

为了攻克曲轴粗车刀崩刃问题，本文介绍了车拉加工工艺、刀片种类，通过调整设备精度，优化加工参数、加工余量，降低粗车刀崩刃次数。

□ 上汽通用五菱汽车股份有限公司重庆分公司 张晓刚 许雷明

曲轴粗车刀崩刃问题浅析

车刀崩刃是车削加工过程中常见的问题，考虑到曲轴沟槽加工表面要求高、重复定位精度等因素，崩刃件一般无法返工，且目前无其他手段监控崩刃情况，仅能通过目视判断，造成曲轴的批量报废，刀具损坏、CPU 增加等情况，存在质量风险。粗车刀崩刃影响因素多样，我司前期通过人、机、料、法及环多方向分析验证锁定设备精度、加工参数、余量分配三点关键因素，本文通过对前期攻关过程进行总结，分析关键因素对粗车刀崩刃问题的影响，找到症结，攻克崩刃问题。

生产现状

某公司一条年产 30 万件四缸铸铁曲轴生产线上，生产 N15/N12 两种机型，因两种机型皆存在崩刃问题且表现类似，下文以 N15 机型为例进行分析。OP20 工位负责曲轴主轴颈、法兰盘、芯轴端及链轮端的粗、精加工，采用的装备是配有自定心中心架的双刀盘型 5 轴联动的德国产 Boehringer 车拉机床。

生产中左刀盘负责 A4/A5/HUB/ 法兰端面、外圆面及沟槽的加工，右刀盘负责 A1/A2/A3/ 链轮 / 芯轴相应特征的加工。轴径外圆粗车刀（以下简称粗车刀）分为 A1 粗车刀、A2/A3 粗车刀、A4/A5 粗车刀。加工过程工件姿态如图 1 所示，面对机床观看法兰侧靠左，芯轴侧靠右，故下文中加工法兰侧粗车刀命名为左粗车，芯轴侧粗车刀命名为右粗车。

2020 年整年 OP20 工位粗车刀崩刃 59 次，生产过程月均崩刃次数 5.4 次 / 月，相比较于 2016-2017 每月平均崩刃频次为 1.1 次增加了 4.3 次 / 月，崩刃频次明显变多。统计 2020 年整年粗车刀崩刃于各轴径的分布情况，绘制如图 2 所示的柏拉图。由图可知 A2/A3 粗车刀崩刃占比最大，A2/A4 左粗

车和 A4/A5 左粗车崩刃次数占全年粗车刀崩刃次数的 76.72%，是 OP20 车拉工位粗车刀崩刃问题的症结所在。在其他问题不增加的情况下，解决 A2/A3 左粗车及 A4/A5 左粗车问题后，OP20 工位粗车刀崩刃频次将降低为 1.27 次 / 月，与 2016 ~ 2017 年崩刃频次基本持平。

车拉加工工艺

曲轴车拉加工主轴颈（A1 无开槽加工）主要工步包含开槽刀加工、左右粗车加工、左右沟槽加工和拉刀修整加工，加工部位及刀具结构如图 3 所示，整个加工过程中，粗车的粗车刀加工余量最大，需加工侧壁和粗车轴径外圆面。

崩刃产生的原因

曲轴主轴径外圆加工粗车刀崩刃原因主要为方法和机床两个方面：①在方法方面包括机床加工参数、各把刀具间的余量分配等因素；②在机床方面包括刀盘垂直度、顶尖圆跳动等设备精度问题和设备原点变动等因素。

设备精度对崩刃问题的影响

对 OP20 车车拉设备刀盘垂直度、卡盘圆跳动进行检查，检查结果见表 1。

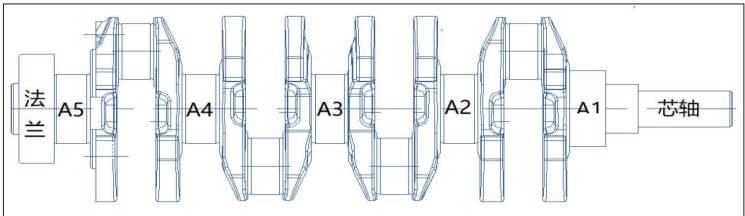


图 1 加工过程姿态、轴径命名示意图

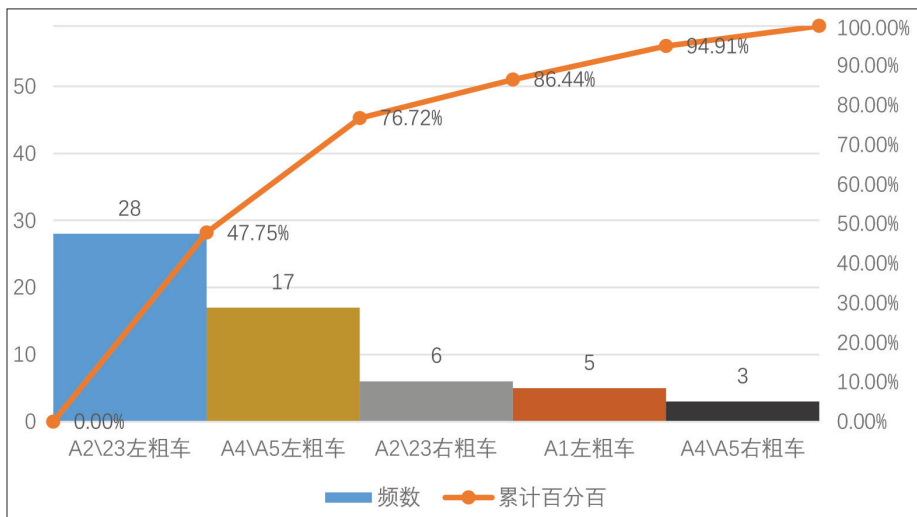


图2 崩刀分布

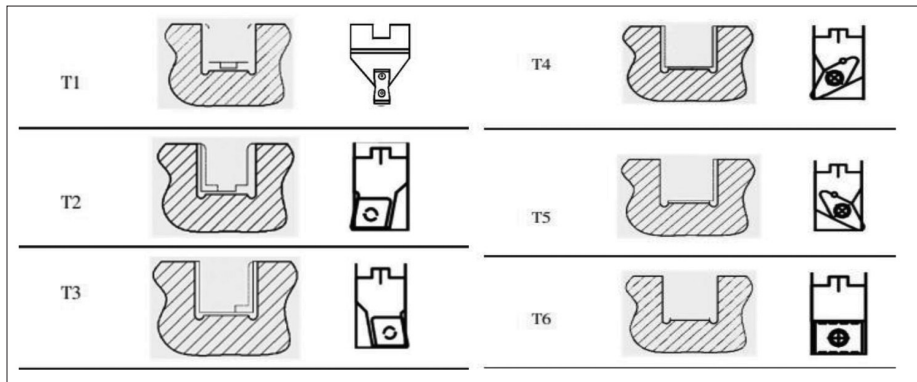


图3 工位刀片介绍

表1 设备精度检查结果

时间	左卡盘圆跳动	右卡盘圆跳动	左刀盘垂直度	右刀盘垂直度
20.1	40 μm	33 μm	90 μm	34 μm
20.2	63 μm	32 μm	67 μm	87 μm
20.3	22 μm	17 μm	60 μm	400 μm

表2 调整前后进度对比

设备	左卡盘跳动	右卡盘跳动	左刀盘垂直度	右刀盘垂直度	左卡盘跳动	右卡盘跳动	左刀盘垂直度	右刀盘垂直度
	调整前				调整后			
20.1	40 μm	33 μm	90 μm	34 μm	17 μm	7 μm	4 μm	9 μm
20.2	63 μm	32 μm	67 μm	87 μm	12 μm	13 μm	7 μm	11 μm
20.3	22 μm	17 μm	60 μm	400 μm	20 μm	17 μm	15 μm	19 μm

供应商推荐刀盘垂直度及卡盘圆跳动小于 20 μm ，检查结果有明显超差情况，结合设备结构分析，刀盘垂直度、卡盘圆跳动会导致刀片加工过程中局部切削余量变大，瞬时加工应力增加引发崩刀。团队对设备精度进行调

整后，调整过程及精度变化见表2。调整 OP20 三台设备刀盘垂直度、卡盘圆跳动至 $\leq 20 \mu\text{m}$ ，跟踪生产一个月累计崩刀 4 次，措施有效，精度对问题解决贡献率为： $1-[4(\text{次}/\text{月})/5.4(\text{次}/\text{月})]=26\%$ 。

加工余量对崩刀问题的影响

刀片的加工余量（图4）直接关系到加工过程中刀片受热、应力变化。结合上文介绍的加工工艺，开槽刀的加工深度、轴向加工位置会影响左右粗车刀的加工余量，粗车刀和拉刀（最终尺寸加工刀）的余量分配也直接影响了粗车刀的加工余量。

结合毛坯（图5）及 OP20 成品尺寸计算和测量各个轴径左、右粗车刀在轴向（Z 向）和径向（X 向）的加工余量如表3、表4所示。

我司通过多次测量收集粗车刀轴向、径向的加工余量发现：

（1）OP20.1 设备主轴颈粗车加工 Z 向余量，A2 左粗车加工余量比右粗车加工余量大 1.1 mm，A4 左粗车比右粗车大 0.85 mm，其他轴径最大差异皆小于 0.3 mm，与上文统计信息中左粗车崩刀频次大于右粗车现象相呼应。

（2）观察主轴颈粗车后轴颈直径，三台设备部分轴径完成粗

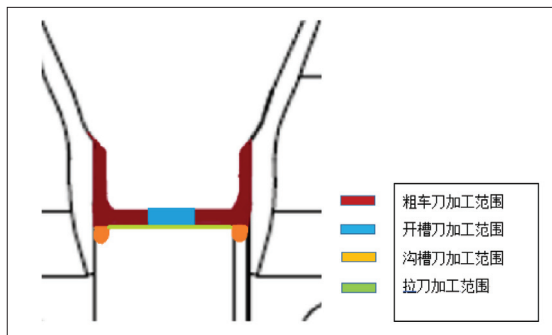


图4 工位刀片加工余量示意图

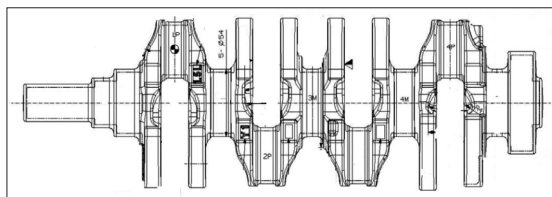


图5 产品毛坯尺寸

表 3 粗车刀 Z 向加工余量

主轴颈粗车刀 Z 向加工余量 /mm									
时间	A1		A2		A3		A4		A5
	无开槽加工		法兰端	芯轴端	法兰端	芯轴端	法兰端	芯轴端	法兰端 芯轴端
20.1	0	0	7.05	5.95	6.82	6.71	7.19	6.32	6.92 6.65
差异	0		1.1		0.11		0.87		0.27
20.2	0	0	6.36	6.59	6.87	6.72	6.82	6.75	6.82 6.68
差异	0		0.23		0.15		0.07		0.14
20.3	0	0	6.43	6.65	6.93	6.68	6.82	6.75	6.78 6.98
差异	0		0.22		0.25		0.07		0.2

表 4 粗车刀 X 向加工余量

主轴颈粗车后轴颈直径 /mm					
时间	A1	A2	A3	A4	A5
20.1	49.6	49.74	49.66	49.97	49.89
20.2	49.77	49.68	49.92	50.33	50.21
20.3	49.77	49.65	50.09	49.83	49.67

车加工后直径小于 49.7 mm，已经达到 OP20 工位成品尺寸要求（49.6±0.1）mm，并且主要集中在 A2/A3 轴径，与上文统计的粗车崩刀频次统计相对应。

分析加工程序，主轴径粗车刀加工毛坯面，将主轴径从 φ 54 mm 加工至 φ 49.9 mm（实际加工靠设备原点保证），理论轴向加工余量 4.1 mm。拉刀保证最终成形尺寸，将轴径由 φ 49.9 mm 加工至 49.6 mm，理论加工余量 0.3 mm。部分轴径实际加工余量与理论加工余量差异较大，通过重新调整设备原点后解决。

加工余量过大是导致崩刀的直接因素，综合我司多年的加工情况，极少发生拉刀崩刀情况，故团队通过多次调整优化将粗车刀加工尺寸由 φ 49.9

修改为 φ 50.2（增加拉刀加工余量 0.3 mm），优化后跟踪粗车刀崩刀频次明显好转。

加工参数对崩刀问题的影响

加工参数主要指切削速度、加工进给，切削速度对刀具寿命有很大的影响，切削速度过高时，导致切削温度上升，刀具寿命大大缩短；相反切削速度过低，切削易产生振动，切削过程中刀具和工件不停敲击使刀尖产生微小裂纹和崩刀，刀具寿命缩短。

调整加工参数，在满足生产节拍的情况下验证加工参数对粗车刀崩刀的影响。我司多次调整设备加工参数，跟踪验证粗车刀崩刀频次，粗车刀崩刀次数明显改善，表 5 为参数优化情况。优化设备粗车加工切削速度，G97

表 5 设备加工参数优化

调整设备	调整次数	调整项目	调整前	调整后
车拉设备	1	切削速度	G97 S1100	G96 S180
	2	加工进给	分段进给： G1 X2=51.00 F0.35 G1 X2=50.20 F0.25	统一进给： F0.2

S1100（1 100 r/min）调整为 G96 S180（180 mm/min），G96 为恒线速度加工，加工过程中自动调整主轴转速保证切削线速度不变（多用于外圆直径加工）。G97 为恒转速加工，加工过程中主轴转速一致（多用于端面加工），G97 随着工件轴径直径变小，切削线速度会变低，考虑粗车加工过程将曲轴轴径由 φ 54 mm 加工至 φ 50.2 mm，切削线速度将由 186.5 mm/min 降低为 172.3 mm/min，下刀位置切削线速度过大，且与毛坯面（氧化层）接触，加工应力大，易崩刀。参考刀具耐用表要求（线切削速度 $V_c \leq 185$ mm/min），采用恒线速加工方式 G96 S180。

当刀具进给量增大时，刀具与工件之间的接触面积增大，导致摩擦力增大，从而引起切削力稳态分量增大，增加崩刀风险，故在满足生产节拍要求的前提下，粗车加工过程中的进给 F0.35、F0.25 降低为统一的进给 F0.20，跟踪生产崩刀频次显著降低。

结论

我司进行曲轴车拉加工工位加工过程中粗车刀崩刀频繁，比正常加工情况多 4.3 次 / 月。通过人、机、料、法及环分析，锁定设备精度、加工参数及加工余量，并对其进行优化验证。最终通过调整刀片余量分配、机床加工参数及调整设备精度将曲轴线 OP20 车拉工位粗车刀崩刀频次降低为 1 次 / 月以内。为预防问题再发生，优化维修 PM，定期检查、调整设备精度及原点位置，更新 PCP，要求定期监控 OP20 粗车余量并写入经验教训。AI