



汽车半轴在机加工过程中易在径向轴密封面上产生螺旋纹变形，这种变形被称为扭纹角，扭纹角易导致配合面的泄漏。本文介绍了如何用精密仪器实施相关测量方法，及适用于制造企业的检测、评定旋转密封面的扭纹角的方法。

□ 万向钱潮股份有限公司等速驱动轴厂 陈小敏 夏哲帆

汽车半轴磨削档扭纹角的新型检测方法

行业背景

汽车半轴的密封表面采用磨削加工工艺，在加工过程中主要由机床—工件—砂轮系统的振动而在零部件表面形成具有一定周期性的高低起伏，被称为表面纹理。表面纹理中的扭纹结构（又称为“扭纹角”）影响流体的流动特性，半轴上的回转密封面同密封垫圈的接触区域，它对零部件的密封效果起着重大的影响。半轴加工制造过程中如何检测加工后的零部件是否存在扭纹结构就成了关键的质量控制手段。

扭纹角概述

扭纹角是指回转密封面的轴对称表面上的整个圆周上观察到的表面现象。扭纹角在圆周方向周围的区域中显示连续或间断的螺旋，其包括零度角，几弧分，并且针对结构而言具有很多数量的螺旋，甚至很大的角度。根据不同的类型扭纹角分为宏观扭纹角及微观扭纹角，具体分类标准见表 1。通常回转密封面磨削过程中要控制及检测的就是宏观扭纹角。

扭纹角检测方法

- 1. 现有的扭纹角检测方法
需要在被检查的密封表面的

表 1 扭纹角的类型和特性

扭纹角类型	扭纹角种类	描述	产生原因
	修正处理时的扭纹角	轴向周期性，单向多线程圆周角度结构	砂轮在恒定进给速度进行修整过程中传递到了工件表面
	插图		
	周期性的零角度扭纹角	特殊形式的修整扭纹结构的导角 $D_v = 0$ 螺旋纹精确地位于圆周方向并且是闭合的	在修整过程中以恒定进给方式施加到砂轮的 结构通过砂轮的不平衡被传递到工件
	插图		
	非周期性的零角度扭纹角	非周期性圆周结构导程角 $D_v = 0$ 的	砂轮采用非恒定进给或无进给的修整过程中传递到了工件表面
	插图		
	进给扭纹角	周期性的，单线程圆周成角度的结构与进料的周期长度	定义的或未定义的切削刃将根据进给方式（例如车削加工、转动磨削）在表面上形成纹理
	插图		

确定的圆周和轴线区域上的足够数量的测量数据用于宏观扭纹角的评估。为了可靠地确定加工结构，轴向的横向分辨率必须高于圆周方向的分辨率。

宏观扭纹角的标准测量方法是具有轴向测量进给方向的轮廓方法。测试样件采用圆周方向的方式进行装夹定位（例如几何测量仪器，旋转进给）。

必须限制旋转进给到分量轴的平行度偏差，以防止摆动误差对测量结果有重大影响。标准测量方法的测量策略和测量条件在图 1 中规定。通常采用高精度的粗糙度仪对工件的回转密封面进行全覆盖的微观形貌检测，以验证扭纹角是否存在。实施这个检测需要一台精密的伺服转台，以提供精确的转动速度。测头沿轴向做直线运动，测量长度和采样密度都是事先设定的。当完成一次检测后，会带动工件转过一定的角度，而返回的测头又开始下一次测量。具体检测条件见表 2。

2. 改进后的检测方法

上述方法虽然很精确，依据扭纹角构造的特征进行评定也很规范，但是完成一次测量往往需要 2 h，在大批量生产过程中应用于局限，因此必须有一种更为简单快速的方法进行检测。通过大量的实践及试验，提出了一种快速、实用的检测方法。

以一台能带动工件进行旋转的轴类测量仪器作为主体，再加上特定重量的悬置砝码就可以完成（图 2）。具体的检测条件如下：

1) 采用可顺时针及逆时针方向旋转的车床或试验设备，将轴杆装入其中心轴以便测量。

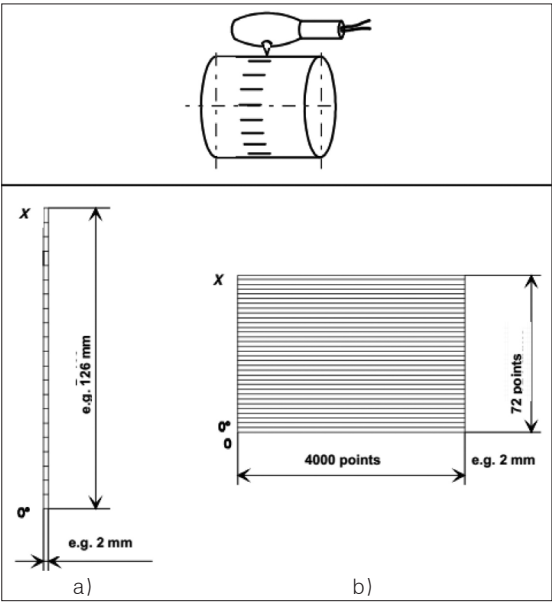


图 1 采用高精度粗糙度仪检测扭纹角示意图

表 2 检测条件

检测区域长度	参照产品图纸要求，默认是 2 mm
检测方向	轴向
允许从旋转进给轴到零部件轴心方向的平行度偏差	约 10 μm
测量点轴向间距	0.5 μm
预期测量范围	小于 4 x Pt 的总测量
滤波器 λs	λs = 0, 或 λs = Off
扫描速率	≤ 0.5 mm/s
扫描系统	建议采用探针系统
探针顶端半径	2 μm 或 5 μm

2) 借助机械水平仪将轴杆置平。

3) 用油解溶剂和无绒布清洗回转密封面表面。

4) 用干燥无绒布对回转密封面表面加以干燥。

5) 用已加好特定重量的砝码的线圈放置在要进行评估的零部件表面：①线圈为 3 股 100% 纯棉加强缝纫线，直径为 0.23 mm，必须为圆柱形，柔软平滑且无涂层；②线必须是剪断而非撕裂开；③棉线应足够长，产生的弓形与轴的测量表面要有 220° ~ 240° 的接触；④每一步测量后都要更换新线（如每根轴进行完第 6 步后换新棉线，每根轴进行完第 7 步后更换新棉线）。

6) 低速、匀速旋转轴杆，10 ~ 60 r/min 转 8 转，可用电动机带动：①如果棉线在轴正转反转中都没有沿轴杆方向前进，则标识无扭纹角；②如果棉线只在轴向一个方向旋转时出现前进，那么也许轴杆没有放置水平，或轴杆呈现锥形；③如果棉线沿轴杆前进，用相同的转速反转轴杆，若棉线再次以相同的速率移动，则说明检测部位存在扭纹角；④如果存在扭纹角，扭纹角可通过对应棉线的移动位移的旋转圈数来确定，这个数据可以计算螺旋角度。

7) 在整个回转密封面表面涂一层 WD40 油薄膜，重复步骤 6)，油膜必须覆盖整个回转密封面（下转第 38 页）

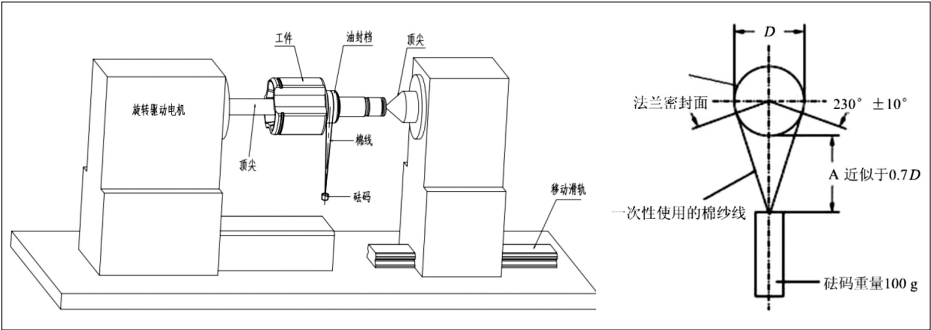


图 2 扭纹角快速检测方法及示意

(2) 材料性能

用 DH 材料，通过调整仿真分析用材料卡片的参数，提升材料成形性能后，顶部与反凹坑处开裂风险均有减轻趋势。

(3) 压边力

用 DH 材料，压边力降低 50% 开裂风险有降低趋势，但依然存在，考虑到现场材料起皱情况，无更多降低空间。

(4) 料片尺寸

结合生产现场实际出件状态，制件拉延工序除了开裂情况还有起皱现象，且成形后料片收缩距模线较近，不再对料片进行调整。

方案制定

1) 试验结果显示，DP 材料力学性能处于生产上限水平，DP 材料不具备 SOP 后批量生产能力，而 DH 材料处于生产下限水平，DH 材料性能提升还有很大空间。因此，仍采用 DH 材料，要求钢厂提升材料的延伸率。

2) DH 材料折弯及扩孔性能相比 DP 材料较差，在不影响搭接情况下，放大开裂处产品圆角，提升模具光洁度。

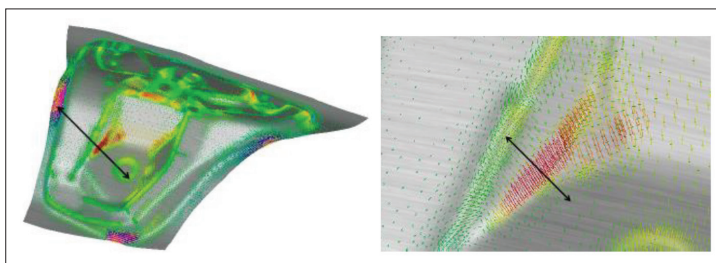


图 8 反凹坑开裂处



图 9 放大圆角，提升表面粗糙度



图 10 新批次板料制件状态

整改方案实施

在不影响搭接情况下，放大开裂处产品圆角，提升模具表面粗糙度，如图 9 所示。同时采用新批次板料（断后延伸率 19.5）生产，开裂问题消除，图 10 所示。

结论

采用有限元分析软件，对

影响开裂问题的要素进行模拟分析后制定了有效的整改方案，快速地将问题得到解决，缩短了模具的整改周期。增强成形性双相钢（DH 钢），较同等强度的双相钢具有更好的冲压成形性，但该材料折弯性能及扩孔性能相对双相钢（DP 钢）差，因此对于复杂的结构类制件，产品圆角不宜太小。AI

（上接第 35 页）

面表面，但不应从表面滴下。

8) 如果扭纹角在步骤 6) 或步骤 7) 中被证实，根据其方向描述为“左旋”或“右旋”。

①当轴杆以顺时针方向旋转时（从回转密封面空气端看去），悬重棉线向右移动或移向密封挡的空气一端，则扭纹角被称为右旋，右旋会造成油向空气一端泵出；②当轴杆以顺时针方向旋转

时（从回转密封面空气端看去），悬重棉线向左移动或移向油密封挡，则扭纹角被称为左旋，左旋会造成空气抽进油封端。

总结

轴类零部件回转密封面上的扭纹角作为磨削加工后产生的一种微观纹理现象，在平常的粗糙度检测结果中无法反映

出来。因此按照图纸和工艺要求加工出来的回转密封面虽然圆度及粗糙度是合格的，但是由于存在扭纹角，零部件在运动过程中密封区域的油脂会存在溢出的风险。如何建立一个简单又快捷的检测方法有助于提高生产加工单位在批量制造过程中的质量控制能力，排除产品的质量隐患。AI