

## 〔機械編〕

## 高精度歯車加工と歯車加工機

北井産業(株) 北井 正之 (Masayuki Kitai)

代表取締役 〒349-0203 埼玉県白岡市下大崎 860-1 TEL 0480-93-7401

## はじめに

当社は1953年以来、60年以上にわたり小型ホブ盤の開発、製造、販売を行っている。当社の機械で加工する歯車はモジュール2.5以下の小さな歯車である。この小さな歯車のほとんどが、ホブ切りを最終工程とし、ホブ切りされた歯車がそのまま部品として組み付けられる。従って、ホブ切りの加工精度が、そのまま部品としての歯車精度となるため、小型ホブ盤の加工精度の高精度化が常に要求される。

一般的に小型ホブ盤より大きな機械でのホブ切り精度の期待値としては旧JIS (JIS B 1702:1976のこと。今後この文章の中でのJIS等級は旧JISで示すこととする) で、4~5級である。ところが小型ホブ盤でのホブ切りの要求精度は2~3級は一般的で、中にはJIS 1級を求められる場合もある。JIS 1級とは通常歯車研削加工でなし遂げる精度である。

ホブ切りでJIS 2級以上の高精度な歯車を生産するためには下記の6つの条件を満たす必要がある。

- ①要求された歯車精度を満たす精度で加工されたブランク (歯車を加工する前の素材のこと) であること。
- ②高精度なホブを使用すること。
- ③ブランク形状や要求加工精度を考慮した最適なチャッキング方法を選択すること。
- ④高精度なチャッキング治具を使用すること。

⑤最適な切削条件で加工すること。

⑥高精度なホブ盤を使用すること。

上記について、1項目ずつ筆者の経験値から記述していきたいと思う。

## (1) ブランク精度

ブランク精度であるが、ホブ切り後の歯車精度はブランク精度に大きく左右される。JIS規格には参考付表ではあるが「歯車素材の外周および側面の振れの許容値」が各等級で示されている。このブランク精度を満たすことにより、ホブ切り後の各等級の歯車精度が実現できる。JIS 2級以上の歯車精度を満たすには、ブランク加工時点で高精度な旋削加工や研削加工が必要となることが良く分かるはずである。

## (2) 高精度なホブ

高精度なホブについてであるが、ホブの精度は歯形誤差やピッチ誤差に大きな影響を与える。各ホブメーカーにより独自でJIS規格以上の高精度な数値を等級ごとに設定し、製造している。JIS 2級以上の歯車加工を実現するためには、ホブメーカーの規格でAA級以上の高精度のホブを使う必要がある。

## (3) チャッキング方法

チャッキング方法については、ブランクの形状や各部の寸法精度により、チャッキング基準とする場所や方法を決めることとなる。穴物の歯車(穴のあいている歯車)は、通常その穴に軸を通して使われるため、チャッキング基準もこの穴とすることが多い。方法としては図1を参照。

この方法はワークアーバ方式というが、穴を通す部分の軸径は、寸法公差内で最も小さな穴径のさらに $2\sim 3\mu\text{m}$ 小さな径で製作する。従って、最大で穴径の寸法公差よりさらに $2\sim 3\mu\text{m}$ 大きな偏心が加工した歯車に現れることになるため、穴径の寸法公差は要求された歯車精度の「歯溝の

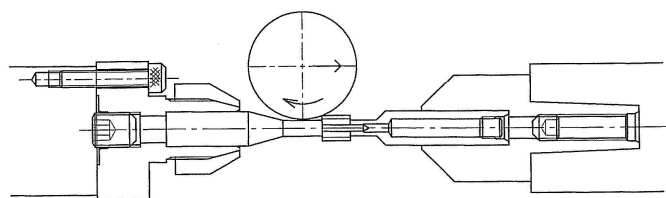


図1 ワークアーバ方式

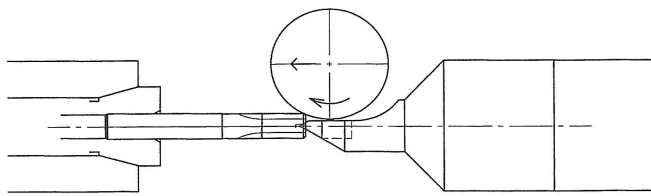


図2 コレット方式

振れよりさらに $2\sim 3\mu\text{m}$ 小さくしなければならない。また、このチャッキング方法は、ブランク端面を挟んで回転させるため、穴と端面の直角度も重要な要因となる。(1)項の「歯車素材の外周および側面の振れの許容値」を参照されたい。

軸物の歯車(軸のどこかに歯車を加工するもの)の場合は、軸の外径をチャッキングするコレット方式(図2)、軸の両端面にあるセンタ穴を利用し、端面にエッジ(爪)をたてて回転させるエッジセンタ方式(図3)、軸の端面にセンタ穴がないため、軸端面の外径形状に合わせてメス穴を作り、両端面をメス穴で挟んで回転させるメスセンタ方式がある(図4)。

軸物歯車の場合、組立基準が軸外径となる場合が多いため、組立基準と加工基準を合致させることが最良のチャッキング方式となる。しかし、組立基準を加工基準として使えない場合は、組立基準部分と加工基準部分の同軸度が重要となる。また、軸物の歯車測定には、両端面のセンタ穴や両端面の外径を測定基準とするが、加工基準と異なる場合は、測定データが実用上の精度評価として使えるかどうか疑問となる。従って、軸物の歯車の場合はブランクをセンタ穴基準として、ホブ切り加工基準である外径を加工することにより、高精度の歯車加工を実現することができ、正確な加工精度評価を行うことができる。

#### (4) チャッキング治具の精度

チャッキング治具の精度は下記の通り。

##### (a) 穴物加工用のワークアーバ

(3)項でも記述した通り、ブランクの穴に通す必要があるため、ワークアーバの軸径は寸法公差内で最も小さな穴径のさらに $2\sim 3\mu\text{m}$ 小さな径で製作する。軸径が穴径に対して小さくなればなるほど加工後の歯車の振れ精度が悪くなるため、ブランクを挿入できる最大径を狙いたい。

##### (b) コレットチャック

コレットチャックの精度で最も大切なことは、繰り返し把握した時の振れ精度である。JIS 2級以上の高精度加工をするためには、振れ精度は5

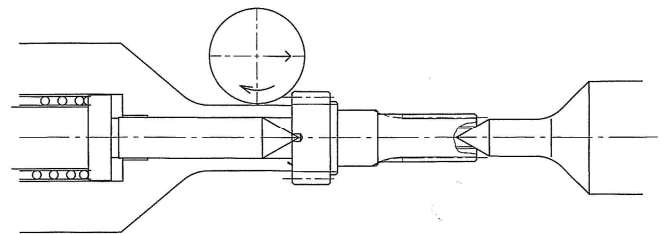


図3 エッジセンタ方式

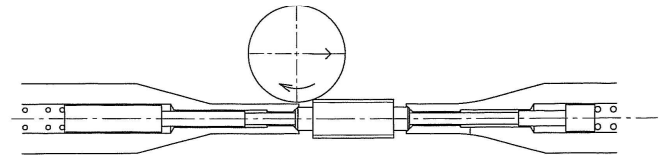


図4 メスセンタ方式

$\mu\text{m}$ 以下にしたい。また、振れ精度を上げるためには、コレットチャックの開きしろを小さくする方が安定する。開きしろを小さくするために、把握部の寸法公差を小さくすることが望ましい。コレットチャックで把握する部分の外径公差はIT 6以下としたい。

##### (c) エッジセンタ

エッジセンタは、中心にセンタ穴を拾うために内部にセンタが組み込まれており、バネで出入りしている。出入りの駆動時に内部センタがラジアル方向に動いてしまうと、加工した歯車の振れ精度が悪くなる。内部センタと摺動部分の穴の隙間は極力ゼロに近付けなければならないため、現合ラップで仕上げる必要がある。また、端面に当てるエッジ部分と内部センタとの直角度も振れ精度に影響を及ぼすため、内部センタを挿入する穴とエッジ端面は同時加工を行い、直角度を出すことも重要になる。

##### (d) メスセンタ

メスセンタのメス部にダイヤルゲージを当てて振れ精度を出すことは、センタ穴が小さく困難であるため、メスセンタはメス穴とセンタ外径の同軸度を極力ゼロに製作し、センタ外径部で振れを出さなければならない。また、加工精度によってはブランクを直接心出しに使うことがあるため、心出し用の高精度なブランクも用意する必要があるとくる、

#### (5) 最適な切削条件

最適な切削条件とは、ブランク材質に適したホブの選定から始まる。

ホブについて、ホブの材質、コーティングの有無、コーティングがある場合にはその種類により、切削条件が大きく異なってくる。ミクロンホ

ブの材質については、通常SKH、超硬の2種類を使用する。一般的な切削条件としては、SKHでの周速は60~80 m/min、超硬は100~120 m/minで使用することが多いが、最近ではコーティング技術が発達してきたため、ブランク材質によっては、超硬ホブ・湿式加工で250 m/minで加工している場合もある。乾式加工(ドライカット)はコーティングの切削ポイントでの化学変化を利用するため、周速300 m/min以上で加工しなければならないことは周知の通りである。

ホブ、切削油の選定が終ったら、いよいよホブの回転数、送り速度の条件出しに入るが、ブランクの剛性、治具の剛性、機械剛性により大きく異なる。

切削抵抗が大きければ切削された歯車の精度が悪くなる傾向は強いので、高精度加工の場合は切削抵抗を落とした加工条件となる。一般的には送りを下げたり、粗加工、仕上げ加工の2度切り加工を行ったりしながら、高精度歯車を加工することが多い。

JIS 2級以上を狙う場合は、送り速度は0.3 mm/rev以下、2度切りの場合の仕上げの取りしろは0.2 mm以下とする場合が多い。また、湿式加工の場合でも歯車のねじれ角度や高速回転(3,000 rpm/min)加工の場合は、切削ポイントに切削油がうまくかからず、スプーンカット(切削で排出された切粉が切削面からうまく排除できず、ホブの刃がその残った切粉を挟みながら切削することにより歯面にくぼみが生じてしまう現象)を生じてしまうことがあるので、その場合には、切削油の油量を増やすと同時に、吐出圧力を上げ、かけ方を工夫することが大切である。それでも解決できない場合は、粗加工、仕上げ加工の2度切りにする必要がある。ドライカットの場合はホブの回転数がさらに高いため、スプーンカットを起こす可能性が高くなる。安定した高精度歯車加工を行うためには湿式加工をお勧めしたい。

## (6) 高精度ホブ盤

最後に高精度ホブ盤の説明に入るが、機械剛性も高精度加工の重要な要因となっている。ホブ盤メーカーとして剛性を重視している場所としては、

(a) ホブ軸、主軸(ワーク軸)、心押軸

(b) 送り摺動部、切込摺動部

である。

(a)についてはその部位にかかる切削抵抗や回転数に応じた構造およびベアリング選定が重要となる。ここは各メーカーのノウハウを活かしている所なので、この程度の記述に留めておく。

(b)については、ホブ切りはフライス加工より激しい断続切削となるため、切削ポイントで起こる加工時の振動を摺動面でも吸収する必要がある。重切削やスカイピング加工の場合は特に重要である。摺動部に剛性がない場合は、切削時の抵抗や振動がそのままホブの歯先にかかり、歯先の摩耗やチッピングを引き起こし、ホブの寿命を短くする原因となる。当社としては、ホブの寿命および安定した加工精度を重視しているため、ほとんどの機械でいまだにきさげ加工を施した金属接触摺動面を採用している。

ホブ盤で最も重要な部分はホブ軸と主軸の同期精度である。機械式(ギヤトレインで各軸をつなぎ、換え歯車を必要とする方式)でも伝達歯車に歯研を施した高精度歯車を使用すれば、十分に高精度歯車加工を行うことができる。しかし、最近では部品点数を低減できる電気式(ホブ軸、主軸を各々のモータで駆動させ、電気制御により同期を取る方式)が主流となっている。電気式の同期の取り方は、ホブ軸に高精度なエンコーダを取り付け、加工時の切削抵抗におけるホブ軸の回転変化をエンコーダで読み取り、主軸用サーボモータに進み遅れの信号を送り、サーボモータの回転を追従させることにより同期を取る方法である。

従って主軸は、ホブ軸の回転変化に確実に追従し同期を取る必要があるため、主軸モータは機械仕様に記載されている最高の切削抵抗がかかってもし回転変化を起こすようなことがあってはならない。従って、主軸モータは切削抵抗にびくともしない大きな力を必要とする。当社の主軸部分は最高精度のマスターウォームとホイールを使い、加工能力に適応したサーボモータを選定し、機械のコンパクト化を実現している。

## おわりに

以上、当社としては、ユーザーニーズを尊重し満足いただける機械を常に提供し続けたいと切に望んでいる。是非、今後とも読者からのご指導ご鞭撻を賜りたいという願望を込め、ここで筆を降ろさせていただく。