

和谐 2 型电力机车 978 齿轮坯锻轧成形工艺研究

太原重型机械集团有限公司 (山西 030024) 侯沛云 魏华成 张磊

铁路技术装备现代化赋予了我公司轮轴产品新的发展机遇。铁路机车传动机构用齿轮毛坯, 无论从其结构、尺寸特点, 还是需求数量上分析, 对太重车轴锻轧生产线都具有很好的适宜性与充分性。因此, 适应新的经济发展形势, 进一步开拓齿轮坯市场, 开发齿轮坯系列产品, 是实现太重轮轴产品多元化的重要策略。

和谐 2 型大功率电力机车由中国北车大同机车公司与法国阿尔斯通公司联合设计、合作生产, 经过引进技术消化吸收由该公司实现国产化制造。该机车为 8 轴交流传动, 每轴功率 1200kW, 总功率 9600kW, 最高时速可达 120km, 是目前国内功率最大的电力机车, 代表着世界重载快速货运领域的最高水平。在众多形式的齿轮坯中, 和谐 2 型大功率电力机车采用的 978 齿轮坯形状

结构较为复杂、成形最为困难, 它的成功开发对于太重轮轴产品打入铁路齿轮坯市场具有重要意义。

978 齿轮坯使用材质为 18CrNiMo7-6, 其熔炼分析的具体成分为: $w_c = 0.15\% \sim 0.21\%$, $w_{si} \leq 0.40\%$, $w_{Mn} = 0.50 \sim 0.90$, $w_p \leq 0.035\%$, $w_s \leq 0.035\%$, $w_{Cr} = 1.50\% \sim 1.80\%$, $w_{Ni} = 1.40\% \sim 1.70\%$, $w_{Mo} = 0.25\% \sim 0.35\%$ 。由用户提供毛坯交货图纸, 原始坯料形式为钢锭浇注后锻至圆棒并作退火处理, 交货状态为毛坯或粗加工交货。这将对锻轧成形齿轮坯的成形效果、表面质量和尺寸精度都提出了更高层次的要求。

1. 978 齿轮坯锻轧成形工艺难点分析

太重公司车轮热成形生产线是最为典型的“模锻 + 轧制联合成形”的火车轮专用生产线, 其主要工艺流程

口上, 因此在生产过程中要及时清理, 否则容易将工件压坏。

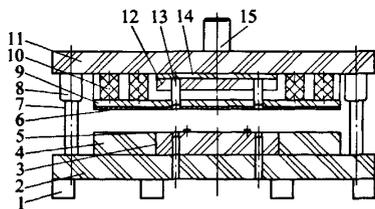


图 4 焊片剪切模

1. 下垫块 2. 下模板 3. 凹模 4. 垫块 5. 挡料销
6. 硅胶橡皮 7. 导柱 8. 导套 9. 压料板 10. 聚氨酯
11. 上模板 12. 凸模固定板 13. 凸模
14. 上垫板 15. 模柄

口磨损较快, 间隙大则钢丝切不断。经生产验证, 取凸、凹模单边间隙为 0.07mm 比较合理。

(2) 在冲压过程中, 冲头先受到钢丝的挤压, 因此冲头必须有足够的淬火硬度 (60~62HRC), 否则刃口磨损较快, 影响生产效率。

(3) 冲切废料为短钢丝头, 容易被凸模带出落在刀

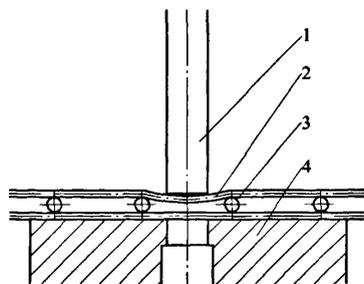


图 5 剪切过程示意 (略去压料板和橡皮)

1. 冲头 2. 钢丝 3. 薄壁钢管 4. 凹模

3. 结语

经过 20 万件的生产证明, 该工艺和模具使用效果良好, 完全能满足用户要求, 可以达到预期目的。MW

(20100328)

为：60MN 压机锻粗、初成形→10MN 压机冲孔→七辊轧机扩径轧制→30MN 压机辐板压弯。对于现有装备来说，和谐 2 型大功率电力机车 978 齿轮坯的结构尺寸具有很显著的特殊性（见图 1）。若按照常规程序进行生产，在锻轧过程中齿轮坯有些部位将超出压机、上下料机械手等设备的极限行程，在转运过程中也由于其结构尺寸的特殊性而使运送困难甚至受阻，这给锻轧成形带来很大的难度，主要体现在以下几个方面。

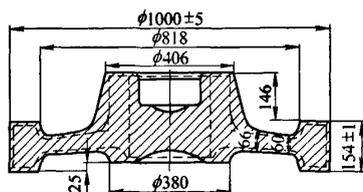


图 1 978 齿轮坯锻件

(1) 轮形较大 首先 978 齿轮坯轮径较大，热态锻件外径达到 1012mm，6000t 压机预成形时所需成形力较大，成形时容易产生成形不到位，轮毂、轮辋等部位充填不足。

(2) 轮毂过长 978 齿轮坯轮毂过长，热锻件总体高度达 300mm。这个高度尺寸超出了 1000t 压机的冲孔行程而导致芯料无法冲落，更重要的是由于该尺寸超过辊道与上冲孔模具之间的垂直距离而使轮坯无法通过，不能到达冲孔位而失去 1000t 压机完成冲孔工序的可能性。

如果轮坯不进行冲孔，不但给机加工造成困难，更由于其轧制后外径较大，加之热处理退火炉门前上空布满桁架，无法使用行车与外起吊夹钳完成锻轧、热处理工序之间的转序。这种现实的矛盾只有通过制定锻轧工艺时采取特殊措施才能得到解决。

(3) 轮毂对称性差 978 齿轮坯结构尺寸特殊性还表现在：轮毂长度相对轮辋、辐板的对称性极差。该齿轮坯一侧的轂辋端面间的距离为 25mm，而另一侧的轂辋距却为 149mm，轮毂过长而又严重的结构不对称性，如果按照常规方式进行设计，必定造成成形时金属向一侧轮毂面过早充填饱满，而另一侧却因模腔太深而严重缺肉甚至根本无法充填。这种结构的特殊性必须通过特殊、科学、合理的锻轧成形工艺作为前提保证。

(4) 轧制量小 978 齿轮坯的轧制工序是在七孔卧

式轧制机上进行的，其轧制模具结构原理如图 2 所示。相对常规的火车轮而言，978 齿轮坯轮辋外径较大，轮辋厚度较大而轮辋内径较小，加之轂、轂严重的不对称性，使图中所示 S 值过小，容易使斜轂与轮辋发生干涉而造成轮辋的伤损；同时使该齿轮坯锻轧成形时的轧制量太小，仅为约 25mm，轧制后外径、轂端面交接处会出现较大圆角，极易使外径、轂端面处产生黑皮或明显缺肉。为避免这种缺陷，需对轧制工艺、参数进行特殊的规定与调整。

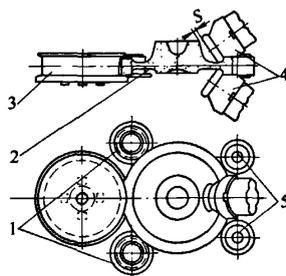


图 2 978 齿轮坯轧制模具结构

1. 左、右导向轂 2. 轧制轮坯 3. 主轂
4. 上、下轧边轂 5. 左、右压紧轂

(5) 装备、工装受限 由于 978 齿轮坯尺寸结构的特殊性，现有装备、工装条件如 1000t 压机的挡料架开档、轧机上料机械手与运输辊道之间的距离、轧机上料机械手钳口高度、锻轧成形后入热处理退火炉前的倾斜辊道的高度开档、起吊工具的夹持范围等，成为 978 齿轮坯试制时必须考虑并妥善处理的问题。

(6) 材料氧化皮粘性大 由于该齿轮坯所用材质为高淬透性钢，加热后坯料生成的氧化皮厚且不易去除，锻轧时若将氧化皮压入，成形脱落后容易在轮坯局部形成缺肉或黑皮。这需在氧化皮的去除问题上进行特殊处理。

2. 978 齿轮坯锻轧成形工艺的制定与模具设计

针对 978 齿轮坯上述工艺难点，我公司技术人员经过认真分析，多次进行现场测量，查阅设备图样，创新性地设计出锻造、轧制工艺方案。其锻轧工艺流程为：锻粗、成形部分轮辋→齿轮坯初成形→轧制→整形、冲孔（如图 3 所示）。其特殊性主要体现在以下几点：

(1) 轮毂分步成形 针对 978 齿轮坯轮毂过长，且轮毂长度相对轮辋、辐板的对称性极差，造成轮毂一侧成形困难的问题。该工艺方案创新性地设计出采用分步成

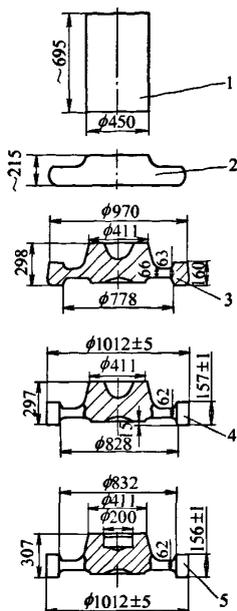


图3 978 齿轮坯热成形工序

1. 钢坯 2. 缴粗、成形部分轮毂
3. 初成形
4. 轧制 5. 整形及冲孔

形法对其轮毂进行成形，即首先在缴粗工位压出一定高度的轮毂，再于成形工位继续成形出其余部分轮毂，这样使其变形阻力得以分散，轮毂可得到良好的充填。缴粗时成形轮毂部位的高度及坯料本身的缴粗高度需经严密的计算来决定。978 齿轮坯缴粗、初成形模具结构如图 4、图 5 所示。

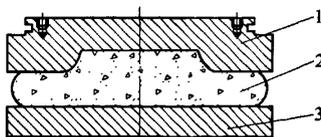


图4 978 齿轮坯缴粗、成形部分轮毂模具结构

1. 上缴粗模 2. 坯料 3. 下缴粗模

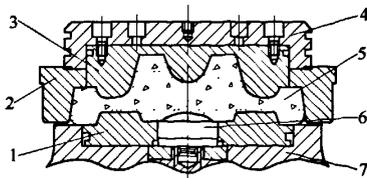


图5 978 齿轮坯初成形模具结构

1. 下成形模 2. 成形环 3. 上成形模 4. 上成形模座
5. 初成形轮坯 6. 顶出器 7. 下工作台

(2) 确定成形方向 一般轮坯在 6000t 压机上缴粗、成形时，成形方向为外侧朝上、内侧朝下。对于 978 齿轮坯，如果在 6000t 上将轮毂较长的一端向下放置，则缴粗后对中装置很难将压出的一定高度的轮毂完全从下缴粗模中抬起而置于下成形模上，而且下缴粗模的中央凹陷部位的直径与钢坯直径很接近，这将使坯料在下缴粗模上很难放置平稳，无法保证缴粗的轴对称而使轮坯产生严重的偏心而报废。

为改变上述状况，将 978 齿轮坯轮毂较长的一端向上放置，这样不仅使坯料的放置平稳度不受影响，而且缴粗时，成形的一定高度的轮毂在成形时逐渐与上成形模相应部位相贴合，对坯料起到良好的导向、定位作用，相对减小了齿轮坯的偏心。

(3) 确定冲孔方式 鉴于 978 齿轮坯结构尺寸的特殊性，受现有生产装备的局限性，在 1000t 压机上没有完成冲孔工序的可能性。但如果轮坯不进行冲孔，在现有运送、吊具条件下，将无法将轮坯移至热处理炉进行退火处理。鉴于上述原因，制定锻轧工艺时在 6000t 成形后利用上、下成形模将轮坯中心压制成窝状，而在 3000t 整形工序中将上压弯模中心设计为一定长度的直圆柱面，在对轮坯轮辋进行整形、辐板进行成形的同时，将轮毂外侧窝形向下压制出约 50mm 高的直孔圆柱面，利用此圆柱面可以使用常规内孔撑吊装工具，将该齿轮坯吊至倾斜辊道，之后可以按常规程序使用机械手撑内孔，将轮坯直接进入炉进行退火。3000t 压机整形模具结构如图 6 所示。

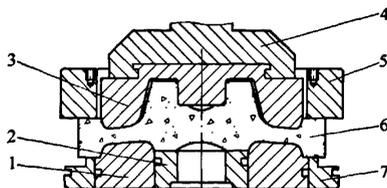


图6 978 齿轮坯整形模具结构

1. 下压弯模 2. 下中心模 3. 上压弯模 4. 上模夹持器
5. 上夹紧环 6. 齿轮坯热锻件 7. 下夹紧环

(4) 几项特殊规定 为使 978 齿轮坯的锻轧成形达到理想效果，在锻轧工艺执行过程中做出几项特殊规定：

第一，为使轧制时轮辋成形良好，规定将主轧辊压力提高到 6~8MPa。

第二,为防止热量流失造成金属变形抗力升高,规定使用机械甩链而不使用高压水进行去除氧化皮。

第三,为确保锻轧过程运送、夹持顺利,设计更换专用的轧机上、下料钳爪等。

3. 978 齿轮坯锻轧工艺试验

在确定较为严密的工艺方案基础上,进行了 978 齿轮坯锻轧工艺试验。因 978 齿轮坯的制造材料为 18CrNiMo7-6,其价格较为昂贵,为节约试验成本,978 齿轮坯的初次试制采用 60 钢,规格为 $\phi 450\text{mm} \times 695\text{mm}$ 的连铸钢坯。

在锻轧过程中规定遵循以下几项操作要点:

(1) 6000t 压机压力;由于 NK978 齿轮坯的轮毂过长,外径较大,故所需成形力很大,因此要求试制时高压水压力需在 28MPa 以上。

(2) 从成形到轧制:轮坯在 6000t 压机成形后,由运输辊道运送至轧机上料位;为确保轮坯顺利通过 1000t 压机,须拆除 1000t 压机模具及其夹持器,并将挡料架抬起,同时适当调整挡料臂的挡距,以使轮坯不受碰撞;轧机上料机械手需更换专用短钳爪,以确保上料机械手平稳夹持轮坯至轧制位。

(3) 从轧制到整形:轧机下料机械手须更换专用长夹爪,齿轮坯完成轧制以后,由轧机下料机械手夹持运转至 3000t 压机下压弯模按正常工序进行辐板成形。

在 978 齿轮坯的锻轧工艺试验过程中,第一件因压出飞边未进行轧制,且外侧轮毂严重缺肉,成形极不理想;通过调整锻粗高度,第二、三件外侧轮毂充填明显改善,经现场测量,理想的锻粗高度应调整为 215mm。通过对上述 3 件轮坯的锻轧试验,已达到理想的外侧轮毂成形效果,其他尺寸均比较容易控制,故取消其坯料的锻轧。对后两件冷态毛坯车轮进行测量,毛坯尺寸比较理想,符合设计要求;对该毛坯进行粗加工,满足了图样加工要求。由此可知,本套锻轧工艺模具的设计基本达到了理想效果。

4. 978 齿轮坯的试制与锻轧工艺改进

在 978 齿轮坯的锻轧工艺试验获得满意效果后,使用 18CrNiMo7-6 坯料进行试制,数量为 7 件。为节省制造成本,在正式坯料前先装入两块 60 钢坯料用于模具预热和轧制孔型的工艺调整。

在锻轧试制后齿轮坯的加工过程中发现,由于采用压弯工步压制轮毂孔,外侧轮毂面相应部位产生向内凹陷,使个别齿轮坯轮毂孔壁或端面产生少量黑皮。针对上述问题,将上成形模、上压弯模做了改进,在初成形时先将轮毂端面孔边缘处预成形出一定角度的斜面,如图 7 所示,确保压弯成形后外侧轮毂面平整,消除了齿轮坯轮毂孔壁或端面缺陷。

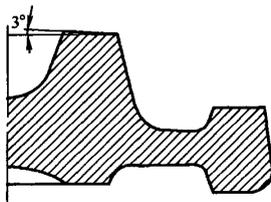


图 7 改进后初成形示意图

我公司使用改进后的模具进行了 20 件 978 齿轮坯的锻轧,获得了满意的成形效果,并满足了粗加工交货的要求。由此可知,使用本套锻轧工艺、模具进行 978 齿轮坯的批量生产已具备条件,在日后进行的该齿轮坯的批量锻轧生产中,其良好的外观形状、表面质量、尺寸精度等更好地说明了这一点。

5. 结语

针对和谐 2 型电力机车 978 齿轮坯轮毂过长且轮毂对称性差、轧制量小、装备与工装受限等成形工艺难点问题,我公司创新性地采取了轮毂分步成形、改变成形方向、加大主辊压力、改变冲孔方式等特殊工艺措施,使这种不适合在本条车轮线上生产的齿轮坯得以成功开发,并实现了从锻轧工序到热处理工序的顺利运转。这将为同类齿轮坯采用该工艺进行大批量生产提供重要依据。

在机车齿轮中,和谐 2 型电力机车属于形状最复杂、成形最困难的品种。经过 600 多件 978 齿轮坯的生产实践,获得了较高的产品合格率,证明该锻轧工艺、模具的稳定可靠性,是极为切实可行的生产方案。

和谐 2 型电力机车 978 齿轮坯成形工艺的成功开发对我公司适应新的经济发展形势,实现轮轴产品多元化,以及进一步扩大发展空间等具有极其重要的现实意义。MW

(20100418)