HP-104	anion type surface active agent (soap, etc), nonion type surface active agent, inactive sulfurized fatty oil (1), chlorinated paraffin, mineral oil (ISO VG10), anti foam agent, biocide	3.3	8.0	30.0	33.0

図 2 研削油剤、砥石と研削性能の関係

図 3 研削油剤と研削性能の関係

5. ドレッシング時の研削油剤と研削性能

ドレッシングはダイヤモンドで砥粒を削り取り、砥粒切れ刃を創成することであるので、ドレッシング時に砥粒に与えるダメージが多いと、研削中に砥粒の破碎が生じ、研削比、研削面粗さが悪化する。市販の表1のSUNCUT HP-104 に対し開発した表2のMGF-3のドレッシング時を含めた研削性能を図4に示す。

SUNCUT HP-104 でドレッシングし、SUNCUT HP-104 で研削した場合（ここではこれを基準と考える）に対し、MGF-3でドレッシングし、SUNCUT HP-104 で研削したものは研削比で1.2倍、研削面粗さで1/1.3と良くなり、ドレッシング時に研削油剤の影響が大きく現れることがよくわかる。

SUNCUT HP-104 でドレッシングし、MGF-3で研削したものは、基準に対し、研削比で1.5倍、研削面粗さで1/1.4と良くなる。MGF-3でドレッシングし、MGF-3で研削したものは、基準に対し、研削比で1.9倍、研削面粗さで1/1.6と良くなり、開発したMGF-3のすばらしさがわかる。

6. 単位時間当たり研削代断面積に対する研削比

SCM 435 (HRC 48) の工作物を単位時間当たり研削代断面積を変化させて円筒プランジ研削し、砥石単位円周長さ当たり研削代断面積 $1.88 \text{ mm}^2/\text{mm}$ に対する研削比を求めた。研削に使用した工作物の化学成分を表3に示す。使用した工作物の Lot. 1, Lot. 2 ともに JIS の SCM 435 にほぼ合格するが、Lot. 1 には 0.032%, Lot. 2 には 0.011% の硫黄がそれぞれ含まれている。

Lot. 1, Lot. 2 の工作物を SUNCUT HP-104 と MGF-3 で研削し、単位時間当たり研削代断面積に対する研削比を図5に示す。

破線で示した研削油剤 SUNCUT HP-104 を使用し

図4 ドレッシング油剤と研削性能の関係

た場合に硫黄含有量が 0.021% 多い Lot. 1 のほうがいずれの単位時間当たり研削代断面積においても Lot. 2 より高い研削比を示す。

また研削比の傾向は Lot. 1, Lot. 2 ともに単位時間当たり研削代断面積が大きくなるにつれて低下する。

研削油剤 MGF-3 を用いた研削比も実線で示したように硫黄含有量が 0.021% 多い Lot. 1 がいずれの単位時間当たり研削代断面積においても Lot. 2 より高い値を示している。また個々の研削比は単位時間当たり研削代断面積 $120 \text{ mm}^2/\text{min}$ で最大値を示している。

これは、単位時間当たり研削代断面積が $60 \text{ mm}^2/\text{min}$ から $90, 120 \text{ mm}^2/\text{min}$ と大きくなるに従い研削点温度と研削点接触圧力が上昇し、MGF-3 の添加剤の潤滑効果が現れる。

一方、単位時間当たり研削代断面積が大きくなるに従って、各砥粒にかかる負荷が増大し、砥粒の破碎が増大するため、単位時間当たり研削代断面積 $120 \text{ mm}^2/\text{min}$ で研削比が最大になったと考えられる。

単位時間当たり研削代断面積 $60 \text{ mm}^2/\text{min}$ では Lot. 1 の工作物を SUNCUT HP-104 で研削したほうが Lot. 2 を MGF-3 で研削したものより研削比が高い。

単位時間当たり研削代断面積が小さくて、研削油剤の添加剤の効果の現れ難い所では、工作物中に含まれる硫黄の含有量が研削性能を支配している。しかし 90

表3 SCM 435 の化学成分表

WORK	CHEMICAL COMPOSITION (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
JIS SCM435	0.33 ~0.38	0.15 ~0.35	0.60 ~0.85	under 0.030	under 0.030	0.90 ~1.20	0.15 ~0.30
SCM435 LOT.1	0.37	0.25	0.77	0.020	0.032	1.02	0.15
SCM435 LOT.2	0.33	0.24	0.66	0.020	0.011	1.01	0.22

図5 単位時間当たり研削代断面積と研削比の関係

mm^2/min 以上では Lot. 2 でも MGF-3 で研削したほうが Lot. 1 を SUNCUT HP-104 で研削したものよりも高い研削比を示している。

7. 研削油剤に対する砥石エッジ摩耗

三面巻付けノズルを用い砥石 A 80 J 7 V 75 R のコーナ部で SCM 440 (HRC 42~43) のプランジ研削する方法を図 6 に示す。単位時間当たり研削代断面積は $240 \text{ mm}^2/\text{min}$ で、1 回当たりの砥石単位円周長さ当たり研削代断面積は $0.25 \text{ mm}^2/\text{mm}$ である。研削後の砥石コーナ部の形状は市販ペーパーナイフの刃に切込みを入れる方法で転写し、工具顕微鏡で測定した。

市販の表 1 の成分の研削油剤 SUNCOOL GF-100, SUNLIGHT EC-11, SUNCUT HP-104 および開発した表 2 の成分の MGF-3 を用いて研削し、砥石単位円周長さ当たり研削代断面積と砥石エッジ摩耗面積の関係を図 7 に示す。砥石エッジ摩耗面積が 0.2 mm^2 になるまで研削した砥石単位円周長さ当たり研削代断面積は SUNCOOL GF-100 では $0.36 \text{ mm}^2/\text{mm}$, SUNLIGHT EC-11 では $1.5 \text{ mm}^2/\text{mm}$, SUNCUT HP-104 では $3 \text{ mm}^2/\text{mm}$ に対し MGF-3 は 13.7

図 6 砥石エッジでのプランジ研削

図 7 研削油剤と砥石エッジ摩耗

mm^2/mm である。同じエマルジョン形でも SUNCUT HP-104 に対し MGF-3 は砥粒が 4.6 倍破碎し難い。

8. 研削油剤に対する研削温度、研削抵抗

市販の表 1 に示す 3 種類の研削油剤ソリューション形 SUNCOOL GF-100, ソリューション形 SUNLIGHT EC-11, エマルジョン形 SUNCUT HP-104 と開発した表 2 に示すエマルジョン形 MGF-3 を用い、研削油剤が研削中の研削温度に及ぼす影響を表面温度計を用い、単位時間当たり研削代断面積 $120 \text{ mm}^2/\text{min}$ で連続的に工作物温度を測定し、その最高温度と接線研削抵抗を図 8 に示す。

研削加工中の工作物温度および接線研削抵抗は同じエマルジョン形でも MGF-3 が SUNCUT HP-104 より低い。これは MGF-3 が SUNCUT HP-104 よりも潤滑性に優れているためであると考えられる。

SUNLIGHT EC-11 では工作物温度は MGF-3, HP-104 より低いが、接線研削抵抗は高い。これは EC-11 が HP-104, MGF-3 より潤滑性に劣るため接線研削抵抗は高くなったが、工作物温度は、希釈倍率が 80 倍と高いため冷却性が高くなり、低くなったと思われる。

SUNCOOL GF-100 は EC-11 や HP-104, MGF-3 の場合と異なる傾向を示し、接線研削抵抗および工作物温度は研削初期は、他の研削油剤より高い値を示しているが、研削が進むにつれ徐々に低下し、砥石単位円周長さ当たり研削代断面積 $1.88 \text{ mm}^2/\text{mm}$ 研削後では最も低くなっている。これは GF-100 は研削比が EC-11 の 1/5, HP-104 の 1/6, MGF-3 の 1/10 の 31

図 8 研削油剤と研削比、工作物温度の関係

であり、研削加工中の砥粒破碎が著しく、新しい切れ刃が自生するため接線研削抵抗や工作物温度が研削加工の進行とともに低下すると考えられる。

エマルジョン形研削油剤 SUNCUT HP-104 と MGF-3 の単位時間当たり研削代断面積に対する接線研削抵抗と工作物温度を図 9 に示す。

単位時間当たり研削代断面積 $60 \text{ mm}^2/\text{min}$ で HP-104 と MGF-3 は接線研削抵抗および工作物温度には差が見られないが砥石単位円周長さ当たり研削代断面積が大きくなるにつれ、砥粒が摩滅摩耗し、切れ味が低下し、研削抵抗および工作物温度が上昇している。

単位時間当たり研削代断面積 $120 \text{ mm}^2/\text{min}$ の場合は MGF-3 は接線研削抵抗および工作物温度が HP-104 より低い。これは MGF-3 の添加剤の効果が有効に作用し、潤滑性が高まりこれらが低くなったためと思われる。

単位時間当たり研削代断面積 $180 \text{ mm}^2/\text{min}$ では接線研削抵抗および工作物温度は HP-104 と MGF-3 はほとんど同じであり、工作物温度では $120 \text{ mm}^2/\text{min}$ とは研削代断面積が大きくなるにつれ差が小さくなり、 $1.88 \text{ mm}^2/\text{mm}$ では差がなくなっている。これは HP-104 の研削比は $120 \text{ mm}^2/\text{min}$ 時の 189 に対し、 $180 \text{ mm}^2/\text{min}$ は 150 と低く、砥粒破碎が生じ、研削温度に差がなくなったものと思われる。

単位時間当たり研削代断面積 $240 \text{ mm}^2/\text{min}$ の場合

図 9 研削抵抗、研削温度に及ぼす研削油剤単位時間当たり研削代断面積の影響

は 60, 120, $180 \text{ mm}^2/\text{min}$ と異なり、研削開始時より砥石単位円周長さ当たり研削代断面積が $0.7 \text{ mm}^2/\text{mm}$ まで接線研削抵抗および工作物温度が下がり、その後は MGF-3 はごく徐々に上がるが、HP-104 は降下状態が続く。

これは研削初期に研削抵抗に耐えられない砥粒が破碎し、新しい切れ刃を創成し、研削抵抗および工作物温度が下がるが、 $0.7 \text{ mm}^2/\text{mm}$ 以降は研削比の MGF-3 の 202, HP-104 の 110 からわかるように MGF-3 はこの切れ刃が保たれ、HP-104 は自生発刃が続くからである。

9. 研削油剤と砥石偏摩耗

砥石は砥粒、結合剤をかくはん混合し、プレス成形

表 4 研削条件

METHOD OF SUPPLY OF GRINDING FLUID	MAKITSUKE NOZZLE
GRINDING FLUID	SOLUBLE TYPE SUNLIGHT EC-11 (1:80) EMULSION TYPE MGF-3 (1:20)
WHEEL	A80J7V
WORK	SCM435 (43~48)
WHEEL SPEED	1800 m/min
WORK SPEED	18 m/min
STOCK REMOVAL RATE	180 mm³/min
STOCK REMOVAL PER WHEEL CIRCUMFERENTIAL LENGTH	1.88 mm³/mm

図 10 砥石左端研削加工後の砥石面形状

図 11 砥石中央部研削加工後の砥石面形状

図 12 砥石右端研削加工後の砥石面形状

後、乾燥、焼成、仕上成形して完成する。この場合プレス圧力は砥石側面に多くかかり、中央部の圧力は小さいため、砥石中央部の結合度は側面より徐々に軟らかくなる。この硬軟の差が研削油剤に対して研削性能にどのように現れるかを表4の条件で研削した。

SUNLIGHT EC-11で単位時間当たり研削断面積 $180 \text{ mm}^2/\text{min}$ における砥石 A80 J7 V の工作物研削位置の左、中央、右の摩耗状態を図10, 11, 12に示す。

図10の砥石左側の摩耗は左側から中心方向に摩耗

図13 研削位置による研削性能 (SUNLIGHT EC-11)

図14 砥石左端研削加工後の砥石面形状

図15 砥石中央部砥石加工後の砥石面形状

図16 砥石右端研削加工後の砥石面形状

が大きく、平均摩耗量は $22.2 \mu\text{m}$ である。図11の中央部の摩耗は大体一様で $27 \mu\text{m}$ である。図12の右側の平均摩耗は $23 \mu\text{m}$ である。これより砥石両端の摩耗が中央部より少ないことがわかる。砥石幅の工作物を研削すると $8 \mu\text{m}$ 中太の不良の工作物が得られる結果となる。

これら3箇所における研削比、接線研削抵抗、研削面粗さを図13に示す。研削比は砥石左側が81、右側が78に対して中央が66となり、結合度が中央部で軟らかくなっているのがよくわかる。そのため中央部の接線研削抵抗は低く、研削面粗さは粗い。

研削油剤を MGF-3 にし、同様の実験を行い、砥石の左側、中央、右側の摩耗状態を図14, 15, 16に示す。砥石摩耗は左側 $7.00 \mu\text{m}$ 、中央 $6.40 \mu\text{m}$ 、右側 $6.76 \mu\text{m}$ とほとんど同じで、EC-11 で現れた砥石結合度の影響は摩耗には現れない。

これら3箇所における研削比、接線研削抵抗、研削面粗さを図17に示す。研削比は砥石左側が254、右側が257、中央が273で、図13のEC-11での研削に対し、研削比が3倍以上高い。

接線研削抵抗は左側、右側、中央ともに 4.2 N/mm であり、図13のEC-11の左側、右側の 5.4 N/mm 、中央の 4.6 N/mm に対し砥石の位置にかかわらず一定で、かつ低く、潤滑効果が良く現れている。

研削面粗さは砥石の左、中、右の位置にかかわらず一様でEC-11の $6 \mu\text{mRz}$ に対し、 $3 \mu\text{mRz}$ 以下と低い。

図17 研削位置による研削性能 (NGF-3)

10. ま と め

三面巻付けノズルを用いた研削油剤供給法で研削油剤の種類に対する研削性能を検討した結果、以下のことが明らかになった。

(1) 市販の研削油剤でもソリュブル形よりエマルジョン形が研削性能が高い。

(2) エマルジョン形研削油剤でも塩素化パラフィン、不活性硫黄の添加剤を入れた MGF-3 の研削性能が高い。

(3) ドレッシング時に砥粒に与えるダメージも MGF-3 は SUNCUT HP-104 よりも少なく、研削性能がずばぬけて高い。

(4) 添加剤の潤滑性能を発揮する単位時間当たり研削代断面積はある程度大きくなければならず、MGF-3 では $120 \text{ mm}^2/\text{min}$ である。

(5) 砥石エッジ摩耗は MGF-3 に対し、SUN-

CUT HP-104 は 4.6 倍、SUNLIGHT EC-11 は 9 倍、SUNCOOL GF-100 は 38 倍摩耗する。

(6) 研削初期においては、接線研削抵抗、工作物温度ともに GF-100、EC-11、HP-104、MGF-3 の順に低く、添加剤の潤滑性がよくわかる。

(7) 結合度むらのある砥石でも EC-11 から MGF-3 にすることによって研削比が 4 倍に、接線研削抵抗が $1/1.3$ に、研削面粗さが $1/2$ に向上し、かつ結合度むらのないような研削性能を発揮する。

文 献

- (1) 向井・横川, 巻付けノズルによる研削油剤供給法に関する研究, 砥粒加工学会誌, 31-238 (1987), 21.
- (2) 横川・横川, 2 液供給法による BORAZONCBN ホイールの研削性能の向上, 精密工学会誌, 53-3 (1987), 467.
- (3) 横川・向井, 研削油剤供給法とその研削性能におよぼす影響 (第 3 報), 昭和 56 年度精機学会春季大会学術講演論文集, (1981-3), 331.