

歯車の高精度・高能率加工を支える歯車研削盤“ZE16C/26C”

Gear Grinder ZE16C/26C
to Support Gear Manufacturing with High Accuracy and Efficiency



三菱重工工作機械株式会社
カスタマーサポート・営業本部
営業戦略業務部歯車加工システムG
☎(077)552-9760

近年、自動車の電動化や低燃費・低騒音への要求及びロボット用減速機の小型化を背景に高精度かつ低コストな歯車加工へのニーズが高まっている。高精度な歯車では熱処理後の形状精度の悪化を改善するため、歯車研削加工を行うのが一般的であり、高精度な歯車の安定した量産加工に対応した歯車研削盤がますます求められている。

三菱重工工作機械(株)(以下、当社)では、高精度かつ高能率な歯車加工へのニーズに応えるべく、これまでに培った歯車加工技術をもとに、当社独自の門形カウンタコラム構造を採用した歯車研削盤 ZE16C とシリーズ機である ZE26C を開発したので紹介する。また、さらなる高精度加工への取組みや環境負荷低減及び省エネへのニーズに対応した当社独自の水性研削油対応についても紹介する。

1. 歯車研削盤 ZE16C/26C の特徴

1.1 高精度な歯車研削加工

量産加工向けの歯車研削盤は、ねじ状砥石を使用して歯面を研削する連続創成方式が主流である。この方式はねじ状砥石と被加工歯車が歯数比で高速に同期回転するため、高能率な研削加工が可能であるが、高精度な加工を実現するためには加工中の振動や誤差成分を抑える必要がある。歯車の加工精度は通常、歯形や歯すじの形状誤差とピッチ誤差で評価するが、 $1\mu\text{m}$ 単位の歯面の微小な凹凸量(うねり)も歯車の噛み合い時の振動や騒音に影響を与えることから、より高精度な歯車では微小なうねりも評価対象となっている。そこで本機では主軸の構造を見直すことで、当社従来機に対して静剛性を50%、動剛性を35%向上し、加工精度と歯面のうねりの改善を実現した。

1.2 生産性の向上

歯車研削加工では、被加工歯車の着脱・交換時間や砥石と被加工歯車の間の位相合わせ、砥石のドレッシング等の非加工時間を要するため、生産性を向上するためには非加工時間の短縮が重要となる。そこで ZE16C/26C では、位相合わせの非接触センサを、被加工歯車に近いカウンタコラム側に配置し、検出時のテーブル回転速度を高速化することで、位相合わせの動作時間を短縮することが可能となった(図1)。

さらに、ZE16C では当社独自の門形カウンタコラム構造を採用し、高速なワーク交換動作と、位相合わせ動作を可能とした(図2)。これにより、例えば穴物ワークの場合は、ワーク交換と位相合わせの時間が従来の17秒から6秒と、半分以下となった。また、門形カウンタコラム構造を採用することで、高速なワーク交換装置を搭載するとともに、砥石のドレス装置はカウンタコラム側面を上下方向に移動する構造を可能とした。この構造により、機械のベッドの長さを従来機に対して

20%短縮し、省スペース化も実現した。

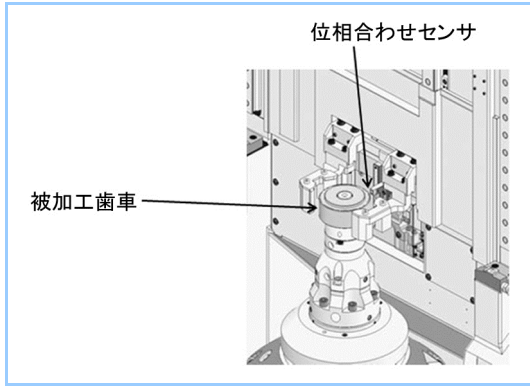


図1 位相合わせセンサと被加工歯車

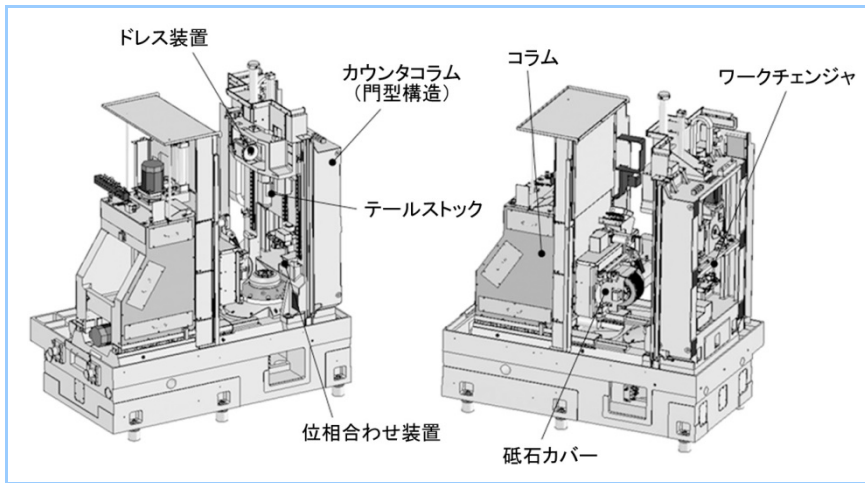


図2 機械の構造(ZE16C)

上記の非加工時間の短縮に加え、砥石軸の高速回転化、砥石幅拡大による砥石の寿命延長を組み合わせることで、従来機に対して生産性を20%以上向上することが可能となった。また、これまでの実績から機械の故障原因となる箇所を分析し、対象部の構造を見直すことで機械の保全性や信頼性を向上させた。開発した歯車研削盤 ZE16C と ZE26C の機械仕様を表1に示す。ZE16Cはφ160mmまでの歯車を加工対象ワークとし、ZE26Cはφ260mmまでの広範囲の歯車を高精度かつ高能率に加工する機械である。

表1 歯車研削盤 ZE16C/26C 機械仕様

仕様	単位	ZE16C	ZE26C
ワーク径	mm	φ 20～φ 160	φ 20～φ 260
モジュール		1～4	1～6
ワーク長さ	mm	200	350
ワーク回転速度	min ⁻¹	～3000	～2000
砥石径	mm	φ 208～φ 300	
砥石幅	mm	125/160	
砥石回転速度	min ⁻¹	～8000	

1.3 加工事例

開発した歯車研削盤 ZE16C で加工した歯車を図3に示す。モジュール3、歯数 31、ねじれ角 20°、外径 105mm、歯幅 40mm の歯車をサイクルタイム 49.5 秒で加工し、JIS N1級 (JIS B 1702:1998) の加工精度を得た。本機で高精度な歯車の量産加工が可能であることを示した。

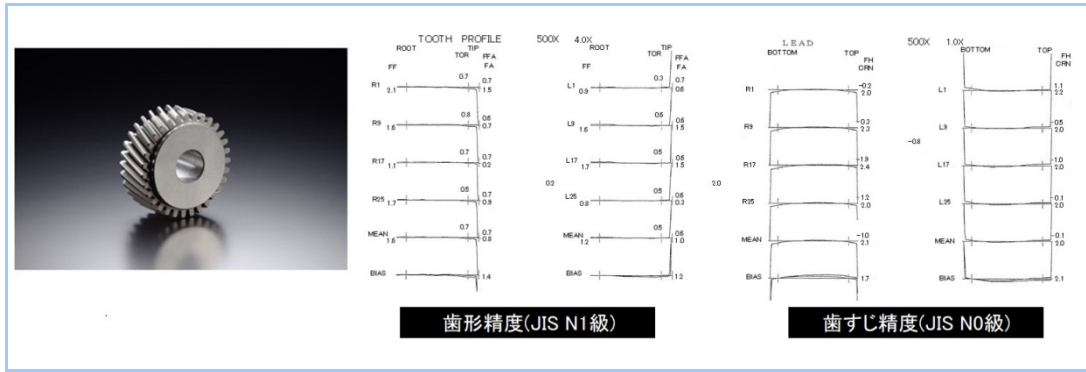


図3 加工事例(加工した歯車)

2. さらなる高精度加工への取組み

2.1 ポリッシュ研削加工への対応

歯車のさらなる高精度化のため、通常の歯車研削加工の後に、表面仕上げ加工(ポリッシュ研削)を行う方法が研究されている。最も一般的な方法は、砥石軸に通常研削用の砥石とポリッシュ研削用の砥石を同位相で取付けて加工する方法である(図4)。ポリッシュ研削では、粒径が小さいレジンボンドの弾性砥石を用いて歯面の凸部を除去し、表面粗さを向上させる。本機では、通常研削用砥石とポリッシュ研削用砥石の同時取付けに対応し、ポリッシュ研削加工を可能とした。通常の歯車研削加工では、加工歯面の表面粗さは $Ra0.4 \mu m$ 程度であるが、ポリッシュ研削を行うことで表面粗さ $Ra0.1 \mu m$ 以下を実現した(図5)。これにより、歯車の伝達効率・静粛性の向上とピッチング防止による耐久性の向上が期待できる。また、ポリッシュ研削加工を行った歯車を自動車用トランスミッションに搭載することにより、ギャノイズと呼ばれる歯車がかみ合う際に発生する振動騒音を低減する効果も確認できた。

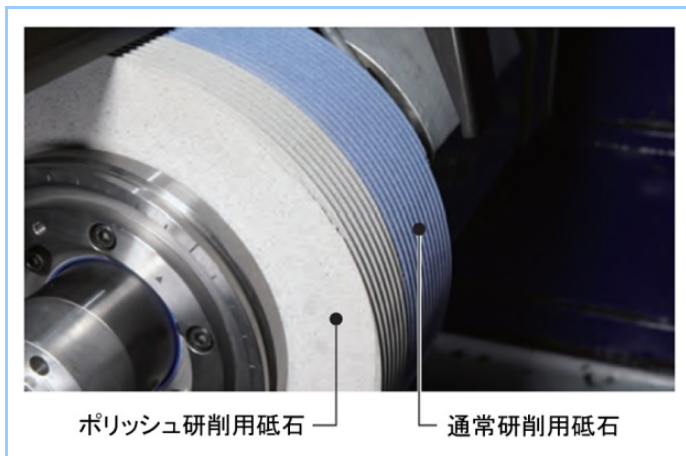


図4 通常研削とポリッシュ研削の砥石

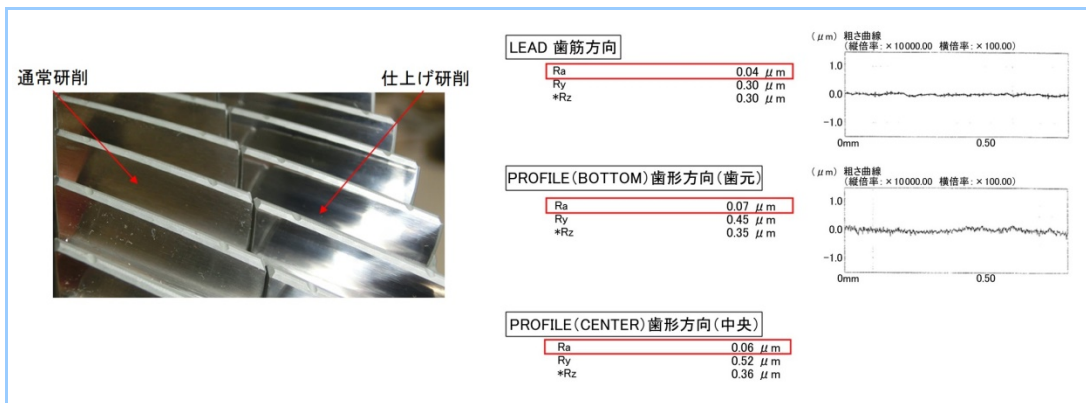


図5 通常研削と仕上げ研削の加工結果

2.2 両歯面同時のバイアス修整への対応

自動車のトランスミッションやロボット用減速機をはじめとする歯車装置では小型化や静粛性の向上を目的として複雑な歯面形状の設計・加工・検証の取組みが行われている。中でも、はすば歯車の歯すじ方向にクラウニングを付与した際に生じる歯面のねじれ(バイアス歯面と呼ばれる)を制御するバイアス修整加工は、近年の自動車の電動化の中で不可欠な技術となっている(図6)。一般にバイアス修整加工は砥石のドレッシング時において、通常のドレ動作とは異なる動作で砥石を成形し加工を行う。当社従来機ではこれまで、歯車の歯面を片歯面ずつ研削するバイアス修整加工を行っていたが、本機ではロータリドレッサの旋回機構を新たに開発することで両歯面の同時バイアス修整加工へ対応した。これにより、通常の加工では得られない複雑な歯面形状の歯車を短時間で加工することができる。

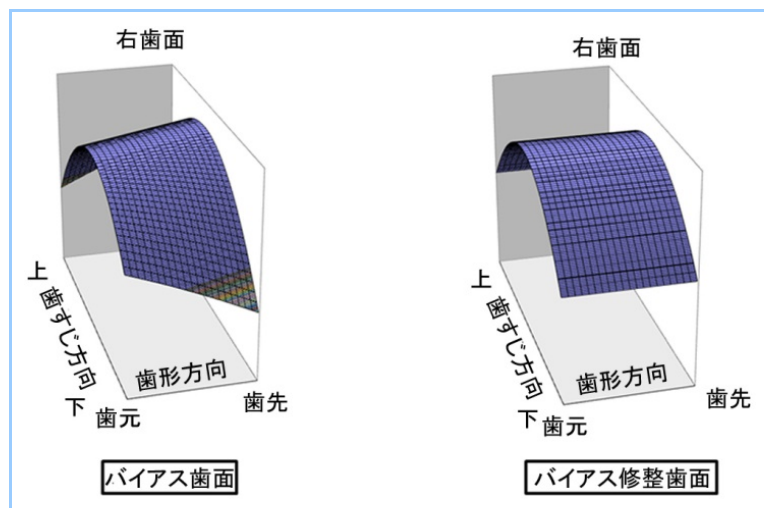


図6 クラウニング加工をした際の歯面形状(バイアス歯面)とバイアス修整加工をした際の歯面形状

3. 水溶性研削油を使用した歯車量産加工

一般に、創成式歯車研削における量産加工では、油性の研削油を使用することが多い。当社では、近年ますます高まる環境負荷低減や省エネへのニーズに応えるべく、水溶性研削油を使用した創成式歯車研削の量産加工に世界で初めて成功した。水溶性研削油での安定した量産加工の実現には、最適な砥石、研削油剤、クーラント装置が不可欠であり、実機検証を含め各メーカーと共同で開発を行った(図7)。冷却性能の高い水溶性研削油を使用することで、油性研削油に比べ使用量を抑えることができ、油剤の費用を約80%削減できる。また、火災のリスクも無くなり、消火装置の設置が不要となるほか、専用の砥石を用いることでドレッサ寿命の延長も期待できる。さらに、水溶性研削油による設備故障を防ぐために設備に使用している要素部品をすべて見直し、水溶性研削油対応品へ置き換えることで油性研削油同等のMTBF(Mean Time Between Failures: 平均故障間隔)を達成した。これらの取組みにより、これからの時代に適した環境配慮型の設備を実現した。



図7 ペーパーレスで環境に配慮した水溶性研削油対応専用クーラント装置

4. 今後の展開

自動車の電動化や低燃費・低騒音への要求は今後ますます高まり、歯車加工における高精度化・高能率化の傾向はさらに続くと考えられる。今回紹介した ZE16C/26C は従来機に対して、生産性を 20%向上でき、ポリッシュ研削や両歯面バイアス修正への対応により、高精度で静粛性の高い歯車の生産が可能となった。更に、水溶性切削油を使用することで油剤の費用を 80%削減でき、環境により優しい機械となっている。

今後は、さらなる高精度加工への取組みや環境負荷の低減への取組みをさらに加速させるとともに、非加工時間の短縮をはじめとする高能率化への取組みならびに加工支援アプリケーションの充実や IoT 技術を活用した機械の状態監視や予防保全など、お客様のニーズに応える製品開発を進めていく。