

控制汽车齿轮根部的工艺方法

□ 陕西法士特齿轮有限责任公司/贺冬冬

本文提出了一种控制齿轮根部的工艺方法，并应用在齿轮加工领域。该方法提出齿轮沉切概念，沉切检测和评定，并可以用沉切量数值大小判断齿轮根部两边留量对称与否或起台，从而避免齿轮加工中的应力集中，减少齿轮失效。该工艺方法为齿轮加工中齿轮根部的研究提供了理论指导和工艺参考。



随着我国汽车变速器产量的快速增长，高品质的汽车齿轮需求越来越大。为了提高汽车的整车舒适性，降低汽车噪声，大部分汽车齿轮加工企业都将采用齿轮磨齿工艺。目前我公司齿轮加工采用的主要加工工艺为滚齿（齿面粗加工）—淬火热处理—磨齿（齿面精加工）。在用齿轮测量仪MM检测时，只要求齿轮齿形渐开线是否在要求的“K形”区域（见图1和表1），不考虑由于齿轮齿圈跳动、偏磨、齿向鼓形、热处理变形和刀具误差等影响，加工中造成齿轮齿根两边留量不对称或者起台。这样，齿轮齿根容易应力集中。在实验阶段，经常发生齿轮疲劳失效断齿现象（见图2）。为了避免这种现象，本文提出了一种控制齿轮根部的工艺方法，并应用在齿轮加工领域。

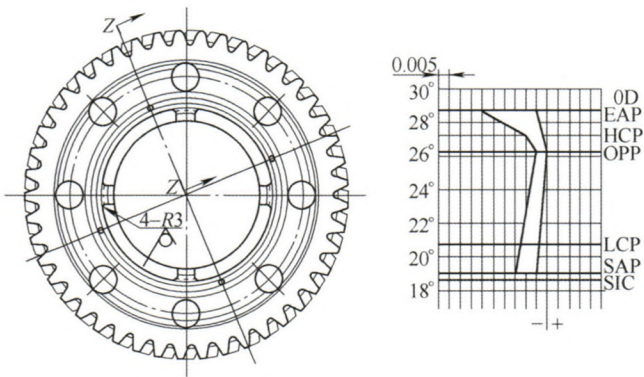


图1 齿轮简图及“K形”区域

表 1

渐开线齿廓	展开角 (°)	半径/mm	偏差/μm
最大齿顶圆半径 (OD)	28.889	93.215	—
有效齿廓最大终点 (EAP)	28.774	93.140	⁻⁵ ₋₃₀
最高接触点 (HCP)	27.369	92.242	⁰ ₋₁
工作节点 (OPP)	26.248	91.552	⁰ ₋₅
最低接触点 (LCP)	20.774	88.536	—
最小有效渐开线起始点 (SAP)	19.182	87.774	⁻⁵ ₋₁₅
渐开线检查起始点 (SIC)	18.774	87.574	—
基圆半径	0.000	83.233	—

注：不允许最低接触点LCP和最高点HCP之间的齿廓上凹心超过0.005mm

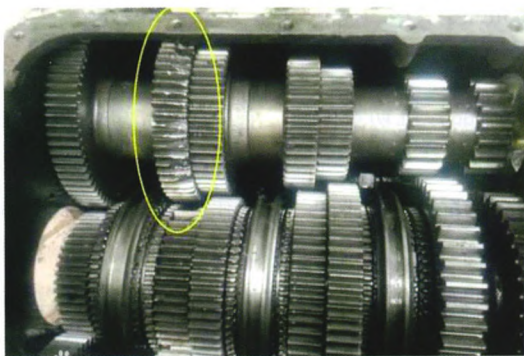


图2 齿轮断齿

控制汽车齿轮根部的方法

1.常见齿轮根部的形式及优缺点

常见齿轮根部余量的形式有三种：齿面及齿槽底部均留余量；齿面留余量，但齿根部起台；齿面留余量，齿根部挖根。其优缺点具体见表2。

2.沉切的概念

沉切的检测和评定，是为评估在不同制造工艺（预加工和精加工）阶段内，齿轮左右侧切削量大

小及均等程度。在加工初始阶段，例如轮齿的粗加工，可用来评定切削刀具精度或者磨损情况。滚齿和插齿是粗加工工序，一般由粗加工的刀具产生齿轮的沉切。沉切是由粗加工切削刀具的凸角和齿顶圆角产生的，它给精加工刀具提供了间隙，以避免齿根过渡圆角处产生台阶。剃齿和磨齿是精加工工序，通过去除齿侧余量来调整或精修渐开线齿廓，同时将减少沉切量（见图3）。

沉切区是由滚齿或成形切削刀具形成的从圆角直径顶部往下到齿

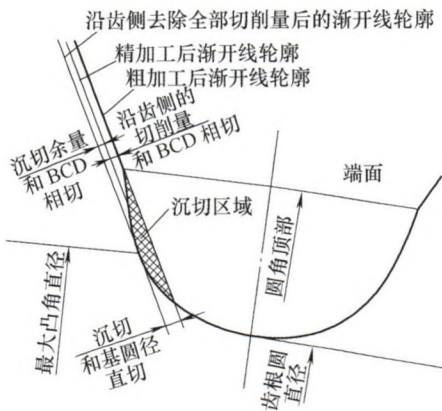


图3 齿侧轮廓示意图（渐开线和沉切截面）

根直径的轮齿区域。沉切量在基圆直径（BCD）的切线方向测量。该方向在轮齿图中由X轴表示，我们可以使用该坐标轴来评定不同制造工艺阶段内零件的沉切量（见图4）。我们使用图形评定齿轮，并且给圆角顶部下的轮齿部分使用术语沉切。沉切不是渐开线齿廓的一部分，尽管沿着沉切区的点和渐开线曲线相交（见图4）。

其中，TOF（圆角顶部）是渐开线齿廓和零件沉切实际形状的交线，而且是沉切终止点；UP（沉切点）是最大沉切的点。也认为是最大凸角的直径；RD（齿根圆）——是沉切开始的最小直径。

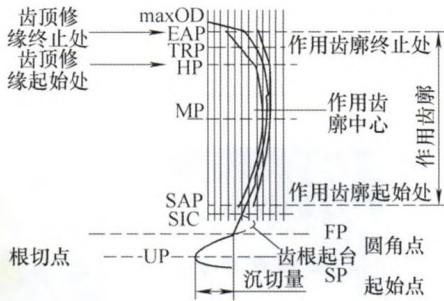


图4 端面上的齿侧齿廓检测（含沉切评定）

3.沉切检测和评定

沉切检测规定在轮齿宽中部进行，齿形报告中必须给出FP、

表2 磨齿余量的形式

齿根余量的形式	优缺点及适用场合
齿面及齿槽底部均留余量	优点：齿面及齿槽底部同时磨光，适用于要求槽底深度及容积一致的齿轮 缺点：磨齿负荷大，生产率低；槽底淬硬层磨去。硬度下降，同时槽底的磨削条件差，易造成磨削裂纹及烧伤。
齿面留余量，但齿根部起台	优点：预切刀具简单，避免了上述磨齿负荷大等缺点 缺点：齿根部留有磨齿凸台，此处易造成应力集中，使疲劳强度和弯曲强度下降；磨齿时砂轮外圆的尖角处仍需参加工作，磨损很快。
齿面留余量，齿根部挖根（我公司采用）	优点：是较理想的磨齿余量形式，砂轮的寿命可比上两种提高10%~15% 缺点：需采用专门的磨前滚刀进行预切。

UP、SP三个沉切评定点。沉切量(q)等于沿横轴(X 轴)计算的FP点和UP点之间的最大距离,该值一般可由齿形报告中的竖线格数乘以每格距离得到(见图4)。球形或盘形测头直径必须小于齿根圆角直径的80%,以保证测量时测头不与齿根产生干涉。

FP点位置识别:渐开线以下第一个拐向齿轮实体内的拐点。

UP点位置识别:渐开线以下第一个拐向齿轮实体外的拐点。

SP点位置识别:UP点位置向齿根延伸“FP点半径和UP点半径之差”的50%。

4.粗加工沉切量的控制

左右齿侧必须都有沉切存在。粗加工沉切最小值($q_{\min}$)应比切削量大0.025mm,即精加工后应至少留有0.03mm的沉切。

粗加工沉切量最小值计算:
 $q_{\min}$ = 齿厚法向单边留量+0.03mm。

粗加工沉切量最大值计算:
 $q_{\max}$ = 成品要求最大沉切量+齿厚法

向单边留量+0.03mm,式中“成品要求最大沉切量”见表3。

5.精加工(成品)沉切量的控制

齿轮精加工后的沉切量要求即为成品零件的沉切量要求。要求左右齿侧必须都有沉切存在,否则视为磨伤齿根。在进行刀具理论设计时,精加工后应至少留有0.03mm的沉切,以避免因为齿轮跳动、偏磨、齿向鼓形导致某一齿根没有沉切而产生台阶(如图4中的齿根台阶)。具体要求见表3。

控制方法现场应用

1.原有控制方法

通常齿轮齿部加工中只关注齿轮齿面粗糙度和齿形是否在“K形”区域,不考虑由于齿轮齿圈跳动、偏磨、齿向鼓形、热处理变形和刀具误差等影响,造成齿轮齿根两边留量不均匀对称或者起台,不能有效控制齿轮齿根质量(见图5)。

2.新的控制方法

建立控制齿轮根部的方法。首先在设计初始阶段考虑粗加工刀具和精加工刀具的统一设计,避免以往单独设计不匹配。同时,按照沉切概念,预留粗加工和精加工沉切量。其次,优化齿轮齿形检测区域,在MM检测时,除“K形”区域外,在工艺文件中增加圆角点FP、根切点UP、起始点SP位置识别,向齿轮根部延伸。最后对比齿侧齿廓检测图。

计算沉切量 q ,是否满足沉切量控制要求。采用新的工艺控制方法,能够评估齿轮齿根的趋势以及合格与否。验证原有齿根两边沉切量 $q=9\times0.005\text{mm}=0.045\text{mm}$,左右两侧最大差值=0.045mm,齿根不对称,齿轮加工不合格。采取优化刀具设计,增加对齿传感器的使用,改善齿轮左右沉切量。沉切量 $q=4\times0.005\text{mm}=0.02\text{mm}$,左右两侧最大差值=0.01mm,齿根两侧对称,齿轮加工合格。

结语

控制齿轮根部的工艺方法,在齿轮加工前建立齿轮沉切的概念,预留齿面粗加工和精加工沉切量,沉切检测和评定,控制加工过程的稳定性,评估齿轮根部质量。这样可以提前预防沉切区域超差以及一些磨齿缺陷的产生,例如:齿根两侧磨削不对称、齿根多磨、齿根起台、齿根断裂等等。为整个行业研究齿轮根部提供了一种有效的工艺方法。 **AUTO1950**

表3 沉切量数值
 (单位: mm)

精加工 工序	理论设计最小沉切量	成品要求最大沉切量	左右(两侧)最大差值
剃齿	0.03	0.08	0.03
磨齿	0.03	0.06	0.038

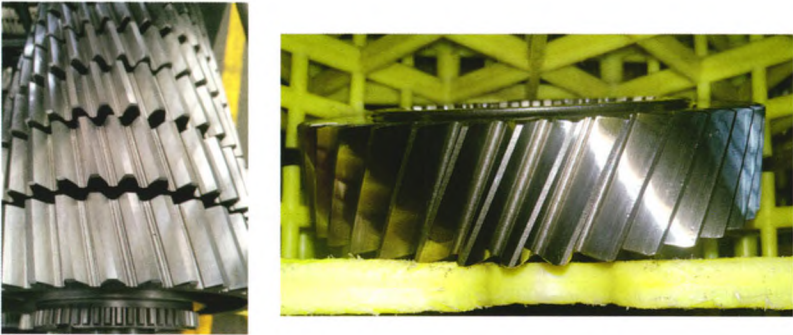


图5 两边齿侧留量不均和两边留量对称