

# 康明斯 B 系列连杆工艺设计的研究与实践(续)

东风汽车公司柴油发动机厂 宋正元

## 3.4 磁力探伤及退磁

康明斯零件毛坯质量主要靠厂家控制,未安排毛坯的入库检查和磁力探伤工序,直接上线进行加工。但考虑到国内锻造水平,为预防万一,在锻造厂 100%探伤检查的基础上,在加工生产线上再安排一道探伤工序。根据毛坯质量的稳定情况,检查比例从 10%直至 100%。该工序安排在粗镗大小头毛坯孔工序后,采用交流双向磁化、荧光磁粉探伤法,可检查出棒材中的裂纹和热处理时产生的裂纹及锻打中产生的折叠。探伤后需退磁,以保证剩磁量不大于 8 高斯(标准规定值)。在实际中,退磁后的剩磁量控制在不吸附切屑为准,约为 1~2 高斯以下。

## 3.5 切断缸盖

在大量生产中,切开连杆杆和盖的加工方法,一般采用拉削或铣削。拉削效率高,排屑方便,但对机床的精度和加工平稳性要求

较高。康明斯 CDC 工厂采用连续拉削的加工方法,而我国则采用铣削的方法。由于连杆体和连杆盖的厚度不同,端面之间有落差,夹具结构复杂,除有侧向夹紧外,在连杆盖端面上还有带自锁的浮动支承夹紧。这样就无法实现一次多件叠放铣削,只能按一次加工一个零件的方式进行。选用双面卧式圆盘铣床,用  $\varnothing 350\text{mm}$ 、齿数为 73 的高速钢大直径重磨铣刀,切削用量为  $v = 27.49\text{m/min}$ ,  $S = 0.043\text{mm/齿}$ ,从两边对切,切削宽度为 7mm。由于铣刀直径大、齿数多,安装条件好,切削冲击力小,无打齿现象发生。采用两台机床加工,以便高效均衡生产。新刀的平均耐用度为 1500 件/把,重磨后的刀具平均耐用度为 800~1000 件/把。工序简图如图 16 所示。

我们用硬质合金三面刃不重磨刀片,进行过多次切削试验,如采用京以刀具公司

消耗刀片数量:(30 万件  $\div$  3000 件/片)  
 $\times 4 = 400$  片

消耗金额:400 片  $\times$  800 元/片 = 32 万元

改造后 ( $n = 1800\text{r/min}$ ):消耗刀片数量:(30 万件  $\div$  4000 件/片)  $\times 4 = 300$  片

消耗金额:300 片  $\times$  800 元/片 = 24 万元

显然,以年产 30 万件缸头计算,仅这个工位每年就节约资金 8 万元,而更换同步齿形带皮带轮只需 100 元左右。我们用同样的方法对加工另外一对气门导管和座圈底孔的主轴速度进行了调整,确定切削速度在 1400r/min 时切削效果最好,每片可加工工件 3800 个左右。

我们在近 10 台设备上运用变频器试验

方法调整主轴转速,提高刀片的使用寿命,一年为公司节约资金近 30 万元,获得了显著的经济效益。近两年的实践证明:刀具使用的工况条件不同,其合理的切削速度也不一样。用变频器来改变切削速度,选定经济效益最佳切削速度。速度选择好之后,用改变皮带轮直径和(或)更换电机的方法来改变切削速度,既经济又方便,是机械加工行业提高加工质量、降低加工成本的一种行之有效的方法。

### 参考文献

- 1 富士变频器使用说明书
- 2 陆剑中等. 金属切削原理. 北京:机械工业出版社
- 3 吴安顺等. 最新实用交流调速系统. 北京:机械工业出版社

刘龙仪 男,1964 年生。副总经理。邮编:225300

(本文 1999 年 5 月 31 日收到)(编辑 江复)

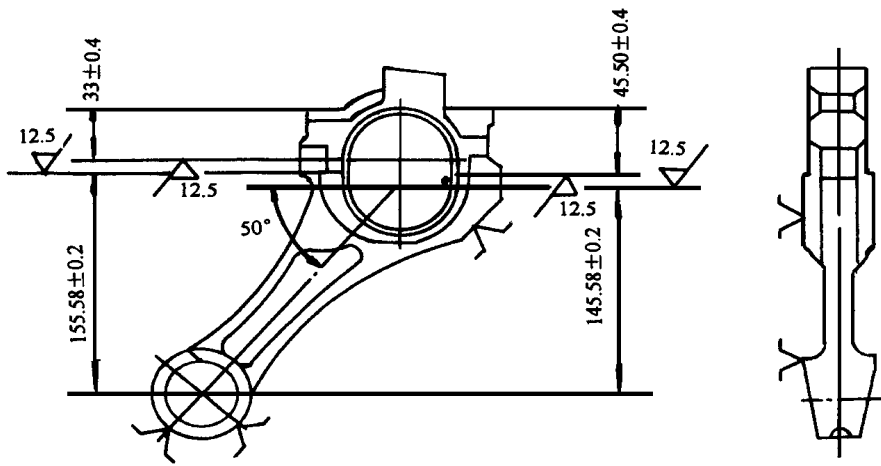


图 16 切开连杆杆和盖工序简图

Ø325mm、齿数为 32 的硬质合金不重磨刀具,切削用量为  $v = 90\text{m/min}$ ,  $S = 0.095\text{mm/齿}$ 。在加工到 3000 多件时,发现大部分刀片(进口)已有崩碎和亮点产生,达不到技术协议中耐用度 4500 ~ 5000 件的要求。该刀片的采购成本在 100 元/片以上,只有当采购成本降至 30 元/片时,它才具有推广应用价值。

在工艺设计时,为防止操作工任意改变切削参数,采用了机械进给方式。由于现场没有变频调速器,需要做专用齿轮,因而使新刀具切削速度的试验工作变得异常困难。实际上因无法及时修正不合理的切削参数及受生产等因素的影响,往往会中断试验并得出草率的结论。

### 3.6 螺栓孔、小头油孔和轴瓦槽加工

#### 3.6.1 加工方法

螺栓孔、小头油孔和轴瓦槽的加工,国内传统工艺是先将连杆体和连杆盖螺孔的定位孔径分别进行粗加工,然后再合起来进行精加工。在机床精度较低的状况下,获得较少的配装错口量和较高的加工质量,这种加工方法多用于单台组合机床。在大量生产中,这种方法势必造成单机数量及操作人员增多,难以提高技术水平、稳定工艺质量。我厂采用了康明斯 CDC 工厂分开加工的方法,杆、盖的螺孔精度要求分别保证,以达到互换

性装配要求。

#### 3.6.2 设备选型及工艺方案

螺栓孔部分的加工可选用组合单机、托盘式自动线和随行夹具自动线三种设备。

##### (1) 托盘式自动线

该自动线具有直线输送,可提高输送速度,缩短辅助时间;在每个加工工位上可用不同的夹压方式和夹紧力,以减小零件的夹压变形;夹具可卸下修理,以保证均衡生产;敞开性好,便于维修;动作简单,信号少,故障率低;能满足某些工序的特殊要求,便于提高加工精度及实现自动化排屑等优点。但也存在因夹具上不能固定钻模套而降低导向精度等问题。

##### (2) 随行夹具自动线

该自动线具有动作简单、使用比较可靠等优点。但也存在如下不足:零件定位精度受夹具本身安装精度的影响,多了一个定位误差;随行夹具数量多,为了满足通用于各工序的要求,其制造精度要求较高,制造、调整较为困难;夹具动作复杂、信号多、易卡料,故障率高;随行夹具需随传动链经床身下部返回上料端,使机床制造成本和占地面积较大,维护修理较为困难,维修时必须全线停机,造价较高。因此,它不是一个经济合理的方案。

##### (3) 组合单机

设备台数多,占地面积很大,是比较落后

的方案。

螺栓孔部分的加工设备及工艺方案基本上采用了康明斯 CDC 工厂 B 连杆螺栓孔加工方案,即采用托盘式自动线,用 9 个加工工位分别进行加工,螺栓孔用普通钻头加工。结合国内的实际情况,将工序内容调整为:杆盖结合面上一次钻孔及钻油孔 C1 杆盖结合面上第二次钻孔到位及钻通小头油孔并外倒角 C2 铣杆盖轴瓦槽倒角、钻杆半边孔及盖座面处螺栓孔倒角 C3 铣杆盖轴瓦槽 C4 扩杆盖螺栓孔、油孔内倒角 C5 铰杆盖螺栓孔 C6 扩杆盖阶梯及盖上螺栓窝座 C7 攻螺纹 C8/ C9。

该自动线的设计原则是:

(1) 随行夹具水平返回自动线,即将工件送入夹具夹紧后,随行夹具水平返回上料工位;

(2) 设备基础全线采用地脚螺钉的整体基础方式;

(3) 全线自动排屑,有集中冷却站和粗、精滤屑装置(过滤精度不大于  $10\mu\text{m}$ )及铁屑提升装置;

(4) 全线采用大流量冷却,冷却液为水溶剂,流量为  $180\sim 200$  方/小时;

(5) 采用全封闭式防护装置,有操作、调整、维修用拉门及相关保护装置;

(6) 随行夹具装夹零件数为杆、盖各 3 件,随行夹具自身精度  $\pm 0.05\text{mm}$ ,使用寿命约 3 年;

(7) 电气系统采用进口 PC 机,监控系统采用微机屏幕显示;

(8) 压缩空气、电气、水管空中走线;

(9) 按刀具品种进行定期不停机快速换刀,机外调刀;

(10) 采用高硬度的材料、高精度的刀具和导向套,按高精度钻、扩、铰的加工方式进行机床验收,机床具备内冷却加工功能;

(11) 具有较完善的故障报警装置(如刀具断裂检测报警装置、过扭保护报警装置等)。

自动线平面布置示意图如图 17 所示。

### 3.6.3 加工工艺方法及其特点

加工螺栓定位孔的工艺方法主要有两种:

(1) 普通钻—扩—铰工艺

该工艺方法比较简单,成本比较低,工序内容比较少,但对刀具和导向系统要求较高,以保证加工精度及孔间距的一致性。该自动线的各动力头完全是按镗杆的标准进行设计和制造的,这种大刚性、高精度动力头,为采用普通钻—扩—铰工艺方案提供了一个良好的前提条件。钻—扩—铰的切削用量参数见表 5。

表 5 钻—扩—铰切削用量参数

加工方式	$n(\text{r}/\text{min})$	$S(\text{mm}/\text{r})$
钻孔	530	0.12
扩孔	400	0.18
铰孔	400	0.18

选用了群钻、十字钻刃和抛物线大螺旋槽(等同于曲轴深孔钻头结构)及在钻头上两钻刃开分屑刃的三种钻头结构方案。小批量切削结果显示,三种结构方案钻头耐用度都可达到  $130\sim 200$  孔/把;前两种方案刀尖形状结构较为复杂,其刃磨须在数控工具磨床上进行。本厂采用了在普通工具磨床上进行刃磨的开分屑刃结构方案。该手工刃磨的钻头耐用度能稳定在  $80\sim 100$  孔/把。钻头材料采用  $\text{W6Mo5Cr4V2Al}$ 。

目前,在东风公司范围内,40MnBH 材料的零件螺纹加工,其丝锥的耐用度很低,一般为 30 孔/把以下。为此,在调试生产时,最终选用两种不同类型的丝锥,对连杆的通、盲孔螺纹分别进行加工。为了使排屑顺畅,盲孔

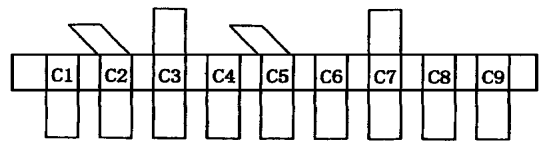


图 17 自动线平面布置示意图

攻螺纹采用螺旋丝锥。螺旋角为  $30^\circ$ ，螺旋槽长度大小以攻螺纹到位后槽尾能露出螺孔为准，其余几何角度、尺寸与精度均按传统的直槽三刃丝锥设计参数进行。为了避免切削力不均造成的崩齿现象，通孔攻螺纹采用康明斯 CDC 工厂所使用的刃倾角直槽三刃丝锥。这种结构的丝锥与传统的直槽三刃丝锥最大的区别是，丝锥前端增加了  $30^\circ$  的刃倾角，使直齿切削变为斜齿切削，从而增大了丝锥切削的实际前角，减少了切削力。由于刃倾角承担了主要的切削加工，在对磨损了的丝锥进行修磨时，应着重对其刃倾角进行修磨，各刃的前角不必修磨或使用 2~3 次后进行少量的修磨。这样可最大限度地保证切削齿的直线性，以避免丝锥崩齿、攻螺纹退回时造成最后螺纹处翻边等问题，保证攻螺纹质量。在批量生产中，由于受到丝锥制造质量尤其是热处理质量及刃磨质量的影响，无法达到小批量切削试验中的 150~200 孔/把耐用度要求，现生产中能稳定在 60~80 孔/把。加工 M11 × 1.25 螺纹孔的主轴转速为  $n = 130\text{r/min}$ ，丝锥材料 W6Mo5Cr4V2。

### (2) 枪钻—枪铰工艺

这种工艺方法简化了加工工序，减少了加工设备，可加工出形位精度较高的孔。其加工精度：孔径公差为  $0.03\text{mm}$ ，位置尺寸偏差为  $\pm 0.03\text{mm}$  以下，倾斜度为  $0.02/100$ ，座面垂直度为  $0.05\text{mm}$ ，表面粗糙度可达  $Ra\ 0.1 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。

在普通钻孔的基础上，本连杆线采用了杆和盖上的阶梯孔  $\varnothing 12\text{mm}$  进行枪扩、枪铰加工方法，并逐步过渡到高精度钻、扩、铰方案上去。

本自动线设计时，考虑了高精度钻、扩、铰方案的需要，每个动力头均设置内冷却装置，具有高低两档主轴转速。内冷却工作压力为  $6 \sim 7\text{MPa}$ ，每轴流量为  $13 \sim 15\text{L/min}$ ；冷却液过滤为二级过滤，其过滤精度为  $10\mu\text{m}$ 。在自动线中还设置了两个攻螺纹工位，当一个工位工作时，另一工位进行换刀，在丝锥寿

命较低的情况下，可减少停机时间。

在螺栓孔自动线上，加工尺寸精度和质量常出现的问题有：

因刀具影响，常常出现螺纹表面质量差、螺纹中径大、攻螺纹退回时造成最后螺纹处翻边。

若倒角尺寸大，造成轴瓦槽实际定位面小，无法有效地将连杆瓦定位；若倒角尺寸小，使精镗后的孔轴瓦槽处存在毛刺，也影响连杆瓦定位。实际上，工序倒角尺寸用作图法将圆弧上前后两点连接直线画算出来，以便于操作工用普通卡尺进行调整、检测和控制。

螺栓窝座面比加工定位面低  $3\text{mm}$ ，不重合，产品要求螺栓窝座面相对于结合面的倾斜度为  $0.03\text{mm}$ 。由于加工中螺栓窝座面相对结合面都是以定位面为基准加工的，故实际加工质量难以保证，实测值为  $0.04 \sim 0.05\text{mm}$ 。在康明斯产品图中，有螺栓窝座面和加工定位面重合与不重合两种可选结构，也有这两种可选结构的 CKD 实物。在工艺设计中，等同采用了康明斯 CDC 工厂工艺方案，选用了螺栓窝座面和加工定位面不重合结构。目前，正进行螺栓窝座面和加工定位面重合结构的工艺试验和总成可靠性试验，并最终加以采用。

### 3.7 止口斜结合面加工

该连杆止口斜结合面结构比较复杂（见

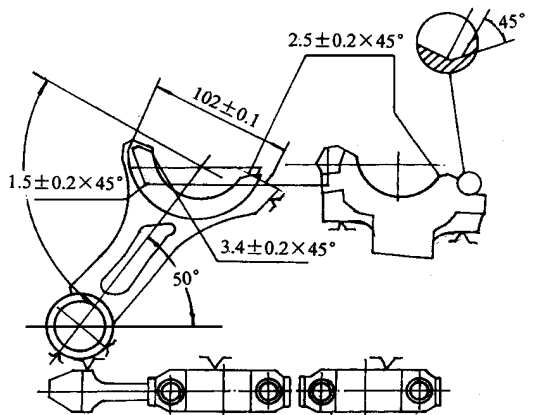


图 18 止口斜结合面产品结构示意图

图 18), 有 4 个止口面、3 个倒角面、1 个直角圆弧面、1 个外平面。为满足大批量生产要求, 康明斯 CDC 工厂对连杆止口斜结合面加工先后采用了一次成形拉削和粗拉削—精磨削的工艺方案。

### 3.7.1 一次成形拉削方案

在 1984 年进行年产 6 万辆纲领的工艺设计时, 采用一次成形拉削方案, 选用往复工作台卧式拉床。至 1992 年的 8 年间, 该方案满足了加工精度和生产纲领的要求。但由于线外装调好的拉刀安装后仍需进行在线精调, 增加了拉削辅助时间, 因此加工能力仅能满足年产 6 万辆纲领需求。

### 3.7.2 粗拉削—精磨削工艺方案

1992 年将生产线能力扩至年产 10 万辆纲领。为了节省投资, 最大限度地利用现有设备, 整个生产线仅增加了一台结合面磨床, 即将一次成形拉削工序改为粗拉削工序, 并增加了精磨工序; 粗拉削工序对 3 个倒角面、1 个外平面等精度较低的表面进行一次成形拉削加工, 并对 4 个止口面、1 个直角圆弧面进行粗加工。这样, 免去了拉刀在线精调, 使拉床固有的加工能力充分发挥出来。精磨采用转台立式数控磨床, 辅助时间与加工时间重复, 用机械手装卸零件, 每一循环配磨三对杆、盖, 磨削余量为 0.35mm, 冷却液采用水溶剂; 在磨削进给的同时, 金刚砂轮修整器对砂轮进行同步修整, 机床对修整量同步予以补偿, 以确保磨削件的形位精度; 每片砂轮耐用度为 1 万件, 金刚砂轮修整器耐用度为 5000 件。为了保证整个生产线生产的均衡性, 达到年产 10 万辆份水平, 首道工序至螺栓孔自动线前实行二班制生产, 从螺栓孔自动线至最终工序(包括结合面粗拉工序)实行三班制生产, 新增加的精磨工序则进行二班制生产。不同班次工序的结合处放置一个大木箱, 以储存周转零件。

止口斜结合面的粗糙度为  $Ra4.0\mu\text{m}$ , 采用一次拉削的加工方法能满足此要求。工序加工余量最大为 3.5mm, 立式拉床无法满足

在拉削行程和生产效率方面的要求, 故根据加工余量和刀具布置情况, 采用了一台 40t、4.5m 行程的卧式侧拉机床。一次拉三对连杆杆、盖, 配拉后必须进行相应的配装, 以保证 0.018mm 配对公差的要求; 切削运动驱动采用电机—机械传动, 速度可调; 粗、精拉削采用不同速度, 粗拉为 8m/min, 精拉为 4m/min, 在 100% 负荷下, 机床验收后实际生产能力达 75 件/小时。从国内的磨床制造水平和使用状况及砂轮、金刚砂轮修整器配套水平来看, 结合面采用强力磨削的工艺方案是不稳妥的。

止口斜结合面的精度要求从一开始就成为关注的焦点。结合面止口尺寸配对公差超差(最大为 0.6mm), 超差件在装配后, 不存在装配间隙, 杆、盖结合面啮合良好。进行 250 小时台架试验, 未出现异常情况。1993 年进行整机定点投放使用至今, 未出现异常情况。造成这种现象的原因是: 大小头侧面定位面间距离尺寸  $23.5 \pm 0.065\text{mm}$  等控制不当, 使零件存有转角误差, 从而对结合面止口尺寸配对公差检测结果造成一定影响。康明斯 CDC 工厂长期以来也存在连杆结合面止口尺寸配对公差超差的问题, 多次试验后认为, 配对公差在 0.25mm 范围内能满足使用要求。止口斜结合面的主要功能有两项: 一是确保重复装配的精度, 保证重复装配后大头孔的椭圆度不超过 0.02mm (产品要求); 二是确保装配后杆、盖结合面的啮合程度, 不因存有间隙、松动而造成螺栓失效、断裂。通过多次装机台架试验表明, 配对公差控制在 0.10mm 范围内是安全可靠的。

拉床(包括前 5 台立式拉床)的对刀仪, 由于定位小其使用效果不理想, 操作工基本不用, 而用卡尺检测楔块长短进行调刀。康明斯则在刀盒上设置对刀凸台, 采用外径千分尺对拉刀进行检测, 调整, 方便可靠。(待续)

宋正元 男, 1962 年生。工程师。邮编: 441004

(本文 1999 年 1 月 15 日收到) (编辑 王绍钰)