曲轴车车拉工艺优化的探讨

□ 上汽通用五菱汽车股份有限公司/庞晓锋

结合相关案例，从参数优化、切削路径优化、刀具优化几个方面对曲轴车车拉工艺优化进行了探讨。

曲轴作为发动机五大零部件之一，是发动机动力传输的重要部件，属于不规则的轴类零件，相对于缸体缸盖来说外形简单，加工工艺却比缸体缸盖复杂，包括铣平面、车车拉、外铣、钻孔、攻丝、铰孔、去毛刺、圆角滚压、磨削及抛光等。其中车车拉工艺是曲轴加工中特有的也是比较重要的工艺，加工内容多——包括五个主轴颈及油封的外圆、侧壁、沟槽等，加工余量大——粗车余量近3mm，因此也是问题最多的工艺。本文将从参数优化、切削路径优化、刀具优化三个方面结合实际案例探讨车车拉工艺的优化。

车车拉工艺

车车拉，即车削加工和车拉加工的组合加工工艺。车拉，即车削与拉削结合的加工工艺。在曲轴加工中，车拉工艺主要体现在外圆拉削上。

曲轴车车拉工艺的特点（见图1）：

（1）刀具为一个大圆盘，上面分布着多组粗车刀片、拉刀刀片和沟槽刀片，只需刀盘转位就能进行刀具切换，节约换刀时间。

（2）粗加工与半精加工同时进行，工件一次装夹定位就能完成加工，效率高，精度高。

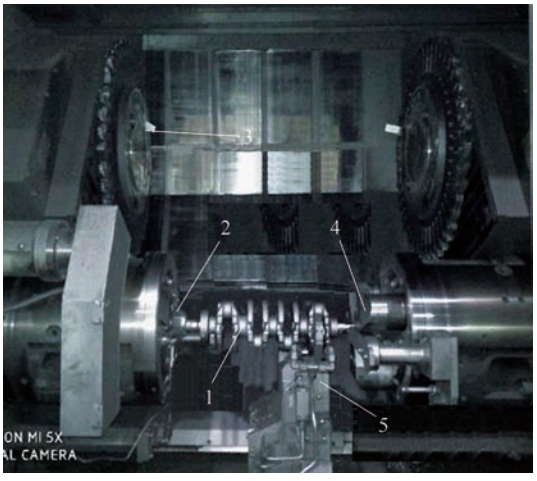

图1　车车拉机床加工舱

1.曲轴　2.卡盘　3.刀盘　4.顶尖　5.中心支架

车车拉工艺优化

1.参数优化

项目阶段机床状态良好，为了保证节拍，粗车的参数会设的较高，经过长期生产运行后，随着机床的精度下降和机械磨损，刀具不一定能适应

原有的参数。而且，不同的产品具有不同的材质、外形和加工工艺，参数设置也应该做一些相应的调整。进行参数优化（一般是降低加工参数）时，为了平衡节拍，可以将一些切削力较小的半精加工（比如精拉外圆和倒角加工等）参数适当提高。

（1）案例1。背景：车车拉工位发生刀夹螺栓断裂问题12次，均在第三主轴颈左粗车（8次）和第五主轴颈右粗车（4次）位置，检查崩刀位置，刀夹和刀体贴合面变形较严重（见图2）。

图2　刀夹贴合面变形

原因分析：五个主轴颈粗车的切削参数均一致，转速925r/min，进给0.4（侧面）/*f*0.3（直径），所以切削时主切削力一致，但是第三主轴颈左粗车和第五主轴颈右粗车位置的变形量明显比其他位置要大，结合工件及刀具结构，找到两个可能原因：第三主轴颈两侧为止推面，第五主轴颈右侧为发信盘安装面，粗车切削行程比其他轴颈侧面长；由于刀夹螺栓与刀夹中心线有偏左8°的夹角，所以在主切削力*F*一样的情况下，左侧粗车螺栓受到的垂直螺栓中心线的剪切力*F*sin58°比右侧粗车所受的剪切力*F*sin42°大27%。

解决措施：将第三主轴颈左粗车和第五主轴颈右粗车加工侧面的进给由*f*0.4mm/r改为*f*0.3mm/r，减小主切削力，从而减小这两个位置刀夹螺栓所受的剪切力。

（2）案例2。背景：车车拉工位加工第五主轴颈右侧沟槽刀崩刀率较高，平均每月1.3次；沟槽刀崩刀会导致工件沟槽有台阶，工件报废。

原因分析：由于曲轴外形轮廓原因（见图3），A5右侧沟槽刀加工侧壁时存在几个问题：断续切削、加工到毛坯面和切削行程长。沟槽刀片作为半精加工刀片，不适合断续切削和加工毛坯面，尤其是在进给较快的情况下，对刀片的冲击很大，切削力大且变化频繁，容易崩刀。

解决措施：将*A*5右侧沟槽刀加工侧壁的进给由*f*0.4mm/r改为*f*0.3mm/r，切削力可降低约20%。

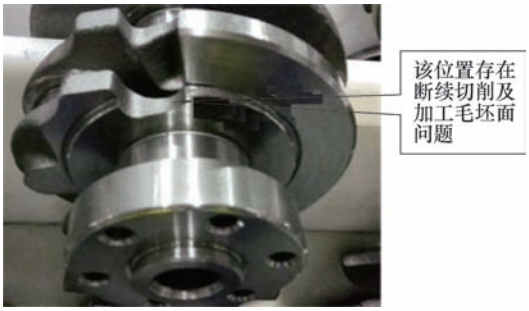

图3　曲轴第五主轴颈右侧外形轮廓

2.切削路径优化

一般来说，优化切削路径，目的在于：降低切削力，减少刀具磨损，进而延长刀具寿命；减少切削时间或等待时间，从而降低加工节拍；对断屑进行优化；为了调整加工尺寸而对放进给坐标进行调整，也可看作对切削路径的优化。

（1）案例1。背景：装配有3台发动机长缸体泄漏测试不合格，检查为后油封处泄漏，拆解发现两台发动机曲轴油封有压伤。经排查，油封压伤发生在车车拉工位，压痕的形状与问题零件一致。在抽检零件时发现与压痕位置对应的机床卡爪上粘有长条切屑。

原因分析：粗车油封时，卡爪张开且随零件快速转动。粗车油封末段余量在刀具挤压下整圈脱落，产生圈状的长条切屑，有可能挂在零件上，而后卡爪夹紧油封时将切屑压到油封表面导致压伤。

解决措施：优化OP20油封粗车的进给路径，将一刀车完改为留4mm余量再从上方下刀完成车削。如图4所示。

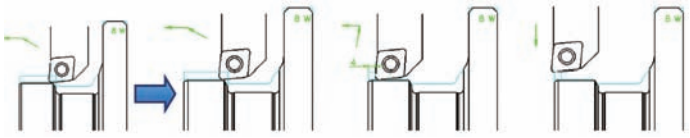

图4　油封粗车进给径优化

（2）案例2。背景：车车拉刀盘回刀检查发现第三主轴颈左侧粗车刀夹侧面有干涉痕迹（见图5），同组刀夹均存在该问题。

图5　刀夹侧面有干涉痕迹

原因分析：轴颈加工流程为：清根（加工油领）→轴颈中间开槽→粗车左侧壁及轴颈→粗车右侧壁及轴颈→车沟槽→精拉轴颈表面。从现场抽取加工完第3步的工件，使用左侧粗车刀夹模拟加工状态，发现刀夹侧面与油领存在干涉风险（见图6）。测量第三主轴颈油领直径为ϕ76mm，超出ϕ73.5~74.5mm的要求范围。通过尺寸链计算，当第三主轴颈油领直径为ϕ76mm时，左侧粗车刀夹与右侧油领仅有1mm的安全距离，在各种误差累计的情况下，确实会发生干涉。

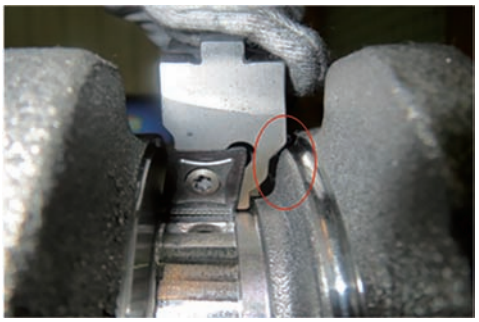

图6　加工示意

解决措施：将第三主轴颈清根刀具的进给坐标往下调整2mm，油领直径调整至ϕ74mm，增加左侧粗车刀的安全距离，避免刀夹与工件干涉。

3.刀具优化

车车拉刀具是一个较为复杂的刀具系统，一套刀盘包括了左右两个刀盘，每个刀盘包含了45个刀位，分为10~12组，包括了飞边、开槽、粗车、沟槽、拉刀及倒角等不同刀位，每个刀位由刀夹、刀夹螺栓、刀片、刀垫和刀片螺栓组成。车车拉刀具的优化，可以从刀位的配比、刀片或螺栓的寿命、刀片选型及刀片切入角等方面入手。

（1）案例1。背景：车车拉刀盘寿命低，换刀较频繁，员工工作量增大。经过两周的数据收集，发现刀盘平均寿命为708件，比预设寿命896件下降了21%。如图7所示。

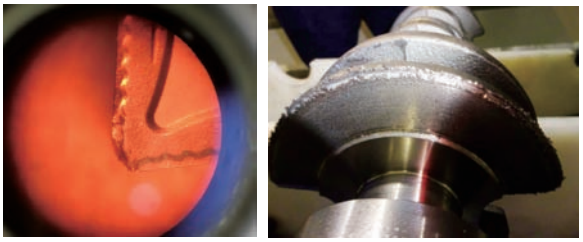

图7　磨损刀片及问题工件

原因分析：刀盘寿命下降表现为员工提前锁刀，统计1个月的锁刀问题，发信盘表面粗糙占锁刀问题的72.07%，是刀盘寿命下降的主要直接原因。

发信盘车刀切削余量为3mm，切削行程27.5mm，而且是断续切削，是车车拉工位切削量最多、受冲击最大的刀片。

如图8所示，加工发信盘匹配6个刀位，单个刀位寿命150件，经数据收集显示，实际平均寿命只有109，远未达到预设寿命。

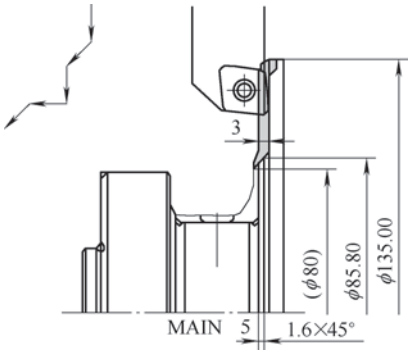

图8　发信盘加工布置图

解决措施：增加两个加工发信盘的刀位，将发信盘刀片寿命由150降低至112。具体方案：将左刀盘的油封倒角刀刀位29#、31#改为发信盘刀位，安装上发信盘的刀夹和刀片。将倒角刀片（5/7/9/11/25/27刀位）的寿命由112改为150，发信盘刀片（24/26/28/29/30/31/32/34刀位）的寿命由150改为112。

结语

曲轴车车拉工艺从1988年诞生以来，经过多年的发展，越来越成熟，在曲轴加工中得到了广泛的应用。但是具体到每个公司，每个工厂，由于产品品种、产量、加工节拍或者刀具的差异，不可避免地会存在一些共性或者个性的问题。这需要从实际问题出发，分析出具体原因，针对性地进行优化，从而保证加工效率和稳定性。AUTO1950