

# 高速ハードギヤホーニング加工

## High Speed Hard Gear Honing Process

### キーワード

ハードギヤホーニング、ドレスギヤ、ドレスリング、内歯砥石、ドレス可能範囲、ホーニング直径、ドレス係数

工具製造所技術二部

筑谷興一

工作機製造所開発技術部

前 陽一

## 1. はじめに

歯車の量産仕上げには、低コストで比較的高精度な加工法である、シェービング加工法が多く採用されている。歯車の性能に大きな影響を及ぼす、この加工法と工具については、設計条件、材料などに様々な改良が施され、一定の成果が得られてきた。

しかしこの加工法は、熱処理前の仕上げ加工であり、熱処理工程での変形、ばらつきの影響を受けざるを得ないという問題点がある。こうした点に対処するためここ数年来、熱処理後の歯面仕上げ加工（ハードフィニッシュ）が急速に採用されるようになってきた。多少コストアップとならざるを得ないが、歯車自体の品質向上に対する要求と、品質安定のために調整に関わるコストが無視できなくなったと言えよう。

ハードフィニッシュ法は、いくつかの種類が開発されてきたが、コスト、加工精度面においてそれぞれ長短がある。その中でハードギヤホーニング加工は、比較的低コストで高精度に歯車を仕上げる事ができる利点があり、着実に普及してきている。ここではハードギヤホーニング加工システムについて、最近の話題を交えてギヤホーニング盤と、工具の両面から紹介してゆきたい。

## 2. ハードギヤホーニング加工の概要

### 2.1 主な構成（工具）部品（図1）

- 1) ドレスギヤ——内歯砥石の歯面用ドレッサ
- 2) ドレスリング——内歯砥石の小径内面用ドレッサ
- 3) 内歯砥石——歯車歯面をホーニング加工する砥石

### 2.2 加工原理

- 1) 加工原理は内歯車のシェービング加工に類似している。

内歯車シェービング加工における、内歯歯車に相当するのがホーニング用内歯砥石であり、またシェービングカッタに相当するのが、被加工歯車(以後単に歯車と呼ぶ)や、ドレスギヤである。

内歯砥石と、加工される歯車およびドレスギヤの両軸は、(8°~12°)の交差軸角をもつ。

- 2) 被加工歯車と同一形状のドレスギヤで、歯面ドレスされた内歯砥石が駆動軸となり歯車が従回転して、同時にその軸方向に往復運動（コンベンショナル方法）を繰り返す。

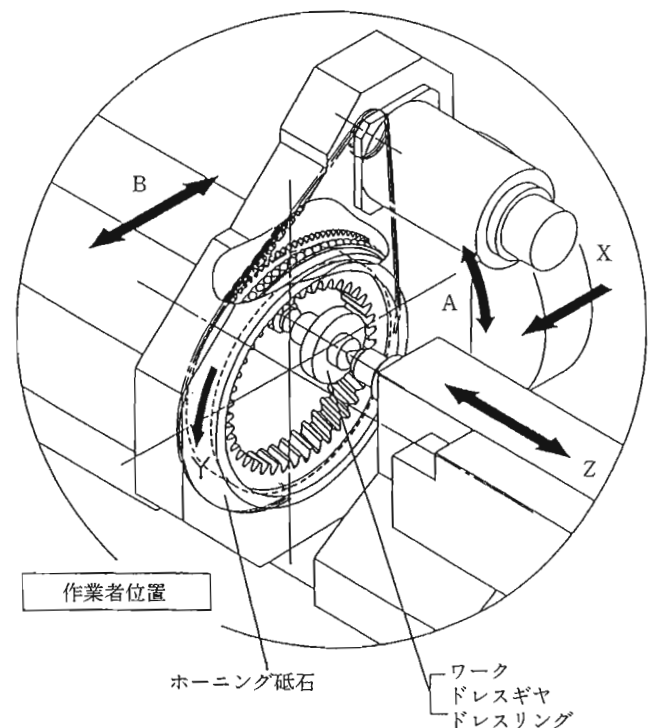


図1 主な構成部品とNC制御軸

返すことにより歯車の歯幅全体を仕上げる。

- 3) 一定数の歯車加工後、歯車の代わりにドレスリングを取り付け内歯砥石の小径内面をドレッシングする。
- 4) 次に、ドレスギヤに取り換え、歯車を加工するのと同じ要領で内歯砥石歯面をドレッシングする。

### 3. 加工システムの主な特長

#### 3.1

ドレスギヤは普通、被加工歯車と同一諸元、および同一形状に設計製作されるため、

- 1) ドレスによって、被加工歯車に必要な形状が内歯砥石に転写され、その結果、狙いにあった歯車歯形、歯すじ形状を得ることができる。
- 2) 被加工歯車とドレスギヤは、同一段取りで置き換えができるため、作業性が良く、かつ自動化が容易である。

#### 3.2

ホーニング砥石は、内歯車形状であり、凹（砥石）と、凸（ワーク）の歯面組み合わせとなるため、歯面の接触面積が広がり、噛み合いが安定する。

したがって滑らかな歯形、歯すじ形状を得ることができる。

#### 3.3

仕上げ面粗さは(1.5 $\mu$ mRy)以下となり、飛躍的に向上させることができる。各種ハードフィニッシュ法のなかでも群を抜いており、これが最大の長所である。歯面のピッチングなど、耐久性に有効と考えられる。

#### 3.4

歯形、歯すじのばらつきや、ピッチ誤差、および歯溝の振れを向上させることができる。ホーニング加工前に対し、2級(JIS)程度の精度向上が期待できる。

#### 3.5

ドレスギヤはダイヤモンド砥粒摩耗後、再電着により本体を再利用できる。

## 4. ハードギヤホーニング加工法の変化

内歯砥石式ハードギヤホーニング加工法は、約10年前にヨーロッパから導入された。その機能は歯の表面を10~15

$\mu$ m程度削り、歯面を滑らかにするものであった。したがって、あくまでもホーニング加工の領域であった。しかし最近では、車両の軽量化に伴う歯車のコンパクト化、ノイズ低減、ハードショット対策、あるいは不良率低減などの課題から、熱処理歪みをより積極的に削り取りたいという、強いニーズがあり、加工能率およびコスト面で有利な、ハードギヤホーニング加工の革新に期待が寄せられた。このような背景から、当社はハードギヤホーニング盤と、ドレスギヤに改良を加え、さらに最適なホーニング砥石の選定と合わせ、歯車仕上げシステムとして提供している。

## 5. 新開発ハードギヤホーニング盤 (機種名 PGH300S)

### 5.1 開発機の狙い

新開発ハードギヤホーニング盤PGH-300S(図2)は、焼き入れ歯車の高能率高精度仕上げ加工を狙いとして、従来機に比べ高回転、高剛性化を図った最新鋭機種である。ちなみに砥石回転数と研削性能との関係を示したのが(図3)である。これによると回転数を上げることにより、設定した切り込み量に実加工量が接近し、回転数にて700min<sup>-1</sup>以上が望ましい事がわかる。

また(図4)によれば、高回転数のほうが寸法変化が少なく、1ドレッシングあたりの加工数も多くなることがわかる。

### 5.2 操作性の容易さ

量産歯車加工の自動化対応を容易にするため、砥石軸、切り込み軸、トラバース軸、砥石旋回軸、クラウニングおよびテーパ加工軸の全5軸をNC化し、あらゆる条件設定を簡単な操作で行うことができる。

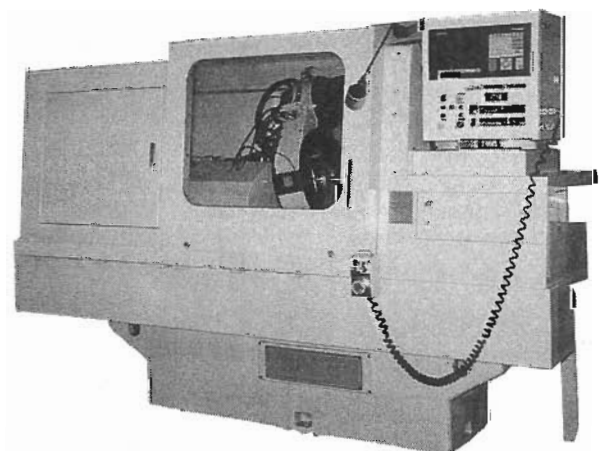


図2 ハードギヤホーニング盤PGH300Sの外観図

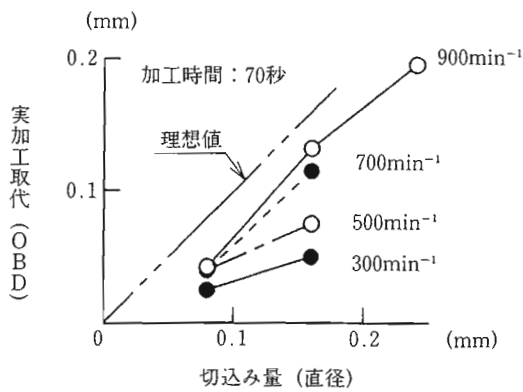


図3 砥石回転数と研削性能

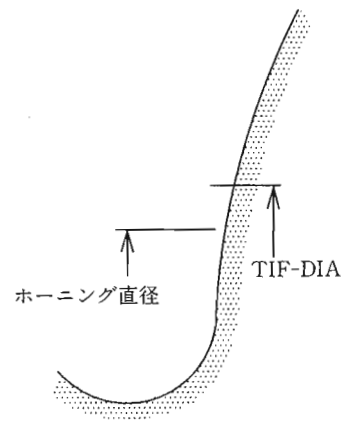


図5 ホーニング直径位置

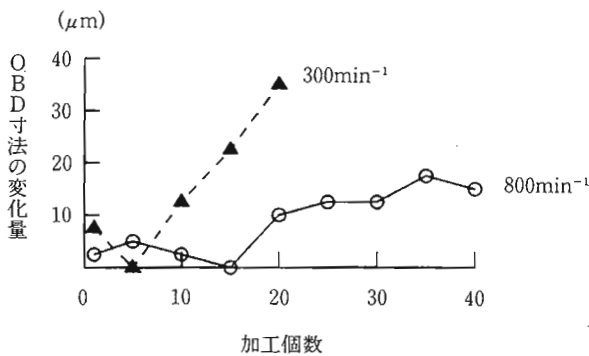


図4 砥石回転数とOBD寸法

表1 PGH300Sの主な仕様

項目	仕様
砥石最大回転数	1000 min <sup>-1</sup>
ワーク最大回転数	4000 min <sup>-1</sup>
砥石駆動方式	ギヤ
最大砥石取付径	400 mm

### 5.3 ドレッシングソフトウェアの充実

当社製ドレスギヤとの併用により、ドレスギヤ切り込み時に最適な内歯砥石内径寸法を自動的に定めることができるプログラムを内蔵しており、どのようなドレス位置であっても、常に一定のホーニング直径が確保できるようになっている。(図5)

### 5.4 ダブルヘッド (オプション)

異種ワーク加工にも対応できるよう、砥石の2連装着が可能であり、2ヶ連続使用、あるいは荒→仕上げという利用も可能となっている。このケースでは、砥石の上下位置調整が必要となるため、全6軸制御となる。

### 5.5

新機種PGH300Sの主な仕様を(表1)に示す。

最近ではむしろ、次のようにいくつかのデメリットがあることがわかってきている。

- 1) ツルーイングにより砥粒切刃が鈍化し、ドレッシング性能が低下して、ドレッシングされた内歯砥石の切れ味も低下して、加工前歯形に倣いやすくなる。
- 2) 左右歯面のツルーイング量のコントロールが難しい。この量に差異があれば、ドレッサの左右歯面の切れ味がアンバランスになり易く、結果としてワーク歯形の左右非対称を招くことになる。
- 3) 製作日数が長くなり、イニシャルコスト高である。当社はドレスギヤの砥粒の分級区分と、電着技術の向上を図りツルーイングせずに、ドレスギヤ精度を向上させることに成功した。これらの点は、ハードギヤホーニング加工を成功させる大きなポイントの一つである。

### 6.2 ダイヤモンド電着

- 1) ダイヤモンド砥粒

砥粒形状のばらつきは、歯形うねりの大きな要因となるので、形状の整った砥粒を用いる。

- 2) 粒度について

- ・ドレスギヤ電着用砥粒は通常#100~#200を使用する。
- ・砥粒粒度選定の目安は、歯車の要求精度と切れ味の良否により、決定されるべきものである。

## 6. ドレスギヤ

### 6.1 ドレスギヤのあり方

これまで歯形精度向上のために、電着されたダイヤモンド砥粒の表面にツルーイング(歯研)が施されることがあったが、

- ・粗い砥粒は歯車歯面に細かいうねりが生じやすい。
- ・歯車歯面粗さには、内歯砥石の粒度が効き、ドレスギヤの砥粒粒度による影響は少ない。
- ・数ミクロンの電着砥粒の磨滅が、そのままワーク歯形の崩れに結びつくので、粗い砥粒を用いても、ドレスギヤの寿命向上に結びつかない。

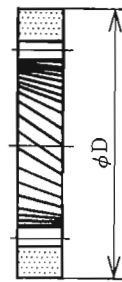


図6 内歯砥石形状

### 6.3 ドレスギヤの寿命

ドレスギヤの寿命判定は、つぎの2つのケースに絞られる。

- ・歯車の歯形崩れ
- ・外周の損傷（電着層の早期磨耗および剥離）

#### 1) 歯車の歯形崩れ

1回の電着当たりのドレス可能回数は、ワーク精度判定基準で大きく異なるが、およそ800回が1つの目安であろう。

#### 2) 外周面の損傷

外周面の両端から損傷が進行し、放置すると本体にも損傷がおよび、再電着による再生ができなくなるので、注意を要する。

#### 3) 再電着

本体再利用による再電着は、砥粒の圧痕や鍍金応力によるクラック等が予想され、繰り返し5回の再電着を限度としている。

表2 砥石径の選択

内装砥石 サイズ D (mm)	ワーク外径 (mm)	
	~150	150 ~250
300	○	×
350	—	△
400	—	○

○：適用良 ×：適用否

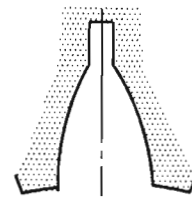


図7 内歯砥石の歯元逃がし

## 7. 内歯砥石

一連の工具のなかで、設計的に最も自由度が高く、しかも加工性能を左右するのが内歯砥石である。

### 7.1 砥石取り付け外径

通常、ハードギヤホーニング盤により決定される。

サイズには300, 350, 400mmの3種類があり、歯車の大きさにより選択される。（図6）および（表2）参照

### 7.2 砥石ヘッド旋回角（交差軸角）

交差軸角は（8°～12°）の範囲で選定され、歯車のねじれ角と交差軸角から、砥石ねじれ角が算出される。

### 7.3 内歯砥石の歯底形状

ドレッシング作業の殆どは、ドレスギヤ外周部が仕事をしている（削り込む）ため、外周部の負担が大きく、損傷が最も早い。

したがって、（図7）のごとく砥石歯底に逃がし溝を設

けることが、ドレスギヤと内歯砥石の寿命にとって、重要である。

### 7.4 砥石仕様

- 1) 砥粒はWA系が一般的であり、粒度は通常（#120～#180）である。
- 2) 切れ味だけを挙げれば、粒度#80などの粗い砥粒や、セラミックス砥粒、あるいはGC砥粒混粒砥石などが良い。
- 3) 歯車歯面粗さは、砥石粒度に左右される。

### 7.5 加工数

砥石1PCでの加工数は、ワーク精度判定基準により変動するが、一般的には2,400PCS前後が目安となる。

- ・ドレスインターバル 40PCS
- ・砥石1PC当たりドレス可能回数 60回  
（ドレス量0.06mm）

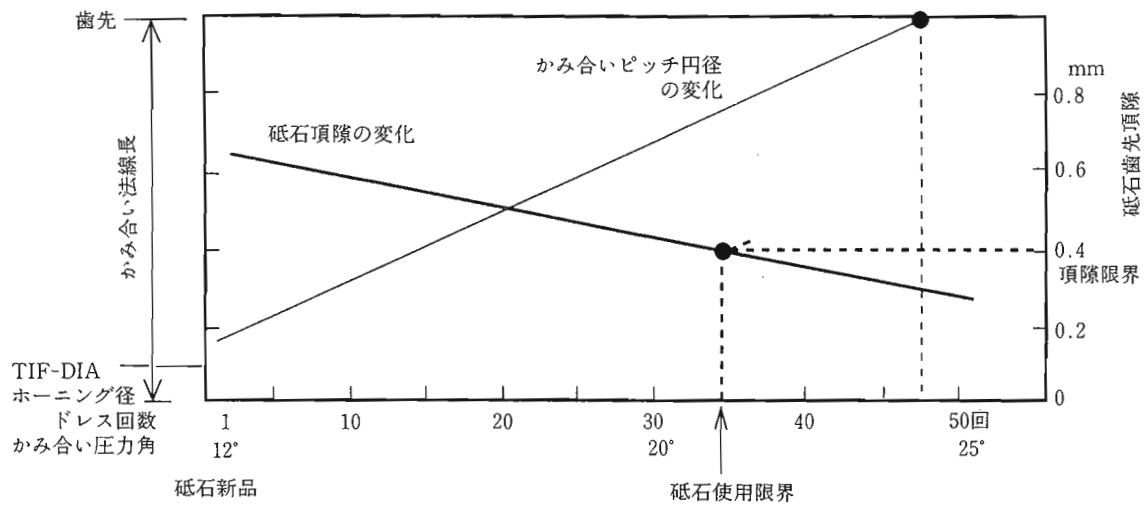


図8 砥石使用限界線図

### 7.6 ドレス可能範囲(新品, 廃却の基準)

1) 新品時の内歯砥石と、ドレスギヤとの噛み合い圧力角は、最も低い状態にあるため、トリミング干渉が生じやすい。

したがって新品時の内歯砥石寸法は、トリミング干渉が回避できるマイナス転位限界寸法となる。

2) 砥石廃却寸法の決定要因には次の2点がある。

- ・砥石歯先頂隙
- ・歯車噛み合いピッチ円径

前者は、ホーニング径を一定(シェービング加工と同様)として砥石内径を算出してゆくと、ドレスの進行とともに、砥石歯先頂隙が小さくなっていく事により発生する限界。

後者の場合は、ドレスとともに内歯砥石と歯車の噛み合いピッチ円が歯車歯先に移動し、歯車の外径を越えるところを一つの限界とする。

この2点のうち、先に限界に到達する寸法をもって、砥石の廃却時期としている。

これらの関係を図示したものが(図8)である。

### 7.7 内歯砥石の歯先トロコイド(図9)

内歯砥石が歯車と回転運動をする際、内歯砥石歯先は歯車歯元に対しトロコイド曲線を描く。この曲線が加工される歯車の相手歯車歯先および、シェービングカッタ歯先のトロコイド曲線に対して、内にあるか外にあるかを確認し、砥石設計値の適正さを見極めねばならない。

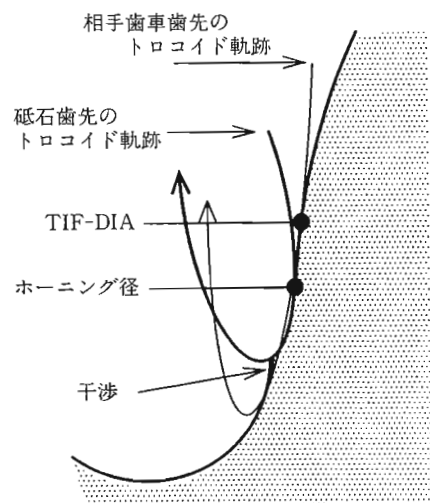


図9 ワーク歯元の関係図

## 8. 加工条件

### 8.1 加工条件

加工条件には、ドレッシング条件とホーニング条件との、2つがある。それぞれに対する標準条件を(表3)に示す。

特に、歯車を直接加工する内歯砥石を、いかに精度良くドレッシングするかがポイントである。

### 8.2 トラバース幅と速度

- 1) 歯すじ修正や、歯形に断面差のある場合は、トラバース幅を小さくする。(±2~±3 mm)
- 2) 歯すじおよび歯形に修正が無い場合は、トラバース量を大きくしたほうが、矯正能力や歯面粗さが向上する。(±5~±7 mm)

表3 内歯砥石回転数と切り込み量の目安

加工区分	条件項目	内歯砥石 回転数 (min <sup>-1</sup> )	総切り込み量 (mm)	トラバースごとの 切り込み量 (mm)
ドレッシング	歯面	30~70	0.060~0.080	0.002~0.005
	内面	200~400	歯面ドレッシング対応	0.003~0.008
ホーニング (ワーク加工)		700~1000	0.060~0.100	0.002~0.005

3) トラバース速度

歯車加工では歯車1回転当たり(0.2~0.4mm)  
ドレッシングでは砥石1回転当たり(2.0~3.0mm)の範囲内で選定する。

8.3 研削液

ハードギヤホーニング加工では、内歯砥石の冷却効果よりも内歯砥石の目詰まり防止を重視して、粘度の低い油性研削液を使用するのが良い。

8.4 ドレス係数(表4)

内歯砥石のドレッシング部位は、歯面と小径内面であり、内歯砥石の新品から廃棄まで、常にホーニング径が一定という条件を満たすためには、歯面と小径内面のドレス量を一定の関係に設定する必要がある。この適正ドレス量の比を、ドレス係数と呼び、当社のハードギヤホーニング盤においては、ドレス自動サイクルのインプット項目としている。これによりドレス作業の能率向上と、加工後の歯車品質の安定化に寄与している。

9. 加工上の配慮

9.1 プロチュバランス付きホブの採用

砥石歯先がワーク歯元と干渉すると、次のような不都合が生じる。

- ・砥石歯先が早期に磨滅し、ワーク歯元が盛り上がる。
- ・砥石が食い込みにくくなり、ホーニング代が少なくなる。

これを解消するために

- 1) プロチュバランス付きホブで、あらかじめ歯元を逃がす。
- 2) シェービングカッタを通常よりも深めに入れ、かつ歯車の歯元を逃がし形状に修正する。

9.2 加工前精度の管理

ハードギヤホーニング加工は、一定の高速化がはかられ研

表4 ドレス係数

$$\text{ドレス係数} = \frac{\text{ドレスリングの軸間距離の変化量 (ドレス量)}}{\text{ドレスギヤの軸間距離の変化量 (ドレス量)}}$$

削能率が増したとはいえ、依然として加工前精度の影響を受けやすい加工法であり、熱処理前の歯切り精度管理と、熱処理変形の管理の手を弛めると、歯車の完成精度を確保できなくなる。

9.3 加工基準面

穴付き歯車の加工基準面となる穴や端面は、熱処理後に研削仕上げなど施されていることが望ましい。その理由としては熱処理面そのままでは、歯車としての精度を評価できないからである。

この問題点を解決する一つのアイデアとして、歯車の組み付け状態にてホーニングすることも考えだされている。

9.4

ドレッシングの歯形・歯すじは、通常は歯車の狙い形状と同一に設定されるが、加工前歯形によっては狙いの歯形を修正することもある。

したがってドレッシング歯形設定に際しては、事前に加工前歯形を測定して、その傾向値を確認しておくことが必要である。

10. 加工事例

代表的な加工事例を(図10, 11, 12)に示す。矯正力は充分であり、かつ左右歯形・歯すじの対称性も良い。

11. 今後の展開

ハードギヤホーニング加工の現状について述べたが、ハード加工コスト面、能率面などではまだ課題が残されている。ギヤホーニング盤と工具を共に担う当社は、その解決策の一つとしてシェービング工程を省略した、ハードギヤホーニング加工の実用化を目指している。これについては次の機会にゆずりたい。

加工工程 : ホブ切り → シェーピング → 熱処理 → ハードギヤホーニング  
 ワーク諸元 : モジュール2 圧力角20° 歯数64 ねじれ角20° 右  
 加工条件 : 砥石回転数800 min<sup>-1</sup> (ワーク1683min<sup>-1</sup>) 取り代 (OBD) 0.10 mm

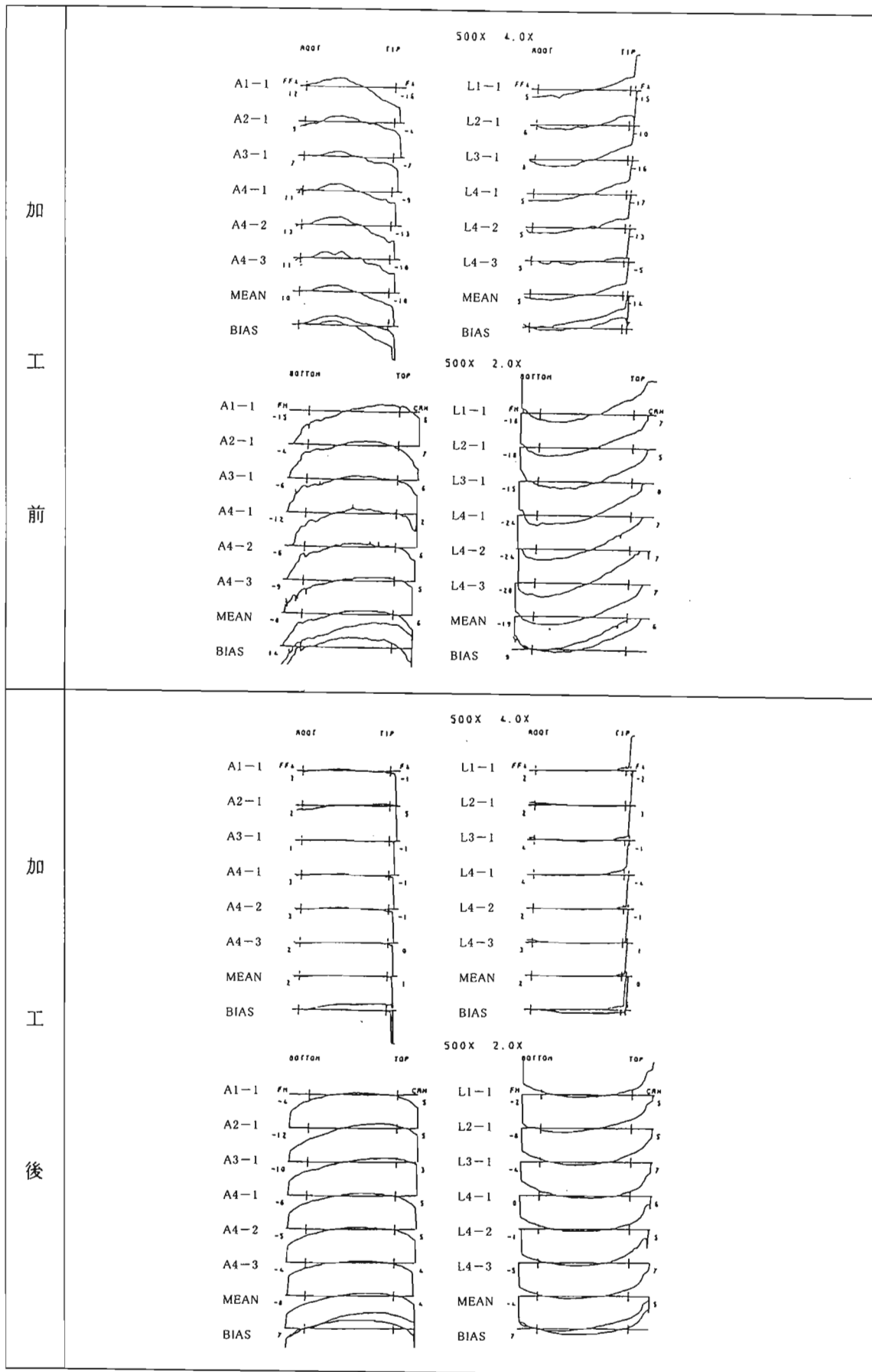


図10 加工事例その1

加工工程 : ホブ切り → シェーピング → 熱処理 → ハードギヤホーニング  
 ワーク諸元 : モジュール3.1 圧力角18° 歯数21 ねじれ角30° 左  
 加工条件 : 砥石回転数450 min<sup>-1</sup> (ワーク1778min<sup>-1</sup>) 取り代(OBD) 0.08 mm

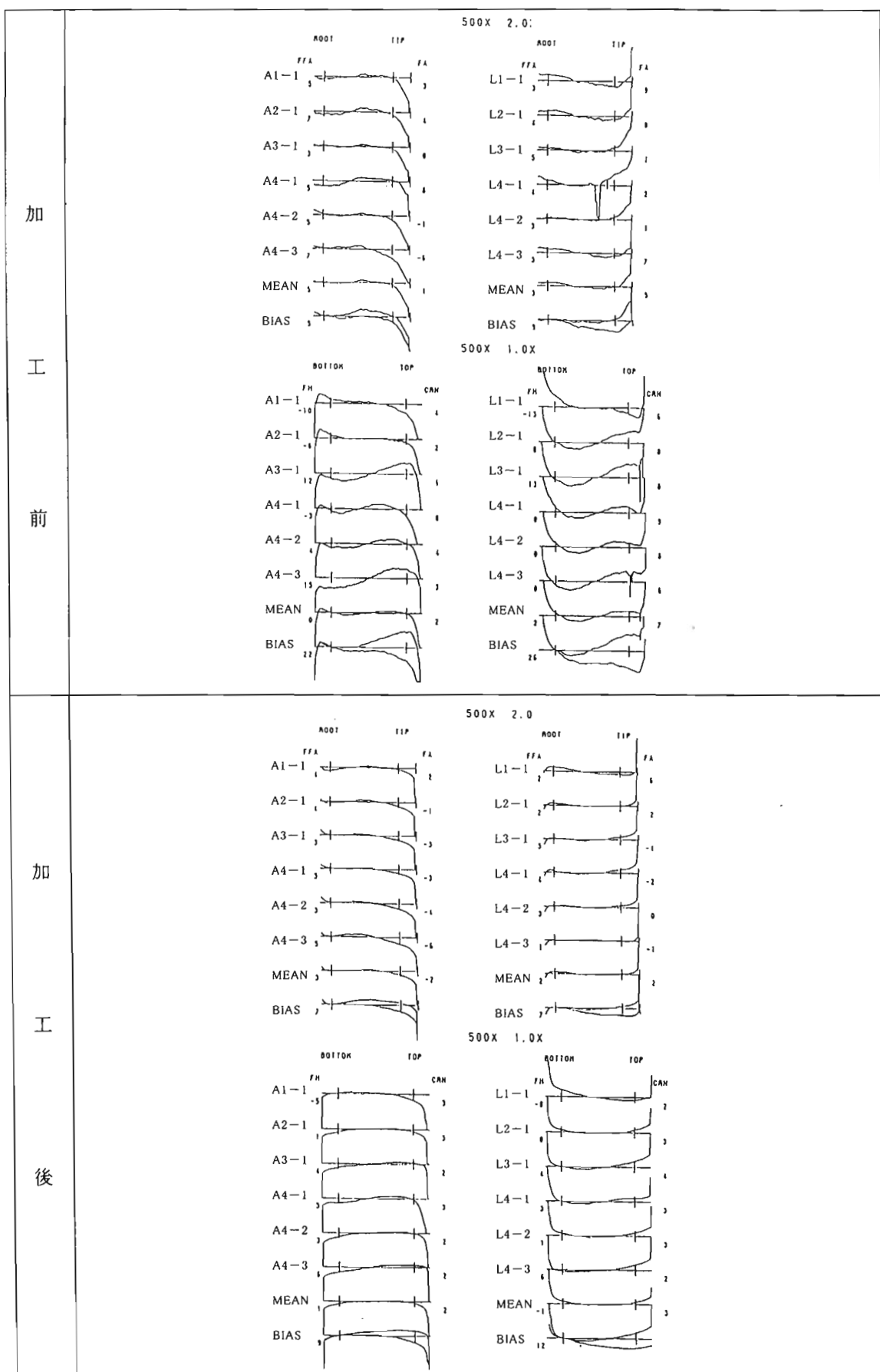


図11 加工事例その2



加工工程 : ホブ切り → 熱処理 → ハードギヤホーニング  
 ワーク諸元 : モジュール2.5 圧力角18.5° 歯数71 ねじれ角30° 右  
 加工条件 : 砥石回転数900 min<sup>-1</sup> (7-ク1521min<sup>-1</sup>) 取り代 (OBD) 0.25 mm

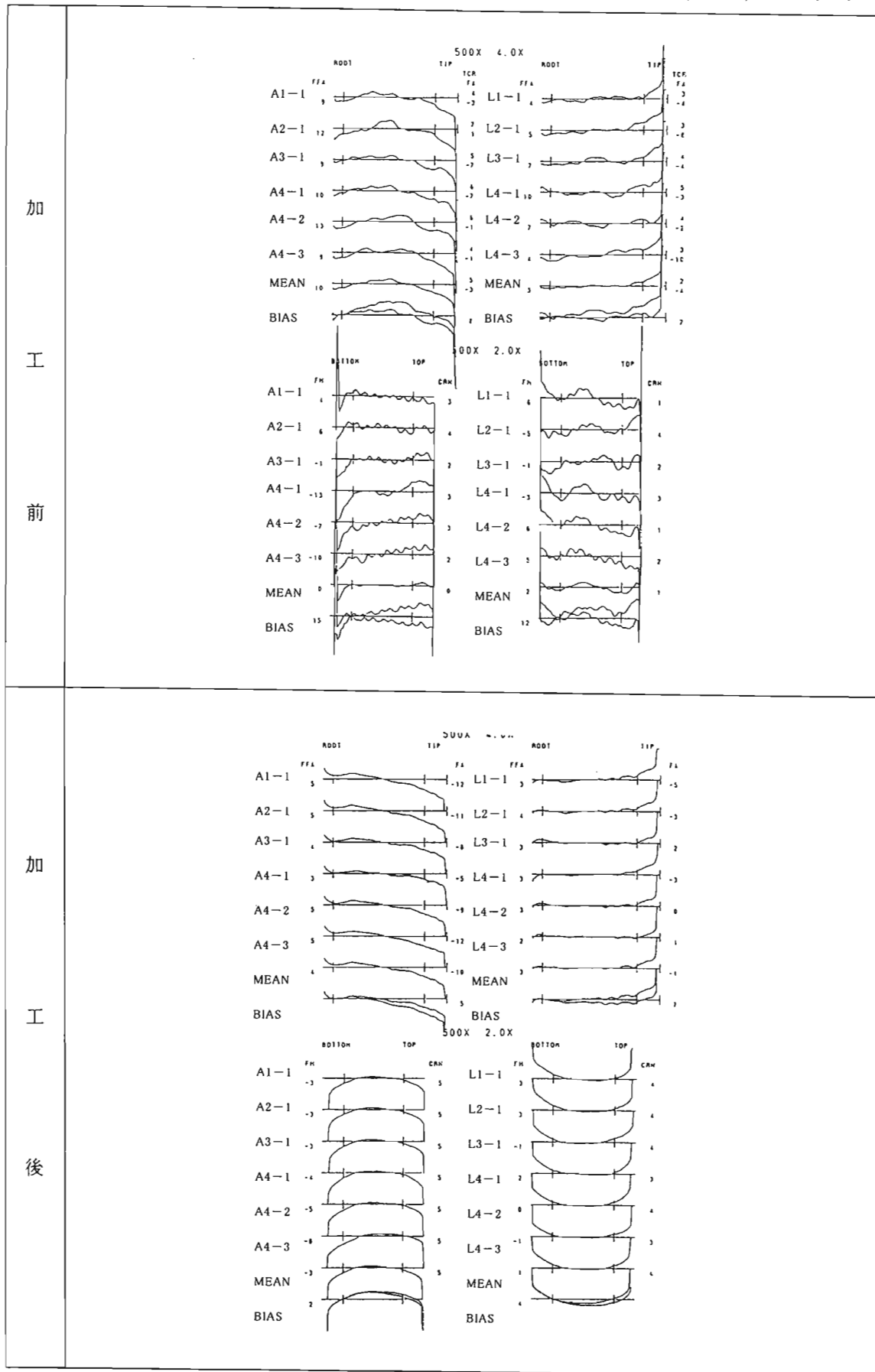


図12 加工事例その3