解説 ■ 北古賀義之**

腕時計用の微小歯車*

Micro Gears for Watches / Yoshiyuki KITAKOGA

Key words: micro gear, circular arc gear profile, molding shrinkage, air vent, POM (polyoxymethylene), potassium titanate whisker, dual time, perpetual calendar

1. ま え が き

一般にモジュール 0.5 mm 以下の歯車が微小歯車と呼ばれているが、モジュール 0.2 mm 以下になると、量産されている工業製品としては腕時計以外に適用例がないようである。ここでは、切削や射出成形というコンベンショナルな量産加工法による腕時計用微小歯車の現状と課題を紹介する。

2. 腕時計の種類と歯車

腕時計は表示のタイプによってアナログ式とデジタル式とに分けられる。デジタル式は液晶パネルを全電子式で駆動させるもので、歯車はいっさい使用していない。アナログ式はメカ（機械）時計とアナログクォーツ時計とに分けられる。

メカ（機械）時計ではゼンマイのトルクを制動をかけながら伝えていくために、歯車にかかる側圧は大きい。また、歯車の誤差が時計の時間精度に直接影響する。このため、ほとんど金属歯車が使用されている。

一方、アナログクォーツ時計では時間精度は水晶振動子と電子回路で維持されており、歯車伝達の役割は指示針を回転させることが主である。したがって、歯車に要求される精度や強度はメカ時計ほどではない。このため射出成形加工によるプラスチック歯車が主流になりつつある。現在では、国内生産の腕時計の 80% 以上がアナログクォーツ時計である。

3. 腕時計用歯車の特徴

一般に、工業用歯車にはインボリュート歯形が使わ

れることが多い。しかし、腕時計では伝統的にサイクロイド歯形を円弧で近似した円弧歯形が採用されてきた。その理由は、以下に述べる腕時計用歯車の特徴の中にうかがい知ることができる。

(1) モジュールが非常に小さい：通常、モジュール 0.04～0.20 mm が使われている。

(2) 歯数比が大きい。最小歯数が小さい：腕時計における歯車とピニオンの噛み合い歯数比は通常 5～10 倍である。限られたスペースの中で、できるだけ大きな歯数比を得るには、ピニオンの最小歯数が小さいことが必要である。腕時計の最小歯数は 6 枚であるが、このような小さな歯数をインボリュート歯形で実現することは非常に困難であろう。

(3) 回転数が小さい。歯面の潤滑を行わない：腕時計の場合、歯車の回転数は非常に小さい（通常 0.0007～15 rpm）。しかも歯面は無潤滑なので、摩擦は動摩擦より、むしろ静摩擦に近い。

(4) 運動伝達が主目的である：腕時計用歯車では、回転速度比（角速度比）の伝達よりも運動（トルク）の伝達を重視する。

(5) 一方方向回転である：針合わせ操作時などの例外はあるが、時計の歯車回転は通常一方方向回転である。したがって、各種の事故を考慮して、バックラッシュや頂隙はモジュール比でみるとかなり大きい。

腕時計用歯車のいくつかの実用例を図 1～5 によって紹介する。

図 2 は番車と呼ばれる最も代表的な腕時計用歯車である。金属歯車が数部品の組合せなのに対し、プラスチック歯車は射出成形による 1 工程加工であり、はるかにコストは安い。ただし、歯車の厚みや軸径は金属歯車の方が小さく出来る。

* 原稿受付 平成 4 年 5 月 20 日

** セイコー電子工業(株) (松戸市高塚新田 563)

図1 腕時計用金属歯車（ベニオン）の例

図3と図4はステップモータのロータである。金属ロータが磁石を含む数部品を組み立てるのに対し、プラスチックロータは磁石を金型の中にインサートして射出成形（いわゆるインサート成形）する。

図5は中心部に肉薄のパイプを要する番車の例である。歯車部はプラスチック化してもパイプ部は強度上金属の必要がある。この例では金属部とプラスチック部は別々に造って自動組立しているがインサート成形がよいか、後工程での自動組立がよいかはケースパイプである。

表1は、腕時計用歯車の最小寸法を金属とプラスチックで対比させたものである。

4. 金属歯車の製造方法

4.1 歯切り方式

(1) シングルギアカutting： 比較的歯数の少ない（通常、8枚以下の）ベニオンに適用している。ベニオンの材料は高炭素鋼が多い。

(2) ホビング： 比較的歯数の多い（通常、9枚以上の）歯車に広く適用している。歯車の材料としては黄銅、高炭素鋼、マンガン白銅などが使われる。

図2 金属番車とプラスチック番車の比較

図3 プラスチックロータ

図4 金属ロータとプラスチックロータの比較

(3) 無創成ホビング： シングルギアカuttingのカタの歯数と歯切り枚数のかみ合い関係をギア比で規制し、連続歯切りして加工スピードを上げた歯切り法である。

4.2 歯切り盤と歯切り対象

(1) 横型ホブ盤： 外周歯切りを行う汎用加工機である。ベニオンの場合は、ワークブランクを1個ずつ自動給材して片面をデバリングしながらホビングする。歯車の場合は、主としてプレス抜きしたブランクを歯車外径の1.5~2.0倍の厚さに重ねて給材し、多重歯切りを行う。

(2) クラウン歯切り盤： 側面歯切りを行う専用加工機で、ワークブランクを主軸ワークコレットに給材し、正面からプランジカットする。図6はクラウンギアの例である。

(3) 自動旋盤と歯切り盤の複合機： [旋削～歯切り～旋削～切り離し] という工程を1タクト内で行うことができる特殊

金属二番車

プラスチック二番車

図5 金属二番車とプラスチック二番車の比較

表1 腕時計用歯車の実用最小寸法

材質	金 属	プラスチック
モジュール	0.04 mm	0.05 mm
歯 数	6 枚	6 枚
歯 厚	0.08 mm	0.10 mm
歯 幅	0.07 mm	0.12 mm
軸 径	φ0.09 mm	φ0.18 mm

図6 クラウンギアの例 (つづみ車)

な複合加工機である。

4.3 歯切り精度

JIS などの一般的な歯車精度等級は採用できないので、社内規格としてピニオン、歯車それぞれについて、3ランクに層別して適用している。

〔歯形主要公差〕

- ・かみ合い側プロファイル公差 $\pm 5 \sim 9 \mu\text{m}$ (ピッチ誤差含む)
- ・歯厚公差 $\pm 5 \sim 9 \mu\text{m}$
- ・歯先円偏心 $9 \sim 12 \mu\text{m}$

5. プラスチック歯車の製造方法

5.1 射出成形金型の設計製作

腕時計用プラスチック歯車を射出成形で製造する場

合のキーテクノロジーは金型の設計製作技術である。

射出成形時の収縮率のばらつき、プラスチックの熱膨張係数や経時変化などを考慮すると、金型の精度は製品精度の1/3程度に上げなければならない。

5.2 射出成形加工

微小歯車を精度よく量産するためのキーポイントは適切なエアベントの維持ではないだろうか。キャビティのメンテナンスや修理性の面から、容易にキャビティ(入子)交換できる金型構造が必要である。

5.3 歯車用プラスチック材料

腕時計用歯車の材料としては、チタン酸カリウムホイスカで強化した POM (ポリアセタール) が多い。チタン酸カリウムホイスカは直径 $\phi 0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 、長さ $20 \sim 50 \mu\text{m}$ であるが、ゲート径 $\phi 0.10 \text{ mm}$ 、歯車の厚み(歯幅) 0.12 mm 以下を考えると、より微細で均一なフィラが要求されている。

6. 腕時計用歯車の課題

アナログクォーツ時計では、ストップウォッチ、タイム、デュアルタイム(時差のある2種類の時刻表示)、アラーム、パーペチュアルカレンダー(前後千年間の暦)などの多機能が開発されてきている。しかしながら、これらは主として半導体技術の進歩の産物であり、残念ながら歯車が直接的に時計の機能開発・機能向上に寄与したとは言い難い。腕時計用歯車の課題をまとめると以下ようになる。

6.1 金属歯車の課題

- ① 加工の高精度化による無検査の実現
- ② 切削以外の加工による大幅なコストダウン
- ③ 事故に強いノーバックラッシュギア(口針のふらつき解消)

6.2 プラスチック歯車の課題

- ① 金属並みの強度(口金属並みの薄小化)
- ② 金属並みの精度(口金型の加工精度アップ)
- ③ モールドデボジットの発生しない材料

■著者紹介

東京工業大学機械工学科卒。1964年セイコー電子工業(株)入社。時計生産技術開発、プラスチック成形技術および金型設計製造