

NC歯切り加工機の現状

ハードホビングによる歯車仕上げ加工



写真1 ハードホビングのホブとワーク

(株)カシフジ 取違 典嗣

ホブ盤による歯車加工は高速化、高精度化、低コスト加工、省エネなど広範囲な市場の要求があり、最近では工程削減のための複合加工の新しいニーズがある。当社もこれらのユーザーの要求を取入れ、タイムリーにホブ盤を設計・製造できるよう努力している。

ところで、当社は1994年に超硬ホブによるドライカットを実現し、高速化と共にクーラントオイルを必要としない環境にやさしいホブ盤を開発し、そのレベルを向上させ今日に至り、当社の出荷するホブ盤の80%はドライカット可能なホブ盤である。

従来ホブ盤は大量生産の自動車用トランスミッションギヤなど、シェービング仕上げ工程等を必要とする場合が多く、高い精度を要求されない荒切り機械として誤解される場合もあった。

しかし、従来からホブ切りは歯車仕上げ最終工程だったり、ウォームホイールのように高精度の割出し精度の必要な能力も要求され、つまり高速重切削、軽切削高精度加工の両方を要求される、特殊な性能を要求されるのがホブ盤である。

また、ドライカットの普及とともに新しい加工法として開発されたのが、1998年実用化されたハードホビングによる歯車仕上げ加工である。

通常のドライカットは、生材のワークをドライカット用ハイス材にTiAlNコーティングを施したホブで加工するのが一般的であるが、ハードホビング加工は、焼入れたHRC50～60程度の高硬度歯面を超硬材ホブで高精度に仕上げ加工する工法である。

このハードホビング加工法は、一部にウエット加工もあるが殆んどがドライカット加工で環境にやさしい加工法であり、その技術を向上しながらハードホビング専用の多くのホブ盤が出荷された。低コスト歯車仕上げ工法として今後も期待できるであろう。

● ハードホビングと歯車仕上げ加工

歯車は目的により、仕上げ加工法はいろいろあるが、一般的に高精度の歯形の歯車を得るには歯車研削加工が多い。

ハードホビング（写真1参照）は、歯車研削ほどの精度を要求されないワークの高精度歯車仕上げ加工法として

の利用価値は非常に高くなってきている。

表1にハードホビングと歯車研削の概略の違いを示す。

表1 ハードホビングと歯車研削仕上げとの違い

項目	ハードホビング	歯車研削
歯形精度	高精度ではあるが 歯車研削には及ばぬ。	一般にハードホビング より良い
歯形修正	困難	バイアス歯形等修正可能
コスト	低	高
機械操作	通常ホブ盤の延長で容易	熟練を要する
歯面粗度	1Rz程度 (送りを調整し可能)	1～3Rz
歯厚管理	狙い値に確実に切込める	数回のトライアルを要す
環境	ドライカットで良し	ウエットで不利

表中で歯厚管理項目においてホブ切りは切刃がシャープエッジであるため、1回で確実に切込んで狙いのOBD値を得られるが、砥石の場合は切刃のない粒のため、どうしても1回で寸法を出すのが困難な場合がある。

ところで、ハードホビングについての明確な定義はないが、あえて言うなら従来のスカイピング超硬仕上げホブ切りと次のように区別されている。いずれも、焼入れた高硬度の歯面を仕上げ加工する工程であるが、スカイピングホブの特長はm3.0位までの大きなモジュールで、 -30° 前後の負のスキ角をもつ超硬ロー付け大型ホブであるが、ハードホビング用ホブは、逆にm0.3～m2.5位までの小モジュールの超硬ソリッドホブでスキ角が 0° か近辺のものが多い。

写真2は当社KB400NCホブ盤で加工したm5の大型減速機のスカイビングホブ切り写真である。

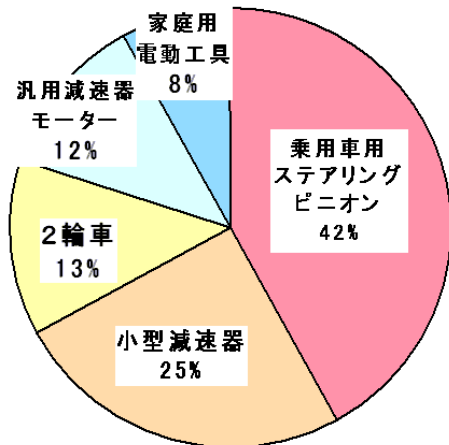


写真2 スカイビングホブ切り

● ハードホビング

当社でのハードホビングホブ盤の加工ワークの用途別出荷台数の比率を表3に示すが、乗用車のステアリング用ピニオン、小形減速機用小モジュールの歯車仕上げ加工が多い。

表3 ハードホビングワークの用途別出荷台数の比率



また、表4に代表的ワークのハードホビング例を示す。

表4 各種ワークのハードホビング例

ワーク種類	ピニオンシャフト	小モジュールピニオン/ギヤ	ピニオンシャフト	平歯車	ピニオンシャフト
用途	m1.25~m2.5 工業用 電動モータ減速器	m0.5~m2 ロボ用 小型減速器	m1.5~m2.5 乗用車用 ステアリング	m1.25~m2.5 オートバイ用	m0.75~2.5 電動工具用 減速器
写真					
使用ホブ盤	KN150	KN151	KN80	KN80/KN151	P60
ワーク諸元	m1.25, φ15, 歯数28	m1.25, φ15, 歯数28	m0.5, φ17, 歯数7	m2.25, φ35, 歯数50	m0.75, φ25, 歯数42
加工	SCM440 高周波焼入れ	SCM415 焼入れ	SCM415 焼入れ	SCM420 焼入れ	SCM435 高周波焼入れ
ホブ諸元	φ32.12溝 1口 超硬	φ32.12溝 1口 超硬	φ50.12溝 1口 超硬	φ50.12溝 1口 超硬	φ24.12溝 1口 超硬
加工条件	ドライ v:80/80 f:1.0/0.6	ドライ v:80/100 f:1.5/0.5	ドライ v:80 f:0.8	ドライ v:80 f:0.8	コーティング (スクイール) v:200(2600rpm) f:1.0
加工時間	2歯切り 仕上げ加工 フツ切り 加工時間80'	仕上げ加工 加工時間87'	仕上げ加工 加工時間84'	仕上げ加工 加工時間90'	仕上げ加工 加工時間20'

ハードホビングの開発は表左端の減速器付き誘導電動機モータの小歯数モータ軸ピニオンの加工に始まった。歯面はHRC60程度の浸炭焼入れされたワークで、その後、更なる大小モジュールのワークや、穴付大歯数の加工に広がってきた。また最初の開発時には、モータ軸の高周波焼入れ丸棒からいきなり全歯丈フル切込みで加工する、いわゆるブツ切りハードホビングも同時に開発された。その後、この工法の加工範囲も徐々に広がってきており高コストの歯車研削に置換わり、現在m1.25位までは量産できるに至っている。

ところで、ハードホビング加工では歯車研削並みの面粗度を得ることができる。また、条件によってはハードホビングの方が良い場合がある。

多角形誤差

送りマーク誤

ホブの送りは、歯面のアラサに影響する。この送りによる歯面の凹凸の高さは次式により計算される。

$$\Delta H = \frac{f^2}{4 \cdot dc} \dots \text{歯溝部}$$

$$\Delta H = \frac{f^2 \cdot \sin^2 \alpha}{4 \cdot d_e} \dots \text{歯面部}$$

ここで、 ΔH …歯面の凹凸の高さ(mm)
 dc …ホブの外径(mm)
 α …圧力角(°)
 f …送り量mm/rev

注:ハスバ歯車の時
 $f \rightarrow f \cdot \cos \beta$ とする。
 β …ワーク振れ角(°)

図1 ホブ切りの多角形、送りマーク誤差

図1に示すように、ホブ切り加工ではホブ有限の切刃のため、歯形は滑らかなインボリュートでなく、各切刃が削った直線の集まりであり、インボリュート歯形より微少の誤差がある。これを多角形誤差と称する。

また、ホブ切りではワーク一回転当たりの送り加工するため、送りマーク誤差を生じる。多角形誤差は微少のため目視ではわかりにくいですが、ホブ切りの場合、この送りマークがはっきり現れ目視できるのが特徴で、その誤差は式に示す通り、送り量によって大きな影響を受ける。

ハードホビングの場合この送りを小さくし、送りマーク誤差が1μm位になるようにすると研削に近い歯面粗さを得ることができる。この時の送り量は、1mm/rev前後で十分に実用の範囲である。

図2にm2.25歯数49枚の同一諸元のハードホビングと歯車研削加工の歯面粗度を比較した例を示す。

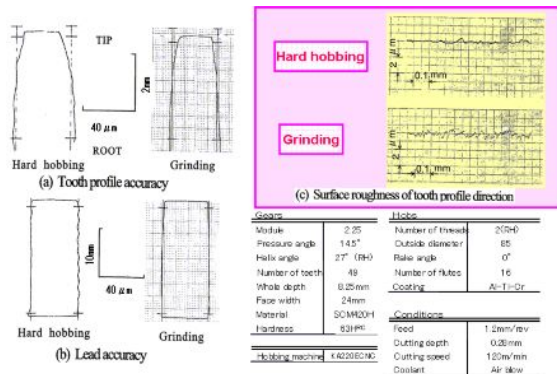


図2 ハードホビングと歯車研削との歯面粗さの比較

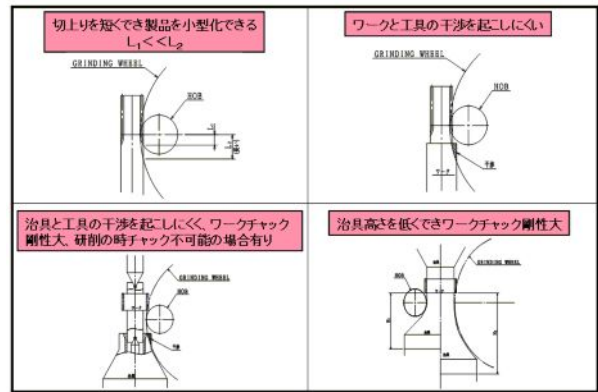
ハードホビングが歯車研削に劣らないことがわかる。また、実際にはどのような理由でハードホビングされるかについて表5に示す。

表5 ハードホビング化の目的と歯車加工工程

項	目的	従来	ハードホビング加工
1	高精度化	ホブ切り⇒焼入れ	ホブ切り⇒焼入れ ⇒ハードホビング
		ホブ切り⇒シェービング ⇒焼入れ	ホブ切り⇒シェービング ⇒焼入れ⇒ハードホビング
2	砥石径が大きく歯研困難	同上	同上
3	コストダウン	ホブ切り⇒焼入れ ⇒歯車研削	ホブ切り⇒焼入れ ⇒ハードホビング
4	歯厚管理容易化	同上	同上
5	工程短縮	旋削⇒ホブ切り⇒焼入れ⇒ 歯車研削 or ハードホビング	旋削⇒焼入れ ⇒ハードホビング

最も多いのが2, 3項で、特に2項については表6に示すが、φ400程度の砥石ではワークとの干渉があり歯研が困難であるが、φ30~φ70ホブなら加工が可能であり、ハードホビングが有利となる。

表6 歯車歯面仕上げ加工と工具径



ハードホビングに要求される技術

ハードホビング加工はホブ盤、ホブ、ホブ・ワークの取付け精度と技術の全てが一定のレベルになって可能となる。

(1) ホブ盤本体に要求される技術

ハードホビングは仕上げ加工のため、通常のホブ盤より特にホブスピンドルの回転振れ精度が要求され、直接歯形精度に影響を与えるので重要であり、ホブスピンドルのテーパ穴、端面振れ共1μm程度が必要である。

また、ハードホビング仕上げ加工は、焼入れ前にすでにホブ切りされた歯溝にホブの切刃を自動的に高精度で位相合わせする必要がある。写真3にこの位相合わせ装置を示す。

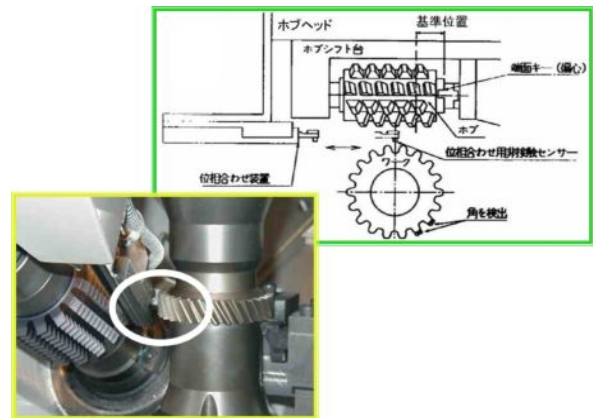


写真3 位相合わせ装置

ワークの外径の歯溝のエッジを非接触センサーで5秒程度の高速で検出し、歯溝の位置を知る方法である。

(2) ホブに要求される技術

ワーク歯面がHRC50~60程度と硬いため、ハードホビング専用の超硬材とTiAlNコーティングを使用し、かつISO AAA級以上のホブ精度が必要である。

さらに、高速化のため高精度な多条ホブも今後必要となってくる。

また、歯形精度向上のため、ホブを転位設計しハードホビングでの歯形精度を向上させる場合がある。

表7にワーク、ホブ諸元と加工条件例を示す。

表7 ハードホビングのホブ転位設計例の条件

歯車諸元 : m1.6 PA20° PA16° NT9 HA30°
ホブ諸元 : 外径 40 溝数 12 口数 1
加工条件 : ホブ回転数 637rpm (80m/min) 送り速度 0.8mm/rev

当初ワークは、ホブの圧力角 20° で加工したら大きな歯形誤差が生じた。そこで、圧力角 16° のホブの転位設計をし、歯形精度を改善した例がある。

ホブ圧力角 20° の場合、ハードホビング加工時、ホブ切刃がワークに仕上げ代分だけ僅かに切込み加工する時、Lフランクが2点当たり、Rフランク1点当たるため力のバランスがとれなくて、1点当たりの部分が多く加工されるために歯形誤差が生じた。ホブ圧力角を16° にして両者共1点当たりにし、ワーク回転方向の切刃のワークにかかる力をバランスさせることで歯形精度が改善できた。ただし、いつもこのような設計ができるわけではないので注意を要する。

(3) ホブの高精度取付け技術

機械、ホブの精度が良くても、ホブ、ワークの取付け精度が良くなければ、高品質の歯車は得られない。特にホブの取付け振れは3μm以下が理想である。

通常、ホブはホブアーバに取付け、そのホブアーバを機械に取付けるが、この振れ出し作業には時間と熟練さを要する。これはホブアーバ単体の振れ精度、ホブの穴とアーバの間の隙間、ホブアーバカラーの端面振れ精度、ナットによる締付け等の多くの要素が原因で振れ5μmがやっとである。しかもホブを再研磨する時は、ホブをホブアーバから外さないで一体のまま加工しなければ作業能率は上がらない。そこで最近、写真4に示すようなシャンク付き超硬ホブを開発し、かつスピンドル側に高精度油圧チャックを使用したら、ホブのボスの振れが容易に2μm以下にだせるようになった。

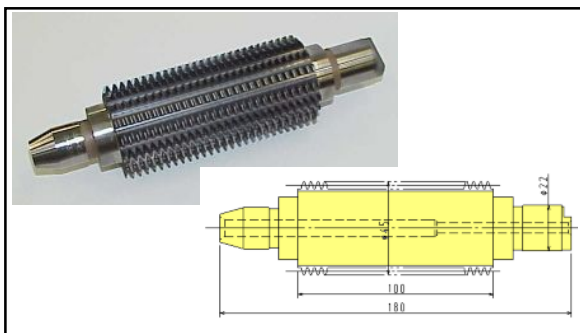


写真4 シャンク付きホブ

表8に示しているが、従来型に比べシャンク付きホブの振れの出し易さを示す。

表8 ホブ取付け精度の向上

	従来型	振れ高精度型
ホブ取付法	穴付ホブ+ホブアーバ方式	シャンク付きホブ+油圧チャック方式
ホブ取付け振れ精度	長時間の調整で5μm程度	短時間で1~2μmの高精度
ホブ取付図		
コメント	ナットを締めるだけでは20μm程度の振れしか出ず、30~120分の長時間の出直し調整作業後5μm程度の振れとなる。 又、ホブ研磨時はホブとホブアーバに取付けたままが好ましい。	クランプネジを締めるだけでいつでも容易に2μm程度の振れが出せる。

(4) 高精度ワークの高精度取付け技術

ワークの取付け誤差は、歯溝の振れ、歯すじ精度、歯すじのばらつきに影響を与える。

ワークの穴に対する端面直角度がでていないと、歯すじ誤差を生じるため、ワークの端面振れを極力少なくし、またワークをクランプする治具の端面精度は通常より高精度でなくてはならない。

また、ワーク穴とワークアーバとの隙間が大きかったり、ワークアーバの振れ精度が悪いと、歯溝の振れ精度は悪くなる。

図3は、乗用車オートマチックトランスミッション遊星ギヤのピニオンを加工した時の例で、従来のワークの穴にワークアーバを挿入した場合と、油圧チャックを使用した場合の振れに起因する歯すじのばらつき程度を示している。油圧チャックの場合ばらつきが少なく高精度になっている。この油圧チャックは、シャンク付きホブのチャックと同じ構造で油圧でクランプ部のスリーブが僅かに収縮または拡張する方式である。

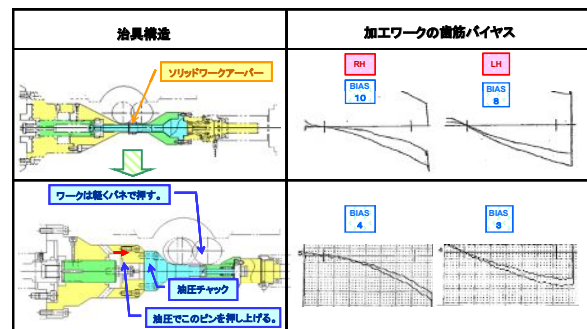


図3 油圧チャックによるワーク振れ改善

● ハードホビング加工精度例

次に新しく開発したKN152CNCホブ盤でのハードホビング加工例を示す。KN152は従来のKN151の後継機で、ドライカットの切屑処理のレベルアップ、省エネ化などを向上させたホブ盤である。高精度なホブ

シフト送りができるハードホビング用特殊仕上げホブヘッドおよび、KN152の概観を写真5に示す。

新たに、ダイヤモンドホビングによるハードホビング工法である。ダイヤモンドホビングについては次項で詳細を説明する。

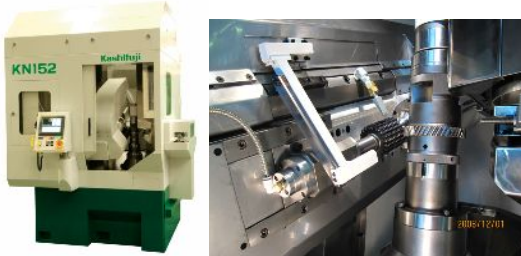
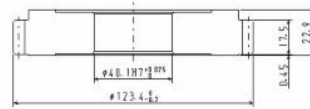


写真5 KN152 CNC ホブ盤外観と仕上げホブヘッド

このホブ盤と仕上げホブヘッドを使用したハードホビング加工例を示す。

表9が加工条件、図4がハードホビング加工精度結果である。

表9 ハードホビング加工条件



歯車諸元 Gear data		使用ホブ諸元 Hob data		切削条件 Cutting condition	
ピッチ Pitch	M2.5	メーカー Manufacturer	NACHI	切削方向 Feed direction	クライム climb
歯数 No. of teeth	42	材質 Material	超硬 NF9A1	切削回数 No. of cuts	1
圧力角 Pressure angle	20°			ワーク取付個数 No. of works stacked	1
ねじれ角(方向) Helix angle(Hand)	27.5° RH	コーティング Coating	AM04	ホブ回転速度 Hob speed	637 m/min
ピッチ円直径 Fitch dia.	118.356 mm	外径 Outer dia.	75mm	切削速度 Cutting speed	150 m/min
外径 Outer dia.	123.4 mm	有効長さ Length	95mm	アキシヤル送り Feed rate	1.0 mm/rev
歯幅 Face width	17.5mm	軸径 Shaft dia.	32mm	ダイヤモンド量 Diagonal	14.9mm (歯面)
材質 Material	SCM 415	進み角(方向) Lead angle (Hand)	6° 00'RH	切込量 Cutting depth	0.3 mm
硬度 Hardness	HRC 62	条数 No. of starts	3	仕上げ代 Stock removal	0.1 mm
熱処理 Heat treatment	真空焼戻 Vacuum carburizing	すくい角 Rake Face angle	-15°	切削タイム Cutting time	44sec.
		切刃溝数 No. of flutes	18	サイクルタイム(AL仕様) Cycle time (with Auto Loader)	(73sec.)
クラウニング量 Crowning	10μm (歯面)	すくい面コーティング Cutting face coating	無	位相合わせ時間 Part orientation time	11sec.

ワークはm2.5、歯数42、捩れ角27.5° RHの諸元でホブは外径75、3口のTiAlNコーティングされたNACHI製超硬ホブである。

図の左側が焼入れ後の加工前、右側がハードホビング加工後の歯形、歯すじ精度である。

なお、歯すじはクラウニング加工の精度である。

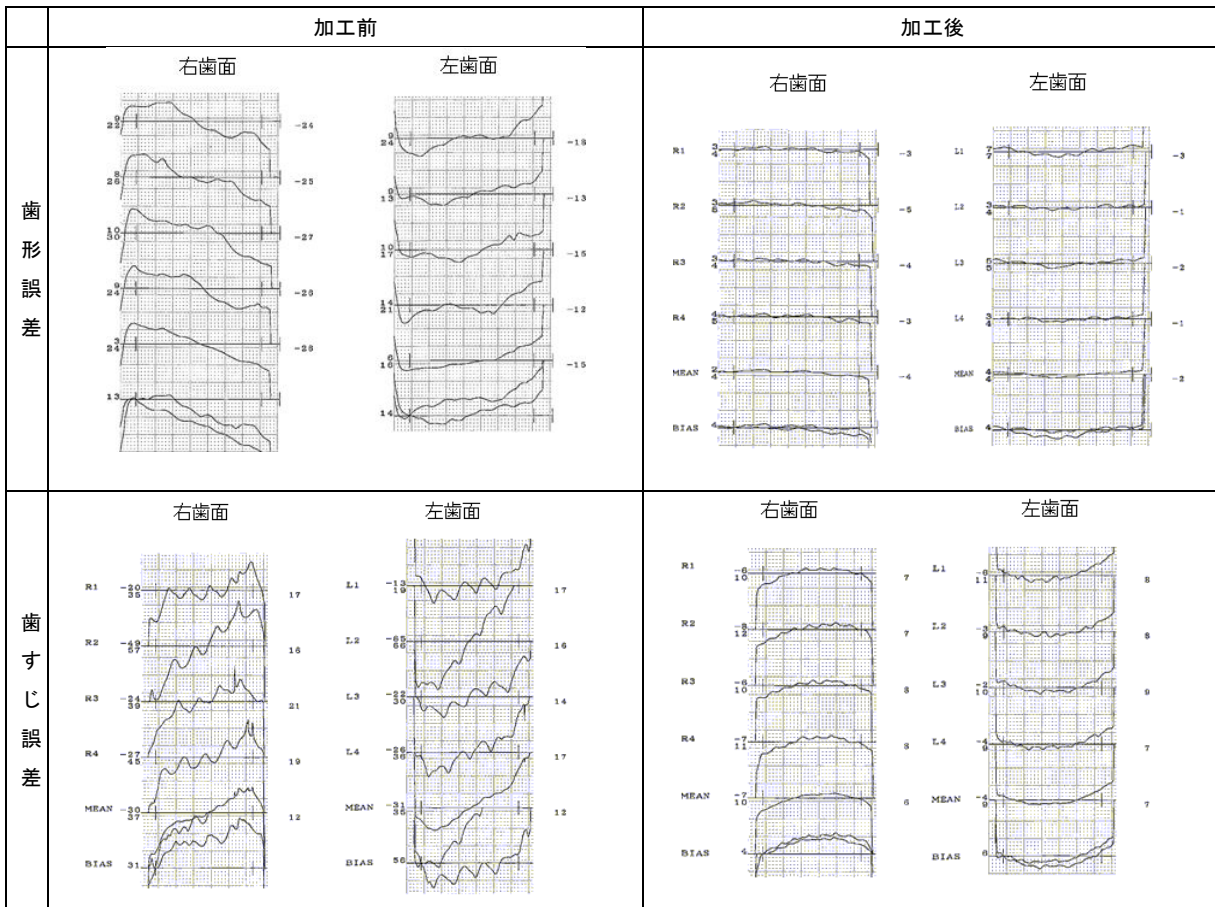


図4 ハードホビング精度

● **ダイヤゴナルホビング加工**

一般のホブ切りは、ワークの軸方向にアキシャル送り（Z軸）をかけるが、今回、アキシャル送りをかけながら、ホブシフト方向（Y軸）にも送りをかけるダイヤゴナルホビングと称する加工法を試みた。

図5にこの加工方法を示す。

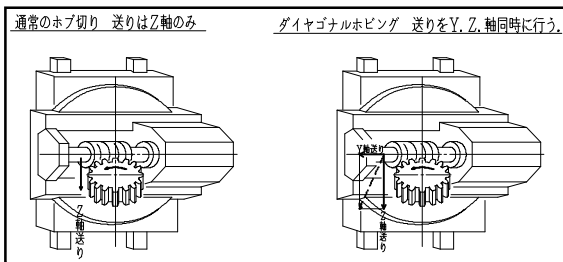


図5 ダイヤゴナルホビング

ホブは有限切刃であるため、図1左図に示す通り、多角形誤差があり、この多角形の角の高い部分は歯すじ方向に連続して生じる。この歯車を噛み合わせるとこの凹凸のため回転が滑かでなくなる。これを解決する方法としてダイヤゴナル（対角線、Diagonal）ホビング加工法

が考えられるが、多角形の角の筋は右図のように歯すじ

に対して傾斜し、スムーズな当たりが得られると考えられる。

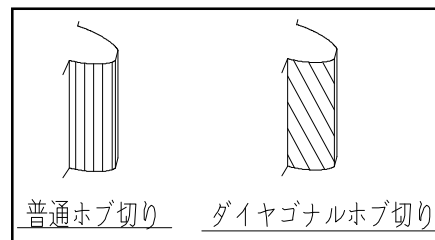


図6 ホブ切りの創成マーク

そこで、高精度のホブシフト送りができる仕上げ専用ホブヘッドを開発し、ハードホビングを試みた。図8ホブ切り創成マーク図に示すように加工の創成の波がワーク1回転毎に半ピッチずれるよう計算し、アキシャル、ホブシフトの送り量を決定し加工してみた。結果を写真7歯面の拡大写真の左部に示す通り、規則正しく交互に入代わるきれいな創成の波が得られた。これは歯車の噛合いをスムーズ、ひいては歯車箱の振動、騒音を低減することを期待した加工法で、今後のテストや性能評価の

結果を待ちたい。

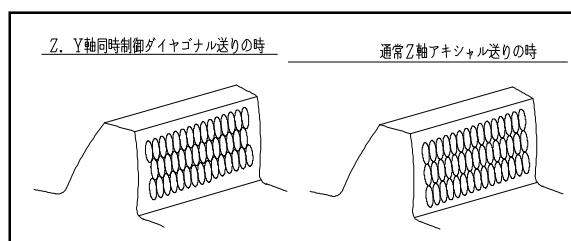


図7 ホブ切り創成マーク



ダイアゴナルホブ切りの歯面 通常ホブ切りの歯面
写真8 歯面の拡大写真

● ハードホビング加工の今後の課題

- 高精度の多条ホブを開発し、加工時間を短縮する。
- 大径ワーク用の振れの少ないワークのチャック治具開発
- ハードホビングの送り目を除去する簡易工法の開発
- ホブ寿命向上でホブコストダウン
- ハードホビング仕上げ加工歯車のギヤボックス組込みの騒音等の評価テスト