

环形件的模锻和轧制联合热成形工艺研究

■ 张鹏, 侯沛云, 白辉东

长期以来, 我公司的环件产品均采用自由锻(锻锤)的方式进行生产, 但自由锻造有很多弊端, 如需多次锻造前加热, 成材率较低, 断面存在深槽, 使用锻锤需反复锻打, 浪费时间, 降低生产效率, 不适合大批量锻造。

受到公司成熟火车轮生产线的启发, 利用该生产线灵活机动特点, 逐渐摸索生产环件类产品的工艺路线, 采用模锻和轧制联合成形工艺方式对环件类产品进行锻造生产, 结合产品结构特点, 对产品尺寸进行分类识别, 对锻造过程中使用模具进行通用化研究, 降低了生产制造成本, 缩短了制造周期, 同时对轧制过程中产生的质量问题进行分析研究, 找出影响轧制过程中的重要因素, 设计并不断优化出新型环件模锻和轧制工艺及实现方案。

环件类产品的成功开发, 适应了严峻的经济形势, 扩大太重轮轴产品的多元化, 增强市场的竞争力, 极大地提高了利润空间。

1. 轧成形工艺难点分析

太重第一条生产线是较为典型的“模锻和轧制联合成形”的火车轮锻造生产专用线, 生产

设备主要由 $\phi 14\text{m}$ 环形加热炉、高压水除鳞机、60MN双动水压机、10MN冲孔水压机、七辊卧式轧机(包括2个斜辊、2个压紧辊、1个主轧辊、2个导向辊)、30MN压弯精整水压机等组成。通常工艺流程主要为: 加热→除鳞→镦粗→预成形→冲孔→轧制→压弯。

环件类产品毛坯结构尺寸较为简单, 主要尺寸由内外径和高度三部分组成。根据环件产品踏面形状(有无法兰)的不同, 可分如图1所示的两种类型。

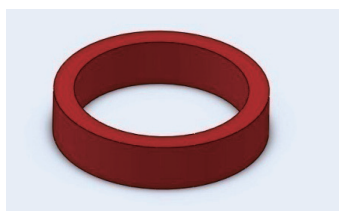
考虑四机组设备各开档尺寸及实际生产设备能力, 环件轧制产品尺寸适宜范围为: 外径 $\phi 580\sim 1000\text{mm}$; 高度 $80\sim 200\text{mm}$ 。

对现有设备而言, 环形类锻件结构尺寸较普通火车轮具有显著特殊性, 主要体现在以下几个方面:

(1) 缺少类似车轮“轮毂”部位, 这使得金属在60MN水压机压制过程中在分模面无法很好地分流, 容易导致在高度方向尺寸较大而在直径方向尺寸较小, 从而产生废品。

(2) 缺少类似车轮“辐板”部位, 这使得使用常规方法, 在模锻和轧制过程中造成模具的上下磕碰损坏, 在转运过程中也会因为机械手、吊具等工装的限制无法进行。另外, 退火炉前机械手为“撑小里孔”型的, 因而无法实现入退火炉进行处理, 淬火台也会因缺乏支撑面而无法实现淬火热处理, 若以上过程全部使用桥式起重机进行吊装转运, 大大浪费了时间, 过程中温降较大, 影响产品质量, 对生产效率有很大限制, 不利于批量化、流水化生产。

(3) 缺少中间部位, 在轧制过程中变形抗力较小, 对轧



(a) 无法兰环件



(b) 有法兰环件

图 1

制操作过程参数控制要求较为严格，若轧制力和各辊系配合不当极易造成“椭圆形”而产生废品。

综上所述，如果不通过制订锻轧工艺时采取特殊手段，种种现实的矛盾根本无法得到解决。

2. 环件锻轧热成形工艺制定与模具设计

针对环形类锻件上述的工艺制作难点，我公司技术人员认真分析，多次进行现场测量，查阅相关设备图样，结合几十年生产火车轮的经验，创造性地在环件中间区域引入了类似“薄辐板”连皮结构，并设计出特殊的锻造、轧制工艺方案，其锻轧工艺流程为：锻粗，成形出部分中间连皮结构→预成形→非精确冲孔→轧制→精整（见图2），其特殊性主要体现在以下几点：

（1）中间连皮结构的引入为避免在轧制或模锻过程中上下模具闭合磕碰磨损，创造性引入了中间区域，类似薄层“辐板”连皮结构。考虑到轧机设备轧制原理不能实现变截面轧制及锻造用模具的通用性选配等，连皮结构形状和位置如下：连皮结构形状设计成有较小厚度的直板；连皮结构近似位于高度的一半处；结合锻压设备吨位，连皮结构厚度：10~15mm，580mm≤外径 D ≤900mm；15~25mm，900mm<外径 D ≤1000mm。

另外，考虑顺利脱模的因素，将内径设置成15°夹角。该连皮结构在后续过程中切除。

（2）中间连皮结构分步成

形 考虑到环件无“轮毂”特殊结构，在模锻过程中，金属不易在分流面实现分流，连皮结构太厚会降低材料利用率，结合设备吨位限制，将连皮结构分步成形，设计出上下凸压痕模具进行锻粗，先让一部分金属从中间部位预分配到外环上，后进行预成形，压制出模锻连皮及环件，后续轧制过程中将连皮结构延展，环件外径和内径增大。

（3）非精确冲孔 连皮结构的近似中间部位，在上下冲孔模具和冲头冲杆的作用下将“芯料”冲掉，过程中无需火车轮使用专用冲孔模具精确定位，只须设计通用冲孔模具进行冲芯。该工序仅为后续转运过程中机械手的夹取，30MN整形压机的卸料，实现退火和淬火等热处理提供便利，这样大幅提高了生产效率，实现了产品流水化、批量化生产。

3. 锻轧工艺试验与改进

在确定较为严密的工艺方案基础上，挑取典型轮箍产品（见图3）进行初次小批量的锻轧工艺试验，工艺调试期间曾出现诸多的问题，如外圆（或法兰）缺肉，踏面外径尺寸太小，轮坯外圆呈现“椭圆形”、外侧面沟槽、踏面折叠等，经过多次分析调试，对设备、工艺参数不断调整，均找到了以上问题的解决措施。

小批量试制生产时，出现的主要问题为外侧面整圈沟槽，如图4所示。

分析认为，导致此原因为上压痕模直径过大，锻粗压痕成凹饼之后外侧内径处出现较大圆弧，预成形之后外侧壁厚成形较差，外侧内径和外径处圆弧依然较大，在轧制过程中，外侧面无过多金属填充，导致沟槽的产生。

鉴于上述的原因分析，将上压痕模和上成形模进行修改（见图5），将上压痕模“凸处”直径减小，同时将上成形模具相应减小。这样主要基于两方面的考虑：外侧壁厚成形效果明显改善，平面区域增长，内径处圆弧可减小；这样使得轧制量增大，在轧制时，有足够的时间让金属将外侧壁厚填充饱满，一定程度上减小沟槽的产生。

更改后，成形坯内径处圆弧明显减小，在后续的轧制过程

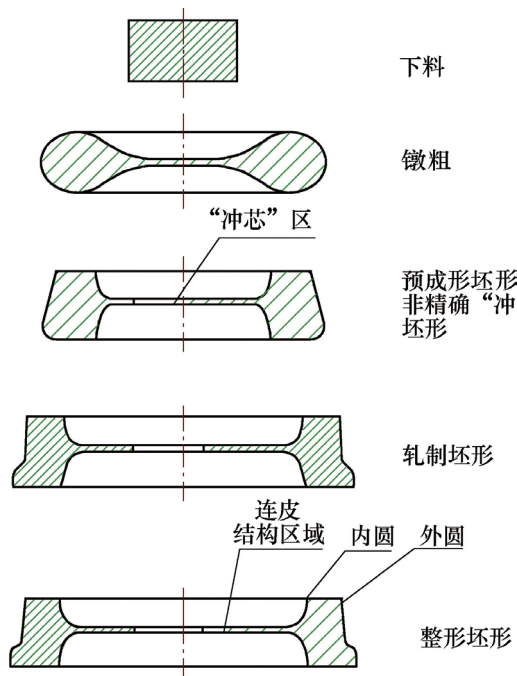


图2 典型环件热成形工序

中, 可将圆弧处填充饱满。多次试验之后, 锻件尺寸均在工艺要求范围之内, 外观质量无明显缺陷, 冷态毛坯尺寸稳定性好, 由其机加工试验情况可知, 轮箍锻件完全满足其交货图样的加工, 由此证明了上述锻轧工艺的稳定性与可靠性。

4. 模具通用化选配

经过一段时间多品种大批量环件产品的锻轧生产, 将常见的几类环件产品进行分类 (见附表), 使得产品系列化。

针对以上产品分类尺寸, 设计出专用的预成形工步模具 (上下成形模)、冲孔工步模具 (上下冲孔模具)、轧制工步模具 (上下斜辊)、精整工序模具 (上夹紧环、下定位模) 及卸料工步模具 (脱模吊钩及座环), 其余模具均为火车轮产品的通用模具。由于环件结构尺寸的特殊性, 以上的模具对常规的环件产品均可适用。模具选配一般流程: 分类识别→轧制工步模具选配→精整工步模具选配→冲孔工步模具选配→卸料工步模具选配→成形工步模具选配。

通用化模具设计与选配, 节省了模具的生产制造周期, 提高了生产效率, 降低了制造成本, 使得产品完全适合中小、大批量生产, 极大地提高了利润空间。

常用环件尺寸分类

类别	高度尺寸/mm
A	110~120
B	>120
C	>130
D	140~150

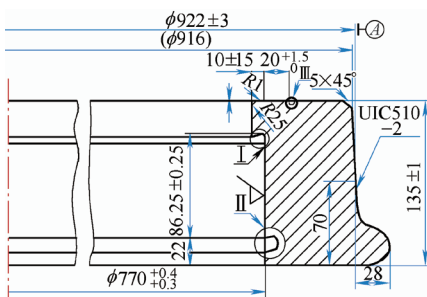
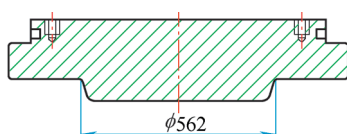


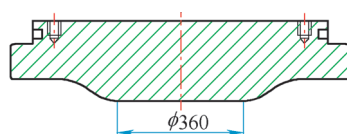
图3 轮箍产品交货图



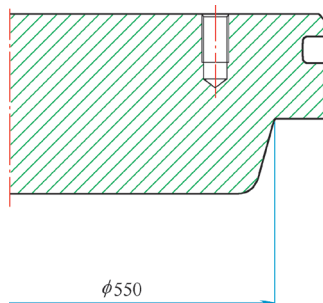
图4 轮箍外圈沟槽实物



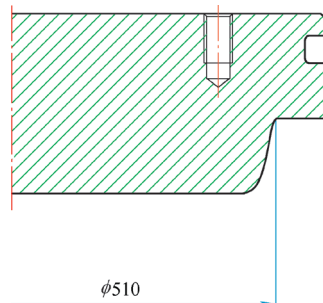
(a) 更改前上压痕模尺寸



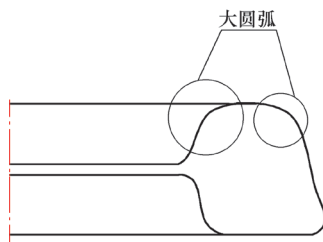
(b) 更改后上压痕模尺寸



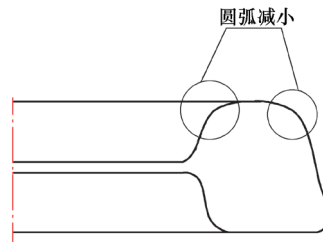
(c) 更改前上成形模尺寸



(d) 更改后上成形模尺寸



(e) 更改前预成形坯形



(f) 更改后预成形坯形

图5 模具更改及预成形坯形变化示意

5. 结语

充分利用现有火车轮生产线, 研制出环形类锻件, 通过制订特殊锻轧工艺, 克服了现有设备生产该类产品的“先天性”缺陷, 更重要的是, 实现了模具通用, 这在模锻领域里无疑是一项长足的进步。该方法生产的环形类锻件有较好的“组织”组织纤维, 保证了产品内在质量, 获得了性能优良的环件毛坯。经过几万件产品的生产实践, 获得了较高的合格率, 证明了该锻轧工艺

的稳定可靠性, 是极为切实可行的生产方案。

环件类产品的成功开发, 下料重量较低, 节省了模具的制造成本, 缩短了生产周期, 极大地提高了利润空间, 这完全满足降本增效的经济发展形势, 适应市场的需求, 实现了我公司轮轴产品的多元化, 增强了市场的竞争力。

作者简介: 张鹏、侯沛云、白辉东, 太原重工轨道交通设备有限公司研发中心。

MW 20160815