

CBN 砥石を用いた高品位研削加工技術の開発

Development of High-Quality Grinding Technology Using a CBN Wheel

森田 浩 H. MORITA

CBN grinding is characterized by both high productivity and stable grinding accuracy. We have strived and succeeded to add a new technology to CBN grinding which results in a high-quality surface finish by reducing both chatter and waviness, making it possible to use a CBN wheel to maintain a smooth surface from 1 μ m to less than 0.5 μ m. We have presented a new option of a CBN wheel for high-quality grinding primarily based on the conventional wheel.

Key Words: cylindrical grinding, CBN wheel, high-quality surface finish, visualization, quantification

1. はじめに

近年の高品位なモノづくりの現場では、高品位加工の技術を持つ熟練技能者の減少、後継者育成の遅れによる生産現場における人手不足が深刻化してきている。その対応として、熟練技能に頼らなくても高品位加工が可能な、高い付加価値のある加工技術や設備づくりへの取り組みが必要となっている。

特に最終仕上げである研削工程は、製品コストや品質競争において常に優位性を確保していくために、高い生産性とより安定した高品位加工の両立が強く求められている。

当社では、お客様ニーズに応えるために、「高い生産性」「安定した加工精度」を特長とする CBN (Cubic Boron Nitride: 立方晶窒化ほう素) 砥石による表面性状の向上に取り組み、これまで普通砥石での加工が主体であった高品位加工に CBN 砥石という新たな選択肢を提供できたので紹介する。

2. 高品位研削加工の現状と課題

今回の高品位加工では、仕上げ研削で表面粗さが 0.08 ~ 0.3 μ mRa に相当する円筒工作物 (シャフト, スピンドル, 工具ホルダなど) を対象とした。

現状、高品位加工を要求される工作物の場合、小ロットの多品種少量生産方式が主流で、汎用円筒研削盤で普通砥石が多く使われている。この場合、少数の汎用加工機を用いた小規模なライン構成となるが、工作物の幅や

形状が変わるたびに、砥石交換、ツーリング変更、ドレス作業、加工精度調整など段取り変更が必要となる。これにより稼働時間に対する実加工の正味率が低く、生産性向上を図りにくい。

次に、「生産性」「砥石寿命」の観点から普通砥石と CBN 砥石を比較した (図 1)。普通砥石は、研削能率 Z' (単位時間あたりの研削代断面積) が低く生産性が劣る。普通砥石の一般的な研削能率 Z' は 1 ~ 3 mm³/(mm \cdot s) である。普通砥石に使われる砥粒の硬度は、アルミナや炭化けい素砥粒でヌーブ硬さ 2 100 ~ 2 500 程度である。また、砥粒を保持する結合剤の強度も低いいため、研削抵抗による砥粒の破碎、脱落が発生して自生発刃が活発に行われる。これは、加工の進行に伴い砥石面の状態が変化することを意味しており、砥石寿命が短く、頻繁な目直し (ドレス作業) が前提の加工となる。




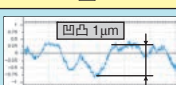
		生産性 (研削能率)	砥石寿命	表面性状
普通 砥石		△ 1	△ 粗さ ドレス 加工数	○ 
CBN 砥石		○ 5倍	○ 粗さ ドレス 加工数	△ 

図 1 普通砥石と CBN 砥石の比較

Comparison of conventional wheel and CBN wheel

一方、CBN 砥石の場合、研削能率 Z' は $1 \sim 15\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$ となり、普通砥石に比べて生産性が5倍以上の高能率研削が可能となる。CBN 砥粒の硬度は、ヌーブ硬さ4700で、ダイヤモンドの7000に次ぐ高さである。さらに、CBN 砥粒を高強度の結合剤（ビトリファイドボンド）で保持することにより、砥粒の破碎、脱落が少ないため、加工の進行に伴う砥石面の状態変化が少なく、長期にわたって加工精度を維持できる。そのため表面粗さ $0.3 \sim 0.5\mu\text{mRa}$ の自動車部品に代表される量産加工の研削には、普通砥石からCBN 砥石への積極的な置き換えが進んでいる。また、砥石修正のツールイングインターバルが長く、普通砥石の30～50倍の長寿命により、実加工の正味率が上昇して生産性も向上する。

次に、高品位研削の重要ポイントである「加工面性状」について比較する。高い表面品位を要求される加工においては、表面粗さ、真直度、真円度などの加工精度に加えて、加工面に光を反射させた際の「目視による見た目品質」も重要視される。CBN 砥石の場合は、表面粗さは普通砥石と同レベルでも、研削条痕に垂直方向に表れる「びびり」や、研削方向に表れる規則的な「うろこ状の模様」が発生しやすい（図2）。

これは、CBN 砥粒は自生発刃が少ないために工作物に硬く作用する特徴の表れである。また、研削方向の加工面断面形状は、普通砥石の場合、加工面の凹凸はあるが輪郭部分がぼやけるが、CBN 砥石の場合は、凹凸が顕著に観察される傾向にある。そのため「高い生産性」「安定した加工精度」を特長とするCBN 砥石による研削では、高品位加工に向けた表面性状の向上が必要となる。

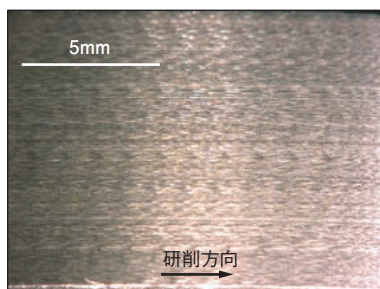


図2 「うろこ状の模様」(加工面拡大)

Scaly pattern “grinding surface magnified picture”

3. CBN 砥石による高品位加工実現のステップ

研削加工面には設備、工具、材料、加工条件、研削液、加工環境などの影響が強く反映されるため、どれひとつが欠けても高品位加工面は成立しない。特に、最終工程の仕上げ研削では、扱う寸法サイズが数ミクロン単位のため、表面品位の単位もサブミクロンの微小な凹凸が対象となる。今回、CBN 砥石による高品位加工を実現するために、以下のステップで取り組んできた。

- ①表面性状を見える化する計測技術、解析手法の確立
- ②表面性状悪化の要因解析
- ③対策、効果の検証

4. 表面性状を見える化する計測技術、解析手法の確立

これまで表面性状の測定には、触針式の表面粗さ計や真円度計を用いて断面形状を加工表面凹凸の深さやピッチ、周波数解析などで評価していた。この場合、触針が通過する一断面のみの評価となる。CBN 研削で顕著に表れる「うろこ状の模様」は、砥石幅方向の位置により加工面凹凸の状態が異なるため、測定場所による凹凸の深さなどの絶対値が異なり、一断面での測定、解析では限界があった。

当社では、仕上げ研削面の「見た目品質」にこだわり、光干渉型表面性状測定機を用いて測定データに複数の解析手法を加えることにより、従来、目視での観察しかできなかった「うろこ状の模様」を3次元の高さ情報を持つ面で忠実に再現して測定、解析を可能とした（図3）。これにより、表面性状悪化の要因と実際の加工面の変化を定量的に関連付け可能となり、悪化要因の寄与率から表面性状向上に向けた対策を効果的に実施できるようになった。

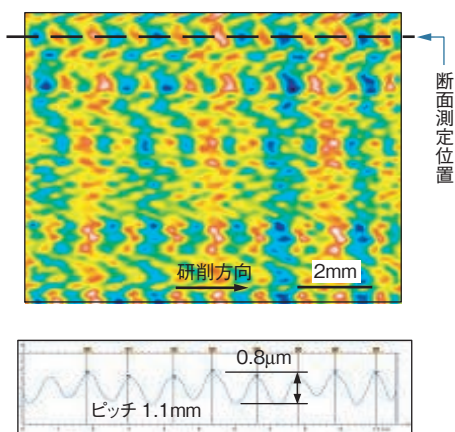


図3 表面性状 3次元測定例
Surface texture 3D measurement example

5. 表面性状悪化の要因解析

CBN 研削の加工面を複数断面で計測し、設備仕様、加工条件などを基に、表面の凹凸形状の周波数解析を行った。その結果、「びびり」「うろこ状模様」の主成分は、砥石回転周波数と同等であることがわかった。

そこで今回、表面性状悪化の要因として砥石軸回転系の振動、砥石修正、加工条件、研削抵抗に着目した。

一般的な軸物円筒研削サイクルでは、砥石が早送り速度で工作物に接近した後に、粗研削、精研削、微研削、スパークアウト、トラバース送りを経て仕上げ面が作られる。特に、微研削、スパークアウトおよびトラバース

送りの微小切り込みの工程にて加工面品位は創成されること、また、CBN 砥粒は高硬度なため微小破砕が発生しにくく、微小切り込みでは砥粒が工作物に食い込まず、上すべりを起こし易いことに着眼して、要因の対策を講じた。

6. CBN 砥石高品位研削加工の要素技術開発

これまで普通砥石を使用して高品位加工を行っていたお客様の生産性向上の要望に対し、CBN 砥石による高品位加工実現に向けた要素技術を開発した。

この「CBN 砥石による高品位研削」には以下の四つの特長がある(図4)。

①徹底した振動対策

高品位研削を創成する微小切り込みにおいて、設備起因の振動を低減するために、回転体系の振動発生源になる砥石軸、モータ、プーリ単体の振動振幅を計測し、動バランスを修正したうえでユニットを組み上げ、最終的には研削点に近い砥石台前面の振動を一定レベルに管理する徹底した振動低減対策を行った。

②高精度ツルーイング技術

CBN 砥石の切れ刃を作るツルーイングでは、ロータリダイヤモンドツルアを用いて、鋭利な切れ刃を作り、さらに切れ刃先端を均一に揃えるツルーイング条件の最適化を行った。

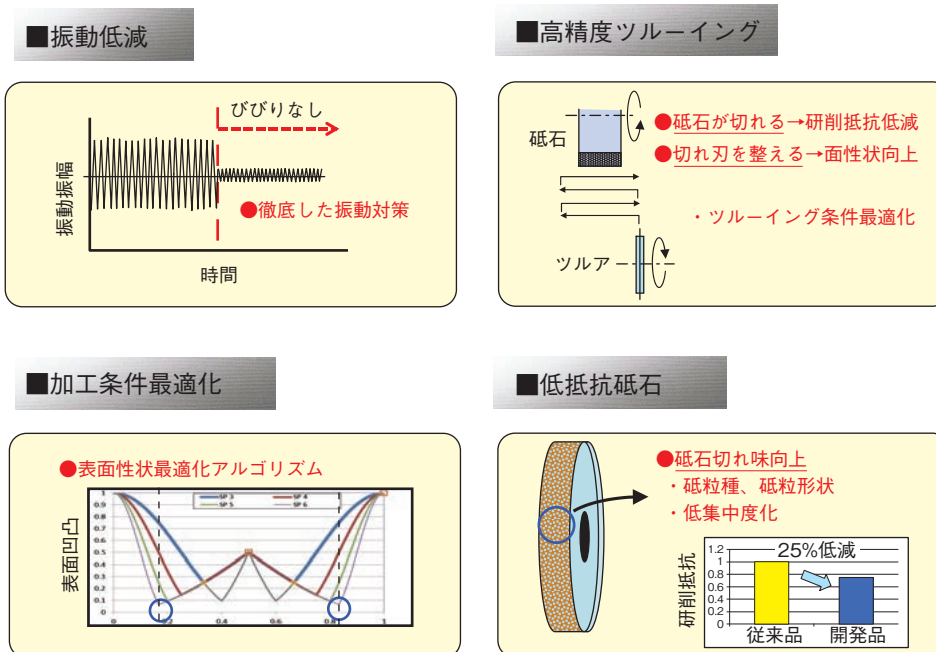


図4 CBN 砥石による高品位研削の特長
Features of high-quality grinding with a CBN wheel

③表面性状最適化アルゴリズム

回転する工作物を研削する場合、砥石と工作物の相対振動を最小化することは必要であるが、ゼロにはならない。外乱の影響による強制振動や研削砥石の切れ味変化による自励振動に対して、砥石と工作物の幾何学的干渉を考慮して、削り残しを最小化する加工条件アルゴリズムにより加工表面凹凸を低減した。

④低研削抵抗砥石の開発

高品位加工においては、微小切り込みで最終加工面を整えるため、研削抵抗を低減する CBN 砥石を開発した。砥石切れ味を確保するために、砥粒種類、砥粒形状、低集中度化、結合剤の改良により研削抵抗を従来比 25% 低減した。

従来、CBN 砥石による加工面に表れていた、「うろこ状の模様」が改善でき、加工面凹凸も $0.5\mu\text{m}$ 以下に低減できた。なお、この技術は e300G/e500G/GE4i/GL32Mi などの円筒研削盤に適用可能である (図 6)。

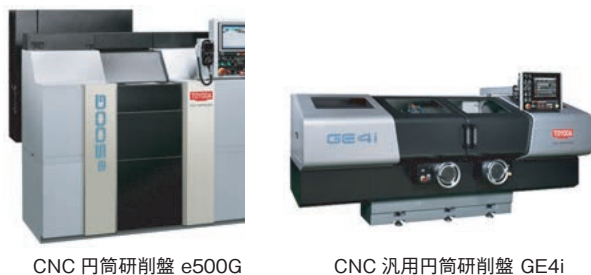


図 6 CBN 砥石による高品位加工研削盤
High-quality surface cylindrical grinder with CBN wheel

7. 高品位加工事例

CBN 砥石を用いた高品位加工について、円筒フランジ研削、円筒トラバース研削の加工事例を示す (図 5-1, 図 5-2)。

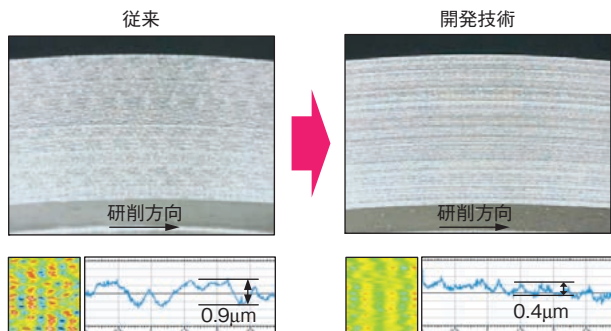


図 5-1 円筒フランジ研削加工事例
Grinding example (Cylindrical plunge grinding)

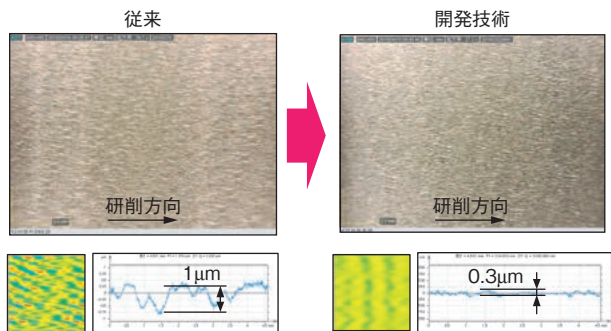


図 5-2 円筒トラバース研削加工事例
Grinding example (Cylindrical traverse grinding)

8. おわりに

今回、「高い生産性」と「安定した加工精度」を実現できる CBN 砥石高品位研削加工の要素技術を新たに開発した。

当社では、従来より「高生産性」「高精度」「高信頼性」「高機能化」など付加価値の高い革新技术に取り組んできた。今後も研削盤のトップメーカーとして、工作機械を通して日本のモノづくりを支え続ける思いで、お客様のニーズを先取りした工作機械、加工技術を積極的に開発、提案していきたい。

筆者



森田 浩*
H. MORITA

* 工作機械・メカトロ事業本部 工作機械技術部