

両頭平面研削加工用レジンホイール レボメイト 2 の開発

Development of RevoMate 2 for Double-Disc Surface Grinding

四井利彦 T. YOTSUI

In double-disc surface grinding, the difference in contact area between the upper and lower wheels causes unequal grinding pressures, leading to imbalanced material removal rates. To address this issue, we developed a new resin-bonded superabrasive wheel, “RevoMate 2.” The proposed design optimizes grinding performance by controlling the effective abrasive grain population and introducing a quantitative evaluation method based on grinding pressure. Because conventional wheels could not sufficiently compensate for pressure differences, we introduced a modified structure with enlarged chip pockets to suppress chip adhesion, especially in the grinding of ferrous materials. Grinding tests confirmed improved accuracy, stable stock removal ratio, and extended wheel life. The developed wheel is suitable for various grinding processes requiring high efficiency.

Key Words: double-disc surface grinding, CBN wheel, RevoMate 2, resin-bonded wheel, grinding pressure

1. はじめに

超砥粒ホイールであるダイヤモンドホイールおよび CBN ホイールは、摩耗量が少なく、高い加工精度を維持できることから自動車部品などの量産加工や高精度加工に広く用いられている。一方、近年は製造コストおよび環境負荷低減の観点から工具の長寿命化が求められている。この要求に応えるため、当社ではセラミックスの研削加工を対象に超砥粒レジンホイール「レボメイト」を開発した。レボメイトは従来のレジンホイール構造を見直し、被削材の加工特性に応じて砥石構造を最適化することで優れた切れ味と耐摩耗性を両立した製品である。

レボメイトの開発で得られた砥石設計技術を量産部品の高能率加工に広く用いられる両頭平面研削加工用ホイール（図 1）へ適用したが、十分な性能は得られなかった。

本報では、レボメイトをベースに鉄系材料の両頭平面研削加工に適した新構造砥石（レボメイト 2）の開発について報告する。さらに、当社のサーキュラーエコノミー（循環経済）への取り組みについても紹介する。

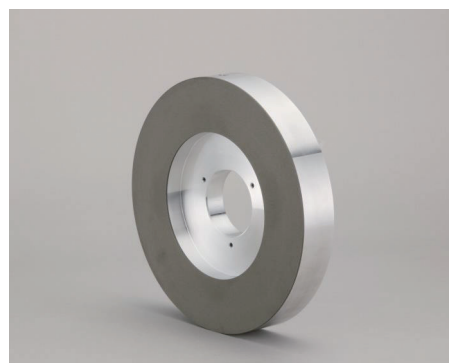


図 1 両頭平面研削加工用ホイール
Double-disc surface grinding wheel

2. 新砥石の開発

2.1 両頭平面研削加工の概要

両頭平面研削加工は、上下または左右に対向配置された砥石で工作物を挟み込み、両面を同時に研削する加工方法である。本加工法は高能率かつ高精度な両面加工を可能とし、自動車部品などの量産加工に広く適用されている。

本研究の対象である円すいころ軸受の内輪もその一例である。図 2 に示すとおり工作物を上下の砥石で挟み込んで加工するため、工作物に作用する法線力は上下で等しい。一方、砥石と工作物の接触面積は上下で異なるた

め、砥石に作用する研削圧力は異なる。

図2に示す加工では、工作物の上面の研削面積は下面より小さいため、上面が受ける圧力は下面より大きい。この圧力差により材料除去速度に差が生じ、所定の上下の取り代比を満足しない場合がある。このため、一般的に量産加工では、上下砥石の仕様変更や回転速度の制御などによって取り代比が調整されている。

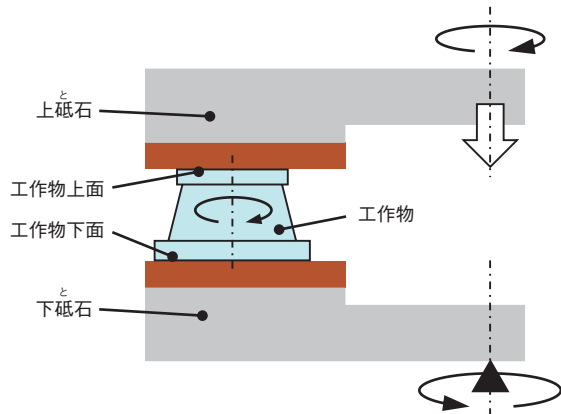


図2 両頭平面研削加工の概略図

Schematic diagram of double-disc surface grinding

2.2 砥石開発の課題と製品コンセプト

2.1 節で述べたように、両頭平面研削加工では工作物の上下面で研削圧力が異なる。このため、上下の砥石には各加工面に応じた除去能力が求められ、切れ味の差が加工精度に影響する。

本報では、切れ味を「所定の材料除去量を得るために必要な圧力」と定義し、除去能力を示す指標とする。すなわち、砥石に作用する圧力が低くても一定の除去量が得られる場合、切れ味が良好であると評価する。

両頭平面研削加工において、工作物の上下面が受ける研削圧力は、法線研削力と有効接触面積との関係から式(1)、式(2)で表される。

$$p_u = F_{n,u} / A_u \quad (1)$$

$$p_l = F_{n,l} / A_l \quad (2)$$

ここで、

p_u : 工作物上面にかかる平均研削圧力, N/mm^2

$F_{n,u}$: 上砥石による法線研削力, N

A_u : 工作物上面の有効接触面積, mm^2

p_l : 工作物下面にかかる平均研削圧力, N/mm^2

$F_{n,l}$: 下砥石の法線研削力, N

A_l : 工作物下面の有効接触面積, mm^2

である。

円すいころ軸受の内輪では、上面が小面積で下面が大面積となるため、 $p_u > p_l$ の関係となる。

一般的に、切れ味は砥石中の砥粒数の調整により制御される。しかし、切れ味を向上させると砥石摩耗が増加する傾向があり、切れ味と耐摩耗性の間には背反の関係がある。両者を両立するには、砥粒数の最適化が重要である。

2.3 切れ味の評価方法の検討

砥石の切れ味を比較するには、定量的な評価手法の確立が求められる。また、多種の砥石仕様を効率的に評価する必要がある。両頭平面研削は上下二枚の砥石で構成されるため、個々の砥石に作用する研削力を直接測定することが困難である。

そこで本研究では、図3に示すとおり、小径カップ形砥石を用い単一砥石による評価方法を検討した。本手法では、力センサーによって加工中の研削力を測定し、砥石の切れ味を定量的に評価する。さらに、小径砥石の適用により、少ない研削量でも性能評価できるため、評価時間の短縮および試作コストの低減が可能である。

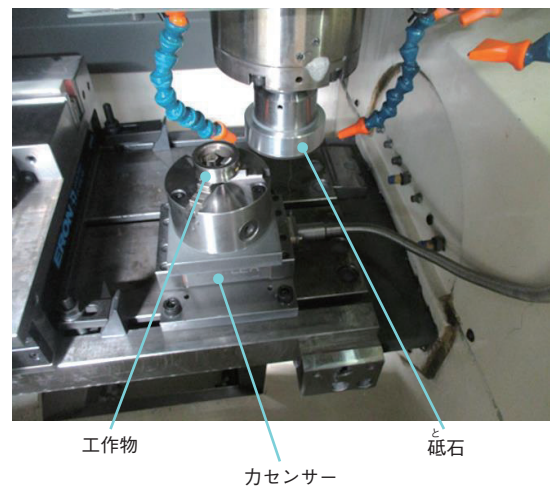


図3 小径砥石による平面加工評価

Evaluation of surface machining using a small-diameter grinding wheel

3. 評価結果

3.1 切れ味の定量化と試作品の評価

2.3節で述べた小径カップ形砥石を用いて切れ味を評価した。本評価では、加工中に工作物へ作用する切込み方向の力を力センサーで測定し、その値を有効接触面積で除して研削圧力を算出した。

従来レジンの上面加工用と下面加工用の砥石について、研削圧力を測定した結果を図4に示す。従来レジンでは、上砥石と下砥石で切れ味の差は小さいことが確認された。しかし、式(1)および式(2)に示す関係から工作物の上下面の面積差が大きい場合には、比率に応じた切れ味の差を有する砥石が必要である。各種の面積差を有する工作物への適用を考慮し、下砥石の研削圧力を20%低減することを目標とした。

切れ味を改善するため、当社製品であるレボメイトの構造を適用した(図5)。レボメイトは、砥粒保持層と砥石構成層からなる二層構造を有し、砥粒保持層の優れた砥粒保持力により、少数の砥粒でも安定した切れ味を維持できる。この構造により、切れ味と耐摩耗性を両立

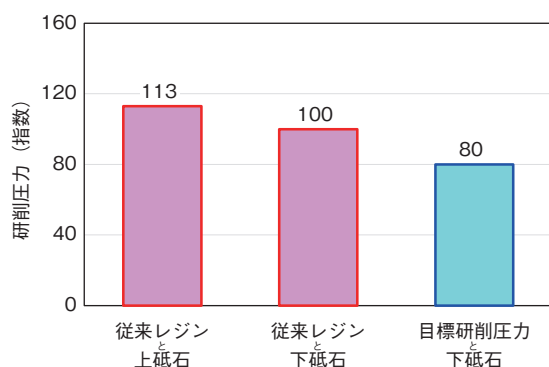


図4 従来仕様での小径砥石切れ味評価

Performance evaluation of conventional small-diameter grinding wheels

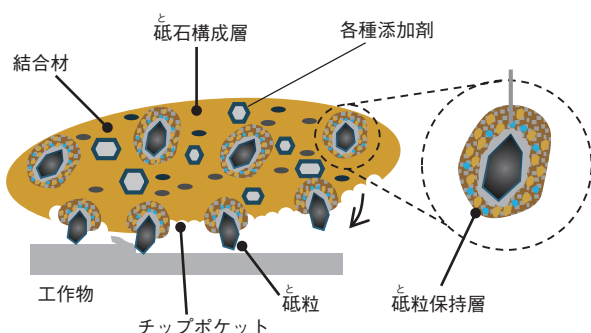


図5 レボメイト概略図

Schematic diagram of RevoMate

できると判断した。

レボメイト既存構造で小径砥石を製作し、切れ味を評価した結果、図6に示すとおり研削圧力が高くなり、切れ味が低下した。レボメイトは、セラミックスの研削加工で生成される微細な粒子状の切りくずに対して最適化されているが、本研究の対象は鉄系材料であり、流れ型の長い切りくずが生成する。このため、従来のレボメイト構造では、切りくずが砥石表面に堆積しやすく、切れ味が低下したと考えられる。

切りくず堆積の主な原因は、切りくず寸法がチップポケットよりも大きいことであると推定した。そこで、砥石構成層の添加剤を最適化して切りくず寸法に適合したチップポケットを形成し、切りくずの排出性を向上させた。

改良構造の砥石について切れ味評価を行った結果、切りくずの堆積が抑制されるとともに従来仕様と比較して研削圧力が低減され(図7)、目標を達成した。つまり、当該構造は切れ味の向上に有効であるといえる。

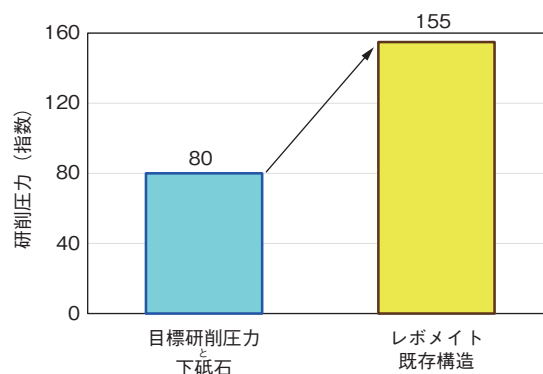


図6 レボメイト既存構造を持つ小径砥石の切れ味評価

Performance evaluation of a small-diameter grinding wheel with the existing RevoMate structure

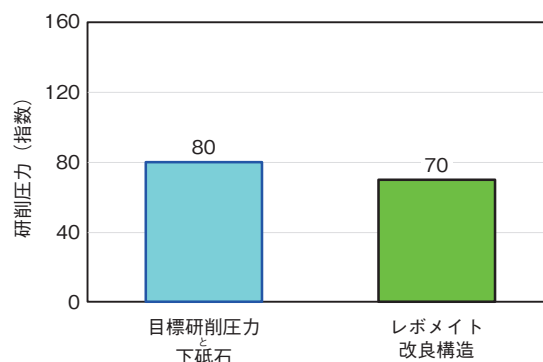


図7 小径砥石およびレボメイト改良構造の切れ味評価結果

Performance evaluation of a small-diameter grinding wheel with the improved RevoMate structure

3.2 両頭平面研削加工評価

3.1 節の結果に基づき、両頭平面研削加工における評価用砥石仕様の組合せを選定し、工作物を用いたラボ機による評価を実施した。本評価では、上下砥石の切れ味をそれぞれ最適化し、加工特性への影響を検証した。

その結果、上下の切れ味を適切に制御することで取り代比が安定し、従来仕様と比較して加工精度の向上を確認できた。これは、式(1)で示す圧力条件に対し、各砥石の除去能力が適合したためと考えられる。また、加工後の砥石表面を観察すると、砥粒の突出状態が維持され、砥粒の異常脱落は見られなかった。この結果から、本開発仕様は砥粒保持力にも優れていることが示された。

本開発砥石の実用性を検証するため、量産ラインにおける評価を実施した。その結果、長期間の連続運転においても加工精度が安定して維持できることを確認した。さらに、従来レジン砥石仕様と比較して砥石1枚当たりの加工可能数が増加した。これは、砥石の摩耗進行が抑制され、切れ味の持続性が向上したためと考えられる。

3.3 レボメイト2の今後の展望

開発した新構造の砥石は「レボメイト2」と命名した。本砥石は、両頭平面研削加工への適用に加え、各種の研削加工方式への展開が可能である。

本構造は、従来構造と比較して大きなチップポケットを有し、切りくずの排出性に優れる。そのため、連続した流れ型切りくずが生成される鉄系材料の加工においても高能率研削への適用が期待できる。

今後は、本砥石の適用範囲拡大に向けて、各種工作物および加工条件に関する検討を進めるとともに砥石構造の最適化によってさらなる性能向上を図る。

4. サーキュラーエコノミーへの挑戦

当社は、サーキュラーエコノミーの観点で製品開発に取り組んでおり、従来は使い捨てであったレジンホイールの回収および再利用を検討している。たとえば、超砥粒ホイールの多くは砥石層を保持する台金に金属が使用されることが多いが、使用後のレジンホイールを回収し台金部を再利用することで廃棄物を削減できる。また、台金の再利用により、金属材料の新規製造に伴うエネルギー消費も削減できる。特に、レジンホイールの台金の多くはアルミニウムが使用されており、再生利用による

環境負荷低減の効果は大きい。アルミニウムは一次製造時のエネルギー消費が大きい材料である。このため、使用済み台金を回収して再資源化することは、天然資源の消費抑制と温室効果ガス排出削減に大きく寄与すると期待される。さらに、近年はアルミニウムの供給が不安定なため、台金の再利用は資源の安定確保にも寄与する。

5. おわりに

本報では、両頭平面研削における上下の研削圧力差に着目し、研削圧力に基づいて切れ味を定量化する手法を提案した。さらに、その評価結果に基づき、工作物に合わせてチップポケットを制御した新構造砥石レボメイト2を開発した。レボメイト2を用いて両頭平面研削における加工評価および量産ライン評価を実施した結果、切れ味バランスの最適化によって取り代比の安定化、加工精度の向上および砥石の長寿命化を確認した。

以上の結果から本報で提案した評価手法と設計思想は、両頭平面研削における加工性能評価および工具寿命の向上に有効である。今後は、本手法の適用範囲を拡大するため、各種工作物への適用性を評価するとともに砥石構造のさらなる最適化を図る。

筆者



四井利彦*

T. YOTSUI

* 株式会社ジェイテクトグライディングツール 開発部