

160 公里动车组小弯梁开裂回弹及铆钉松动问题解决研究方法研究

周 权 杨庆宝 戴 明

中车南京浦镇车辆有限公司 江苏 南京 210032

【摘要】：160 公里动车组小弯梁是动车组的车顶大部件重要组成部分。其生产制造需要经过激光切割、弯曲成型、压型成型等多道工序。在制造过程中会出现多种多样的产品质量问题，在所有质量问题中最重要和最危险的问题就是压弯成型过程中出现的开裂。在这问题上进行研究如何有效防止开裂，在保证产品强度和符合产品工艺的情况下经行改善和调整模具等来预防产品出现的致命裂纹。针对压制过程中的变形和开裂问题制定了相应的解决方案。

【关键词】：弯梁端口开裂；弯梁整体回弹；激光下料；六角铆钉孔

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.082

1 小弯梁工件生产出现的问题

1.1 开裂

弯梁在拉伸过程中会导致板材变薄，局部硬化还会导致材料出来裂纹和开裂面，弯梁的裂纹和开裂是严重影响冲压件的质量和车体组成危险缺陷之一。

开裂产生的原因：弯梁因构件抗拉强度不足而引起的断裂，如局部应力过大导致冲模拐角处出现裂纹。

压型模具的角度大小，过大成型不足，过小导致板材出现裂纹等因素。延压力的大小，压力过强导致成型件薄弱区域产生剪裂带，弯梁产生大面积长裂纹。

弯梁的最小弯曲半径，弯曲过小也会产生开裂。如图 1-1



图 1-1

2 问题与方案

2.1 开裂问题

由于开裂是由局部区域的应变超出其极限值弯曲值而导致的，因此，在消除破裂现象应当遵循的原则就是改变切向摩擦力的分布和法向接触力，以降低破裂区域的拉应变值，工程上的做法一般有：（1）选择合理的坯料尺寸和形状。在板料成形过程中坯料的形状和尺寸会影响最终的成形件质量，比如在拉伸方筒时，首先采用方形坯料进行拉伸试验，如果出现破裂或开裂，可对坯料四个角进行适当大小的开口处理，则可消除开裂。（2）增加辅助工序（改变产品圆弧或斜度，增加整形或工艺切口）。在满足结构零件功能要求的前提下，适当的减小斜度或增大模具圆角可以减小材料在成形过程中存在流

动阻力，从而避免破裂。为了改善该区域的局部变形，避免断裂或开裂的发生，应将结构件的适当部位切除，使易开裂或开裂的区域从相邻区域得到必要的材料补充。（3）调整拉延筋参数或压边力。在拉延筋的使用可以防止凸缘的部位产生褶皱，但其副作用是增加材料进入模具的凹模的流动阻力。所以，不适当的拉延筋参数可能会导致流动阻力过于大，致使板材拉裂。（4）改善润滑条件。冲压成形的质量与润滑剂的关系尤为重要，不良的润滑剂或润滑条件选择不当都有可能导导致板材拉裂。（5）材料选择。用料方面：采用拉延性能较好的材料。减少应变方面：选择合理的坯料尺寸和形状，调整压料力，增加辅助工艺。润滑条件：改善如切口等，修改工艺补充面，调整拉延筋参数。合理的形状尺寸如图 2-1。



图 2-1

2.2 弹复问题

弯曲回弹影响弯曲件的质量，材料弯曲回弹是客观存在的，只有掌握好材料的回弹规律，尽可能准确的计量回弹值的大小，才能够有效的减少和控制材料的弯曲回弹。

压制过程中弯梁成型后回弹的影响经行分析。

影响弹复的因素有：（1）材料的力学性能。材料的机械性能。加工硬化越强烈，回弹越大。屈服点越高，弹性模量越小。（2）材料的相对弯曲半径 R/T 。 R/T 越大，回弹程度越大； R/T 越小，回弹程度越小。（3）弯曲角 α 。弯曲半径一定时，弯曲角 α 越大，变形区越长，回弹越大。（4）其他因素。弯

曲方式和弯曲力、模具结构和零件形状对弯曲件的回弹有一定的影响。

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形弯曲过程中，将冲头壁做成与回弹量相等的倾斜度，或将凹模和冲头底部做成弧面，利用弯曲面的回弹量补偿两直边的开口。当弯结构件曲弧较长时，则多采用缩小模具圆弧半径的办法如图2-2。（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，有效的利用增加压边装置然后尽量减小模具间隙的办法，也可以有效的在一定程度上减少回弹。利用模具结构、形状解决弹复问题。

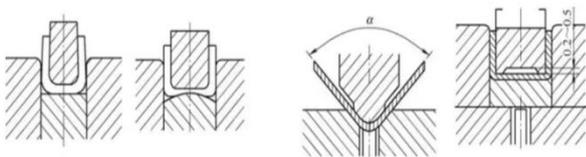


图 2-2

2.3 合适的压延力计算

轧结构板的轧制力的计算与轧制零件的整体尺寸和形状以及金属材料的性质有关。通常，使用经验公式。

压光头时，压光力 F 的计算公式为：

$$F \approx eK \pi (D_0 - d) t \sigma_b \theta$$

其中： F 是滚动力（N）； E 为边缘保持力的影响系数，无边保持时为 $E=1$ ，有保持边缘时为 $E=1.2$ 。 K 是头部形状的影响系数， K 是椭圆形头部的影响因素， K 为 1.3 至 1.4； D_0 为钢坯直径（mm）； D 为头的平均直径（mm）； t 为端部壁厚（mm）如图 2-3。

常见钢材的高温抗拉强度 $\sigma_b \theta$ ($\times 107Pa$)

材料	加热温度/℃											
	20	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
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

图 2-3

常见金属金相组织的高温抗拉强度 $\sigma_b \theta$ ($\times 107Pa$)

在轧制过程中，为了防止材料起皱，BHF 必须适中。如果

毛坯固定器的力太小，则无法防止皱纹。毛坯夹持器的力太大，易产生材料裂缝 BHF Q 可按以下公式计算

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

式中， Q 为坯料夹持力（N）；一个是毛坯保持器面积（平方毫米）； D 是模具的内径（mm）； R 是模具的工作圆半径（mm）； Q 是单位坯料夹持器的力。对于钢， $q=0.011$ 至 $0.0,165 \sigma_B \theta$ 热压时的下限，冷压时的上限。

如果将毛坯夹持器用于压延时间，则总压延力应包括毛坯夹持器的力，即 $F_{总} = F + Q$ 。

对小弯曲梁进行了有效而准确的计算，并确定了 630t 四柱万能液压机满足要求。

2.4 合理最小弯形半径

在压制弯梁过程中能达到不易开裂的弯曲角度符合弯曲角度的最下弯曲半径。

影响最小弯形半径的因素有：（1）材料的力学性能。材料的机械性能。材料的塑性越好，材料的允许变形越大，最小弯曲半径越小。（2）弯形角 α 。在相同的相对弯曲半径 R/T 条件下，弯曲角 α 越小，外板的抗拉强度越小，不易开裂，最小弯曲半径可以越小；反之，板材的弯形角 α 越大，最小弯形半径也相应增大。（3）材料的方向性。轧制板中形成了各向异性纤维结构，平行于纤维方向的塑性指数大于垂直于纤维方向的塑性指数。因此，当纤维方向与曲线垂直时，材料不易断裂，弯曲半径就可以小些。（4）材料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。板材的宽度和厚度等因素，也对其最小弯形半径有所影响。比如，薄板材和窄板材可以取较小的弯形半径。

3 工装检验与压型

3.1 工装验证及小弯梁胎膜检测

在实际生产前，我们需要对小弯梁模具的主要尺寸进行测量、校核和验证，以检验小弯梁模具是否符合工艺要求。小弯梁首件鉴定后，主要部位的尺寸也需要足部检查。小弯梁也需要用专用轮胎模具进行试验，最大间隙不超过 0.6mm。

3.2 小弯梁压型

根据弯曲力的有效计算，在 630t 四柱万能液压机上对小弯梁进行了成型，在成型过程中应注意压力机的使用方法和步骤。

压力机使用方法：开机检测是否正常启动，检查零部件是否松动，调整摸具配合间隙并紧固，启动设备，检查压力是否达到工作压力，设备运转部位是否正常有无异常声响，有无泄漏现象。调整压力机工作压力，但不应超过设备额定压力的

90%，准备试压一件工件，在试验件检验合格后再批量生产。压弯模工作部分尺寸及系数图 3-1。

L/mm	板厚 t/mm											
	<0.5			0.5~2			2~4			4~7		
	l/mm	r ₀ /mm	c	l/mm	r ₀ /mm	c	l/mm	r ₀ /mm	c	l/mm	r ₀ /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

图 3-1

压型步骤：压力机检查完后选择弯梁胎膜经行吊运放入压力机滑槽中，用滑动模块配合调整至压力机正中间用紧固螺栓固定。上下胎膜经行固定后分开胎膜对内部工作部位上润滑油，调试延压系数符合后经行试压工件。预加工件放入胎膜前推至尺寸挡铁后放下，手不可放入胎膜内。按下延压按钮经行施压，压型完成后保压 3~4 秒后抬起，工件弹出用取料钳取出弯梁经行检查有无开裂，成型弯曲度和尺寸等。所有检查符合后方可经行批量生产。如图 3-3。

小弯梁压型



图 3-3

4 小弯梁生产中铆钉孔和铆钉出现的问题

4.1 铆钉孔尺寸偏差和铆钉安装容易导致松动的问题

以往的弯梁铆钉拉铆孔在工作人员通过人工台钻钻孔，在钻孔加工过程中的误差，以及圆形铆钉的整体配合所反映出的

质量问题和整体力学性能已经满足不了 21 世纪 160 动车组车顶弯梁的强度要求。

铆接强度的不够，给客车车顶线槽安装工作带来量许多不方便，最常见的问题是在安装线槽固定卡子螺栓和拉铆钉孔固定配合的过程中铆钉容易跟转，导致螺栓也跟转无法固定和取出；还有就是因为在手工钻孔过程中加工误差导致两个拉铆孔尺寸和线槽卡扣孔尺寸对不上无法配合，造成螺栓无法固定。

在配合过程中铆钉出现的松动跟转问题，需要工作人员去现场处理，无形之中增加了工作量也降低了生产效率。

4.2 解决方法

通过激光下料加工六角铆钉拉铆孔，以及工艺现场对六角铆钉孔和六角高强度镀锌铆钉的工艺参数实验改革，利用激光切割精度高和对六角铆钉孔位置定位准确的优势，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。精确的对 160 动车组车顶小弯梁六角铆钉孔的切割下料，保证了同类零件铆钉孔尺寸形状和铆钉孔位置的一致。使下工序在使用高强度六角镀锌铆螺母对弯梁六角铆钉孔在装配使用拉铆枪铆接时候，无需对铆钉孔进行二次修理切割。使以往手工钻孔铆钉孔为保证铆钉孔尺寸和铆孔质量而进行的人工台钻机械加工和打磨修理的繁琐工序被免去，减下了人工钻孔加工工作量，提高了生产效率，降低了生产成本，保证了铆钉孔的尺寸和位置度。

5 结论

弯梁压型制造中出现的问题经行研究后可有效防止压型出现裂缝或裂纹等，经过压力调试，产品跟新，摸具修配等配合措施有效提高弯梁生产效率。减少产品报废率，提高生产效率。在制造中注重产品质量才可提高人员先进改动不停的更新换代促使了技术的跟新，人员的培育、先进的技术大大的提高。从发现问题改进问题做出了有效的措施，如何对产品的质量把关尤为重要，对车体小弯梁结构综合性问题给予解决，提高实际生产效率的提升，使产品安全性、实用性、耐用性给予保障，满足市场的需求。同时也提高了产品合格率，使 160 公里动车组小弯梁在下道工序工作中可以有效的贴合车顶模块方便焊接组装，也减少了客车车顶线槽因为安装固定铆钉松动导致螺母和螺栓跟转问题。

参考文献：

- [1] 单轴导向径向机构布置方案选型[J].江慧;黄志辉;刘加蕙;于宏达.机车电传动,2024(04).
- [2] 某机车牵引球铰寿命提升优化设计[J].周波;王峰宇;赵斌;汪海博.轨道交通材料,2024(02).
- [3] 某轻轨车型牵引橡胶关节寿命提升结构优化设计[J].赵斌;王峰宇;冯万盛;王金辉.轨道交通材料,2024(01).
- [4] 某地铁转向架用转臂定位橡胶关节应用优化探讨[J].董永;丰振东;柳禄泱;林胜;黄友剑.轨道交通装备与技术,2023(05).
- [5] 轨道车辆用橡胶球铰结构快速设计模板的研究[J].曾晶晶;卜继玲;王京雁;刘柏兵;丁行武.特种橡胶制品,2023(01).