

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Machining

Vol. **21** B1
Sep/2010

マシニング事業

■ 新商品・適用事例紹介

内歯車の仕上げ加工
「**インターナルシェービング加工システム**」
Finish-shaving for Internal Gear
"Internal Shaving System"

〈キーワード〉 内歯車の高精度化・内歯車の仕上げ加工・
内歯車のシェービング加工・インターナルシェービングカッター・
インターナルシェービング盤GSU-180(神崎高級工機)

機械工具事業部／工具技術部／精密工具開発

小林 慶紀

Yoshinori KOBAYASHI

要 旨

近年、自動車産業において車両品質の向上に拍車がかかり、品質項目の1つである静粛性向上に関連して、歯車の高精度化が求められるようになった。

このような背景において、NACHIと神埼高級工機がGPA協業で^{※1}と組み開発した「内歯車歯面のシェービング仕上げ加工システム」が、最新車両の生産で採用された。内歯車の歯面仕上げ工程における量産工法としては業界初である。

今回、時代の流れに沿った内歯車歯面仕上げという、自動車メーカーのニーズに応えるために開発したインターナルシェービング加工システムを紹介する。

Abstract

Recently, the improvement in vehicle quality has been accelerated in the automobile industry. In relation to the improvement on quietness that is one of the quality items, a higher precision of a gear has become demanded.

With this background, NACHI and Kanzaki Kogyokoki Manufacturing Co., Ltd. have jointly developed Finish-shaving System for the shaving of a tooth surface for internal gear under GPA agreement, and this system has been adopted for the production of the newest vehicles. This is the first in the industry for this system to be used for the surface-finish process of internal gear tooth in its mass production.

Introduced here is Internal Gear Shaving System that is developed for the surface-finish of internal gear tooth, responding to the needs of the times and auto makers.



1.内歯車の高精度化へのニーズ

近年の自動車において、静粛性は重要な品質項目の1つである。静粛性に関して、運転騒音の要因の1つに動力伝達歯車同士の噛みあい騒音があげられるが、これは歯車単体精度の良し悪しが大きく影響する。そのため、静粛性向上のためには歯車単体精度を高める必要がある。

従来、図1に示す遊星内歯車の歯面仕上げ加工には、ブローチ加工、またはギヤシェーパ加工が採用されてきた。しかし、これらの加工方法は歯面修正が困難、加工精度レベルが低い、といった課題があり、歯車精度を高めるにも限界があった。

(参考:外歯車の場合シェービング加工を行なうか、熱処理後に研削加工を行なうことにより、この課題を解決している。図2に工程を示す。)

以上の経緯から、内歯車歯面のシェービング加工仕上げのニーズが生まれた。「内歯車歯面のシェービング仕上げ加工(以下、インターナルシェービング加工)システム」はそのニーズに応え確立された技術である。(図3に工程を示す。)



図1 遊星歯車機構

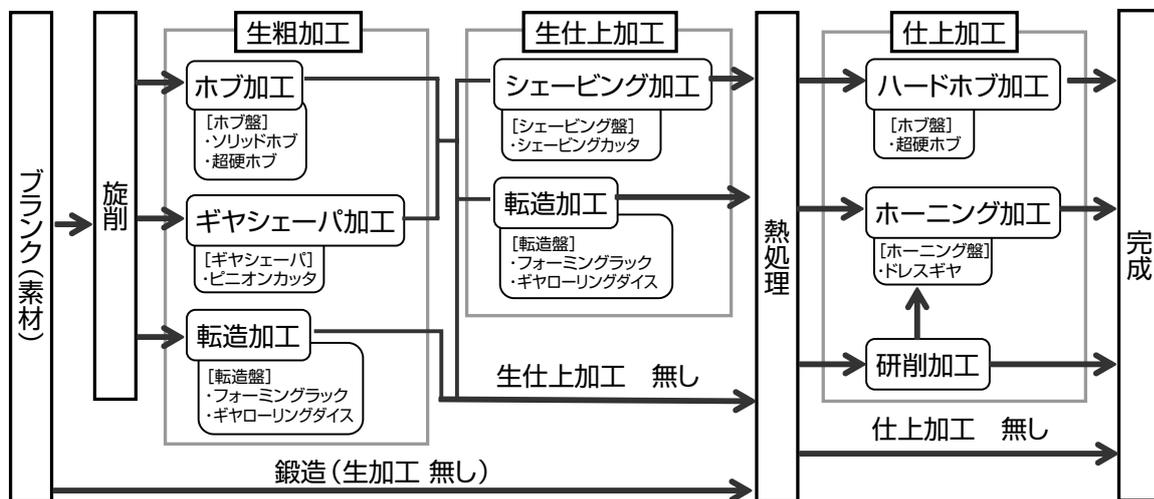


図2 外歯車の加工工程

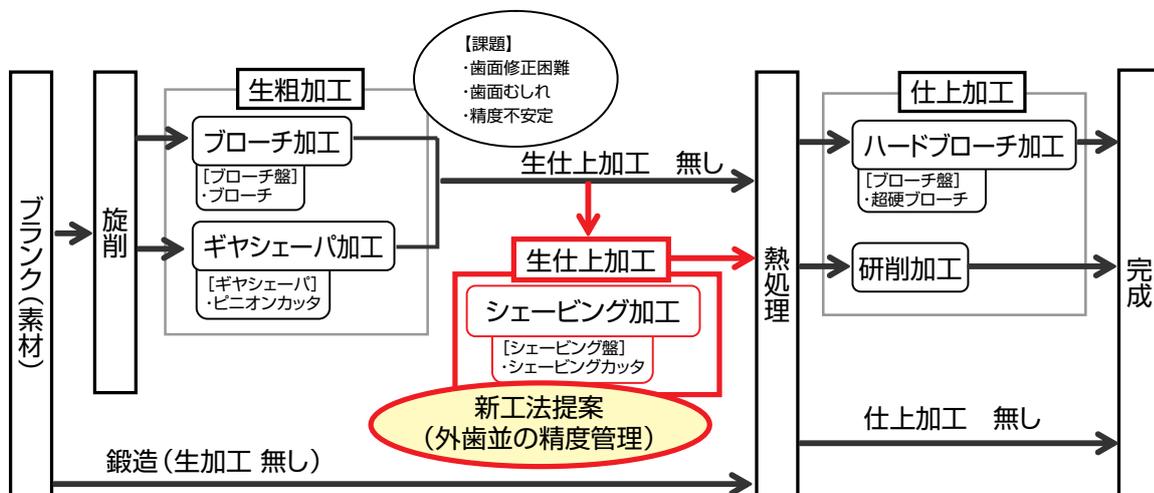


図3 内歯車の加工工程

2. 外歯車のシェーピング加工との違い

シェーピング工法といえばそのほとんどが外歯車を前提とした歯面仕上げ加工を意味し、50年以上前から幅広く使用されてきた。(図2)

しかし、インターナルシェーピング工法では内歯車が対象となるために、加工特性が変化し、さらにカッタの設計方式、カッタ歯形研削盤、加工機の構造が一変する。

3.内歯車シェービングにおける加工特性

内歯車のシェービング加工は、ブローチ加工やギヤシェーパー加工に比べ、次にあげる点で優れた加工法である。加工法の特徴を表1に示す。

1)高精度加工が可能

シェービング加工は、取り代が少ないため安定した高精度仕上げ加工が可能である。

2)内歯車の歯筋修正が可能

ブローチ、ギヤシェーパー加工は切削方向が歯筋方向のため、歯筋に修正を与えることが難しく、特に※2クラウニング修正を与えることができない。

しかし※3コンベンショナルシェービング加工では、切削送り運動と切込み量の組みあわせを機械的に補正（NC補正）することで歯筋にテーパ補正、クラウニング修正などを任意に与えることができる。

表1 内歯車の加工法による特徴比較

評価項目		ブローチ加工	ギヤシェーパー加工	シェービング加工
加工精度		△	△	○
歯筋修正	テーパ	×	○	○
	クラウニング	×	×	○
歯形修正	歯形の倒れ チップリリーフ 中凸	○	○	○
	経時的微調整	×	×	○
歯面性状	むしれ、面粗さ	△	△	○
歯厚の微調整	切込み補正の可否	×	○	○

3)狙い歯形の補正が随時可能

歯車は熱処理が施されて完成品になるが、その過程において熱処理変形が生じる。この変形量は季節性、鋼材履歴などで変化することが多く、それらを見越した生仕上げの狙い歯面形状の管理が必要となる。

ブローチ、ギヤシェーパー加工において、カッタの再研削ではカッタ歯形を自由に調整することは困難なので、熱処理変形に対応することができない。

一方、シェービング加工は、歯形研削盤を用いて日常的に再研削し、再生・再利用している。このカッタ再研削工程でカッタ歯面形状を微調整することが可能である。

4)歯車歯面性状が良好

シェービング加工は切りくずを排出すると同時にパニッシュ加工も伴うため、ブローチ、ギヤシェーパー加工より歯面性状が良い。

5)内歯車の歯厚管理が容易

前述した熱処理変形は歯厚にも影響をおよぼす。ブローチ加工ではブローチの歯形形状がそのまま転写されるため歯厚の微調整はできない。一方、シェービング加工は創成加工という特性上、カッタの切り込み調整で歯車歯厚を容易に調整することが可能である。

4. インターナルシェービングカッタの特長

1) 加工するワーク諸元に適したカッタ設計値の選定

インターナルシェービングの基本となるのは、内歯車と外歯車の噛みあいである。そのため、シェービングカッタを設計する際には様々な干渉を回避することが前提となる。また、シェービングカッタの歯形研削の可否の観点から適した軸交差角を選定する必要がある。

これらのことをふまえた上で、外歯車用のシェービングカッタと同様に、最適な噛みあい圧力角の選定を行なっている。

結果として図4の様に歯車サイズからして極端に小さくなる。



図4 インターナルシェービングカッタ
外観(カッタ外径 φ65mm)

2) 最適なセレーションピッチ、ランド幅を選定

外歯車とシェービングカッタの噛みあいとは異なり、内歯車とインターナルシェービングカッタでは凹歯形と凸歯形の組みあわせとなる。

そのため、前者よりも歯形曲率差が小さくなり、歯面同士の接触面積が大きくなる傾向にあり荷重が分散しやすくなるため、カッタ切刃(セレーション)の食い付き性が低下し、切れ味が悪くなっている。

そこで、NACHIでは食い付き性の代用試験とFEM解析を行ない、最適なセレーションピッチ、ランド幅を選定している。

3) 耐摩性に優れる シェービングカッタ材を採用

内歯車用カッタ歯数は被削内歯車歯数よりも少なくならざるをえない。そのため、内歯車用カッタには外歯車用カッタ以上の耐摩性が求められる。

そこで、NACHIでは耐摩性に優れる新鋼種を選定し、採用している。

4) 歯面研削について (専用の歯形研削設備が必要)

インターナルシェービングカッタの場合、歯面研削に使用する砥石の径は小さくする必要が出てくる。(砥石径をφ450mm前後とする必要がある。)

外歯車専用シェービングカッタの歯形研削に用いられている歯形研削設備のほとんどは、砥石直径がφ740mm前後の大型砥石を使用しており内歯車用カッタには適用できない。

[砥石径を小さくする理由]

インターナルシェービング加工の特性からカッタ歯筋に太鼓状のクラウニングを与えることが条件となってくる。

歯形研削盤のツルーイング装置で、砥石を逆円錐面に成形することで歯筋クラウニングが得られる。砥石逆円錐角(θ°)を大きくすれば、大きなクラウニング量を得ることができるが、砥石のバックメタルを十分確保できなくなる。

そのため、砥石径をより小さくする必要性がでてくる。

表2 カッタクラウニングに対する砥石径の選定例

砥石径	カッタクラウニング 15mm	砥石成形円錐角度 θ°	適用
φ 740	0.015mm	14.5°	×
φ 480		9.0°	○

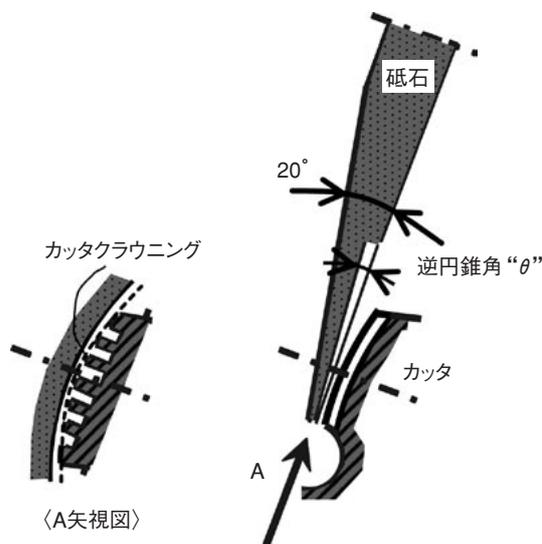


図5 カッタクラウニングと歯形研削砥石円錐角度

5. 内歯車用シェービング盤GSU-180(神崎高級工機)

1) 機械の特長

神崎高級工機の内歯車用シェービング盤GSU-180は、高精度内歯車の量産加工機として開発され、次の特長を持つ。

1. 切粉処理の容易化を考慮したワーク軸を天吊り型にした構造を採用。(図7)
2. 量産対応としてワークとカッタの自動噛みあわせ機構を採用し、自動化対応の搬出入アームを標準装備。(図7)
3. 切込軸とワーク送り軸の同時2軸制御により、テーパ加工、およびクラウニング加工が可能。
4. 対話画面によるデータ入力 of 容易化。



図6 GSU-180外観

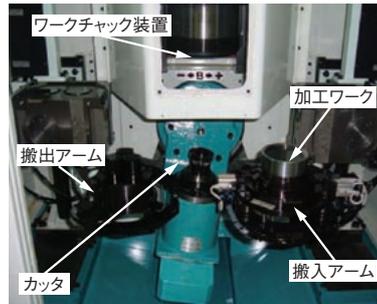


図7 ワークとカッタ取り付け状態とワーク搬出アーム部

2) 機械の仕様

・ワーク回転数	: 最大3,000min ⁻¹
・カッタヘッド旋回角度	: 最大±20°
・ワーク軸昇降ストローク	: 350mm
・切り込み軸ストローク	: 140mm
・ワーク外径	: 最大180mm
・ (内径)	: 最小φ80mm)
・ワーク長さ	: 最大105mm
・ワークモジュール	: 1.0~2.5 ※3
・加工方法	: コンベンショナルカット
・所要床面積	: 1,400×2,513mm ²
・機械高さ	: 2,616mm

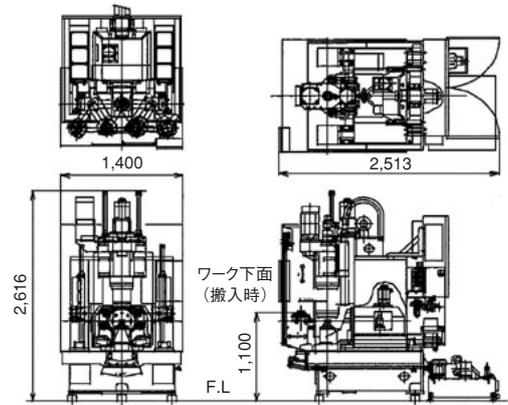


図8 GSU-180サイズ

6. シェービング加工条件

ここでは今回とり組んだコンベンショナルカットの加工条件について紹介する。

コンベンショナルカットの加工条件

1. 加工サイクル

図9にサイクル線図を示す。ワークは送りに相当するトラバース往復運動を繰り返すが、そのトラバース端で切込みが都度与えられる。最終切込位置ではスパークアウトしてサイクルが完了する。

なお、加工面粗さ、カッタ寿命を考慮し、外歯車用と同様セレーション切れ刃が図10に示すようにアップカットとなるようワーク回転方向に対してワーク送り方向を選択する。

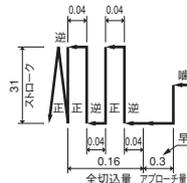


図9 サイクル線図 [コンベンショナルカット]

2. ワーク回転数“n”

横すべり速度 $V_s = 20 \sim 60$ (m/min) の範囲で使用。ワーク回転数“n”は次式にて求める。

$$n \text{ (min}^{-1}\text{)} = \frac{V_s}{\sin \Sigma} \cdot \frac{1,000}{Dg \cdot \pi}$$

(Σ : 交差軸角、Dg: ワークピッチ円径)

3. 送り速度“F”

ワーク1回転あたりの送り量 $f = 0.15 \sim 0.35$ (mm/rev) の範囲で使用。送り速度“F”は次式にて求める。

$$F \text{ (mm/min)} = f \cdot n$$

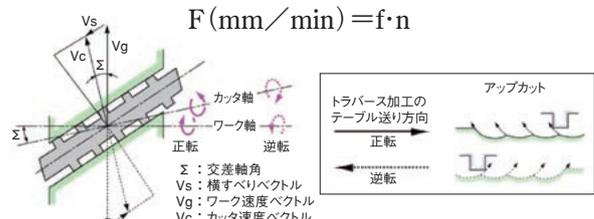


図10 軸交差角による横すべりとセレーションの移動

7. 内歯車のシェービング加工精度

1) 加工ワーク精度

ギヤシェーパ加工した後にインターナルシェービング加工を実施した加工事例を図11に示す。

歯形・歯筋精度が、6級（新JIS）から3級（新JIS）に向上されている。

ワーク諸元：m1.2, PA20°, HA20°(RH), NT87, W20
加工法：コンベンショナルカット

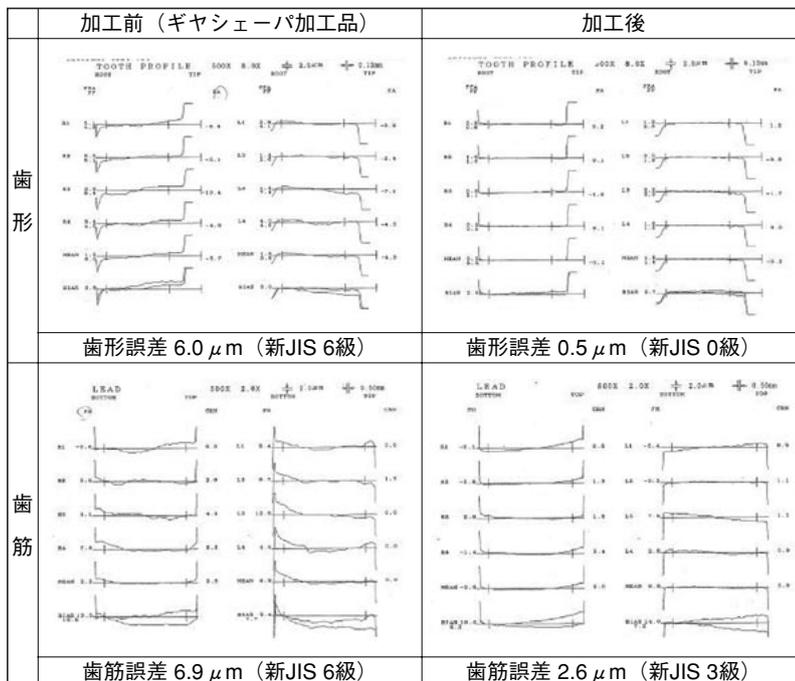


図11 インターナルシェービング加工前後 ワーク精度比較例

2) 歯筋クラウニング付加の事例

コンベンショナルシェービング加工法を使用し、切込軸とワーク送り軸のNC同時2軸制御によって歯筋にクラウニング形状を施した加工事例を図12に示す。

ワーク諸元：m1.2, PA20°, HA20°(RH), NT87, W20
加工法：コンベンショナルカット

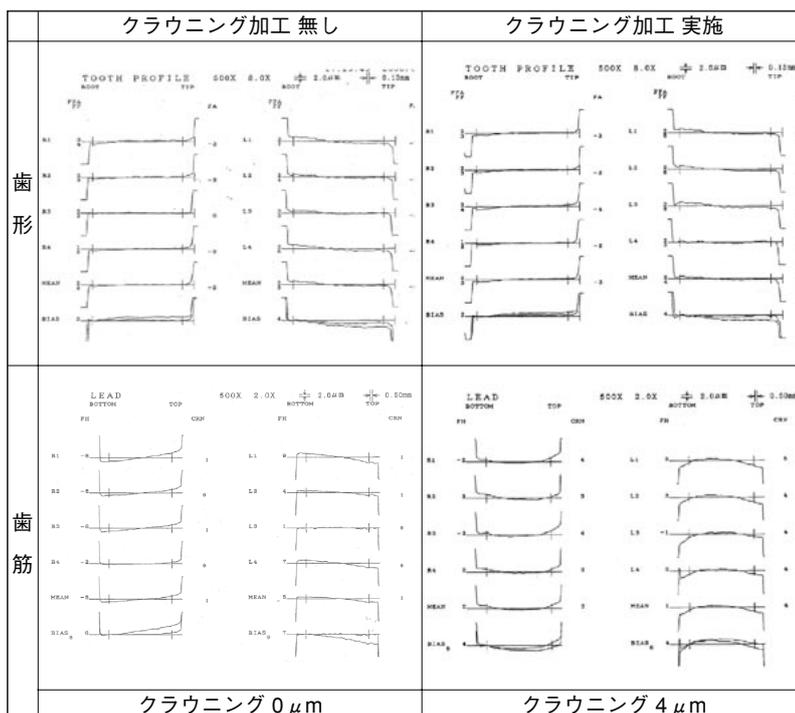


図12 インターナルシェービング加工によるクラウニング加工事例

8. 内歯車の高精度加工技術の展開

動力を正確かつ、静粛に伝達するためには、外歯車だけでなく外歯車に噛みあう内歯車の精度も重要な品質項目である。内歯車は遊星歯車機構のような動力伝達を目的とした歯車以外にも、産業機械や電車駆動などに用いられる、カップリング（動力軸継手）にも利用されている。

インターナルシェービング加工は内歯車の高精度仕上げ加工の手段として、様々な内歯車への用途展開が期待でき、またその技術はシェービング加工以外の内歯車の仕上げ加工技術にも展開できる。

今後もGPA活動を通して、機械と工具のシーズを融合した新しい加工システムの開発にとり組み、歯車を高精度かつ、低コストで製作する加工技術を提案していく。

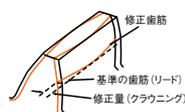
用語解説

※1 GPA

Gear Production Allianceの略。株式会社カフジ、株式会社神崎高級工機工作所、NACHIの3社のアライアンスの名称。

※2 クラウニング

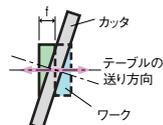
歯幅全体にわたり歯筋を太鼓状（中凸）に修正された形状。



※3 コンベンショナルシェービング加工

コンベンショナルカット

歯車歯幅方向にカッタと歯車の相対横送り（往復運動）を与えて加工する方法。



※4 セレーションピッチ、ランド幅

シェービングカッタの切刃（セレーション）と切刃の間隔と切刃の幅。

