电解去毛刺法在去除曲轴油道孔内部相交处毛刺的应用

辽宁五一八内燃机配件有限公司 （丹东 118009） 李 坤

我公司是国内大马力发动机曲轴和商品模锻件的专业生产厂，年产各种型号的成品曲轴 60 万根。近年来随着对曲轴产品毛刺在发动机运转过程中的影响越来越重视，如何控制和去除曲轴油道孔内的毛刺问题，已经变成我们现在必须要解决的问题。

1. 曲轴油道孔去毛刺的必要性

曲轴油道孔内的毛刺若在发动机运转过程中脱落，将会直接影响发动机运行状态，严重的甚至造成曲轴轴颈烧瓦抱轴导致发动机停止运行。

我厂在近几年的生产中因为没有对曲轴油孔内的毛刺引起重视，发生了多起因为油道孔内毛刺去除不净造成的曲轴轴颈抱轴烧瓦的事件发生。经过拆机检测后，发现大量残余毛刺和切屑聚集在油道孔口处。后来通过使用内窥镜对油道孔内进行检查，确认这些导致发动机故障的杂质来源于油孔内未去除干净的毛刺和热处理后产生的氧化皮。这些潜在失效因素在曲轴装机后，在柴油机恶劣的工作环境下随着油压循环冲刷相继脱落，聚集到油道孔口位置后，影响轴瓦与轴颈之间的配合面和润滑油膜的正常形成，当杂质聚集达到容许极限后，导致曲轴抱轴烧瓦引起发动机故障。发动机厂不得不召回采用本批次曲轴装配的全部柴油机，重新去毛刺并清洗后，再重新装机，并要求未装机的曲轴全部返厂修整，并赔偿其损失。

由此可以看出，在曲轴生产流程中采用传统的去毛刺处理及控制检测手段，是无法保证油道孔内毛刺被彻底清除干净的。因此，我们必须采取更有效的工艺方法，通过严格的生产和检测手段，确保每一件产品出厂时油道孔内毛刺必须符合发动机厂要求，这也是进一步提高曲轴产品质量的关键。

2. 曲轴油道孔毛刺的形成

目前不同型号的曲轴其油道孔的结构往往是不同的，图 1、图 2 是几种比较常见的油道孔结构。

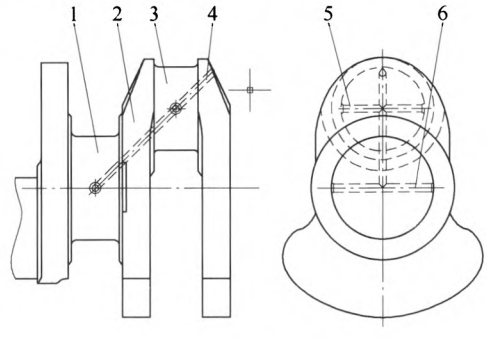


图 1

1. 主轴颈 2. 曲柄臂 3. 连杆轴颈
4. 斜滑道孔 5、6. 直油道孔

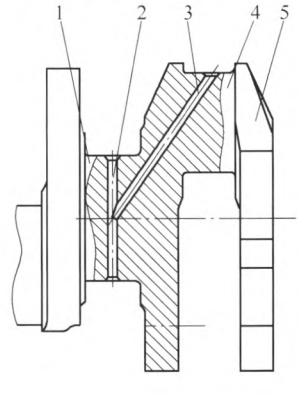


图 2

1. 主轴颈 2. 直油道孔 3. 斜油道孔
4. 连杆轴颈 5. 曲柄臂

从图中可以看到，这两种常见类型的油道孔相交方式均是由位于轴颈上与轴颈轴向垂直的直油道孔和从连杆颈或者曲柄臂表面与主轴颈轴向成一定

角度的方向钻入的斜油道孔共同组成曲轴油道系统。以图1、图2中两种类型的结构为例，曲轴油道孔毛刺的形成位置主要是在钻削油道孔时，斜油道孔与直油道孔相交处的锐边上。谈到这里，有必要在此说明一下油道孔的加工过程。

在生产过程中，油道孔通常是通过钻头从轴颈表面一次性钻成的，而且一般采用的钻削顺序是先钻削直油道孔然后再钻削斜油道孔，基于这样的钻削方式，毛刺的方向也往往是在斜油道孔与直油道孔交叉处朝向直油道孔内的。因为是钻削成形，所以钻头的刃磨就非常重要，如果钻头刃磨不好，油道孔内壁表面粗糙度就会很高，甚至在钻屑的影响下会造成孔壁划伤，导致孔壁表面也产生毛刺。

在采用数控设备如高速钻床或枪钻加工时，因为曲轴的尺寸问题，导致钻头钻到相交处时并未完全钻透，残留的薄壁部分在传统方法修整后，仍有飞边残留，给发动机装机运行带来隐患。还有一点不可忽视的是，在曲轴钻完油道孔，进行热处理后，油道孔内还会形成一些氧化皮附着在孔壁表面，这些氧化皮若不清除干净，会和毛刺一样，在曲轴进行最终的清洗时，正常的毛刷刷洗和高压风枪吹气是不容易被去除的。

由此看来，在最终清洗前去除油道孔内毛刺和氧化皮等杂质，是曲轴加工工艺必须要解决的一个重要问题，也是一个关键性的工序，不能忽视。

3. 传统的曲轴油道孔内部交接处去毛刺的方法

目前曲轴的油道孔加工方法正如之前所述的那样，先钻削直油道孔，再钻削斜油道孔，并且大多数是一次钻成的。而曲轴油道孔内部相交处去毛刺的传统方法是在钻完油道孔后，使用长柄旋转锉对油道孔内相交处的毛刺进行人工清除，然后用风枪吹净孔内杂质，并使用内窥镜进行检测，若发现毛刺残留需要重新进行清除处理，直至使用内窥镜检查确认毛刺被除净为止。

表面看来，这样的方法操作起来简便易行，但是实际上的效果不尽人意，而且因为是采用的旋转锉进行修整，该工具的作用原理类似于切削原理，在实际中很容易出现毛刺在油道孔交接处两侧交替出现，需要反复修整才能将毛刺清除干净，这不仅降低了生产效率，而且工人在长时间作业后容易疲劳，不利于修整质量的稳定保证；同时在内窥镜检查时也可能造成因疲劳导致的漏判现象，使得不良品流入后续工序，也有可能流入发动机厂装配出售而带来质量隐患。鉴于这些问题的存在，采取更可靠、更高效的方法对油道孔内部交接处的毛刺进行去除势在必行。

4. 电解去毛刺方法的原理

电解去毛刺加工是利用金属在电解液中产生阳极溶解的原理去除工件上多余材料的一种加工方法。将工具阴极（一般用黄铜）固定放置在工件有毛刺的部位附近，两者相距一定的间隙（一般为0.3～1mm）。工具阴极的导电部分对准毛刺棱边，其他表面用绝缘层覆盖起来，使电解作用集中在毛刺部分如图3所示。

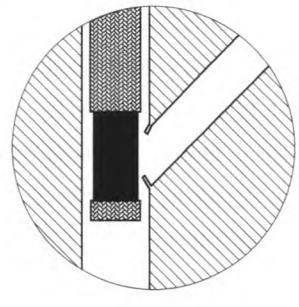


图 3

加工时工具阴极接直流电源负极，工件接直流电源正极。压力为0.1～0.3MPa的低压电解液（一般用硝酸钠或氯酸钠水溶液）流过工件与阴极之间。当接通直流电源后，毛刺便产生阳极溶解而被去除，被电解液带走。电解液有一定腐蚀性，工件去毛刺后应经过清洗和防锈处理。电解去毛刺适用于去除零件中隐蔽部位交叉孔或形状复杂零件的毛刺，生产效率高，去毛刺时间一般只需几秒至几十秒。

5. 电解去毛刺方法的特点

电解去毛刺方法与传统人工去毛刺方法比较具有明显的优势。

（1）作为电化学加工一种特殊的应用形式，它对加工工件无机械作用力，容易实现自动化或半自动化，适合去除高硬度、高韧性金属零件的毛刺，可以在工件的特定部位进行限定加工。

（2）对于手工难以处理、可达性差的复杂内腔部位，尤其是交叉孔相贯线的毛刺，利用电化学去

毛刺有着明显的优势。

（3）电化学去毛刺对加工棱边可取得较高的边缘均一性和良好的表面质量，具有去除毛刺效果好、安全可靠、高效等优点，一般情况和传统工艺相比，效率可提高10倍以上。

（4）由于加工过程中无切削力和切削热的作用，所以不会对曲轴油道孔内表面产生受力变形或热变形以及残余应力、金相组织的变化，以及毛刺、刀痕和飞边等问题。

（5）加工表面粗糙度一般为 $R_a = 0.8 \sim 0.2\mu m$。工具阴极在加工过程中基本无损耗，可以长期使用。

6. 电解去毛刺方法的应用

在实际应用中由于电解去毛刺方法受限于工具阴极与工件毛刺部位的间隙要求，所以往往在实际应用中与传统人工去毛刺方法结合使用，并且在电解加工后要立即进行清洗以防止锈蚀发生。

我厂在引入电解法去毛刺初期，由于经验少，走了很多“弯路”。最初设定在曲轴油道孔被加工完成后用风枪将孔内切屑吹净，然后配合圆锉在电解加工前对孔内毛刺及较大毛边进行粗处理以满足电极与工件毛刺部位的间隙要求。

但是这一工艺方案很快被否决，原因在于在应用中人工用圆锉无法顺利去除粘连较大的飞边，在生产时阴极与飞边接触发生短路烧损，熔化后的铜电极与工件凝结在一起形成硬结，严重影响油道孔内表面质量及油道孔内尺寸。

经过调整，最后确定了采用手工修整与电解法相结合的方式，其目的在于利用手工修整保证电极与曲轴油道孔内毛刺表面间隙符合要求，不会发生电极与毛刺接触而造成电极短路烧损的问题。

上面提到，热处理过程中产生的氧化皮也会造成油道孔内杂质过多的问题，在电解法应用调试过程中，我厂也遇到了相关问题，现象是热处理后孔壁表面的氧化皮附在孔壁上，而且很多时候是位于油道孔交接处，在进行电解生产时，由于电解液的冲刷而脱落，当氧化皮随着电解液流动到电极作用位置时，氧化皮与电极接触将工件与电极连通造成短路，电极烧损，油道孔壁烧伤。

原因找到后我们对电解工序做了调整，安排在钻油道孔之后、热处理之前进行，以避免氧化皮影响。

电解法去毛刺还有一个不可忽视的环节，就是电解后的清洗处理。由于电解产物是铁的氢氧化物，该类物质较粘稠，如果不在完成电解生产后立即进行清洗，它们很快就会吸附在油道孔上难以去除，若该物质残留时间超过1天，可能会引起孔壁内锈蚀的发生，因此，在电解生产后的清洗非常重要，我厂在生产中尝试了很多方法来保证孔内残留物质的清洗，最终我们确定按照高压水流冲洗并伴随油道孔毛刷刷洗的工艺方法，这样既可以保证效率，也可以确保孔内残留物质被清除干净。

7. 电解法在应用中的注意问题

（1）生产前孔内残留毛刺大小和方向：确保在阴极插入到油道孔内工作位置后不会与毛刺发生接触，以免短路烧损曲轴油道孔内壁和铜电极。

（2）生产前确保油道孔内无切屑及其他导电杂质。

（3）检查设备电路及电极手柄包括电解液是否正常供给。

（4）调整电解液供给压力在0.1～0.3MPa之间，实际中根据电解生产时油道孔喷出电解液的水流状态调整电解液供给压力。

（5）电解液的配比：按照质量密度5%的比例配置硝酸钠电解液，并在添加电解液前清理干净电解液水槽以及过滤泵上附着的污物。

（6）视电解液浑浊程度及时更换，保证电解液有效性。一般按照一班制生产六缸曲轴每1周左右需要更换一次电解液。

（6）电解设备参数设定，根据生产产品的特性调整电解压力和电解时间，但时间设置不宜过长，以避免水流冲刷过程中将打掉的毛刺或者其他到点杂质带到电极上，导致电极与曲轴连通造成短路。

（7）电极插入油道孔前确认电极连接牢固，发现电极松动及时调整。

（8）电极铜柱表面若出现烧损及时更换，否则一旦电极铜柱短路可能由此引起手柄铜芯一并烧损。

（9）电解生产完毕，立即将曲轴放入清洗设施中清洗，确保曲轴表面及油道孔内部被清洗充分，避免热处理后非加工表面产生锈蚀。**MW**

（收稿日期：20131030）