



乘用车曲轴自动线锻造 工艺研究

■ 岳镇

与传统锻造线相比，自动线生产效率，产品一致性好，劳动强度低，符合节能减排、绿色锻造的发展理念，适应日益增长的乘用车锻钢曲轴市场的需要。

一汽锻造曲轴自动线主机为韩国JAEWOO40MN热模锻压力机（见图1），上下料采用机器人，各工位间采用6轴步进梁传递。主要生产品种为EA211 1.4T、EA888 gen3 1.8T、2.0T等德系锻钢曲轴，年产量80万件以上。

1. 成形压扁工艺

自动线曲轴锻造成形分为压扁、预锻、终锻工步（见图2）。相比于传统锻造线，自动线锻造工艺增加了压扁工步。压扁工步采用成形压扁方案，为预锻的制坯工步。

（1）作用 ①去除氧化皮，提高锻件表面质量。②平衡各工步打击力，实现用小设备生产大产品。③减小预锻变形量及变形能量，降低预锻模具磨损，实现同步换模。

（2）设计原理 ①压扁、预锻、终锻三个工步的变形比约为0.4 : 0.9 : 1。②在预锻件基础上进一步模糊设计，微小特征不做

出以防止啃料折叠。③飞边厚度设计为10mm，平衡块采取劈料台设计（见图2），目的有二：减少压扁变形量；存储足够的金属利于预锻件充满。④压扁模要设计定位（见图3绿色区域），使坯料在压扁时位置一致。⑤压扁下模大小头外侧设计高度4mm左右挡墙（见图3红色区域），作用有二：延缓金属向外侧流动速度，改善平衡块充满；减小两端飞边，避免因锻件大小头外侧飞边过大而与钳指干涉。

（3）差异化设计 40MN自动线主机一工位上模没有顶出结构导致压扁上模粘件严重。针对此情况对压扁上下模进行差异化设计（见图4）：上模：两端面及各平衡块劈料台拔模角加大 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ；下模：将两端面拔模角改为 0° 。

2. 半封闭式封料结构应用

为适应自动化生产需要，锻

模大小头外侧采用半封闭式封料结构（见图5）。

（1）作用 对锻件两端飞边形状进行规整（见图6），避免与钳指发生干涉。封料效果



图1 40MN曲轴自动线主机

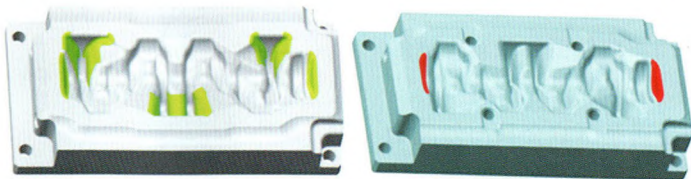


(a) 压扁 (b) 预锻 (c) 终锻

图2 压扁、预锻、终锻工步件设计方案对比



图3 自动线曲轴压扁模示意



(a) 压扁上模

(b) 压扁下模

图4 压扁上下模差异化设计

好,有利于乘用车曲轴W1、W8平衡块的充满。

(2) 设计原理 如图7所示,凸起部分(挡墙)在下模,凹进部分(仓部)在上模。好处是能够有效地约束金属流动,获得期望的飞边形状。封料间隙要小于桥高。

封料间隙过大,则封料效果欠佳,影响锻件充满;封料间隙过小,则锻打力大幅上升,导致模具寿命降低及设备非正常损耗。封料高度的选取要考虑两点:步进梁钳指的厚度及安装高度;设计封料高度时要预留出二、三工位钳指的动作空间,避免运动时与飞边干涉。

封料仓部要大于桥高,作用是:容纳多余金属,防止飞边仓部受力。

3. 阻力墙应用

曲轴两端之外的飞边不会对自动化生产造成影响。平衡块等难充满部位多采用阻力墙(见图8绿色区域)设计。

(1) 阻力墙与半封闭式封料结构对比 ①没有规整飞边作用。②封料效果与半封闭式结构相近。③产生的锻打力上升幅度远小于半封闭式封料结构,在锻压机负荷吃紧的情况下优先考虑。

(2) “L”形阻力墙 锻打成形时,型腔两端金属有三个流动方向(见图8红色箭头),在坯料长度方向上向型腔外侧流动速度最快,因此,W1、W8平衡块是乘用车曲轴锻件最难充满的部位。

为了遏制两端金属向外流动的速度,在大小头外侧半封闭式结构基础上。另在锻模W1、W8平衡块型腔外侧设计“L”形阻力

墙(见图8)。

(3) “对称”阻力墙 传统工艺仅在平衡块型腔外设置阻力墙,这种单侧阻力墙对充满作用有限。采取“对称”阻力墙之后,在金属向型腔外流动的每个方向上都设置了阻碍,促使金属向型腔内流动,封料效果好,有利于平衡块充满。

(4) 设计原理 ①阻力墙设计与半封闭式结构类似,下模凸起部分为阻力墙,上模凹进部分为阻力沟(见图9)。②封料间隙 δ 取值一般要小于桥高(飞边厚度),如锻模桥高5mm时,阻力墙封料间隙取3~4mm为宜。③封料倾角 α 一般取 $15^\circ\sim 20^\circ$,倾角越小,封料效果越好。④后倾角 β 较为自由, $20^\circ\sim 60^\circ$ 均可,视具体情况而定,后倾角的取值几乎不影响封料效果,在空间允许的

情况下,建议选择较大的倾角,以增加阻力墙本身的强度。⑤阻力墙宽度 L 关系到封料效果及阻力墙强度,一般应取10mm以上(不含圆角)⑥ s 取10mm左右为宜。 H 一般应 $\geq$ 桥高,比如桥高5mm时, H 可取6mm。⑦ h 取值大小对封料效果影响不大,但是与打击力密切关联,一般应取 $\geq$ 桥高,甚至可以完全放开间隙。

4. 气孔应用

一汽锻造自动线量产的德系大众锻钢曲轴平衡块尺寸大,形状复杂,充满难度大。实际生产中由于压扁、预锻工步件平衡块充满差(见图10),导致终锻件充满困难。

对现生产预锻件的实际充满情况进行调研之后,在气孔应用上进行了如下改进:

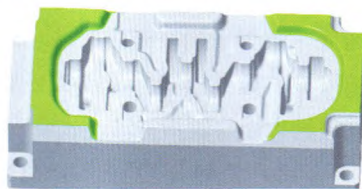


图5 半封闭式封料结构



图6 半封闭式结构预锻件飞边

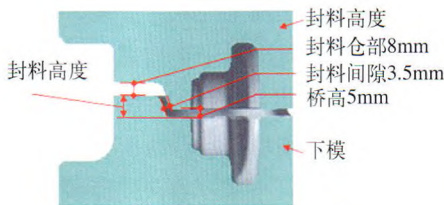


图7 半封闭式封料结构设计原理

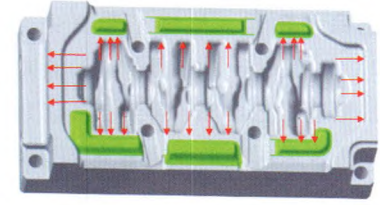


图8 锻模阻力墙及金属流动方向示意

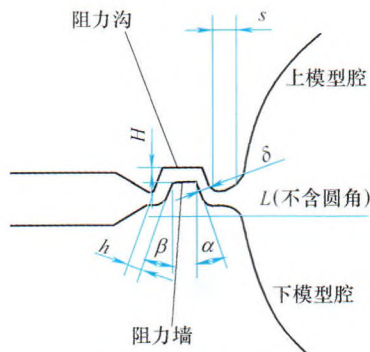


图9 阻力墙设计原理



图10 实际生产中的压扁件、预锻件充满情况

(1) 在充满比较差的预锻平衡块型腔增加气孔 如在EA888 gen3 2.0T 曲轴预锻W1、W2、W8型腔内增加 $\phi 3\text{mm}$ 气孔(见图11)。由于该曲轴上述三个平衡块在预锻时充满较差,不会出现金属充入气孔导致终锻形成折叠的情况。

(2) $\phi 3\text{mm}$ 气孔下接同心 $\phi 8\text{mm}$ 气孔 $\phi 8\text{mm}$ 气孔的存在能够有效避免 $\phi 3\text{mm}$ 气孔被脱模剂、氧化皮等堵塞,并且能够大幅降低气孔的加工难度。粗气孔深度的选择要依据分块式模具翻新下落高度确定。模具翻新到最小厚度时, $\phi 3\text{mm}$ 气孔应保留20mm深为宜(见图12)。

(3) 在镶块座顶面以及底面均设计制造出专用排气槽 使型腔内多余空气、脱模剂等通过排气槽实现与外界联通,防止气孔堵塞及模具底面,镶块座顶面、底面堆积石墨(见图13)。

5. 终锻局部飞边减薄研究

根据切边力经验公式(见附表)可知切边力 $F=1.4C\sigma h$ 。切边力大导致曲轴切边变形量大。减小飞边厚度是降低切边力最有效的途径。

对平衡块、W8凸台等部位进行局部飞边减薄设计(见图14),飞边厚度由6mm改为4mm,既有效地降低了切边力(见附表),又有利于平衡块充满,同时也不会造成终锻打击力明显上升,可谓一举三得。

6. 热收缩率研究

一汽锻造自动线工艺开发初期采用与传统锻造线一样的热收缩率1.015。在生产过程中发现,由于自动线的节拍、工艺、模具

工作环境等均与手工线存在较大差别,1.015收缩率并不适用。收缩率选择不当带来以下后果:

(1) 切边时热锻件外形与凹模刃口不匹配,导致锻件切边变形量大,切边质量差,返工率高。

(2) 锻件冷却后实际加工余量与理论值相差较大,导致曲轴轴向内侧加工余量大,外侧加工余量小,严重时甚至会导致加工干涉或留黑皮。

通过大量锻件尺寸数据分析摸索自动线曲轴轴向及径向尺寸收缩特点,并结合用户加工反馈,确定收缩率采用轴向1.108,径向1.105,经验证完全适用于自动线工艺,彻底解决了以上问题。

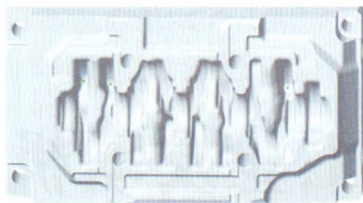


图11 预锻模气孔位置示意

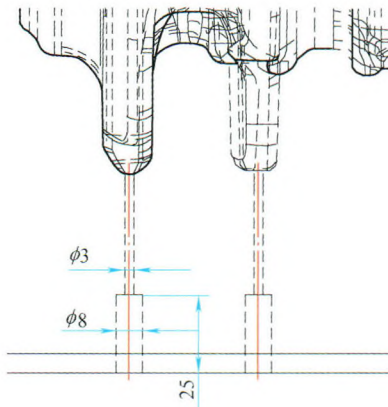
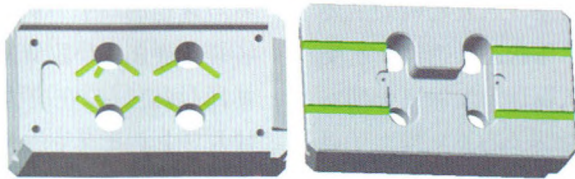


图12 气孔设计尺寸



(a) 镶块座顶面排气槽 (b) 镶块座底面排气槽

图13 镶块座顶面/底面排气槽示意

切边力经验公式—适用于40MN曲轴自动线

常数	切边周长C (以1.8T为例) /mm	切边应力 $\sigma/\text{kg}\cdot\text{mm}^2$ (不同温度下)			飞边h /mm	切边力F/kN		
		1050℃	1000℃	950℃		1050℃	1000℃	950℃
1.4	1974.05	7	8	9	6	1160	1330	1490
1.4	1974.05	7	8	9	4	770	880	990
1.4	987	7	8	9	6	580	660	750

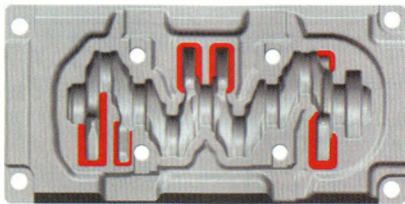


图14 终锻飞边局部减薄示意

7. 结语

重点介绍了一汽锻造40MN曲轴自动线锻造工艺相比于传统工艺所采取的一些创新及改进,希望藉此文抛砖引玉,和锻造同行们开发交流,共同进步。

(未完)

作者简介:岳镇, 一汽锻造(吉林)有限公司。

MW 20170708