2 液供給法の開発による BORAZON CBN

ホイールの研削性能の向上*

横 川 宗 彦** 横 川 和 彦***

Grinding Performance of BORAZON CBN Wheels Obtained
by the Development of Dual-fluid Supply Method

Munehiko YOKOGAWA and Kazuhiko YOKOGAWA

Straight grinding fluids have been shown to have high performance but were not used in actual grinding because of the high possibility of fire hazards and thermal distortion of work. A dual-fluid supply method has been developed by the authors that makes such grinding fluids practically applicable. The method consists of supplying a straight grinding fluid from a Makitsuke nozzle (that stick the grinding fluid to the wheel surface) and, at the same time, directing a coolant on the underside of workpiece. The method has been applied successfully in high efficiency grinding ($1\,200\text{ mm}^2/\text{min}$) using a CBN wheel, with the result of a grinding performance about 5 times better than that obtainable by the conventional method.

Key words: CBN grinding wheel, straight grinding fluid, high efficiency grinding, grinding performance, Dual-fluid supply method, Makitsuke nozzle

1. 結 論

一般に研削油剤は水溶性に対し不水溶性の方がホイール寿命が長くなる¹⁾ことが知られている。特に CBN ホイールでは、CBN 砥粒が 900°C 以上になると水と加水分解を起こす ($\text{BN} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 + \text{NH}_3$ ↑²⁾) ことから、不水溶性研削油剤の方が好ましいと考えられる。

ところが不水溶性研削油剤は一般的に用いられない。なぜならば不水溶性研削油剤で研削すると、(1) 発火の恐れ、(2) 工作物が熱変形し、寸法制御ができない、という2つの大きな問題のためである。

そこで軽研削だけでなく重研削においても、研削性能が高い不水溶性研削油剤を使用可能にするために解決策を考案した。それは研削点には不水溶性研削油剤を、工作物には冷却液を供給する方法である。これにより発火の問題は解消でき、また工作物の熱変形が抑えられて寸法精度のよい研削が行える。したがって何の問題もなく不水溶性研削油剤のみを用いた場合と同じ研削性能が得られると考えた。

この方法を2液供給法と命名し、それをCBNホイールの研削に適用し、その効果を明らかにする。

2. 2 液 供 給 法

図1に2液供給法の原理図を示す。研削点には不水溶性研削油剤を、工作物には冷却液を供給する方法である。ここで研削点に不水溶性研削油剤を供給するのに巻付けノズル³⁾を用いている。これはホイール表面に不水溶性研削油剤を巻き付け研削点に確実に油剤を到達させると共に、冷却液の研削点への流入を防ぐためである。したがって研削は潤滑性の良い不水溶性

Fig. 1 Principle of dual-fluid supply method

* 原稿受付 昭和61年5月22日、昭和58年度精機学会秋季大会学術講演会（昭和58年10月16日）にて発表

** 学生会員 明治大学大学院（川崎市多摩区東三田1-1-1）

*** 正 会 員 明治大学工学部

Fig. 2 Experiment equipment of dual-fluid supply method

A; Makitsuke nozzle and cooling nozzle, B; pipe, C; separate tank, D; pumps

Fig. 3 Circulation system of dual-fluid supply method

研削油剤のみで行われる。

工作物の下側から自在ノズルで供給される冷却液は、工作物を冷却して熱変形を抑えたと共に、研削火花を消し発火防止の役目をする。

このように供給された不水溶性研削油剤と冷却液を循環して使うため、それらの比重差を利用して分離をし、再度別々に供給している。

図2に実験装置を、図3に不水溶性研削油剤と冷却液の流れを示す。研削点及び工作物に各々供給された不水溶性研削油剤と冷却液はベッド上で混ざり、1本の配管を通りタンクに戻る。この混合液はタンク中を流れる間に比重差によって分離し、タンクの端にある2つのポンプによって不水溶性研削油剤と冷却液が別々に吸い上げられ、再び別々に供給さ

Fig. 4 Makitsuke nozzle in operation

れる仕組みになっている。

3. 巻付けノズル

巻付けノズルとは、研削油剤をホイールの回転方向に対し垂直方向から供給することにより、研削油剤をホイールに完全に巻き付けさせることができるノズルである³⁾。

図4に巻付けノズルで研削油剤を供給した状態を示す。研削油剤がホイールに完全に巻き付いており、さらに両センタ位置から考えて研削点に確実に到達していることがわかる。

巻付けノズルがホイール周速度 3 600 m/min においてホイールに研削油剤を完全に巻き付けさせ、研削点に研削油剤が到達することを定量的に確認するため、Michell の動圧軸受の原理⁴⁾によって研削点における油剤の発生圧力を測定した。

図5にその測定方法を示す。直径 60 mm の円筒状測

Fig. 5 Measurement equipment of grinding fluid pressure at grinding point

Fig. 6 Pressure distribution across width of wheel

定物は、ホイール周速度 3600 m/min で回転する直径 300 mm のホイールとの間に微小すきまを設けて、研削位置に両センタで固定されている。その測定物の研削位置には、ホイール面に対して垂直方向に直径 0.7 mm の穴が開いている。

研削点で発生した油剤による圧力は、この穴を通じて銅管で接続された U 字管マンオメータで測定できる。測定条件として、研削油剤は粘度 4.7 mm²/s の精製鉱物油 M1 オイル、油剤の流量は 17 l/min としている。

図 6 に研削点での油剤による発生圧力のホイール幅方向の分布を、通常ノズルと巻付けノズルについて測定した結果を示す。ここで測定物とホイールとのすきまは 50 μm としている。

研削部(ホイール幅 15 mm の中央 7 mm)において、通常ノズルでは約 1.6 kPa とほとんど圧力が発生していないのに対し、巻付けノズルでは約 113 kPa もの圧力が発生している。したがって通常ノズルでは油剤が研削点にほとんど到達しないのに対し、巻付けノズルでは油剤がホイールに完全に巻き付いて研削点に確実に到達している。

図 7 に巻付けノズルを用いた場合の研削点での油剤による発生圧力のホイール半径方向の分布を示す。測定物とホイールのすきまが大きくなるにつれ、研削油

Fig. 7 Relation between occurred pressure and clearance

剤の発生圧力は低下し、すきまが約 0.7 mm のところで負圧を生じる。したがってホイールに巻き付いている油剤の液層厚さは約 0.7 mm であることがわかる。

したがって、2 液供給法に巻付けノズルを用いることにより、(1) ホイールに不水溶性研削油剤を完全に巻き付かせ、研削点に確実に油剤を到達させる、(2) ホイールに巻き付いている約 0.7 mm の不水溶性研削油剤層のため、工作物に供給される冷却液が流入するのを防ぐことができる。

4. 2 液供給法用の不水溶性研削油剤の選定実験

一般に不水溶性研削油剤には、精製鉱物油のほかに脂肪油、その他種々の添加剤が含まれており、研削性能はそれらの添加剤によって大きく影響される。まず 2 液供給法の効果を知るために脂肪油も添加剤も入っていない不水溶性研削油剤、すなわち精製鉱物油のみで研削を行うことにした。

2 液供給法は一度供給され混合した不水溶性研削油剤と冷却液を再度供給するまでの間に、完全に分離させなければならない。したがって 2 液供給法で用いる不水溶性研削油剤は乳化せず、冷却液との分離時間が早いものがよい。

Table 1 Properties of test oil

	M 1 Oil (Spindle oil # 40)	M 2 Oil (Spindle oil # 60)	M 3 Oil (Mineral oil)
Viscosity (mm ² /s) 40°C	4.7	10.0	15.0
Specific gravity 15/4°C	0.8375	0.8620	0.8770

Table 2 Emulsion characteristics test

	M 1 Oil (Spindle oil # 40)	M 2 Oil (Spindle oil # 60)	M 3 Oil (Mineral oil)
Emulsion characteristics test	40-40-0(1)	40-40-0(5)	40-40-0(20)

OIL : M1 (SPINDLE OIL #40) [VISCOSITY : 4.7 mm²/s
SPECIFIC GRAVITY : 0.8375

STIRRING TIME : 60 sec

Fig. 8 Separating state of oil and coolant

そこで表1に示す精製鉱物油であるM1, M2, M3オイルについて、潤滑油抗乳化性試験方法⁵⁾に基づき抗乳化試験を行った。表2にその結果を示す。結果の表示法は試験方法⁵⁾に基づき、油層 (ml)-冷却液層 (ml)-乳化層 (ml) [経過時間 (min)] である。表からM1, M2, M3オイル共に乳化せず、分離時間は各々1 min, 5 min, 20 minであった。

精製鉱物油であるM1オイルと冷却液との分離経過及び分離状態を観察した。M1精製鉱物油40 mlと冷却液40 mlとを100 ml用のメスシリンダに入れ、室温20°Cにおいて1 min間激しく攪拌し、定盤上に置き観察した。実際2液供給法を行った際はこのような激しく混ざり合うことはないので、この実験で求めた分離時間を考えれば十分である。

図8に結果を示すが、全く乳化せず、冷却液と攪拌後約2 minでほとんど分離し、5 minでは完全に分離している。

以上のように、M1, M2, M3共に全く乳化せず分離

Fig. 9 Separation tank

時間も速いことから、いずれも2液供給法用の油剤として適切である。

5. 分離方法及び分離タンク

一度供給し混合した不溶性研削油剤と冷却液とは、それらの比重差を利用すれば分離できる。この比重差による分離法は、自然分離の沈殿分離法と強制分離の遠心分離法などが考えられる。ここでは自然分離の沈殿分離法を用いて実験した。

供給された不溶性研削油剤と冷却液とはベッド上で混合し、1本の配管を通りタンクに入る。問題はこのタンク中で分離させ、不溶性研削油剤と冷却液を2つのポンプによって別々に供給することである。

4章で述べた抗乳化性試験で分離時間を最も要したのがM3オイルで20 minであった。したがって不溶性研削油剤が分離タンクを一循環する時間は20 minで十分であるが、余裕をとって30 minとした。

研削中の不溶性研削油剤の流量が17 l/minであるので、30 minで一循環するためには分離タンク中の不溶性研削油剤の必要量は約500 lとなる。分離タンクには不溶性研削油剤と冷却液を同量ずつ入れることにすると、分離タンクの容量は1 klとなる。

分離タンクを図9に示す。分離タンクは混合液が分離しやすいようにタンクを10等分したうえ、それらの仕切りには液路を上側に下側に各々ジグザグに設けている。ベッド上で混合した液が分離タンクに入ると、軽い液すなわち不溶性研削油剤が主な液は上側を通過して、重い液すなわち冷却液が主な液は下側を通過して分離していく。分離タンクの端に設けている2つのポンプによって、1つは分離した上側の不溶性研削油剤層、もう1つは下側の冷却液層が別々に吸い上げられ、2つのノズルによって別々に供給される構造に

Fig. 10 Effect of dual-fluid supply method on grinding performance

なっている (図3 参照)。

6. 2液供給法による研削性能

従来の研削油剤供給法と2液供給法によるCBNホイールの研削性能を比較した。

従来の研削油剤供給法ではエマルジョンタイプの水溶性研削油剤 (W1種2号) のMOを、2液供給法では粘度4.7 mm²/sの精製鉱物油M1と冷却液を、また粘度15.0 mm²/sの精製鉱物油M3と冷却液を用いて研削を行った。研削条件はホイールにCBN(550) 80/100 W₁ 200 VN 4を、工作物にSCM 435 (HRC 43~48) を用い、単位時間当たり研削代断面積1200 mm²/minという高能率研削で、速度比100 ($g/a = 6.62 \times 10^{-4}$, $l = 1.02$ mm) である。この g/a 及び l の値は切れ刃にかかる負荷がかなり高く、相当に厳しい研削条件である⁹⁾。

図10にそれらの研削性能を比較する。M0で従来の油剤供給法を行った場合、研削面粗さが3 μmR_zになるまでのホイール単位円周長さ当たり限界研削代断面積は17.3 mm²/mmに対し、M1で2液供給法を行っ

た場合約3倍の50.1 mm²/mmに、さらにM3で2液供給法を行った場合約5倍の80.6 mm²/mm、研削比もM0, M1の7700に対し19000と研削性能が向上した。

これは水溶性研削油剤に比較し不水溶性研削油剤の潤滑性が高いため、また粘度が高い方が高圧下においても潤滑性が増す⁷⁾ためと考えられる。

図11にM0での従来の油剤供給法とM1による2液供給法による研削状態を示す。2液供給法では工作物の下側から供給する冷却液で研削火花を消す。ここでは研削火花を観察するため、冷却液の流量を減少させた場合も示す。

従来の油剤供給法では研削火花は明るい黄白色なのに対し、2液供給法では赤暗色である。つまり2液供給法では研削点温度が低いことがわかる。これは従来の油剤供給法では水溶性研削油剤ゆえ潤滑性に劣るうえ、研削点に油剤が到達しないのに対し、2液供給法では潤滑性に優れた不水溶性研削油剤が研削点に確実に到達したためと考えられる。したがって2液供給法では研削点温度が低いことから工作物に与える熱的影響も小さいと考えられる。

研削中における分離タンク内の分離状態は、10等分されたタンク内の2番目 (図3のB槽) で完全に分離していた。M1で2液供給法を1か月間行った後、各々のノズルから不水溶性研削油剤と冷却液を採取し、電量滴定法により微量水分測定を行った。M1中には80 ppmの水分、冷却液には3%の油分しか含まれていない。したがって不水溶性研削油剤と冷却液とは完全に分離していると言える。

7. 結 論

研削性能を向上させるため2液供給法を考案し、その効果を明らかにした。以下にその結果を示す。

- (1) 2液供給法に巻付けノズルを用いることにより、潤滑性の高い不水溶性研削油剤が研削点に確実に到達するうえ、約0.7 mmの層をなしてホイールに巻き付いているため、工作物に供給される冷却液が研削点に流入することを防ぐ。したがって研削は不水溶性研削油剤のみで、工作物の冷却は冷却液のみであり、供給される2液は目的に合った通り別々の仕事をする。
- (2) 精製鉱物油M1, M2, M3は全く乳化せず、分離時間も十分早い。
- (3) 2液供給法を用いて、単位時間当たり研削代断

WHEEL : CBN(550)80/100W200VN4
 WORKPIECE : SCM435 (HRC43-48)
 WHEEL PERIPHERAL SPEED : 3600 m/min
 WORK PERIPHERAL SPEED : 36 m/min
 STOCK REMOVAL RATE : 1200 mm²/min
 GRAIN DEPTH OF CUT : 6.62×10^{-4}
 ARC OF CONTACT : 1.02 mm
 SPARK OUT : 20 rev

— DRESSING CONDITION —
 DRESSER : SINGLE POINT
 DIAMOND DRESSER

	LEAD(mm/rev)	DEPTH OF CUT
▲ NO.1	0.1	# 5 μm x 1
● NO.2	0.1	# 5 μm x 2

— GRINDING FLUID SUPPLY METHOD AND GRINDING FLUID —

Fig. 11 Grinding operation

面積 1200 mm²/min という高能率研削を行っても、発火せず、工作物の熱変形によるトラブルもなく研削できた。

- (4) 研削性能を比較した結果、エマルジョンタイプの M0 で従来の油剤供給法で行った場合に対し、2液供給法を粘度 4.7 mm²/s と低い M1 オイル

で行った場合約 3 倍、粘度 15.0 mm²/s と高い M3 オイルで行った場合約 5 倍と研削性能が飛躍的に向上した。

- (5) 研削火花から判断すると 2 液供給法は研削点温度が低く、工作物への熱的影響は小さい。

- (6) 1 か月間 2 液供給法を行い、各々のノズルから不水溶性研削油剤と冷却液を採取し分析した結果、完全に分離していることが確認された。

以上のように目的通りに巻付けノズルが作用し、不水溶性研削油剤と冷却液が分離した。したがってそれらを利用した 2 液供給法は不水溶性研削油剤の欠点、すなわち不水溶性研削油剤のみで研削を行った場合に起こる発火問題及び工作物の寸法制御問題を解決できた。また従来の研削油剤供給法に対し工作物の表面性状も向上させたうえ、何の問題もなく不水溶性研削油剤のみで研削を行った場合の研削性能まで飛躍的に向上させることができた。

この方法は非常に簡単な仕組みで済み、遠心分離機を用いればさらに効率良く分離できることから、容易に現場で利用できる。また CBN ホイールに限らず他の工具にも応用できる。

参考文献

- 横川和彦：高精度高速高能率研削，機械技術，23，9（1975）106.
- C. Borse: TZ für praktische Metallbearbeitung, 66, (1972) H. I. S. 1/8.
- 横川和彦：研削油剤供給法とその研削性能に及ぼす影響，昭和 55 年度精機学会春季大会学術講演会講演論文集（1980）302.
- A. G. M. Michell: The Lubrication of Plane Surface, Z. Math. Phys., Bd. 52, (1905) 123.
- JIS K 2520 潤滑油抗乳化性試験方法.
- 横川宗彦，横川和彦：研削機構より解析した BORAZON CBN ホイールの最適研削条件，精密機械，50，10（1984）1622.
- 横川和彦：高精度高速高能率研削，機械技術，23，10（1975）86.