単結晶及び微細結晶体 BORAZON CBN

ホイールの研削特性*

横川 宗彦** 横川 和彦***

Grinding Properties of Monocrystalline and Microcrystalline BORAZON CBN Grinding Wheels

Munehiko YOKOGAWA and Kazuhiko YOKOGAWA

This paper is an attempt to clarify the grinding properties of monocrystalline and microcrystalline CBN grinding wheels. The grinding performance of the microcrystalline CBN wheel is 2 to 3 times better than that of monocrystalline. In high efficiency grinding, its initial grinding force doesn't go beyond a certain level as does the monocrystalline. Its grinding force is independent of the influence of increasing stock removal, if used under optimum grinding conditions. Furthermore, it has a long service life and is free from burning even in high efficiency grinding. These and other findings indicate that the microcrystalline CBN wheel has properties that are ideal for high efficiency, accurate grinding.

Key words: monocrystalline CBN, microcrystalline CBN, grinding performance, high efficiency grinding, accurate grinding, initial grinding force, burning, optimum grinding condition

1. 緒論

CBN 砥粒は目つぶれ等を起こし難く、砥粒先端にある微細な切れ刃がほとんど摩耗せず研削が行える。したがって CBN ホイールの研削性能を高めるには CBN 砥粒を脱落、大破砕させず、十分に保持させることが大切であることを単結晶 CBN 砥粒で以前明らかにしたり、これはすべて砥粒周辺の因子を操作し砥粒保持力を変化させての結論である。

今回は砥粒自体について、へき開面のある単結晶 CBN 砥粒ではなく、へき開面がないため大きな破砕をしない CBN 砥粒自体の保持力を高めた微細結晶 CBN 砥粒を用いた場合の研削性能を明らかにした。また単結晶 CBN ホイール及び微細結晶 CBN ホイールの研削性能差及び研削特性を、各砥粒の構成状態及び研削による砥粒の破砕状態などから考察した。

2. 実験方法

表 1 に示す単結晶及び微細結晶体 CBN ホイール

* 原稿受付 昭和60年11月28日、昭和58年度精機学会春季大会学術講演会(昭和58年3月27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

について表の条件で円筒プランジ研削を行い、研削性能を求めた。

研削性能はホイール単位円周長さ当たり研削切断面積 (mm^2/mm) の増加に伴うホイール法線方向の振動加速度 (m/s^2), ホイール単位幅当たりの接線研削抵抗 (N/mm), 研削面粗さ (μmR_z), 真円度 (μm) 及び研削比を各々測定して評価した。また砥粒の分析, ドレッシング及び研削後の切れ刃の走査電子顕微鏡

Table 1 Grinding condition

Grinding wheel ; CBN(Type I)80/100 W₁ 200 VN 4
CBNC(Type II)80/100 P 100 B 3.0
CBN(550)80/100 W₁ 200 VN 4
CBNC(560)80/100 P 100 B 3.0

Workpiece ; SCM 435 (HRC 43-48)

Stock removal rate ; 90, 1 200 mm²/min

Wheel peripheral speed ; 3 600 m/min

Work peripheral speed ; 36 m/min (Case 90, 1 200 mm²/min)
; 18 m/min (Case 1 200 mm²/min)
; 12 m/min (Case 1 200 mm²/min)

Spark out ; 20 rev

Grinding fluid ; Case 90 mm²/min
Soluble type
(Sun light EC-11 [1 : 80])
Case 1 200 mm²/min
Emulsion type
(Sun cut HP-104 [1 : 20])

Fig. 1 Monocrystalline CBN grains and microcrystalline CBN grains (Grain size 80/100)

(SEM) による観察などから研削性能差及び各研削特性を考察した。

3. 実験に用いた砥粒

図1に実験に使用した単結晶及び微細結晶CBN砥粒を示す。単結晶であるType I砥粒は四面体や八面体の頂点を切って面にした形、つまり球に近い形がほとんどであり、表面はきれいな結晶面で形成されて

いる。微細結晶体である550砥粒は球に近い形、偏平形など種々で、表面も非常に不規則な形状である。Type I及び550砥粒はビトリファイドボンド用である。Type II及び560砥粒はレジソボンド用として各々Type I及び550砥粒にNi被覆を施したものである。

4. レジソボンド CBN ホイールの研削性能

レジソボンド単結晶CBNホイールCBNC(Type II)80/100 P 100 B 3.0と微細結晶体CBNホイールCBNC(560)80/100 P 100 B 3.0における単位時間当たり研削代断面積90 mm²/minにおける研削性能を図2に示す。

単結晶Type IIホイールは研削面粗さが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が74.2 mm²/mm、研削比12 200であるのに対し、微細結晶体560ホイールは3倍の222.6 mm²/mm、研削比16 500と研削性能が高い。

CBNホイールの接線研削抵抗は、一般に研削を続けるに従い低下していき一定値になる。したがって接線研削抵抗を論じるにはその初期値、また一定となっ

Fig. 2 Grinding performance of BORAZON Type II wheel and BORAZON 560 wheel

Fig. 3 Grinding performance of BORAZON Type I wheel and BORAZON 550 wheel (1)

たときの値を安定値と名付けるが、これらについて述べる。接線研削抵抗の初期値は Type II ホイールが 4.31 N/mm に対し、560 ホイールは 4.90 N/mm と 0.6 N/mm 高く、また安定値も約 1.47 N/mm に対し約 2.16 N/mm と、560 ホイールは Type II ホイールの場合の約 1.5 倍である。

5. ビトリファイドボンド CBN ホイールの研削性能

5.1 単位時間当たり研削代断面積 90 mm²/min の場合

ビトリファイドボンド単結晶 CBN ホイール CBN (Type I) 80/100 W₁ 200 VN 4 と微細結晶体 CBN ホイール CBN (550) 80/100 W₁ 200 VN 4 による単位時間当たり研削代断面積 90 mm²/min における研削性能を図 3 に示す。

単結晶 Type I ホイールは研削面粗さが 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が 265.0 mm²/mm に対し、微細結晶体 550 ホイールは 2 倍以上の 572.4 mm²/mm と研削性能が高い。

しかし接線研削抵抗は初期値で Type I ホイールが 4.90 N/mm に対し 550 ホイールは 5.49 N/mm と 0.6 N/mm 高く、安定値も Type I ホイールが約 1.47 N/mm、550 ホイールは約 2.26 N/mm と約 1.5 倍で

ある。

5.2 単位時間当たり研削代断面積 1200 mm²/min の場合

単位時間当たり研削代断面積 1200 mm²/min、速度比 100, 200, 300 での Type I ホイールと 550 ホイールの研削性能を図 4 に示す。

Type I ホイールは研削面粗さが 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、研削比が速度比 100 で 11.2 mm²/mm、3200、速度比 200 で 24.0 mm²/mm、6000、速度比 300 で 35.8 mm²/mm、12200 に対し、550 ホイールでは各々 17.3 mm²/mm、7700；30.6 mm²/mm、8400；40.3 mm²/mm、12400 であり、いずれの速度比においても 550 ホイールの方が研削性能が高い。また Type I、550 ホイールとも速度比が高くなるにつれ、正確には砥粒 1 個にかかる負荷²⁾が少なくなるに従い研削性能が向上する。

初期接線研削抵抗は双方のホイールとも速度比にかかわらず一定で、Type I ホイールは約 12.5～15 N/mm、550 ホイールは約 10 N/mm と単位時間当たり研削代断面積 90 mm²/min の場合と逆で Type I ホイールの方が高い。しかし接線研削抵抗の安定値は Type I ホイールよりも 550 ホイールの方が高い。

6. 研削面粗さの断面曲線の形態の比較

図 5 はビトリファイドボンド微細結晶体 CBN ホ

Fig. 4 Grinding performance of BORAZON Type I wheel and Borazon 550 wheel (2)

Fig. 5 Relation between surface roughness curves and grinding condition

イールを用いて単位時間当たり研削代断面積 480, 840, 1200 mm²/min で砥粒 1 個にかかる負荷²⁾を変化させた場合の研削面粗さ 3 μmR_z 程度の断面曲線の比較である。いずれの単位時間当たり研削代断面積に

おいても切削領域²⁾³⁾から最適研削条件²⁾³⁾まではうねりのない鋭利な断面曲線であるのに対し、すべりを伴う領域²⁾³⁾ではうねりを伴った断面曲線である。これはすべりを伴う領域は図 6 に示すように研削熱によって 550 砥粒の一部が熱劣化するためである。

7. 接線研削抵抗の比較

単結晶及び微細結晶体 CBN ホイールで速度比 100 にて研削した場合の単位時間当たり研削代断面積と接線研削抵抗の初期値及び安定値の関係を図 7 に示す。

初期研削抵抗値は単位時間当たり研削代断面積の増加に伴い Type I ホイールは比例的に高くなるのに対し 550 ホイールは約 12 N/mm で安定し、単位時間当たり研削代断面積 360 mm²/min を境として小さい領

Fig. 6 BORAZON 550 cutting edge degraded by grinding heat (Grain size 80/100)

域では 550 ホイールの方が、大きい領域では Type I ホイールの方が高い。その結果、単位時間当たり研削代断面積 $1200 \text{ mm}^2/\text{min}$ では Type I ホイールは約 16 N/mm 、550 ホイールは約 11 N/mm と Type I ホイールの $2/3$ の値である。

安定接線研削抵抗値は 550 ホイールは Type I に比べ高いが、初期接線研削抵抗と同様に単位時間当たり研削代断面積の増加に伴い Type I ホイールの安定抵抗値は比例的に高くなるのに対し、550 ホイールは約 6 N/mm で安定する。単位時間当たり研削代断面積 $1200 \text{ mm}^2/\text{min}$ では双方のホイール共約 6 N/mm と同程度であり、さらに単位時間当たり研削代断面積が大きくなると Type I ホイールの方が高くなると推察される。

また 550 ホイールの接線研削抵抗の初期値と安定値の差は Type I ホイールの場合の差に比べ非常に小さい。例えば単位時間当たり研削代断面積 $1200 \text{ mm}^2/\text{min}$ で初期値と安定値の差は、550 ホイールでは約 5 N/mm であり、Type I ホイールの約 10 N/mm の $1/2$ である。また 550 ホイールは最適研削条件²⁾³⁾で研削すると、図 8 のように接線研削抵抗はドレッシング直後から一定である。

8. 単結晶及び微細結晶体 CBN ホイールのドレッシング後、研削後の切れ刃

単結晶及び微細結晶体 CBN ホイールのドレッシング後（工作物研削表面粗さ約 $0.3 \mu\text{mR}_z$ ）の切れ刃を図 9 に、工作物研削

WHEEL	TANGENTIAL GRINDING FORCE	
	INITIAL	STEADY
CBN (Type I) 80/100W, 200VN4	○	●
CBN (550) 80/100W, 200VN4	□	■

WORKPIECE : SCM435 (HRC 43-48)
WHEEL PERIPHERAL SPEED : 3600 m/min
WORK PERIPHERAL SPEED : 36 m/min
SPARK OUT : 20 rev
GRINDING FLUID : EMULSION TYPE
(SUN CUT HP-104 (1:20))
DRESSING CONDITION :
DRESSER : SINGLE POINT DIAMOND DRESSER
LEAD : 0.1 mm/rev DEPTH OF CUT : $\phi 5 \mu\text{m} \times 1$

Fig. 7 Relation between tangential grinding force and stock removal rate on BORAZON Type I wheel and BORAZON 550 wheel

STOCK REMOVAL RATE mm^2/min	STOCK REMOVAL PER WHEEL CIRCUMFERENTIAL LENGTH mm^2/mm									
	21.2	42.4	63.6	75.1	98.0	106.0	127.2	148.4	169.6	185.9
480	21300	19500	19200	16800	15700	15500	16000	15400	14000	
840	23000	16200	15600	11000						
1200	12600	10500	9700	9300

WHEEL : CBN (550) 80/100W, 200VN4
WHEEL PERIPHERAL SPEED : 3600 m/min
STOCK REMOVAL RATE : 480, 840, 1200 mm^2/min
SPARK OUT : 20 rev
WORKPIECE : SCM435 (HRC 43-48)
GRINDING FLUID : EMULSION TYPE
(SUN CUT HP-104 (1:20))

[GRAIN DEPTH OF CUT : g/s]
[ARC OF CONTACT : l]

STOCK REMOVAL RATE mm^2/min	SYMBOL	$g/s \times 10^4$	l mm
480	△	1.32	2.03
840	□	2.00	2.33
1200	○	2.26	3.27

DRESSING CONDITION :
DRESSER : SINGLE POINT DIAMOND DRESSER
LEAD : 0.1 mm/rev
DEPTH OF CUT : $\phi 5 \mu\text{m} \times 2$

Fig. 8 Grinding performance of CBN(550)80/100 W, 200 VN 4 on optimum grinding condition

— DRESSING CONDITION —
DRESSER : SINGLE POINT DIAMOND DRESSER
LEAD : 0.1 mm/rev. DEPTH OF CUT : $\phi 5 \mu\text{m} \times 2$

Fig. 9 Comparison on cutting edges of BORAZON Type I wheel and BORAZON 550 wheel after dressing

WHEEL PERIPHERAL SPEED : 3600 m/min
WORK PERIPHERAL SPEED : 36 m/min
STOCK REMOVAL RATE : 90 mm³/min
WORKPIECE : SCM435 (HRC43-48)
SPARK OUT : 20 rev
GRINDING FLUID : SOLUBLE TYPE (SUN LIGHT EC-11 (1:80))
SURFACE ROUGHNESS : ABOUT $3 \mu\text{mR}_z$

DRESSING CONDITION
DRESSER : SINGLE POINT DIAMOND DRESSER
LEAD : 0.1 mm/rev DEPTH OF CUT : $\phi 5 \mu\text{m} \times 2$

Fig. 10 Comparison on cutting edges of BORAZON Type I wheel and BORAZON 550 wheel after grinding

面粗さ $3 \mu\text{mR}_z$ 時の切れ刃を図 10 に示す。

ドレッシング後の切れ刃は双方共に非常に微細な破碎をして形成されているが、550 ホイールの方が若干鈍い。研削後の Type I ホイールの切れ刃は微細破碎して鋭利であり、また切れ刃先端がそろっている。550 ホイールの切れ刃は平らに近いものが多いが、研削方向に溝状に破碎された傾向を示す。

9. 単結晶 CBN 砥粒及び微細結晶 CBN 砥粒について

図 11 にエッチング処理を施した微

Fig. 11 Etched BORAZON 550 grains (Grain size 80/100)

Fig. 12 Bending stress of CBN(Type I)80/100 W₁ 200 VN 4 and CBN(550)80/100 W₁ 200 VN 4

細結晶 CBN 砥粒を示す。20 μm 程度の単結晶 CBN 粒子を核として、サブ μm ～数 μm の微細 CBN 粒子が緻密に結合している。

各ビトリファイドボンドホイール試験片の抗折力を図 12 に、粒度 80/100 のフライアビリティを図 13 に、フライアビリティ試験後の砥粒を図 14 に示す。微細結晶 CBN 砥粒は単結晶 CBN 砥粒に比べ強度が高いことがわかる。図 15 に抗折破断した砥粒を示すが、単結晶 CBN 砥粒は大きくかつ鋭利に破断しているのに対し、微細結晶 CBN 砥粒は微細粒子の界面から破

Fig. 13 Toughness of Type I and 550 (Grain size 80/100)

Fig. 14 State of BORAZON Type I and BORAZON 550 grain after stirring (Grain size 80/100)

Fig. 15 Fractured sections of BORAZON Type I and BORAZON 550 (Grain size 80/100)

断しており、また所々 $20\mu\text{m}$ 程度の単結晶粒子の破断部がある。

10. 考 察

微細結晶体 CBN ホイールが単結晶 CBN ホイールに比べ研削性能が高いのは、9 節で示したように砥粒強度が高く、また 8 節で示したように切れ刃が大きく破砕し難いためである。

図 5 で示したように微細結晶体 CBN ホイールの場合すべりを伴う領域で断面曲線にうねりがあるのは、図 6 に示したように切れ刃の一部分が熱劣化するため、及び切れ刃にかかる負荷²⁾が大きくなるので図 11 に示した $20\mu\text{m}$ 程度の単結晶粒子及び結合不均一部分から不均等に破砕するためであると考えられる。

7 節で述べたように微細結晶体 CBN ホイールの接線研削抵抗の初期値及び安定値が単位時間当たり研削代断面積が大きくなると各々一定値に近づき研削抵抗に上限値があるのは、微細結晶体 CBN 砥粒の構成粒子の結合力より大きな力が切れ刃に加わったときの粒子が微細破砕していくためである。CBN ホイールは

高性能なため日に日にさらに高い高能率研削が要求されているが、高能率研削において微細結晶体 CBN ホイールは単結晶 CBN ホイールよりもドレッシング直後の焼けなどのトラブルも発生し難く、また 7 節で述べたように初期抵抗値と安定抵抗値の差が小さく、特に最適研削条件では同じため内面研削などのホイール軸のたわみ量の変化による寸法、形状問題もなくなる。

11. 結 論

本研究は単結晶 CBN ホイール及び微細結晶体 CBN ホイールの研削性能及び研削特性を明らかにした。

- (1) 微細結晶体 CBN ホイールは単結晶 CBN ホイールに対し 2~3 倍の研削性能を示す。
- (2) 微細結晶体 550, 560 砥粒は約 $20\mu\text{m}$ 程度の単結晶 CBN 粒子を核としてサブ μm ~数 μm オーダの粒子が緻密に結合している。
- (3) 初期研削抵抗は単位時間当たり研削代断面積 $360\text{mm}^2/\text{min}$ を境として小さい範囲では微細結晶体 CBN ホイールの方が、大きい範囲では単結晶 CBN ホイールの方が高い。また微細結晶体 CBN ホイールの接線研削抵抗値には上限値がある。最適研削条件では接線研削抵抗の初期値と安定値の差はない。
- (4) 微細結晶体 CBN ホイールは高能率研削においても初期研削抵抗が高くないため、ドレッシング直後の焼けなどのトラブルも発生し難く、また最適研削条件では初期抵抗値と安定抵抗値との差がないため、高能率研削における工作物の曲がり変形の差がなく、内面研削においては工作物にテーパが発生せず、また寸法変化も生じない。
- (5) 微細結晶体 CBN ホイールの研削性能及び研削特性は、砥粒を構成する粒子の結合状態及び結合力によっている。

参 考 文 献

- 1) 横川宗彦, 米倉正晴, 横川和彦: BORAZON CBN ホイールの研削性能に及ぼす砥粒保持力の影響, 精密機械, **50**, 6 (1984) 963.
- 2) 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.
- 3) 横川宗彦, 横川和彦: 研削表面特性から解明した BORAZON CBN ホイールの最適研削条件, 精密機械, **51**, 8 (1985) 1575.