

厚板料复杂弯曲件的成形加工

叶俊勇

杭州东华链条集团有限公司 浙江杭州 311100

摘要：通过对托板弯曲成形的工艺分析，介绍了大尺寸、高强度、弯曲复杂的厚板料在弯曲成形中的特点。分析了采用热加工工艺加工工件时压弯凸模与压弯凹模的设计要点，并为类似零件的成形提供参考。

关键词：厚板弯曲；工艺分析；热加工温度；热胀冷缩

1 序言

制造业中，板料弯曲工艺占比大。模具设计人员与工艺师主要是依赖经验与技巧来制定工艺与模具结构，在实际制造过程中会出现一些缺陷，只能靠反复试模给予修正。有些特殊的产品成形，设计师与工艺师如果缺少这方面的经验，投入生产前的验证工作量与试错成本就会增大。如果预先了解该产品的成形特性与加工方法，就能制定合理的模

具结构与制造工艺，提高产品的一次成功率。现通过对以下产品的分析，结合实践中的经验，为此类产品的工艺与模具结构的确定提供理论依据。

2 零件工艺分析

图1所示为某造纸厂自动化输送生产线上的装载工具——纸卷托板，其外形尺寸为350mm×180mm×61mm，材料采用Q345。从使用要求来看，它具有以下特点。

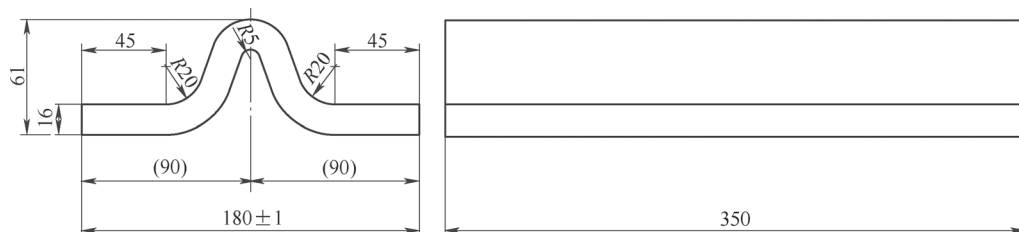


图1 纸卷托板

1) 板件装配示意如图2所示，要求配合精度高，压弯尺寸达到图样要求，托板的压弯凹槽部位与输送线上的配件配合度好，以保证输送线顺畅、灵活地转动。

2) 要求表面粗糙度好，表面不应有压弯裂痕。

3) 由于链板厚度厚，压弯力大，所以需要的压力机吨位高。由公式可计算出钢板原材料弯曲力，计算过程如下。

$$F_1 = \frac{0.7Kbt^2\sigma_b}{r+t} = \frac{0.7 \times 1.3 \times 350 \times 16 \times 16 \times 550}{5+16} \text{ N}$$

$$2135466 \text{ N}$$

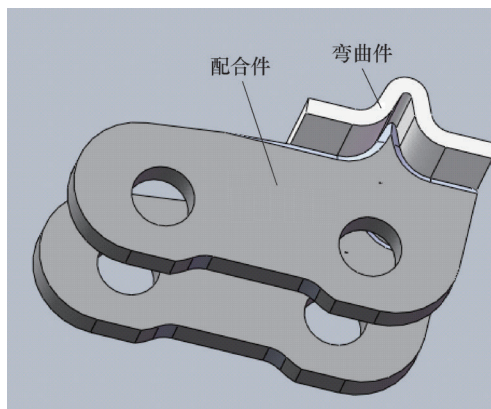


图2 板件装配示意

式中, F_1 为弯曲力(N); K 为安全系数; b 为板件宽度(mm); t 为板件厚度(mm); r 为板件内弯曲半径(mm); σ_b 为板件的强度极限(MPa)。

经过计算可知弯曲力为2135.466kN, 因此, 该弯曲件需选用吨位>218t的压力机, 使所需的弯曲力小于所选用的压力机吨位, 从而满足零件成形的压力要求。

在车间现有的设备情况下, 无法满足此零件的加工。要想在现有条件下生产出合格的产品, 就必须采取措施降低弯曲力或改用其他加工方法。降低弯曲力的方法最常用的有两种——退火和加热。针对板厚大的工件弯曲, 根据生产实践中的经验可知, 材料退火加工后存在两大缺陷: 一是在弯曲变形过程中, 工件容易开裂, 弯曲质量不够理想, 会导致产品质量不稳定; 二是不能形成快速反应, 退火工件需到热处理车间装炉等待3天时间。经分析和多次试验, 决定采用加热压弯来完成, 加工1000片工件时加热压弯与退火压弯的对比见表1。加热压弯可以弥补退火压弯的不足, 既可以得到稳定的工件质量, 又无需到热处理车间等待较长时间, 工人可随时把工件烧红进行压弯。而退火压弯会导致产品因内应力过大而发生断裂, 且部分产品的尺寸达不到要求, 产生很多次品。其工序为: 零件烧红→压弯成形。

表1 加热压弯与退火压弯对比(加工1000片工件)

	加热压弯	退火压弯
时间/h	3.3	72(包括热处理装炉等待)
次品数量/片	0	300
合格率(%)	100	70

3 零件材料分析

(1) 热压弯的加热温度 钢材的塑性不是一成不变的, 而是随着温度的变化而变化, 在一个合适的温度下进行弯曲变形, 所需的弯曲力较小, 加工相对容易。但也不是所有的加热温度都可以选用, 需要对加热温度进行合理的选择。在100~400℃的温度范围内, 钢的塑性不好, 在理论上属于蓝脆温度, 并不利于加工造型, 因为在塑性差的情况下, 任何加工都容易产生加工缺陷。在该零件的加工现场, 选择将链板加热到1000℃左右进行压弯。在良好的塑性条件下, 零件不仅可以一次压弯成形, 而

且表面光滑, 没有裂纹产生。

(2) 压弯力分析 表2为不同材料在加热状态下的抗剪强度, 由表2可知, 随着加热温度的增加, 钢的抗剪强度随之大幅度减小, 所需的压弯力也随之减小。

表2 不同材料在加热状态下的抗剪强度(单位: MPa)

材料牌号	加热温度/(℃)					
	200	500	600	700	800	900
Q195	360	320	200	100	60	30
Q215						
Q235	450	450	240	130	90	60
Q255						
Q275	530	520	330	160	90	70
Q295	600	580	380	190	90	70

在加热状态下压弯, 查表可知, Q235的抗剪强度可取60MPa, 带入公式计算弯曲力 F_2 。

$$F_2 = \frac{0.7Kbt^2\sigma_b}{r+t} = \frac{0.7 \times 1.3 \times 350 \times 16 \times 16 \times 60}{5+16} \text{ N} = 232960 \text{ N} \quad 232.96 \text{ kN}$$

弯曲力为232.96kN, 板料比较容易成形, 吨位为24t的压力机即可满足要求。经现场实践, 车间现有的160t压力机完全满足板料压弯成形需求, 模具现场装配情况如图3所示。



图3 模具现场装配情况

4 加热压弯过程中的注意事项

(1) 加热过程控制 零件是在烧红后进行压弯加工的, 由于三个压弯处一起成形加工, 材料变形比较严重, 因此必须要使三个压弯处均匀受热, 冷却时也要均匀冷却, 才能减少尺寸变形。所以在加

热工件时，不能一次性加热所有零件，可在压力机边上安装好加热感应设备，工人将一片工件加热到规定温度后，立马在压力机上压弯成形，再自然冷却，接着循环往复地进行下一片加工。

(2) 模具尺寸的控制 合模如图4所示，在压弯过程中，凸起的顶端部分最先接触到板料，顶端的变形是弯曲变形与拉伸变形的复合过程，加热后的材料有热胀冷缩的特性，这一特性对零件弯曲成形的尺寸控制有很大影响，模具尺寸需要考虑这部分变形。这就需要知道材料在不同的温度下的线胀系数，但是该线胀系数没有固定数值，一般随着温度的升高而变大。钢的线胀系数值在 $(10 \sim 20) \times 10^{-6}$ 。压弯上模与压弯下模的具体尺寸如图5和图6所示。

1) 压弯上模。考虑到材料的热胀冷缩问题，深度尺寸设定为48.5mm，比产品要求尺寸增加了3mm。在实际生产中，通常采用试模与经验积累的

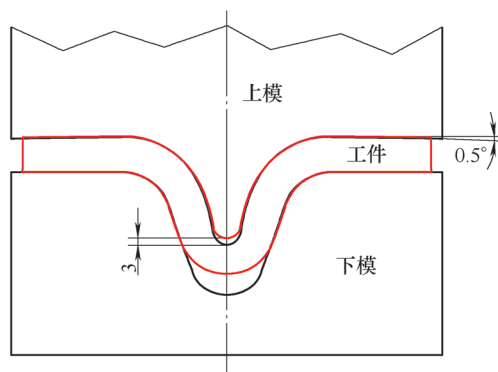


图4 合模示意

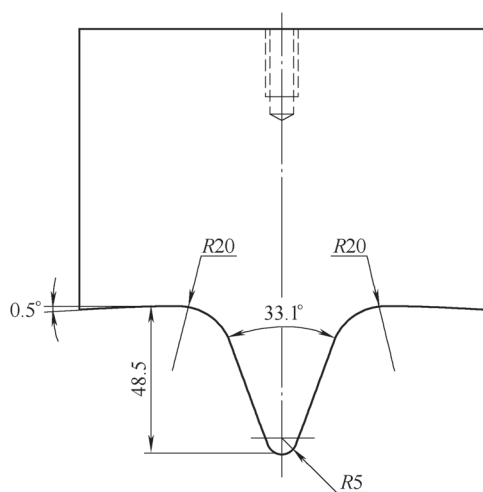


图5 压弯上模

方式预留余量，3mm刚好是材料的回弹量。水平方向设置了一个0.5°的回弹角，保证零件压弯后的平面度。

2) 压弯下模。由图6可以看出，R16mm与深度55mm处的尺寸与产品成形要求的尺寸不符，这是因为产品凸起的深度与顶尖圆弧的尺寸取决于压弯上模的尺寸，所以在压弯凹模的尺寸处理上可以让出一定的成形空间。

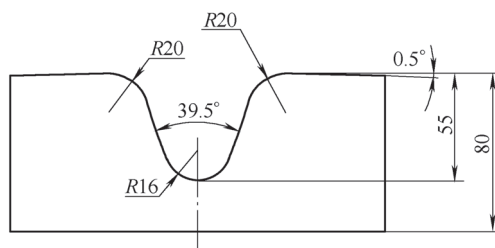


图6 压弯下模

5 结束语

厚板弯曲成形若采用退火工艺，在弯曲变形时容易产生裂纹，从而生产出不合格的产品。通过把链板加热至840℃左右进行压弯，提高板料的塑性，零件可以一次压弯成形，得到优质的产品，不仅合格率高，而且所需的弯曲力会大幅下降，减缓工厂的设备压力。该产品已投入批量生产，质量稳定，对于类似的厚板料弯曲成形有一定的参考价值。

参考文献：

- [1] 王孝培. 冲压设计资料[M]. 北京：机械工业出版社，2002.
- [2] 张组军，刘继光. 厚链板热冲压加工[M]. 新技术新工艺，2006 (2)：11-12.
- [3] 张云，黎军硕，李爽，等. 模具热导率对热冲压成形工艺影响的数值研究[J]. 材料热处理学报，2013 (S2)：234-241.
- [4] 惠战军. 厚板料零件弯曲成型中的弹性变形分析及研究[D]. 西安：西安石油大学，2011.
- [5] 李亨，夏冲冲，赵运运，等. 工艺参数与模具参数对大型厚板弯曲件弯曲角度的影响[J]. 模具工业，2015 (7)：14-18.
- [6] 高军，张国强，吴恩启，等. 弯曲件成形工艺及其模具设计[J]. 航空制造技术，2002，(8)：5-76.