

# 曲轴模锻工艺

东风汽车有限公司商用车锻造厂 (湖北 441000) 瞿 良 鄢成明

**摘要:** 本文以曲轴工艺改进的过程为主线, 分析了曲轴工艺中扭转、曲面分模和成形压挤等工艺方法的优劣, 论述了现阶段曲轴工艺设计的趋势、共识和存在的问题。

## 一、概述

曲轴作为汽车发动机的关键部件, 所具有的共同的质量特点包括以下几个方面:

(1) 在危险断面(连杆颈和主轴颈连接处)不允许有裂纹、折纹等缺陷。

(2) 当曲轴在平衡块顶部充不满时允许通过补焊来达到要求的形状。

(3) 对曲轴轴向尺寸精度要求越来越高, 平衡块两侧面倾向于少加工和不加工, 而且直线度要求越来越高。

为了便于理解下文中所指的曲轴的位置, 我们将曲轴各部分作了如图 1 所示的规定。

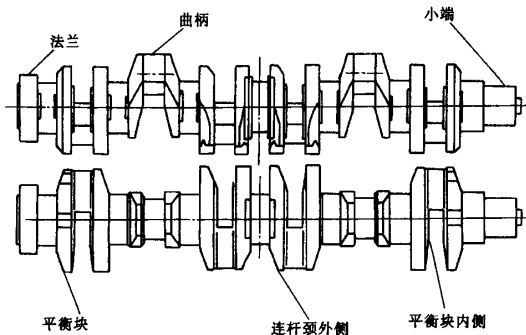


图 1

## 二、工艺初步设计

### 1. 材料规格的计算

材料规格的选择要兼顾两个方面: 一要尽量减小金属在纵向的流动, 这就要求在一定长度范围内料的体积要与型腔体积相等; 二要兼顾国内钢厂能够提供的规格。

以前认为材料会从主轴颈或连杆颈向平衡块挤入, 所以在计算规格时所选区段包括相邻的主轴颈和连杆颈, 如图 2 所示。经过验算, 发现所计算出的体积要比实际的横截面小。如果计算时去掉与平

衡块相邻的轴颈部分, 所得材料规格则比较准确。

计算完后选择材料规格还有一个问题: 对于较大的坯料, 我国往往是每 10mm 一个规格, 结果是选上一个规格过大, 选下一个规格过小。实践经验表明, 在有辗锻工序的情况下, 应选大一些规格的坯料, 这对提高模具寿命有利。

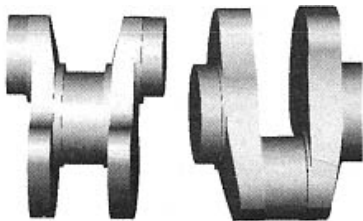


图 2

### 2. 压扁模设计

压扁模设计时要考虑两个方面的因素:

(1) 压扁高度。压得太扁, 不容易充满; 压扁太高, 机械手夹持坯料无法送达预锻并回到原位。

(2) 压扁后的坯料在预锻型腔中摆放稳定, 平面压扁在摆放时要充分考虑, 以免摆放不稳定时产生折纹。

制坯采用过三种方式: 形状压弯、平面压扁和成形压挤。形状压弯采用了带型腔压扁的形式, 与现在的成形压挤有很大的区别, 从型腔的形式看介于简单压扁与现在的成形压挤之间。略去横向型腔, 压弯后的形状大致如图 3 所示。

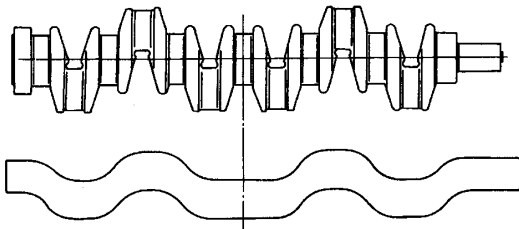


图 3

设计的意图是使压扁后的形状能够很好地符合锻件截面，成形时减少金属流动。形状压弯的成功之处在于：

(1) 相比平面压扁，能合理地分配金属，使金属沿曲轴弯曲的轴线分布，提高材料利用率。

(2) 减小了预锻、终锻成形量，对充满和避免产生折纹均有好处。但存在的问题是：压弯后的形状缺乏能够稳定放入预锻型腔的定位部分，造成预锻时失稳，局部配合不好，错位以至于产生折纹和充不满。

现在广泛采用平面压扁。平面压扁摒弃了坯料要尽可能与预锻模相匹配的理论，上模采用平面，下模仅较大落差处凸起。此设计解决了形状压弯中，压扁坯料在预锻型腔中由于摆放不稳定，易出现折纹的问题。平面压扁虽然对不太复杂的和易充满的曲轴是一个好的选择，但没有起到预分配金属的作用，而是将金属的主要变形量留给了预锻，使预锻出现折纹的机率增加，在较复杂的曲轴上，这一点更加明显。

### 3. 导面设计

分模面和平衡块的形状是影响曲轴模锻工艺的主要因素，所以导面设计在曲轴模锻设计中起着很重要的作用。导面设计应遵循以下原则：

(1) 避免产生折纹 导面设计时尽量使金属纵向流动平缓，预、终锻在成形时导面能同时接触。产生折纹的原因很多，因导面设计不合理是曲轴产生折纹的主要原因，在生产前要充分考虑。

(2) 考虑模具强度 曲面分模会导致模具一部分凸出较多，一部分凹陷较多。如六缸 120°角曲轴 1、3、4、6 连杆颈分模处容易因曲面分模使上模过深，在受纵向冲击力时产生变形断裂。

(3) 有利于充满 不同分模面的设计会影响材料的流动，也会影响制坯模的设计。设计时应予以充分考虑，特别是上平衡块上下型腔深度和复杂程度应尽可能一致。

### 4. 初始工艺的制定

曲轴模锻工艺流程没有太大的区别，对设备依赖性强，需要扭转的曲轴工艺流程为：辊锻（根据截面形状确定是否采用）→压扁→预锻→终锻→切边→扭转→两次校正。其他能够曲面分模和平面分模的曲轴工艺流程为：辊锻（根据截面形状确定是否采用）→压扁→预锻→终锻→切边→校正。

(1) 扭转工艺的应用及发展 扭转工艺曾被世界许多国家普遍采用。采用这种工艺，曲轴曲柄和平衡块设计几乎不受限制，产品在径向可以设计得完全对称（沿曲轴中心线），曲轴可以得到最好的平衡效果。但扭转工艺有其自身的缺陷：①扭后长度尺寸不稳定。②相位角易发生变化。③扭转易造成扭痕、磕碰等表面缺陷。④要采用两次校正来校正因扭转产生的缺陷。特别是第②、第③两条，严重限制了曲轴质量和工艺的稳定。

(2) 曲面分模工艺的应用及发展 康明斯 B 曲轴是锻造厂成功开发的第一个曲面分模曲轴，有许多成功之处，其设计一直作为锻造厂曲轴设计和生产的典范。其他曲轴在此基础上逐步完善了工艺设计中的细节。其设计具有如下特点：

在预终锻分模面设计中，由于以前冷加工厂对余块的大小没有太多的限制，康明斯曲轴在连杆颈内侧采取了增加余块的方式，降低了连杆颈与曲轴中心线间的落差，对流动、模具强度均有很大的好处，如图 4 所示。

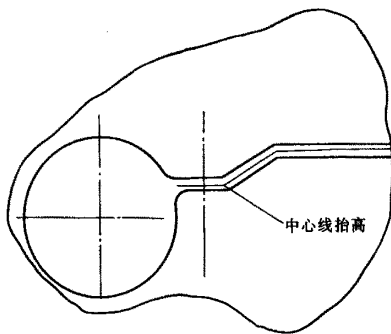


图 4

在 2、5 连杆颈处采取了从 3、4、9、10 平衡块外侧面进行分模的方式。这种分模的优点在于：分模结构简单，切边不留毛刺；缺点是可能要增加余块。一般曲轴在此处的曲柄产品设计时倾向于采用椭圆，与其他曲柄的基本形相同。如采用外侧分模的方式，要在此增加余块或者将曲柄改成方形。其他厂倾向于采取在曲柄外侧面分模的方式，这样分模容易，保证交给产品的最终形状为椭圆，但在连杆颈和曲柄连接处易产生毛刺，如图 5 所示。

(3) 预锻模设计 预锻模设计采取了许多措施，如图 6 所示。大致包括：①连杆颈外侧导面设计时，为保证连杆颈外侧形状的光顺，上模型腔较

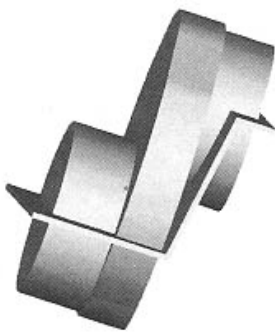


图 5

小。这样分模解决了外侧形状问题，但上下模体积相差太大，预锻容易在图 6A 处出现折纹，留下工艺隐患。②1, 3, 4, 6 连杆颈在图 6B 处分模面往上抬高，2, 5 连杆颈处分模面向下降低。在当时的加工条件下，通过抬高和降低部分连杆颈中心线减小了连杆颈和主轴颈之间的落差，对匹配上下模具寿命、充满和避免产生折纹都非常有利。③图 6 连杆颈 B 处采取了一些措施：将桥部高度改为 28mm，将连杆颈中心线抬高 15mm，在纵向开出 7°斜面。7°斜面理论认为可以有利于金属向中间流动。这一理论对以后的设计产生了很大的影响，基于这一理论，在以后的曲轴设计中采用了 45°或更大斜面的办法，并在各类曲轴上广泛应用。这种方法除了用于解决充满，还用于减缓分模面处各截面的流动速度，避免产生折纹。

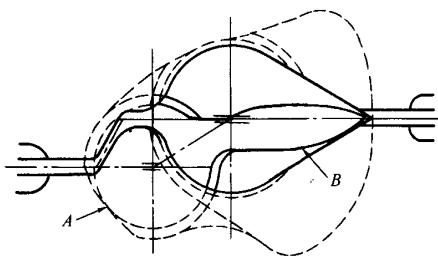


图 6

六缸四平衡块的导面设计，因为只有四个平衡块，连杆内侧的导面设计受锻件形状的限制与六缸八平衡块有所不同。主要是预、终锻此处分模面的更改，如图 7 所示。

其他厂在连杆颈外侧也采用如图 8 所示的分模方式，其优点是料易于排出，缺点是可能会导致模具局部强度不足。

(4) 导面更改以取消余块 随着加工方式的改

变，加工厂渐渐不能接受曲轴很多地方有大量的余块，本厂随之对导面采用两级台阶，缺点是两级导面使预锻放入终锻中更难稳定。

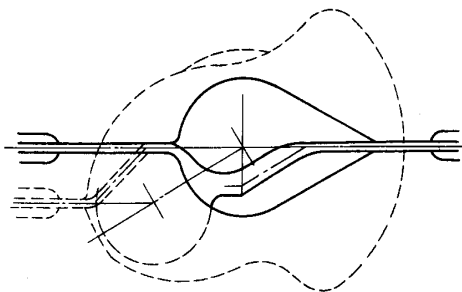


图 7

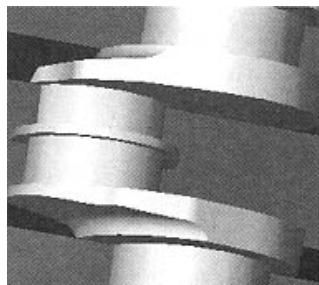


图 8

(5) 预锻预留量的增加 曲轴的大批量生产带来另一个问题，即返工返修率高，主要集中在充满比例大。为了解决这些问题，采取了增加预锻金属预留量，增加桥部厚度等措施，通过将曲轴锻打得比以前薄，使充满比以前好，取得了一定的效果。

(6) 成形压挤方式的使用 成形压挤虽然主要是在制坯工步中使用的，但它的设计理念影响整个曲轴预成形工艺的设计。成形压挤的方法最初在轿车曲轴应用，但设计上有许多不同之处。

主要不同之处表现在：用了成形制坯；飞边桥部加宽；压挤与预锻边缘采用斜面。其中成形压挤和预锻型腔局部的处理方式对理解曲轴生产的折纹的充满起了很大的指导作用。

(7) 热收缩率 国内锻件一直不注意热缩率，均采用 1.5% 的相同收缩率，随着生产中新钢材种类的不断涌现和曲轴尺寸精度要求的增加，以前单一的收缩率已经不能满足要求。现在，应根据实际情况采用不同的收缩率。

(8) 取消纵向平衡块减薄 长度方向预留是沿

# 高档客车转向节锻件模锻工艺开发

中国南车集团资阳机车厂锻压分厂（四川资阳 641301） 詹 辉 苟建华

随着我国汽车工业的发展，引进技术国产化已成为我国汽车产业的发展方向，其中，一些重要复杂汽车锻件产品的开发则是汽车产业国产化的一项重要内容。近年来，我厂成功开发出带弯臂的高档客车转向节锻件，为高档客车转向节实现国产化做出了贡献。

## 一、锻件工艺分析

### 1. 锻件结构特点

图1所示为某高档客车转向节的三维实体造型及锻件简图。

为满足汽车高速、安全等需要，与普通转向节对比，该转向节和转向节臂采用整体锻造工艺。该锻件在结构上具有以下特点：

- (1) 带有总长约645mm的直臂。
- (2) 带有弯曲角度为90°、长为250mm左右的弯臂。
- (3) 中间法兰直径为214mm，厚22mm。
- (4) 两臂开档尺寸约145mm。

### 2. 锻件工艺分析

由于该转向节法兰的截面积为杆部的8倍，为两臂端部截面积的7倍，且两臂开档尺寸大，模锻

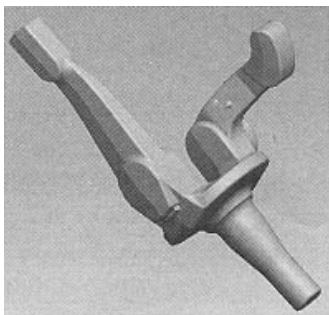
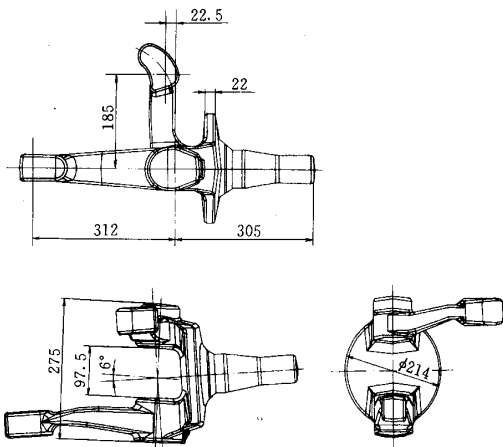


图 1

于前一道工序的坯料要放入后一道工序的思想，在型腔设计中，压挤比预锻、预锻比终锻凸出部分要小，便于成形后的锻件放入后一道工序。但这种设计增加了平衡块的充满难度，因为曲轴的平衡块宽度经过减小，更难充满。在两平衡块之间上一道工序本来预留有料，即使再窄，也不能落到底。所以减窄并没有太大的意义，从配合的角度来讲，还应该加宽。

## 三、曲轴工艺现阶段存在的问题

(1) 对压挤和预锻预留量的定量认识还很缺乏。现在对预留量的多少，预留量的方式，以及径向、轴向、高度和宽度方向的预留量，不同的厂家

有不同的观点，即使在同一公司内也有多种观点。随着工艺设计越来越精细，各种方案正在验证中。

(2) 局部型腔处理对充满产生的作用机理还不明确，各种条件下金属充满的模型尚未完全建立。

(3) 桥部宽度和高度的取值和作用机理还有待研究。以前经典的桥部宽度和高度理论在新的设计模式下正面临考验。

## 四、结语

曲轴模锻工艺的发展大多依靠生产中的积累，发展缓慢。随着参数的精确，数值模拟的应用，各工序的压力分配、模具磨损均衡和模具寿命会更加精确。 (20041108)