

新型动车组小弯梁制作工艺

■ 中车南京浦镇车辆有限公司 （江苏 210031） 解瑞豹



扫码了解更多

摘要：针对新型动车组项目中小弯梁部件的加工难点，预先进行压力计算和工艺分析，采用激光切割下料和压弯成型的方法，并对试制过程中出现的问题制定了相应的解决方案。



小弯梁（见图1）是铁道客车车辆上的重要零部件，它的制造需要经过激光下料、压弯成形、钻孔和修磨止口等多工序周转，批量生产时采用模具冲压成型的方式。由于新型动车组是新造车，小弯梁也是第一次生产，并没有现成的模具可用，所

以用于生产小弯梁的压型模需要试制。小弯梁的生产工作主要在压铆车间，小弯梁压型模的试制工作也主要在压铆车间完成。小弯梁结构复杂，模具冲压成形过程中容易产生起皱、破裂和回弹等问题，在试制过程中尤其要注意。



图 1

1. 激光切割下料

新型动车组小弯梁采用数控激光切割下料的方式，一次可以在一张整板上套料切割出两种小弯梁的展开料，两种小弯梁的平面展开图如图2所示。

数控激光切割与传统的手工切割相比有许多优点：

（1）实现了切割下料的自动化。铆焊生产的下料过程，多年来一直接放样、号料、切割或剪切等工序进行，并以手工操作为主，工序多、效率低。数控激光切割完全代替了手工下料的几个工序，实现了切割下料的自动化，提高了下料的生产效率，减轻了工人的劳动强度。

（2）切割精度高。数控切割件的切割表面粗糙度值可达 $Ra=12.5\sim 25\mu m$ ，尺寸误差可 $<1mm$ 。精确地切割下料，保

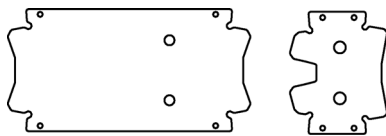


图2 两种小弯梁平面展开图

证了同类零件尺寸形状的一致，在装配时无需对零件进行修理切割。良好的切割质量使以前手工切割后、为保证零件尺寸和切割面质量而进行的机械加工工序被免去，减少了机械加工工作量，提高了生产效率，降低了生产成本。

(3) 提高了铆焊生产效率。精确地切割，使装配后得到坡口间隙均匀、准确，又减小了焊接变形，使焊后矫正变形的工作量减少。数控切割为整个铆焊生产过程效率的提高打下了良好的基础。

(4) 提供了新的工艺手段。数控切割除了具有自动切割零件的功能外，还可以配置多种辅助功能。如喷粉划线器、标记冲窝器以及全（半）自动旋转三割炬等。

2. 压弯成形压力机床的选择

压力机床的选择主要依据是压弯力与压延力的大小。其中小弯梁成形材料为05CuPCrNi 高耐候结构钢板材，厚度为2mm，并采用U形接触弯形的方式压弯。

(1) 压弯力的计算。为使材料能够在足够的压力下成形，必须计算其压弯力。在生产中常

用经验公式计算压弯力，如表1所示，其中， F 为压弯力（N）； c 为系数，取 $c=1\sim 1.3$ ； b 为弯形件的宽度（mm）； t 为弯形件的厚度（mm）； σ_b 为材料的抗拉强度（MPa）； L 为凹模槽口两支点间距离（mm）； K 为系数，取 $K=0.3\sim 0.6$ ； $r_{\text{凸}}$ 为凸模圆角半径（mm）； A 为校正部分投影面积（mm²）； q 为单位面积上的校正力（N/mm²），如表2所示。

(2) 压延力的计算。压延力的计算与压延件的形状、尺寸和材料性质有关，一般采用经验公式。

压延封头时压延力 F 的计算公式为

$$F \approx e K \pi (D_0 - d) t \sigma_b^0$$

式中， F 为压延力（N）； e 为压边力影响系数，无压边时 $e=$

1，有压边时 $e=1.2$ ； K 为封头形状影响系数，椭圆形封头 $K=1.1\sim 1.2$ ，球形封头 $K=1.4\sim 1.5$ ； D_0 为坯料直径（mm）； d 为封头平均直径（mm）； t 为封头壁厚（mm）； σ_b^0 为材料的高温抗拉强度，如表3所示。

压延中，为防止材料起皱而采用压边圈时，压边力必须适中。压边力太小起不到防皱的作用，压边力太大又易引起材料拉裂。压边力 Q 可用下式计算

$$Q = A q \approx \pi q (D_0^2 - (D_{\text{凹}} + 2R_{\text{凹}})^2) / 4$$

式中， Q 为压边力（N）； A 为压边面积（mm²）； $D_{\text{凹}}$ 为凹模内径（mm）； $R_{\text{凹}}$ 为凹模工作圆角半径（mm）； q 为单位压边力，对于钢来说， $q=0.011\sim 0.0165\sigma_b^0$ ，热压时取下限，冷

表1 计算压弯力的经验公式

弯形方式	经验公式	弯形方式	经验公式
V形自由弯形	$F = c b t^2 \sigma_b / (2L)$	U形自由弯形	$F = K b t \sigma_b$
V形接触弯形	$F = 0.6 c b t^2 \sigma_b / (r_{\text{凸}} + t)$	U形接触弯形	$F = 0.7 c b t^2 \sigma_b / (r_{\text{凸}} + t)$
V形校正弯形	$F = A q$	U形校正弯形	$F = A q$

表2 单位面积上的校正压力 q 值

材料	材料厚度/mm			
	<1	1~3	3~6	6~10
铝	15~20	20~30	30~40	40~50
黄铜	20~30	30~40	40~60	60~80
10~20钢	30~40	40~60	60~80	80~100
Q235A、25~30钢	40~50	50~70	70~100	100~120

表3 常见钢材的高温抗拉强度 σ_b^0 （ $\times 10^7$ Pa）

材料	加热温度/℃											
	20	600	650	700	750	800	850	900	950	1 000	1 050	1 100
Q235A	38	17	13	10	7.5	6.5	7.5	6.5	6.5	4.5	4.0	3.2
10钢、15钢	38	21	—	11	7.5	7.5	—	7.0	—	5.0	—	3.5
20钢、25钢	42	—	—	15	10	—	—	8.5	—	6.0	—	—
30钢	—	24	—	14	12	9.5	—	7.6	—	5.7	—	3.5
20g	41~43	22	—	12.2	—	8.3	—	7.3	6.0	5.0	—	3.8
22g	41~43	—	20	15	12	10	9.8	8.6	—	6.0	—	4.4
18MnMoNb	60~67	—	—	—	—	9.6	—	7.7	5.8	4.7	—	—
14MnMoV、20MnMoV	—	—	—	—	—	—	—	8.0	6.5	—	—	—
1Cr18Ni9Ti	55	—	—	32	—	15	—	8.5	—	5.0	—	2.0

压时取上限。

当采用压边圈压延时，总的压延力应包括压边力，即 $F_{\text{总}}=F+Q$ 。

经过对小弯梁的精确计算，确定630t四柱万能液压机满足要求。

3.压弯模的制作

压弯模的结构形式，根据工件的形状、精度要求及生产批量等级进行选择，最简单且常用的是无导向装置（利用压床导向）的单工序压弯模。这种压弯模可以整体铸造后加工制成（见图3a、图3b），也可以利用型钢焊

制（见图3c、图3d），或由若干零件组合、装配而成。

冷作工所用的压弯模多采用焊接制成，并且尽量少用或不用切削加工零件。这样制作方便，可以缩短模具制造周期，还可以多利用生产边角料，降低生产加工成本。

当采用接触弯形时，压弯模的制作应考虑以下几个方面。

（1）压弯模具工作尺寸的确定。压弯模具工作部分的结构形状如图4所示。凸模的圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 和角度，根据弯形件的内圆角半径，用弹复修正后确定。凹模非

工作圆角半径 $r_{\text{凹}}'$ ，应取小于弯形件相应部分的外圆半径（ $r_{\text{凸}}+t$ ）。其他尺寸如表4所示。

U形件弯形时，凸模与凹模的间隙值 Z 可按下式确定

$$Z=t_{\text{max}}+ct$$

式中， t_{max} 为材料最大厚度（mm）； c 为系数，按表4选取； t 为材料名义厚度（mm）。

（2）解决弹复问题。压弯成形时，材料的变形由弹性变形过渡到塑性变形，通常材料在发生塑性变形时，总还有部分弹性变形存在。弹性变形部分在卸载（除去外弯矩）时，要恢复原

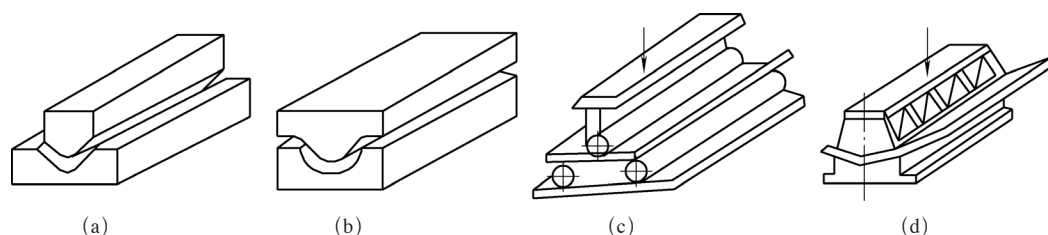
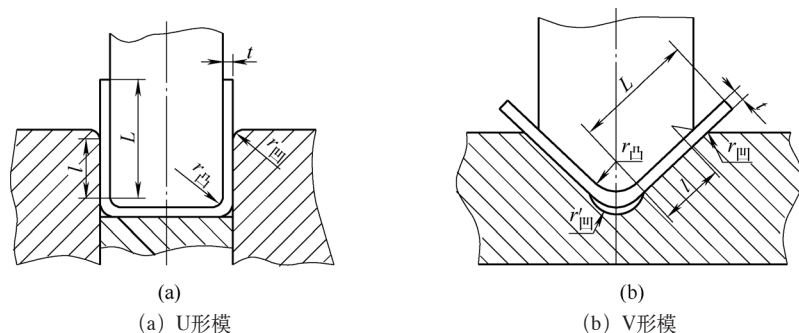


图3 压弯模具结构形式



(a) U形模 (b) V形模

图4 压弯模工作部分结构

表4 压弯模工作部分尺寸及系数 c

L/mm	板厚t/mm											
	<0.5			0.5~2			2~4			4~7		
	l/mm	$r_{\text{凹}}/\text{mm}$	c	l/mm	$r_{\text{凹}}/\text{mm}$	c	l/mm	$r_{\text{凹}}/\text{mm}$	c	l/mm	$r_{\text{凹}}/\text{mm}$	c
10	6	3	0.1	10	3	0.1	10	4	0.08	—	—	—
20	8	3	0.1	12	4	0.1	15	5	0.08	20	8	0.06
35	12	4	0.15	15	5	0.1	20	6	0.08	25	8	0.06
50	15	5	0.2	20	6	0.15	25	8	0.1	30	10	0.08
75	20	6	0.2	25	8	0.15	30	10	0.1	35	12	0.1
100	—	—	—	30	10	0.15	35	12	0.1	40	15	0.1
150	—	—	—	35	12	0.2	40	15	0.15	50	20	0.1
200	—	—	—	45	15	0.2	50	20	0.15	60	25	0.15

态,使弯曲材料内层被压缩的金属又有所伸长,外层被拉伸的金属又有所缩短,结果使弯形件的曲率和角度发生了变化,这种现象叫做弹复。弹复现象的存在,直接影响弯形件的几何精度,在弯形加工中必须加以控制。

影响弹复的因素有:①材料的力学性能。材料的屈服点越高,弹性模量越小,加工硬化越激烈,弹复也越大。②材料的相对弯形半径 r/t 。 r/t 越大,材料的弹复程度越大,反之则弹复越小。③弯形角 α 。在弯形半径一定时,弯形角 α 越大,表示变形区的长度越大,弹复也越大。④其他因素。零件的形状、模具的构造、弯形方式及弯形力的大小等,对弯形件的弹复也有一定的影响。

接触弯形或校正弯形,主要靠模具解决弹复问题,其措施如下:①修正模具形状。在单角弯形时,将压模角度减少一个弹复角。在U形弯形时,将凸模壁做

出等于弹复的倾斜度或将凸模与凹模底部做成弧形曲面,利用曲面部分的弹复补偿两直边的张开(见图5a)。当弯曲弧较长时,则多采用缩小模具圆弧半径的办法。②采用加压校正法,在弯形终了时进行加压校正,可使圆角材料接近受压状态,从而减少回弹。此外,利用增加压边装置和尽量减小模具间隙的办法,也可以在一定程度上减少回弹。

(3)定位与防止偏移。弯形加工时,不但毛坯材料要实行定位,而且要防止弯形过程中,由于毛坯材料沿凹模滑动所受到的摩擦阻力不等,引起毛坯材料的左右偏移(不对称的弯形件,这种现象尤其明显)。

弯形前,通常采用定位板或利用毛坯料上的孔来定位。防止弯形过程中毛坯料偏移,多采用毛坯料装置。当然,在利用毛坯料上的孔定位的同时,也防止了偏移(见图6)。

(4)最小弯形半径。材料

在不发生破坏的情况下,所能弯曲的最小曲率半径,称为最小弯形半径。材料的最小弯形半径,是材料性能对弯形加工的限制条件。在压型小弯梁时,如果压型半径 $<$ 最小弯形半径,那势必会使小弯梁破坏。采用适当的工艺措施,可以在一定程度上改变材料的最小弯形半径。

影响最小弯形半径的因素有:①材料的力学性能。材料的塑性越好,其允许变形程度越大,则最小弯形半径越小。②弯形角 α 。在相对弯形半径 r/t 相同的条件下,弯形角 α 越小,材料外层受拉伸的程度越小,而不易开裂,最小弯形半径可以小些;反之,弯形角 α 越大,最小弯形半径也应增大。③材料的方向性。轧制的钢材形成各向异性的纤维组织,钢材平行于纤维方向的塑性指标大于垂直于纤维方向的塑性指标。因此,当弯曲线与纤维方向垂直时,材料不易断裂,弯曲半径可以小些。④材料

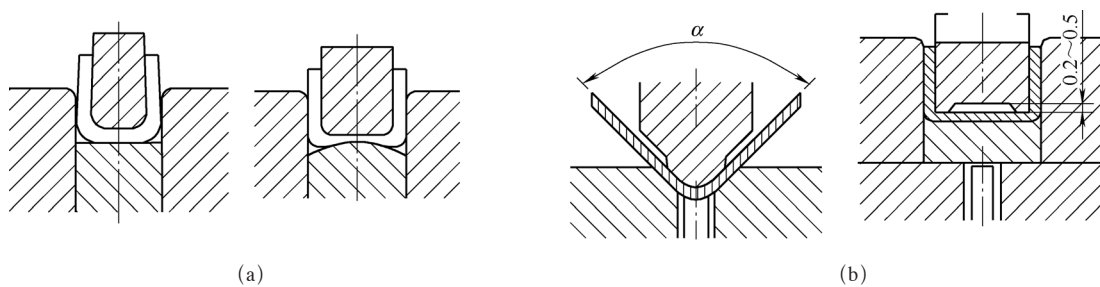


图5 利用模具结构、形状解决弹复问题

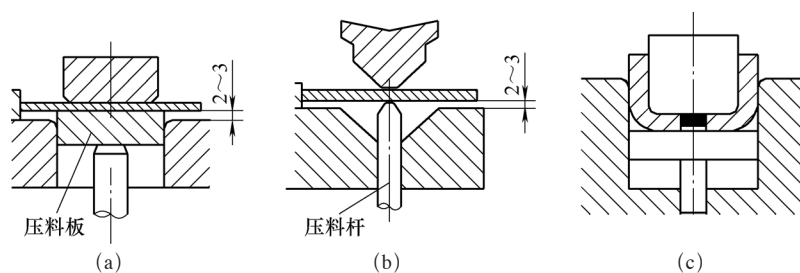


图6 防止坯料偏移的措施

的表面质量和剪断面质量。当材料的剪断面质量与表面质量较差时,弯形时易造成应力集中,使材料过早破坏,这种情况下应采用较大的弯形半径。⑤其他因素。材料的厚度和宽度等因素,也对其最小弯形半径有影响。例如,薄板料和窄板料可以取较小的弯形半径。

4.小弯梁压型

根据压弯力的计算,小弯梁的压型在630t四柱万能液压机上完成,压型过程中要注意压力机的使用方法。具体压型过程如图7所示。

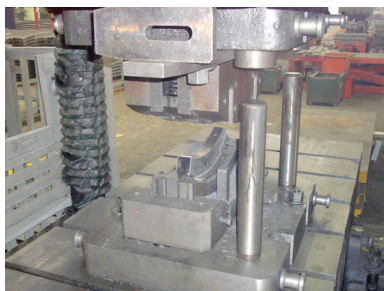


图7 小弯梁压型

5.工装验证及小弯梁胎模检测

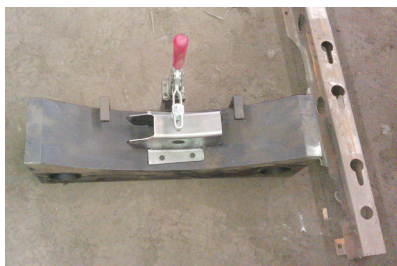
生产前,小弯梁压型模主要尺寸需要检查验证,检验小弯梁压型模是否满足工艺要求。小弯梁首件鉴定后,主要部位尺寸也需要检查。小弯梁还需上胎模检测,最大间隙不得超过0.6mm,如图8所示。

6.钻孔

小弯梁压型结束后,还需要钻孔,以用于塞焊及固定防寒材。常用的钻孔设备和钻孔工具有台式钻床、立式钻床、摇臂钻床及电钻等。这里选择台式钻床来钻孔。钻孔前,先用样冲将中心孔冲大一些,这样可使横刃预



(a)



(b)

图8 小弯梁胎模检测

先落入样冲眼的锥坑中,钻孔时钻头不易偏离中心。钻孔时,钻头必须对准钻孔中心。先试钻一浅坑,如钻出的锥坑与钻孔中心不重合,可及时予以改正。

7.修磨止口

最后,小弯梁需要修磨止口,以便于和车体其他结构联接。磨削工具主要有风动砂轮机和电动砂轮机两种。这里选择电动砂轮机来修磨止口(见图9)。修磨前要戴好护目镜,并检查砂轮有无裂纹或破碎,防护罩是否完好。修磨时,用力不得过猛,要平稳地上下、左右移动修磨。



图9 修磨止口

8.结语

本文对新型动车组小弯梁的制造工艺过程进行了分析,并对过程中常出现的问题提出了相应的解决方案。新型动车组很快就要大批量生产,本文只是对小弯梁这一零部件进行工艺分析,接下来还有很多内容要去做。但

是,有了这次对小弯梁工艺分析的基础与经验,必能推进其他各项工作的进展,并保证新型动车组生产任务的顺利进行。

参考文献:

- [1] 郑文杰.冷作工工艺学[M].4版.北京:中国劳动社会保障出版社,2014.
 - [2] 董湘怀.金属塑性成形原理[M].北京:机械工业出版社,2011.
 - [3] 杨叔子.机械加工工艺师手册[M].北京:机械工业出版社,2001.
- MW** (收稿日期:20180503)

专家点评

本例中的小弯梁结构复杂,模具冲压成形容易出现起皱、破裂和回弹等质量问题,作者在试制过程中预先进行压力计算和工艺分析,采用激光切割下料和压弯成型的方法,并在压弯过程中采取合理的工艺措施,有效解决了上述问题。文章主题明确,条理清晰,内容虽多却井然有序,具有很好的工艺基础和实用价值。