



圆柱齿轮珩齿 工 艺

浦作鴻、孙昌平、夏文泉 編

國防工業出版社

圓柱齒輪珩齒工藝

浦作鴻、孫昌平、夏文泉 編



國防工業出版社

1965

內 容 簡 介

本书是高速、高負荷中小模数齒輪珩齒工藝實踐的初步總結。書中着重介紹了高精度、高硬度圓柱齒輪所採用的內嚙合珩齒法。較詳細地敘述了珩齒的設計和製造過程、珩齒工藝參數的選擇以及珩齒工藝。此外，還提供了几種機床改裝成珩齒機的實例。

本書可供工廠有關技術人員和工人閱讀，也可供各院校有關專業的師生參考。

圓 柱 齒 輪 珩 齒 工 藝

浦作鴻、孫昌平、夏文泉 編

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

國防工業出版社印刷廠印裝 內部發行

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 2 $\frac{1}{8}$ 53 千字

1965 年 12 月第一版 1965 年 12 月第一次印刷 印數：0,001—1,500 冊

統一書號：N15034·1029 定價：（科六）0.38 元

序

齒輪珩磨是近几年来发展的新的很有前途的精加工輪齒方法之一，国内有关部門積極地进行了这项工艺的研究，并应用于生产。齒輪珩磨可以有效地消除热处理所产生的誤差，以提高輪齒工作面的光洁度，去掉輪齒上的毛刺和凹痕以及改善齒輪副的噪音等。它与磨齒、研齒和滾光等工艺方法比較有較高的生产效率。

本书叙述了高精度、高硬度圓柱齒輪所采用的內嚙合珩齒法，着重介紹了珩輪的設計与制造、珩齒机床的改装和珩齒工艺。由于这种工艺方法在生产上应用時間較短，对有关問題的探討还不够深入，有待于日趨完善。所以本书出版的目的，仅想在这一方面提出一些参考資料。

在写作过程中，作者力求达到不抄书、写实践过的經驗、工人能看得懂，做到文实相符。但由于作者水平有限，未必达到上述要求，誤謬之处，在所难免，望讀者批評指正。

新技术推广所

1965年5月

目 录

序	3
第一章 珩齿过程的几个问题	5
第一节 珩齿过程的基本原理	5
第二节 内啮合珩齿法的特点	7
第三节 关于珩齿方法的选择	13
第二章 珩轮的設計与制造	16
第一节 珩轮的分类及其应用范围	16
第二节 設計珩輪时各参数的选择	17
第三节 珩輪的設計与技术条件	19
第四节 澆鑄模具的設計与制造	25
第五节 珩輪的材料与珩輪制造工艺	28
第六节 提高珩輪切削性能的方法	37
第三章 珩齿的机床改装	39
第一节 对改装机床的基本要求	39
第二节 X62W万能銑床改装成內珩齿机	40
第三节 X8126銑床改装成小模数齿輪珩齿机	44
第四节 普通車床改装成平行軸內珩齿机	46
第四章 珩齿工艺	49
第一节 珩齿修正各种誤差的能力	49
第二节 高硬度齿輪的珩齿工艺方案	59
第三节 珩齿切削用量和冷却液的选择	61
第四节 珩齿工艺的調整和操作	62
第五节 影响珩齿精度的因素	66

第一章 珩齿过程的几个問題

珩齿是齿輪热处理后精加工的新工艺，与磨齿、研齿和滚光等工艺方法比較，有如下优点：

1. 生产效率高，比分度法磨齿提高 6 倍以上，比研齿法提高 4 ~ 5 倍。某厂研磨一个 $z = 93$ ， $m = 4.98$ 毫米的氮化内齿圈，机动时间需 24 小时，而珩磨的机动时间仅需 3.5 小时。珩磨一般中、小模数齿輪时，单件工时仅需几分钟。

2. 加工光洁度高，表面质量好，珩齿的光洁度可达 $\nabla\nabla\nabla 8 \sim \nabla\nabla\nabla 9$ ，而且齿面不会产生烧伤和裂纹，因此可以提高齿輪的使用寿命。

3. 投資少，成本低，不像磨齿需要复杂的机床，也不像研齿需要耗費大量磨料和研磨工具。一个质量好的珩磨輪可以加工数以千計的中、小模数齿輪。某厂試制一批小模数氮化齿輪时，直接利用珩齿代替原有的研齿工艺，解决了齿輪經氮化后需要精加工的关键。

由于珩齿有上述优点，近年来发展得很快，在汽車、机床和拖拉机等制造业中，已采用了这种新工艺。但在高精度、高硬度的各种大負荷齿輪及小模数齿輪的生产中，珩齿仅仅开始采用。为了适应硬度高、余量大和精度高等要求，采用了内嚙合珩齿法。經過生产实践証明，内嚙合珩齿法可以稳定保持 6 級精度 (JB 179-60)，完全可以代替費工的研齿工序，也可代替部分齿輪的磨齿工序。

第一节 珩齿过程的基本原理

珩齿是利用含有磨料的塑料齿輪 (珩磨輪) 与被珩齿輪自由

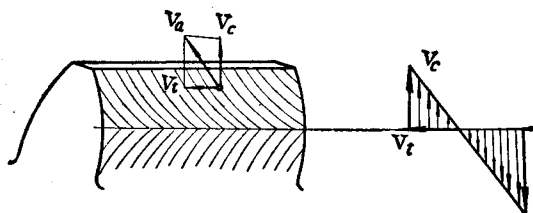


图1-2 齿面上的相对滑动速度和切削轨迹

由此可见，从运动学的观点来看，珩齿与剃齿是相同的，都是自由传动，加工精度与原始精度有一定关系，但由于珩齿所用的刀具与剃齿刀有本质的不同，所以珩齿的切削过程又与剃齿有如下区别：

1. 珩轮的齿面上均匀密布着磨粒，各磨粒间以粘結剂相隔，磨粒的硬度比剃齿刀的刀刃高得多，而其间的粘結剂又富有弹性，珩磨速度远较磨削时低，因此珩齿切削过程本质上是低速磨削、研磨和抛光的综合过程。

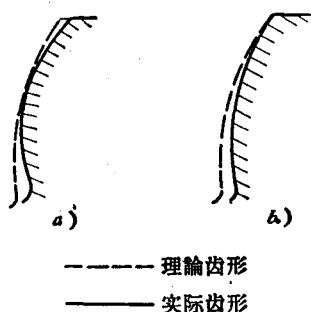
2. 珩轮的磨粒可以看成是十分接近的、連續的切削刃，珩齿的切削过程是連續的，沒有断續的挤压过程，因此珩磨后的齿面上的切削紋路很細，光洁度比剃齿时高得多，不会产生冷硬现象。

3. 因为珩轮的弹性較大，不能强行切下与誤差相等的金属，故修正誤差的能力不如剃齿强，又因为这个特点，珩輪本身的誤差也不会全部反映到被珩齿輪上，因此，有可能用精度較低的珩輪加工出精度較高的齿輪。

第二节 內啮合珩齿法的特点

“齿形畸变”是目前外啮合珩齿法中比較普遍的問題，畸变一般有两种情况：一种是齿根和齿頂珩得多，齿形中間珩得少，形成“挖根”和“削頂”的中凸齿形（图 1-3 a）；另一种是挖根

和齿顶偏肥 (图 1-3 b)。上述齿形畸变问题, 曾一度成为推广珩齿工艺的障碍。而内啮合珩齿法则没有齿形畸变的现象, 加工



精度较高, 是一种较好的珩齿方法, 究其原因, 在啮合方面有下列特点:

1. 齿面相对滑动速度的分布比较平缓, 有利于保持齿形精度。

根据一定轴交角下齿线方向的相对滑动速度 V_t 和 S 以及齿高方向上齿廓间的相对滑动速度 V_{cs} 可以计算出总的相对滑动速度 V_{cs} 。图

图 1-3 “齿形畸变”的两种情况 以计算出总的相对滑动速度 V_{cs} 。图 1-4 是用两种啮合方式珩磨同一种齿轮时, 相对滑动速度沿齿高的分布曲线。从图中可以看出, 齿根的滑动速度最大, 齿顶次之, 节圆处最小, 在齿高各点上有“速度差”。外啮合的曲线是从齿根向齿顶急剧变化, 速度差较大, 且各点速度差随珩轮转速的增大及被珩齿轮齿数的减少而急剧增加; 而内啮合的曲线则平缓得多, 增大转速时, 速度差的增加并不很快。

由于珩齿是自由传动, 并且是依靠齿面间的相对滑动和压力来实现切削的, 珩轮的磨损和被珩齿轮齿面余量的去除均遵循齿面的磨损规律, 因此相对滑动速度对珩齿过程有很大影响。齿高上各点的速度差说明在单位时间内齿面上各点除去的金属是不等的。外啮合珩齿时, 被珩齿轮齿根部分的相对滑动速度最大, 珩去的金属最多, 齿顶次之, 节圆部分最少, 因此形成“挖根”和“削顶”的中凸齿形。珩磨的时间越长, 齿形畸变也越大, 这种现象, 在被珩齿轮齿数少和珩磨压力小时最常见。若珩磨压力较大时, 也会产生齿根和节圆部分珩得多的“齿顶肥”齿形, 甚至还会出现节圆部分凹下的现象。内啮合珩齿法的最大优点是, 可以获得比较均匀的齿面磨损规律, 因此可以避免或减少齿形畸变的趋势, 且有利于珩轮保持较高的精度。珩磨内齿轮时, 几乎不存

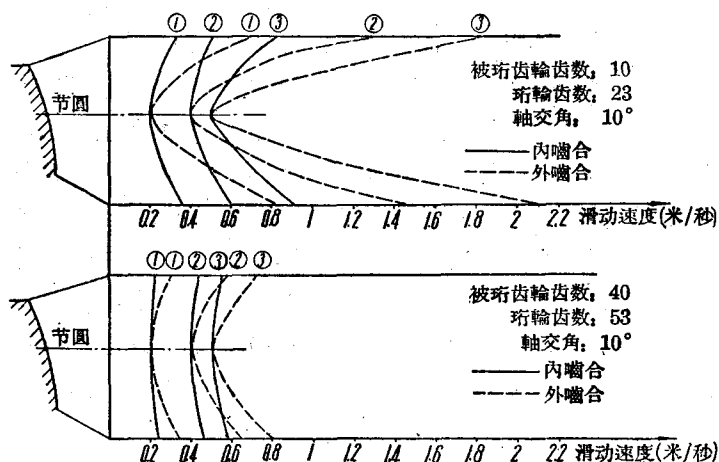


图1-4 内、外啮合珩齿法齿高上滑动速度分布的比较曲线

①— $V_1=1.2$ 米/秒；②— $V_1=2.4$ 米/秒；③— $V_1=2.8$ 米/秒。

V_1 —珩轮节圆处的线速度。

在齿形畸变的问题，仅在珩磨齿数很少的外齿轮时，其齿根可能有轻微凹下，但比外珩齿法要好得多。特别是在被珩齿轮的硬度高、余量大、珩磨时间长的情况下，愈显示其优越性。

2. 珩齿时重迭系数大，有利于修正被珩齿轮和珩轮的齿形和基距误差。

通常认为，珩齿过程是自由传动，齿形误差具有仿形的性质。经过生产实践证明，珩齿时齿形和基距误差是可以修正的，并且被珩齿轮的齿形和基距与珩轮的齿形和基距有密切的关系，内啮合珩齿时，其修正作用又比外啮合时大，这一现象，可用重迭系数的关系来解释。

若珩齿时重迭系数大于1而小于2，则有时是一对齿啮合(图1-5a)，有时是两对齿啮合(图1-5b)。一对齿啮合时，因为是自由传动，在齿形上具有仿形的性质，仅由于运动中速度和压力的变化和惯性，所以能修正微量误差。两对齿啮合时则不同，由

于两对齿同时在啮合线上啮合，設中心距是固定的且珩輪的齿形绝对准确，其基距为 t_{o1} ，而被珩齿輪齿形的齿頂偏肥，基距偏差为 $+\Delta t_{o2}$ ，則在啮合点 b_1 处被珩齿輪的齿頂要和珩輪发生干涉，若珩輪为绝对剛体，必将完全修正被珩齿輪的誤差 Δt_{o2} 。实际上，是由于啮合点的压力增加，珩輪、被珩齿輪和机床系統的变形增大，此誤差不是一下子就能完全消除，而是經過一定時間后才能慢慢除去，最后达到共軛啮合，因此被珩齿輪齿頂珩得多，誤差被修正（在此过程中，珩輪也被齿輪反修正，且由于珩輪的彈性变形，被珩齿輪誤差不可能100%得到修正）。若被珩齿輪珩前为齿頂瘦，即基距偏差为 $-\Delta t_{o2}$ （图1-5 c），則在 b_1 点

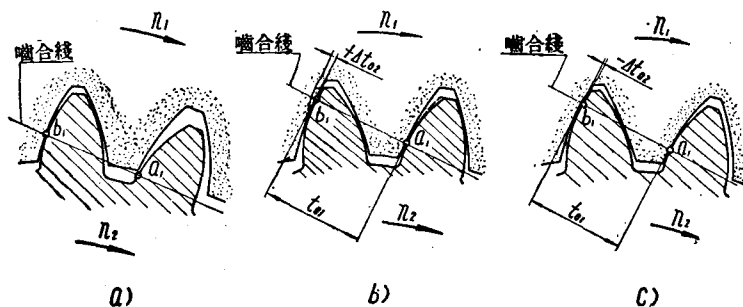


图1-5 重迭系数与修正誤差的关系

形成間隙， a_1 点的珩磨压力增大，珩去較多的金属，使被珩齿輪的齿根得到修正（但这种誤差較前一种难修正，故在珩輪为主动时，被珩齿輪珩前基距誤差最好取正值；若被珩齿輪为主动时，則相反）。由此可見，在两对齿同时啮合的情况下，由于輪齿之間的相互約制作用，对齿形和基距的修正也有一定的强制性，所以无论是剃齿和珩齿，均希望尽可能增大重迭系数，但外啮合法珩齿时，重迭系数最大只有1.5左右，即在啮合线上，只有在两端1/3处为两对齿啮合，中間1/3处为一对齿啮合（图1-6），这时齿頂和齿根的齿形誤差容易修正，中部的誤差則不易修正。內啮合珩齿时，在利用重迭系数方面則有較大潛力，如珩磨某一齿

数 $Z = 7$ 的油泵齿轮时, 若采用外啮合, 重迭系数 ε 只有 1.05, 而内啮合珩齿时则可增至 1.7。某一齿数 $Z = 20$ 的齿轮, 外啮合珩齿时 ε 约为 1.55, 而内啮合珩齿可达 1.96。用齿数 $Z = 60$ 的珩轮珩磨某一齿数 $Z = 93$ 的内齿圈时, 重迭系数达 1.99, 接近 2。缩小珩轮与被珩齿轮的齿数差, 可增大重迭系数, 因此内啮合珩齿法实际可设计成 $\varepsilon = 2$, 这时除了啮合线两端极限点之外, 各处均为两对齿啮合, 这对修正被珩齿轮的齿形和基距误差以及低速对滚时反修正珩轮的误差都是有利的。

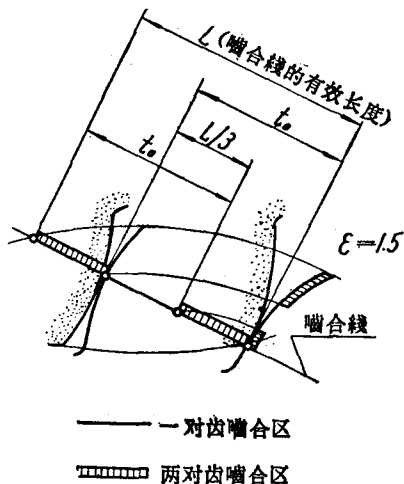


图1-6 重迭系数与双齿啮合区的分布

3. 齿面的接触面积和压力的分布

在 $\varepsilon = 1.5$ 的情况下, 外啮合压力的分布规律如图 1-7 a 所示。因齿高中部为一对齿啮合, 压力最大。综合考虑滑动速度和珩磨压力对珩齿精度的影响时, 则可产生三种误差: 当滑动速度的因素起主要作用时, 得到“挖根”和“削顶”的中凸齿形; 当珩磨压力的因素起主要作用时, 得到中凹的齿形; 当上述两因素所起的作用都相当大时, 则可能得到“齿顶肥”的齿形。在 $\varepsilon = 2$ 的情况下, 内啮合时压力的分布如图 1-7 b 所示, 虽然齿根处珩磨压力较大, 但内啮合珩齿时齿面的接触有下列特点:

1) 共轭齿廓的曲率方向相同, 变形后在齿高方向的接触高度较大。

2) 内啮合的轴交角很小 (一般为 $5^\circ \sim 10^\circ$ 左右), 在齿长方向上实际的接触长度长。

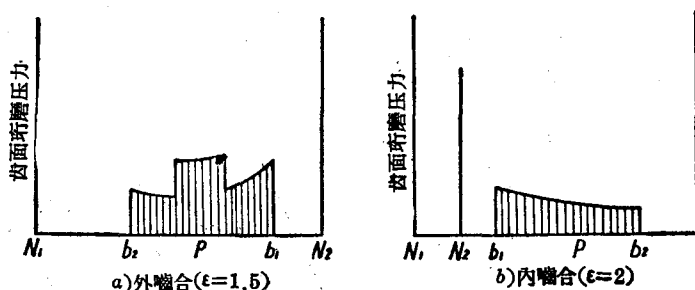


图1-7 外啮合和内啮合时齿面压力的分布

图 1-8 是内、外啮合时齿面接触面积的比較。由于内啮合珩齿时接触面积大，压力波峰小，珩轮的磨损和被珩齿轮去除的金属都較均匀。

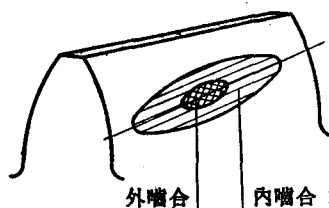


图1-8 珩磨时齿面的瞬时接触面积

3) 重迭系数大，可以等于 2，能保証同时有两对齿接触。一对齿啮合时，接触点为 2 (图 1-9 a)；两对齿輪啮合时，接触点为 4 (图 1-9 b)，因此内啮

合珩齿时单点压力减少，压力波动小，傳动平稳。

綜合内啮合珩齿在滑动速度、重迭系数和珩磨压力等方面的特点，内啮合珩齿法有如下主要优点：

1. 可以减少齿形的畸变，修正齿形和基距誤差的能力强，珩齿精度比外啮合珩齿法高。

2. 重迭系数大，同时参加工作的切削刃的总长度长，效率高。

3. 用内珩輪珩磨外齿輪时，珩輪可以一次鑄成，无需鑄造塑料内齿模具，可以提高珩輪精度，降低成本。通常制造外珩輪时，一个塑料内齿模具一般只能鑄出 5~10 个珩輪，以后随精度逐渐降低或损坏而报废。而直接用鋼质母齿輪澆鑄内珩輪时，母

齒輪可長期使用而不变形，內珩輪的精度要比經過兩次成型的外珩輪高 1~2 級，因此可以相應提高珩齒精度。

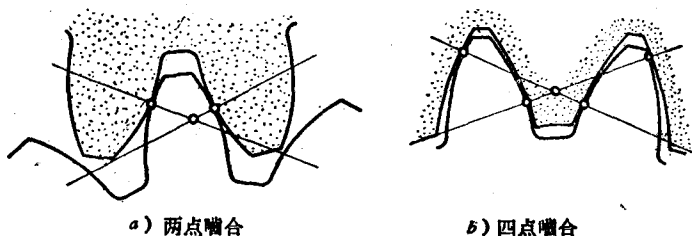


圖1-9 齒面上同時嚙合的點數

交叉軸內珩齒法在理論上是非共軛嚙合，要達到正確的共軛，珩輪必須制成腰鼓形（或稱桶形）。實際工作中也觀察到如下現象，新珩輪與被珩齒輪對滾時，首先是珩輪的兩端接觸，經過若干時間對滾後，接觸面才能達到全齒寬，這時珩輪和被珩齒輪的齒均獲得一定的桶形度。但由於內嚙合珩齒時軸交角很小，在齒寬不大的情況下，出現的桶形度是很小的（約 0.004 毫米左右），這種不大的桶形度對齒輪工作反而有利。更重要的是珩輪本身具有被修正而創造共軛條件的特點，最初的非共軛只是一個很短的過程，不會降低珩齒質量。其唯一的缺點，是機床主軸均為懸臂結構，剛性較差，需要在改裝和設計機床時予以充分考慮。

第三節 關於珩齒方法的選擇

根據嚙合形式及珩磨壓力的性質，珩齒方法列於表 1。

表 1

分 類 方 法	珩 齒 方 法
以嚙合的形式分	內嚙合法，外嚙合法
以軸交角的性質分	交叉軸法，平行軸法
以嚙合的間隙及壓力分	單面定隙定壓法，雙面無隙變壓法，雙面無隙定壓法

珩齿方法选择得是否合理会影响到珩齿精度、生产率及经济性等方面，在开始試驗和推广珩齿工艺时，正确选择珩齿方法更为重要。

一、內啮合法和外啮合法的选择

內啮合珩齿法的特点前面已叙述，它比外啮合好处多，但不能一律采用內啮合，要根据具体要求和設備条件来选择。一般原則是，珩磨精度較高（6級及6級以上）的外齿輪时，建議采用內啮合，珩磨齿数少的齿輪时，应尽量采用內啮合，如果已有外啮合珩齿机，产品精度要求又較低（7級以下）时，可以采用外啮合，珩磨直徑超过300毫米以上的外齿輪时，由于制造大直徑珩輪比較困难，可以采用外啮合。当用平行軸法珩齿时，应采用內啮合，被珩齿輪的齿数越少，采用內啮合珩齿越有利。新設計或新改装机床时，应尽量考虑內、外啮合同时具备。

二、交叉軸法与平行軸法的选择

交叉軸啮合理論上是点接触，平行軸啮合是綫接触，因此后者修正齿向誤差的能力高于前者，其机床結構及調整也較簡單。但交叉軸啮合时，齿面滑动速度大，齿高上的速度差也較小，因此生产率較高，齿形精度較好。若采用平行軸啮合，则需要較高的軸向振动次数，以便改善滑动速度的分布。这时机床部件要承受較大的慣性力，珩磨尺寸較大的齿輪时，因为被珩齿輪和夹具的重量較大，慣性力也大，因此不宜采用平行軸啮合。但对尺寸比較小的齿輪，以及采用交叉軸比較困难的双联齿輪、台阶齿輪及不大的內齿輪，采用平行軸珩齿則較為方便。这时为了保证齿形精度，应采用內啮合方式。

三、单面啮合与双面啮合的选择

现在用得比較普遍的是单面定压珩齿，双面变压珩齿和双面定压珩齿。单面啮合时通常是以摩擦刹車裝置或負荷油泵等方式来产生珩磨压力。由于此法的珩磨压力比較穩定，齿形精度較好，但因齿側有間隙，不能修正节圓偏心，生产率也低，因此只

用于提高光洁度和修正微量齿形误差。双面啮合则与此相反，故一般均采用双面啮合。双面变压法一般是调整好初压力后固定中心距，珩齿过程中压力逐渐降低以至消失，在珩齿中也可以有附加的径向进给。此法修正节圆偏心的能力最强，但珩轮负荷不稳定，容易丧失精度或损坏。双面定压法则又与其相反。对某些个别齿轮，有时需要利用改变中心距的方法来修正齿形误差，这种个别修正，对某些贵重的大型齿轮是需要的。因此在设计或改装机床时，应当考虑到同时具备双面和单面啮合的可能性。

第二章 珩輪的設計與製造

第一节 珩輪的分类及其应用范围

珩輪(图2-1)的外形和齒輪一樣,其齒輪部分是用塑料和磨料的混合物制成的。珩齒的目的是要修正齒輪熱處理後的變形,提高其精度和表面光潔度。因此除對珩輪的幾何精度、切削性能提出要求以外,還要对珩輪的機械性能和物理化學性能提出要求,即要有一定的抗壓強度、抗彎強度、沖擊韌性、硬度、耐磨性及耐腐蝕性等,以保證珩輪具有一定的使用壽命。

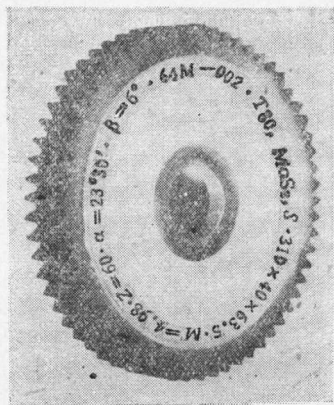


图2-1 珩輪

珩輪按外形可分為內珩輪和外珩輪(图2-2)。按齒部結構可分為帶齒芯的和帶齒芯的。帶齒芯的

珩輪有下列優點:

1. 由於塑料的體積減小,澆鑄成形的收縮量也相應減小,使珩輪的精度提高。

2. 齒部強度好。

3. 節省珩輪材料。

但模數不大的珩輪,其齒芯太小,製造困難,且澆鑄時由於間隙過小,使流動性降低,容易產生氣孔。因此,帶齒芯的結構只適用於模數 $m_n \geq 4$ 毫米的珩輪。模數 $m_n < 4$ 毫米的珩輪,一般均採用不帶齒芯的結構。