

保证钣金件折弯质量的工艺措施

张宏震 杨旭红

(中车永济电机公司,山西 永济 044502)

摘 要 本文以亚威和 AMADA 数控折弯机为例,重点介绍了不同形状折弯件如何选择折弯机设备和上下模具的类型,设定合理的折弯工艺参数,以及操作过程中常见问题的原因和解决措施,供我公司折弯机操作人员和工艺人员参考。

关键词 折弯质量 折弯工艺参数 折弯系数

0 引言

数控折弯机是金属板料折弯成型加工的一种通用设备,可用较简单的模具折出多种形状的制件,还可作冲切,浅拉伸等,广泛用于航空航天、汽车电子、铁路机车、工程机械等行业。折弯工序作为大多数零件成形(除焊接工序外)的最后一道工序,也是最重要的一道工序,各类仪器、配电柜、设备的机箱、面板及控制柜等基本都是由钣金零件折弯而成,其形状复杂多样,加工困难,工件之间的互换性要求较高,合理的折弯工艺直接影响到产品最终成形尺寸和外观。

针对如何保证折弯件产品质量,本文根据铆焊车间实际情况出发,介绍了数控折弯的一些相关知识,并从工艺角度对折弯生产中的一些常见问题给出相应的解决方案。

1 折弯前准备

1.1 板料的质量要求

材料及厚度等要求与图纸相符。

表面无锈迹及氧化物。

无明显划伤。

边缘不得有毛刺。

表面平面度应符合要求。

同批次板料厚度应相同。

材料的塑性,抗拉强度等力学性能应符合要求。

1.2 分析图纸获取相关信息

1.2.1 选择折弯机类型

根据零件的形状选择适用的折弯设备:

当下垂直边较大时,应选用亚威折弯机,以防止折弯时板料与折弯机发生干涉。

折弯角度为锐角、使用段差模对 Z 形折弯件折弯、以及压边拍平模应选用适用的模具在 AMADA

折弯机进行折弯。

根据零件的折弯长度及板厚和材质计算折弯压力以选择不同吨位的折弯机。

1.2.2 选择上模和下模

根据零件的形状板厚图纸上标出的内圆角半径及折弯工艺选定适用的上模及其圆角半径 R。

根据零件的板厚选定适用 V 槽宽度的下模。

根据零件的材质选定下模 V 槽的角度。

1.2.3 决定折弯类型

一般尺寸的 Z 形折弯件应考虑下模进深以防干涉,尺寸较小时应选用专用段差模进行折弯。

下垂直边也应考虑下模高度和下模进深。

箱体折弯应考虑上模高度防止干涉或成型后无法出模。

在 U 形折弯时,应根据三边尺寸比例选择适用的上模。

翻边成型和箱体折弯时可使用分段模并考虑是否干涉。

压边折弯时应选用锐角模及拍平模。

离折弯线较近的孔应注意折弯变形。

2 折弯机的操作

数控折弯机主要由床身、滑块、后挡料、液压系统、模具、托料机构、安全防护装置、电气系统等组成。操作前应熟悉说明书各项内容,熟悉了解机器的主要结构、操作方法及安全维护注意事项。

2.1 影响折弯件精度的因素

影响折弯件精度的因素很多,其中板厚是否均匀,板料的硬度,折弯机工作台和滑块在折弯时的变形,所选用模具的开口大小,下死点的设定值,系统选用的压力,模具的磨损,都会造成工件在折弯后的角度和直线度的误差,另外,操作者的操作能力,准确的折弯系数,合理的折弯顺序,料长的计算,精确

的测量器具等也会影响到折弯件的精度,所以在折弯工作中,操作者应充分考虑上述因素,以保证产品质量。

2.2 根据图纸要求,板料厚度,材质等选择适用的模具

2.2.1 上模的选择

(1) 上模类型的选择

选用何种上模是由工件的形状决定的,这是因为在折弯时,模具与工件之间不得干涉,例如在 U 形折弯时,应根据三边尺寸比例选择适用的上模,一般情况下如底边尺寸大于等于另外两道直角边,可选用框用上模,若底边小于其他两边应选用鹅颈上模。为防止折弯时零件与模具干涉,造成零件变形或报废,可在 AMADA 折弯机上利用图形界面功能来模拟检测。

(2) 上模圆角半径 R 的选择

工件的外圆角半径主要由下模的 V 型槽宽度决定,而上模的圆角半径 R 也有一定的影响,上模的圆角半径 R 一般取与板厚相同或略小一些,然而近年来为了能使上下模准确对正,及上模尖端磨损等原因往往推荐使用 R0.6mm 的上模。

在折硬铝等塑性较差的零件时,为防止断裂或产生裂纹,应选择圆角半径和 V 形槽尺寸较大的上下模,另外在折弯线两端应设计止裂孔。

(3) 上模尖端角度的选择

除了 90° 上模外,在折回弹量大的 SUS, AL 或中厚板时,按照材料回弹的大小可选择 88°—86° 的上模,此外应选择相同角度的下模。

2.2.2 下模的选择(1) 下模 V 形槽宽度的选择

V 形槽宽度的选择主要是根据板厚, V 宽越大,所需折弯压力越小,一般情况下,较薄板料常取:

$$V = 6t$$

V—下模 V 形槽宽度

t—板厚

表 1 普通下模 V 形槽宽度与板厚的选定(单位:mm)

t(板厚)	0.5—2.6	3—8	9—10
V 槽宽度	6t	8t	10t

另外还要考虑零件折弯尺寸,当尺寸较小时,若下模 V 形槽宽度较大,折弯时板料顶端因无法与 V 形槽两肩同时接触受力就会滑入 V 形槽中,导致无法成型。

折弯直角边最小尺寸与 V 形槽宽度的关系为:

$$b = 0.7V$$

b—折弯直角边最小尺寸

V—下模 V 形槽宽度

表 2 折弯直角边最小尺寸与 V 形槽宽度对应表

b	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
V	2.8	4.2	5.6	7	8.4	9.8	11.2	12.6	14	16.8

(2) 下模形状的选择

下模一般分为单槽下模和双槽下模,单槽下模使用灵活方便,双槽下模稳定性较好,应根据实际情况来决定适用的下模,另外还有一些特殊形状的,如段差模,压边拍平模以及折圆弧的弹性橡胶下模等。

(3) 下模的 V 形槽的角度

V 形槽按照角度分为直角下模和锐角下模,锐角下模常用的是 30° 和 45°,直角下模常用的有 88° 和 90°,标准下模为 88°,其选择依据是根据材料的性质以及回弹量来确定。当材料抗拉强度较大及回弹量较大,如不锈钢或者较薄的板料,应选用 88° 下模,普通低碳钢和铜等较软的材料可选用 90° 下模。

影响回弹的因素:

①与材料性质有关,在模具相同和材料厚度相同条件下的回弹量: SUS > AL > SPCC;

②在模具相同和材料相同条件下回弹量:薄板 > 厚板;

③相同材质折弯内圆弧半径 R 较大者回弹量大;

④折弯压力越大,则回弹量越小。

2.2.3 折弯压力与模具耐压

(1) 模具耐压值

由于模具可承受的压力是有限的,所以在折弯时施加的压力必须小于模具耐压值,耐压值会刻印在模具的表面,其表示办法为每米能承受压力的最大吨位数,由于模具长度的不同其耐压值也随之变化。

例如:长度 835mm 的模具,其刻印的模具耐压值为 700kN/m,最大允许施加的压力为 $700 \times 0.835 = 584.5\text{kN/m}$

(2) V 形槽折弯压力的计算

V 形折弯压力相关因素:

①与折弯线长度成正比;

②与材料的抗拉强度成正比;

③与板厚成平方关;

④与下模 V 形槽宽度成反比。

从实验值得出的折弯压力计算公式:

$$P = K \times L \times t^2 \times \sigma \div V$$

P—折弯压力 (ton/m)

K—修正系数

L—折弯长度(m)

σ —材料抗拉强度(kgf/mm)

t—板厚(mm)

V—下模 V 形槽宽度(mm)

例如:厚度 2mm 折弯长度 1m,抗拉强度 45kgf/mm 的钢板,下模 V 宽 12mm,其折弯压力为:

$$P=1.4 \times 1 \times 2 \times 45 \div 12=21(\text{ton})$$

表 3 V 形槽宽度与折弯压力补正系数对照表

V	5t	6t	8t	10t	12t
K	1.45	1.4	1.33	1.28	1.2

注:不同材质折弯压力也不相同,AL 为 0.8K,SUS 为 1.5K。

2.3 折弯顺序的设计

除了选择适用的模具,设计合理的折弯顺序也是非常重要的。

常规的折弯顺序:

(1)先短边后长边,一般来说,四边都折弯时,先折短边后折长边有利于工件的加工和分段模的拼装。

(2)先外围后中间,正常情况下,一般是从工件的外围向工件的中心折。不过如果工件形状特殊,例如瓦楞板这种在截面上有多道弯曲的的工件,则必须使用亚威折弯机,从中间依次向两边折方能完成折弯。

(3)先局部后整体,如果工件上有一些不同于其他折弯部分的结构,一般是先将此部分折完再折其他部分。

(4)先复杂后简单,如果工件上有一部分的结构形状比较复杂,而其他部分较简单,一般是先把复杂折完再折简单的的部分。

(5)考虑干涉情况,合理安排折弯顺序,应根据具体情况适当调整。

在 AMADA 折弯机操作时,为防止干涉,可在操作面板上利用“形状新建”功能来设定折弯顺序检查干涉,避免造成零件变形或报废。

2.4 关于偏置折弯

在可行的情况下,折弯时工件应尽可能在机器中轴线对称放置进行折弯,这样操作比工件偏置折弯精度更高,而且可以避免由于偏载对机器的不利影响,如果必须偏置折弯,建议折弯吨位不超过总吨位的 30%。

3 折弯工艺参数

3.1 最小弯曲半径

材料弯曲时,其圆角区外层受到拉伸,内层受到

压缩。当材料厚度一定时,折弯内圆角越小,材料的拉伸和压缩比就越大,当外层圆角的拉伸应力超过材料的极限强度时,就会产生裂纹或折断,因此折弯件的结构设计,应避免过小的弯曲圆角半径。

弯曲件的最小弯曲圆角半径与材料的力学性能、表面质量、硬化程度及纤维方向等因素有关。最小弯曲圆角半径只有在产品设计需要时才采用,一般情况下采用弯曲内圆角等于或略小于板料厚度。

3.2 折弯系数

表 4 本车间采用的 90°折弯系数表(单位 mm)

材料	板厚	折弯系数	上模	下模
镀锌板	1.5	0.375	1.5	10
镀锌板	2	0.5	2	12
镀锌板	3	0.75	3	18
镀锌板	4	1	4	25
低碳钢	1.5	0.375	1.5	10
低碳钢	2	0.5	2	12
低碳钢	3	0.75	3	18
低碳钢	4	1	4	25
铝板	1.5	0.375	1.5	10
铝板	2	0.5	2	12
铝板	3	0.75	3	18
铝板	4	1	4	25
不锈钢	1.5	0.2	1.5	10
不锈钢	2	0.2	2	12
不锈钢	3	0.5	3	18
不锈钢	4	0.5	4	25

在下料前,首先要确定板料的展开长度,由于折弯时板料外层受到拉伸变长,内层受到压缩变短,只有中性层的长度不变,在理论上料长就等于中性层的长度。然而实际上,同样厚度的板料,由于材质和硬度的不同,延展性也不同,在折弯时硬度大的材料由于延展率较小,拉伸变形较小,中性层就靠外,硬度小的材料延展率较大,拉伸变形大,中性层就靠内,由于中性层位置的变化必然会影响到展开长度,所以在计算展开料长时就需要折弯系数来补正。

折弯系数就是板料在折弯后被拉伸的长度。除了板料材质以外,板料的厚度,折弯的角度,上模的圆角半径,下模的 V 形槽宽度,以及不同厂家的模具和折弯机都对折弯系数有影响。由于受到上述多

种因素的影响,折弯系数的计算比较复杂,通过查阅大量的有关钣金加工手册,也没有查到明确的公式来计算折弯系数。

在折弯件料长计算时,工艺人员往往都是凭经验确定折弯系数,或者利用 PROE 等软件来自动计算板料的展开长度。

在实际生产中,如果没有给出折弯系数,可以采用试折法,即采用与折弯件相同材质的试刀料,使用相同模具进行折弯,测量成型后尺寸,以此来确定材料的折弯系数。

3.3 折弯件孔边距离

预先加工好孔的毛坯料,在弯曲时如果孔位于弯曲变形区内,那么孔的形状在折弯后会拉伸变形,折弯件的直边尺寸 b 也会发生变化。为了避免孔位分布在折弯变形区内,孔边距离 b (折弯后外边至孔边的最近距离)一般应保证 b 不小于 3 倍板厚。对于平行于弯曲线的长腰形孔,为保证折弯精度和防止孔位变形,孔边距离一般应不小于 4 倍板厚。

如果孔位必须要分布在变形区内时,为保证精度,一般采用先加工小孔折弯后再扩孔,以达到要求,也可在折弯位置冲工艺孔或缺口来转移变形区。

3.4 折弯件直边高度

对于 90° 弯曲,为便于成形,工件直角边高度 b 不能小于 2 倍板厚 t 。如果设计需要弯曲件的直边高度 $b < 2t$ 则首先要加大弯边高度,待弯曲成形后再加工到需要尺寸;或者在弯曲变形区内加工浅槽后再折弯。

对弯曲侧边带有斜角的弯曲件即弯曲变形区域在斜线上时,由于斜线末端直线高度低,弯曲后工件会发生变形。因此弯曲侧边的最小高度应满足 $b > 2t$, 否则应增加弯曲件直边高度或改变零件结构。

3.5 折弯件的弯曲方向

确定弯曲方向时应尽量使毛坯的冲裁断裂带处于弯曲件的内侧,避免断裂带内的微裂纹在外侧拉应力的作用下扩展成裂口。如果受零件结构限制必须正反面两个方向折弯时,则应尽量加大弯曲半径或采用其他工艺措施。

板料的各向异性对弯曲变形也有一定影响,特别是对塑性较差的材料,在许可情况下应尽量使工件的弯曲线与板料纤维方向垂直,否则当弯曲线与纤维方向平行时,弯曲件外侧易形成裂纹。如果必须多方向弯曲时,则应使弯曲线与纤维方向成一定角度。

3.6 折弯件的回弹

弯曲件的回弹是指当弯曲结束外力撤去以后,零

件产生与弯曲力相反的回弹现象,使弯曲件发生形状与尺寸的改变。回弹的程度通常用弯曲后零件的实际弯曲角与模具弯曲角的差值即回弹角的大小来表示。

影响回弹的因素很多,与材料的力学性能、相对弯曲半径、工件形状、模具间隙,以及弯曲时的压力等有关。由于影响回弹的因素较多,理论分析计算复杂,一般来讲折弯件的内圆角半径与板厚之比越大,回弹就越大。

目前控制弯曲件的回弹的主要方法有选用下模预留回弹角,采用 88° 或 86° 的 V 形角度或折弯时增加校正压力来解决。

4 折弯常见问题及解决措施

4.1 折弯尺寸不符合图样要求

表 5 折弯尺寸不符合图样要求

原因:	解决措施:
板料展开尺寸不准确	调整折弯系数,重新计算展开尺寸
定位尺寸不准确	调整后定位挡料
多次折弯时的累积误差	选择合理定位基准,消除累积误差

4.2 折弯角度过大或过小

表 6 折弯角度过大或过小

原因:	解决措施:
压力不合适	调整压力
材质参数选择错误	调整材质参数
下模 V 型槽宽度不合适	选用合适的 V 形槽宽度下模

4.3 折弯角度不一致

表 7 折弯角度不一致

原因:	解决措施:
机床上下模具高度不一致	调整楔块高度
模具磨损不一致	调整模具一致

4.4 折弯尺寸不一致

表 8 折弯尺寸不一致

原因:	解决措施:
后定位挡料距模具中心不一致	调整机床后定位挡料位置
材料扭曲变形	校正材料变形

4.5 零件加工中发生干涉,折弯成形不能全部完成

表 9 零件加工中发生干涉,折弯成形不能全部完成

原因:	解决措施:
折弯机类型选择不合适	选择合适的折弯机
折弯时模具配置不合适	重新配置合适的模具
折弯顺序不合理	更改折弯顺序
结构设计不合理	更改结构设计

4.6 板料弯角处有裂纹

表 10 板料弯角处有裂纹

原因:	解决措施:
弯曲内半径太小	选择较大圆角半径 R 的上模
材料纤维方向与弯曲线平行	改变下料时工件的排料方向
板料的毛刺面在弯曲角外侧	毛刺改在折弯件的内侧 或打磨毛刺
材料塑性差	在折弯线两端设计止裂孔, 选用塑性好的材料或退火处理

5 结语

本文结合本车间折弯设备情况介绍了数控折弯机的操作,从工艺加工的角度对钣金折弯相关工艺参数进行了分析,对如何合理选择模具、设定折弯顺序,计算折弯力大小和折弯中常见问题给出了一定解答。

参考文献

[1]王洪光. 主编《冷作钣金工工作手册》. 化学工业出版社,2012 年.

[2]美华尔士著,傅水根等译《机械和钣金加工计算手册》机械工业出版社,2003 年.

[3]郭武龙. 主编《现代钣金加工技术》,华南理工大学出版社,2014 年.