

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2019.12.009

发动机连杆裂解后大端孔变形量的影响因素分析

□ 东风日产乘用车公司/赵静

连杆裂解工艺作为一种连杆一体式特种加工技术，相比传统连杆盖与杆身分开加工工艺，具有更高的生产效率以及组装定位精度，正逐渐取代传统加工工艺。但在裂解过程中连杆大头端容易产生变形，一直是较难解决的问题。本文从材料元素含量、激光裂解设备的工艺参数等方面分析连杆大端孔变形的因素并给出相应的对策建议，对解决大端孔变形问题提供一定的理论及实践支持。

概述

连杆激光裂解技术是通过在连杆大头端破断位置预先加工激光槽，楔形块下降作用于动套内壁，向连杆大端孔施加径向力，促使连杆断裂以激光槽为起点，沿着螺栓孔的四周向组织脆弱处扩展，最终裂解线在连杆毛坯侧面相交，实现连杆盖和连杆身分离的一种特种加工技术。

由于在裂解过程中，连杆大端孔受到楔力的作用会产生变形。这种变形超出某一限度值时，不仅不利于连杆成品大端孔圆度值的管控，而且在装配工程进行再次拆卸组装时应力释放后容易产生变形，

圆度的再现效果差，最终影响与曲轴连杆颈轴瓦的配合，严重时可能造成烧瓦情况。

影响连杆裂解变形量的因素有两种：

(1) 材料性能 材料性能是影响连杆裂解变形量的关键因素，材料金属含量的分布影响了锻造毛坯的脆性及韧性。

(2) 设备参数 在裂解过程中，需要选择合适的激光槽深及槽宽，以及合理控制背向支撑力的大小及楔块下降速度。

本文主要从材料成分、设备参数等方面分析对连杆大端孔椭圆度的影响。

裂解装置的结构说明

连杆激光涨断设备在裂解工位的结构如图1所示，工作原理为：首先连杆在定位板上升到位后定位销5插入连杆小端孔内进行连杆的粗定位，连杆大端孔内部的涨断动套4与定套2在油缸控制下以一定压力张开，与连杆大端孔贴紧后压力取消，然后背向支撑定位块1前进，与连杆的螺栓座面贴紧。最后楔块在液压缸压力作用下高速向下运动，在与涨套接触时将传递水平方向楔力，促使涨断动套4向连杆小端孔方向移动，最终连杆在激光槽处应力集中作用下发生断裂，连杆盖与杆身实现分离。

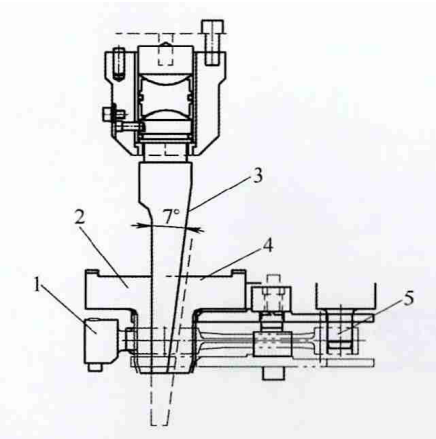


图1 连杆裂解加工结构

1—背向支撑定位块 2—半圆形定套
3—楔块 4—半圆形涨断动套
5—小端孔定位销

材料成分含量对大端孔椭圆度的影响

由于材料中不同微量元素含量会引发材料金相组织的韧性和脆性的变化，6种不同微量元素成分的钢材见表1。

在同等级锻造条件以及裂解条件下，材料成分对椭圆度的影响如图2和表2所示，具体分析如下：

(1) P含量 B组P含量比A组P含量高18%，通过比较两组样本的N20椭圆度平均值（见表2）可以发现，B组椭圆度改善了25.8%。可以得出：P元素含量影响材料的脆性，对裂解后椭圆度的改善有帮助。

(2) CE（碳当量） 通过对比A和C组样本，在P含量相同的情况下，C组的CE降低了5.65%，裂解后大端孔椭圆度变形量增大了3.88倍，并且综合对比6组样本数据，可以发现材质CE越大，材料的脆性高，连杆裂解时所需的裂解力越小，裂解后大端孔椭圆的变形量越小（见图3）。

表1 不同样本组材料成分含量（质量分数）（%）

样本编号	C	Mn	P	S	V	CE
A	0.40	0.99	0.033	0.076	0.282	0.991
B	0.39	1	0.039	0.077	0.286	0.994
C	0.38	0.96	0.033	0.073	0.27	0.935
D	0.39	0.96	0.033	0.082	0.284	0.965
E	0.38	0.97	0.034	0.076	0.278	0.951
F	0.39	1.01	0.038	0.075	0.286	0.989

表2 不同样本组对应椭圆度平均值（单位：μm）

样本号	椭圆度平均值
A	41.9
B	33.3
C	204.6
D	88.7
E	47.1
F	35.4

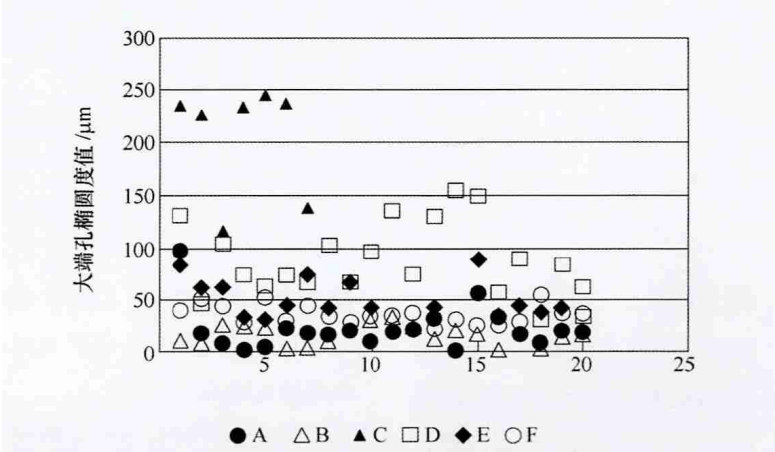


图2 不同样本组椭圆度数据分布

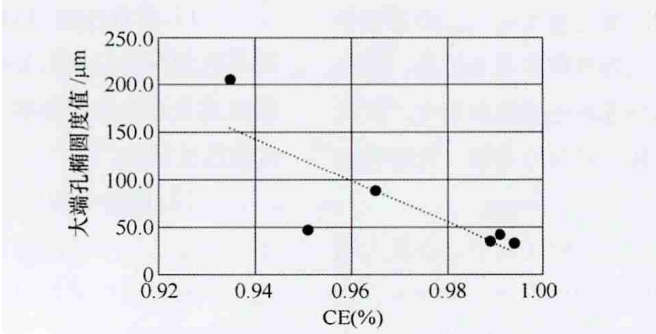


图3 椭圆度随CE变化趋势

激光裂解设备参数与结构对椭圆度的影响

连杆激光切割表面如图4所示。目前行业内通常使用Nd:YAG固体激光

进行激光槽切割。为了提高生产效率，通常采用双激光喷嘴形式，并且为了保证激光间距的均匀性以及左右两侧切割深度的一致性，两个喷嘴之间连线的位置度要求满足相对于连杆定位面平行度在0.2mm以内，两个喷嘴距离连杆大端孔中线的对称对在0.2mm以内。最终保证连杆激光槽位置度相对于中心孔在 $\pm 0.25\text{mm}$ 范围内。激光焦点最佳的位置是在尽可能接近连杆大端孔孔壁处，两个激光喷嘴以 45° 的倾斜角度发射出激光光束，同时在垂直于连杆定位基准面方向运动（见图5和图6）。

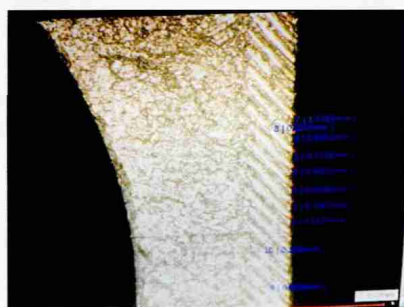


图4 连杆激光切割表面

1. 激光切槽深度

激光槽深度主要受激光发射能量大小、激光焦点与材料的距离等因素影响。通过增加激光输出能量值，调整激光槽深度目标值，在同等条件下以0.50mm、0.55mm和0.60mm三种状态进行对比，见表3。从椭圆度平均值结果来看，随着激光槽深度增加，裂解后椭圆度有变小的趋势。但是受到激光峰值功率的影响，防止对光学器件产生损伤，激光能量值的调制不宜过大。另外，综合考虑增加激光输出功率对设备电能消耗量、以及灯管寿命的影响，以及考虑精镗余量的限制，一般激光槽深度以0.55mm为

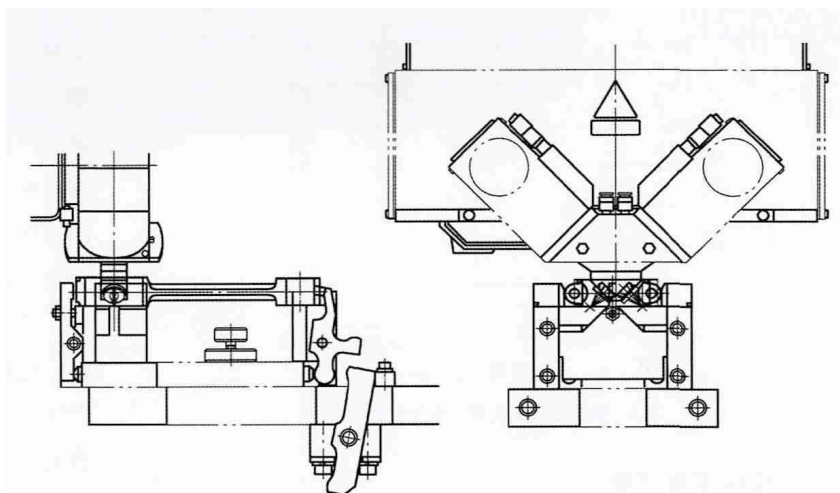


图5 激光切割工位示意

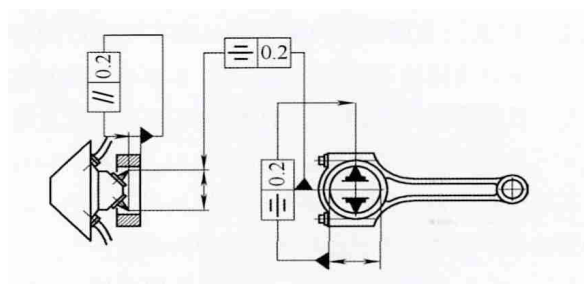


图6 激光喷嘴与连杆的相对位置

优化目标。

同时也要注意连杆两侧激光槽的深度差异理想目标值控制在0.05mm以内，激光槽深度的一致性对椭圆度控制有良好的促进作用；如果两侧深度差异过大，导致材料断裂的速度不一致，容易生产椭圆偏大的情况，严重时会导致单侧未涨断不良产生。

表3 不同激光深度对应的椭圆度

目标激光槽深度/mm	脉冲能量/J	椭圆度平均值/ μm
0.5	0.15	63.7
0.55	0.25	59.4
0.6	0.35	43

2. 激光切槽间距

激光槽间距主要受激光光束在连杆大端孔表面的移动速度以及脉冲发射频率、脉冲宽度影响。本次试验中调整激光槽间距的方法是，在120Hz频率下，调整激光头平行性连杆厚度方向的移动速度，即调整控制激光喷嘴伺服系统的进给速度，分别得出激光间距0.1mm、0.14mm、0.16mm和0.2mm，每种情况下N20椭圆度的平均值得出激光槽间距与椭圆变形量关系如图7所示。通过数据分析可以发现，在一定范围内椭圆度间距越小，连杆大端椭圆度有变小的趋势，但椭圆度间距 $< 0.16\text{mm}$ 时，椭圆度并没有明显的改善，因此激光槽间距0.16mm最合适。

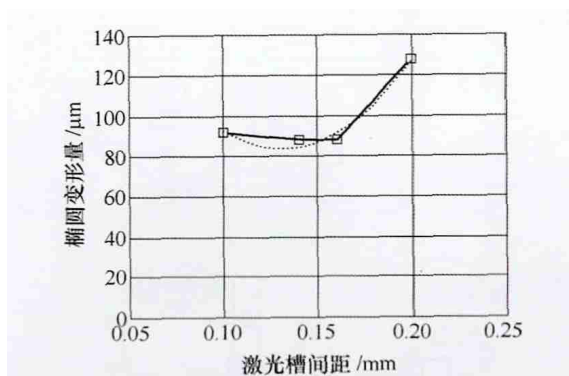


图7 椭圆度随激光槽间距变化趋势

3. 楔块下降速度

裂解机构利用液压缸带动楔形块运动，并作用在连杆大头端内侧的动套，使其沿着预定方向运动，从而实现连杆的裂解。裂解机构通常分为楔块下插式、下拉式、水平楔入式和楔块上拉式几类。目前德国Alfing公司、日本YASUNAGA以及德国Mauser公司开发的设备较多为楔块下插式结构，这种结构的液压缸布置在连杆的上方，通过活塞杆驱动楔块向下运动，由楔块推动动套做水平运动，实现连杆盖与杆身的分离。

如图8所示，楔块下降速度越大，裂解后椭圆度越小，但当楔块下降速度达到80m/min时，配管的晃动、噪声和振动明显增大，并且可能出现爆口增多的风险，所以在实际生产中，楔块下降速度一般控制在70m/min以下。

在实际使用过程中，控制楔子下降的液压回路可能发生过滤器堵塞，此时虽然流量阀以及压力都在设定值，但是实际流量偏小，楔块下降的速度也偏小，造成涨断后椭圆度偏大。所以需要定期对液压回路的过滤器进行清理。

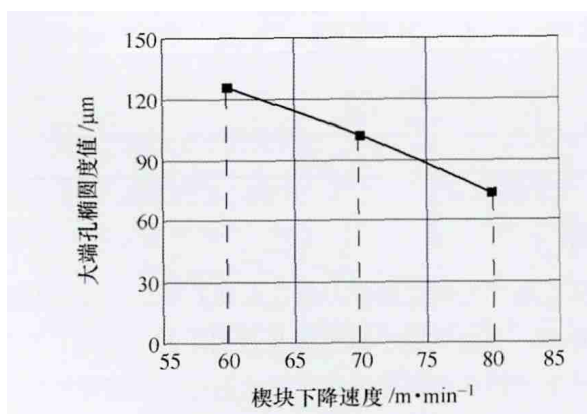


图8 椭圆度随楔块下降速度变化趋势

4. 背向支撑压力

涨断是连杆的背向支撑压力是影响裂解后椭圆度的重要因素。当楔块作用在动套的水平分力大于连杆的背向支撑压

力时，容易产生沿着大小端孔中心线方向上的变形；当楔块的水平分力小于背向支撑压力时，容易生产爆口、掉渣的情况；如果位于连杆盖两个螺栓座面的支撑压力不一致，容易产生爆口、椭圆度增大，并且容易发生拧紧异常增多，严重时会发生单侧裂解。

通过对楔块水平分力与背向支撑力的对比分析，已知液压缸的出力水平方向的分力，结合背向压力支撑液压缸的选型，可以得出所需背向压强的最佳设定值。

在实际生产过程中，背向支撑块的左右两侧的相对位置、磨损情况需要定期点检，避免出现偏磨、左右两侧行程不一致的情况，保证连杆盖侧受到两个背向支撑压力的一致性，从而使涨断套与连杆大端孔的贴合度更好，受力均匀，避免出现段差以及单侧断裂的情况。

5. 动套形状结构

按照目前常用的设备形式，动套的位置通常分为向连杆盖侧移动和向连杆杆身侧移动式两种。德国Alfing公司涨断设备将动套放置在连杆盖侧，也就是推动连杆盖侧移动，日本安永公司通常将动套放置在杆身侧，由楔块推动杆身侧移动。从行业内调查对比来看，两种动套的位置差异对裂解后椭圆度没有显著影响，只是关联机构设计不同。

动套与楔块配合角度的通用形式为两种，一种是单侧垂直、一侧7°，另一种是双侧3.5°，结合对动套侧水平力的受力分析发现，楔块角度对水平推力无影响。根据实际对比也发现，动套与楔块的配合角度与裂解后椭圆度无关联。

结语

本文主要分析了材料成分、设备参数等对连杆裂解的影响。在材料开发阶段调整金属元素含量，在设备调试阶段，通过调整激光以及楔块、背向支撑力参数，可以对降低涨断后大端孔椭圆变形量，对生产实践中解决连杆大端孔变形量的问题有一定的指导作用。

AUTO2020