

成分见表1^[1]，其强度大、塑性较差，且弹性变形大^[2]，经校平也不能完全达到平整，压型时金属流动性不够均匀，其应力主要集中在下侧板非中心对称位置。

表1 S450EW化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
<0.07	<0.5	<1.5	<0.02	<0.01	<0.3	<3.15	<0.26

3 下侧板质量问题、原因分析及解决措施

下侧板由开卷、校平、压型、切割及调平等工序加工而成，生产过程中存在压型开裂，平面度、直线度和对角线尺寸超差等质量问题，返工成本居高不下，严重制约着整车产品质量及公司的生产成本。

3.1 压型开裂原因分析及控制措施

（1）压型开裂原因分析 A-A断面（见图2）应力分布如图3所示，可看成只有径向应力作用的线性应力状态，应变可看成只有径向应变。外凸苞中心线以外是线性纯塑性弯曲，以内是弯曲和拉延两种变形同时进行。成形时板料在内外凸模的作用

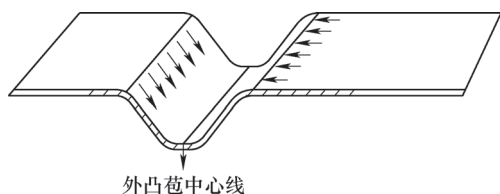


图3 A-A断面应力分布

下，克服凸、凹模的摩擦阻力向内流动，当凸苞形成时，摩擦阻力增加，板料向内流动减慢，由于径向拉应力作用，板料纤维伸长，整个成形过程弯曲与拉延同时进行。

B-B断面（见图2）应力应变分布如图4所示，可分成4个变形区。凸苞外侧平面部分，在变形过程中，靠近凹模口的金属一部分流入凹模型腔，变成凸苞侧壁。流入凹模型腔的金属表面积缩小，因而作用在这一区域的应力有径向拉应力 σ_1 、切向压应力 σ_3 ，在厚度方向有护边圈施加的压力 σ_2 ；应变有径向拉应变 ξ_1 、切向压应变 ξ_3 和材料厚度变厚应变 ξ_2 。

凸苞外侧壁，这一区域的材料一部分来自于成形前凸、凹模的空档，另一部分是沿凹模圆角流入的。因而应力分布有径向拉应力 σ_1 和切向压应力 σ_3 ，底部切向压应力 σ_3 减小到0。

凸苞内侧壁，受双向拉力的作用，有径向拉应力 σ_1 和切向压应力 σ_3 ，应变有径向拉应变 ξ_1 和切向压应变 ξ_3 ，当该处凹模圆角过小和表面粗糙度达不到要求时，在成形的时候容易产生裂纹。

从上述应力分析可知，在下侧板凸苞内侧壁，尤其是4个圆角位置容易产生开裂。当板料毛坯的某个部分通过凹模圆角区或通过拉伸时，发生多次弯曲或反向垂直的变形，反复的加工硬化使其性能接近硬化饱和状态。当这部分毛坯进入传力区或变形区后，受到不均匀应力场中过大的拉应力作用时，已经不可能产生进一步的加工硬化来使局部变形向

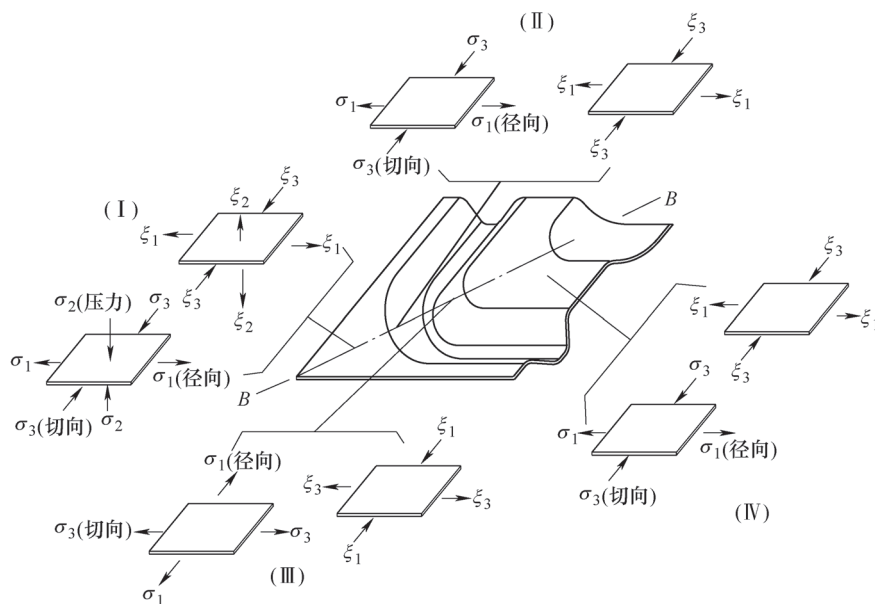


图4 B-B断面应力应变分布

周围扩展，于是这些部位发生破坏。

(2) 开裂解决方案 根据下侧板工艺件的图样尺寸，计算得出需要板料规格为7mm×1903mm×1260mm。

1) 从下侧板内部应力分析可知，开工艺孔可以很好地减少应力和加工硬化，从而减少开裂。经过反复的试验结果证明，切割600mm×900mm的工艺孔（见图5），有效地减少了开裂。

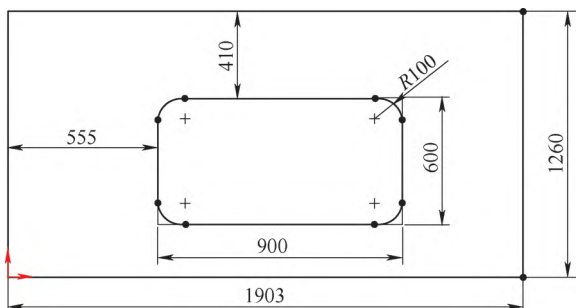


图5 下侧板毛坯工艺孔示意

虽然开裂相对有所减少，但仍时有发生，而且都是在B-B断面的凸苞内侧壁，从工艺孔处往内开裂；采用精细等离子切割代替手工切割工艺孔，保证工艺孔的圆滑过渡，减少工艺孔带来的应力集中。采用精细等离子切割开工艺孔的方法，有效地解决了板材成型后开裂的问题。

2) 使用塑料布，放置在压型件与模具之间，有利于材料的流动，也是减少开裂和拉伤的一种方法。

采用以上压型方案生产1200件下侧板时，只有4件出现裂纹。

3.2 下侧板几何尺寸的控制

由于当前采用的压型模具处于优化中，所以量产过程中存在平面度、直线度及对角线尺寸超差质量问题。

(1) 下侧板质量问题原因分析 具体分析如下。

1) 平面度超差原因分析。下侧板非中心对称，上下凸苞所受的内应力与变形量不一致，成型后，不对称的特点决定了内应力是由结构强的一方结构弱的一方，造成了下侧板平面度超差。

从图4可以看出，下侧板工艺件的上部凸苞比下部大，而且上部凸苞周围的材料也比下部多，也就是上部的应力会比下部大，变形就出现了，两者的应力差越大，平面度超差就越大。

2) 直线度、对角线尺寸超差原因分析。由于切边时是自由状态下以凹苞定位手工划线、切割，所

以出现板料的平面度超差和凹苞定位不精确、样板存在晃动的情况，受操作人员人为因素等影响，造成下侧板直线度、对角线超差，返工量大。

(2) 解决措施 因为造成下侧板平面度、直线度、对角线尺寸超差因素相互影响，因此根据压型-切割-调平等工序进行过程控制，建议并制作划线及切割专用样板。

1) 减少平面度超差就需减少上下两部分的应力差，经多次试验，最后通过合理地修改工艺孔几何尺寸（见图6），让上下两部分的应力尽可能地减少。

2) 由于压型后下侧板的平面度超差，不利于采用配件周边为定位，因此手工切割内圈时，利用压型后下侧板的凹苞部位作为定位基准，制作切割与划线一体的靠模及样板上安装3个位置的定位筋板，与凹苞相配合，卡入下侧板凹苞中，从而限制复合样板的移动。采用刚性固定法，使下侧板整体平放在支撑工装上，卡入切割靠模及划线整体样板，四周利用丝杠压紧，使下侧板切割靠模及划线整体样板处于同一个水平状态，工装紧固，切割完内圈后（见图7），平面度超差得到有效控制。

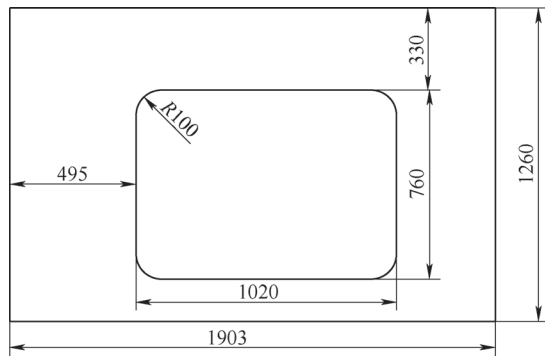


图6 修改后下侧板毛坯工艺孔尺寸



图7 切割内圈示意

3) 为保证侧墙的整体组装, 需要对下侧板外圈直线度、对角线公差进行控制, 利用剪板机剪下侧板规则长边及两侧。

4) 剪完3条外边后, 再用切割靠模及划线整体样板卡入下侧板凹苞中, 切割外圈曲线边, 当手工切割外圈曲线边时, 须保证配件切割直线度 $\leq 3\text{mm}$, 切割时起、止刀点必须在直线边, 切割断面无明显凸台、凹痕等。这样就保证了下侧板的装配尺寸1074mm及外框尺寸。采用切割靠模及划线整体样板手工切内孔 $\rightarrow$ 剪外边 $\rightarrow$ 手工割下侧板下部的不规则外边的工艺, 既保证了下侧板的对角线、直线度及平面度的质量, 又使平面度由原来的40~50mm下降到 $\leq 15\text{mm}$ 。

5) 由于内应力的存在, 切割完的下侧板凸苞位置依然存在一定的变形, 主要是凸苞的中间上拱, 形成弯曲变形, 下一工序无法加工和装配。采用回火来释放应力的方法, 会严重影响到下侧板的强度, 是不可取的, 只能采用“冷调校”。根据S450EW低合金结构钢的理化性能分析可知, 该材料回弹性较大, 造成下侧板凸苞的弯曲变形难以调校。从影响弯曲件回弹的因素分析可以得出如下结论: 回弹角与材料的屈服极限成正比, 和材料弹性模数成反比; 材料的相对弯曲半径 r/t (r 为弯曲圆角

半径, t 为材料厚度) 的值越大, 材料回弹越大^[3]; 弯曲圆角半径越大, 表示变形区域越大, 弯曲度越小, 则回弹量越大。

采用折弯机压下侧板3个凸苞的弯曲位置。根据多次调校的经验, 在配件下方垫方木料, 以防止配件出现局部变形, 调校时给予50mm的反变形量, 调完后平面度基本控制在 $\leq 8\text{mm}$ 的技术要求内。

4 结束语

经过生产攻关, 采取上述的工艺方法和工艺措施, 铁路货车敞车下侧板装配质量完全达到了工艺技术要求, 合格率从原来的50%提高到98%, 班产量从3~4件, 提高到120件, 满足了生产需要且降低了生产成本。

参考文献:

- [1] 全国钢标准化技术委员会. 钢的成品化学成分允许偏差: GB/T 222—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [2] 杨松柏. 铁路货车车体材料的发展沿革[J]. 铁路采购与物流, 2008 (3): 31-33.
- [3] 郭成, 储家佑. 现代冲压技术手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

MW 20240719

金属加工视频号开通了, 欢迎关注!

金属加工视频号是装备制造业领域的专业视频号, 由创刊于1950年的《金属加工》(包括冷加工和热加工两刊)和金属加工在线(mw1950.com)共同运营, 开通以来陆续形成系列栏目, 包括金属加工要闻、金属加工对话、金属加工快讯、金属加工在线论坛、加工真奇妙和金粉小讲堂等。



扫描二维码,
关注金属加工视频号

