

差厚拼焊板车门内板焊缝开裂缩颈成因研究

赵 锋, 邵伟彬, 贾文彬, 曲科宇, 闫 彦, 张新龙, 牛恒仁

中国第一汽车集团有限公司, 长春市, 130012

摘 要: 目前汽车行业快速的发展, 国内汽车的开发越来越重视安全性, 车门的抗冲击性尤为突出, 为了提高车门强度, 90% 乘用车都使用差厚拼焊板车门内板。作为复杂形状零件的差厚拼焊板车门内板一次性成型过程中焊缝区域会出现不稳定的开裂与缩颈。在此我们以差厚拼焊板车门内板为例, 系统的研究拼焊板车门内板一次性成型工艺过程中内部表面拼焊缝开裂缩颈问题。依托CAE模拟分析、调整板料成型位置、确认进料线位置、调整工艺控制点优化拼焊缝成型条件, 向内研究拼焊缝成形机理、向外研究进料补偿、并进行形状固化过程中的阶段补料设计、以此优化拼焊板车门内板拼焊缝成形合理性, 彻底消除焊缝开裂缩颈问题。

关键词: 车门内板; 差厚; 拼焊板; 焊缝; 开裂; 缩颈

1 引言

复杂成型的车门内板, 造型深度较大, 更是存在较多的不等深设计, 成形过程中不均匀的成型状态明显。本就很难控制成型稳定性, 在这基础上再加上拼焊板的产品设计, 更是增加了门内板的成型难度。工艺设计中需要考虑成型过程中各个阶段的补料与控制的平衡因素有很多存在矛盾, 如何解决这些矛盾, 或是增减平衡因素就成了我们研究的对象。本文主要阐述拼焊板车门内板一次成型过程中, 造型突变位置拼焊缝开裂缩颈的研究

方向与结论。从板料成型位置、进料线控制、工艺点控制等几个方面, 依托CAE模拟分析, 研究如何优化拼焊板车门内板拼焊缝成形合理性。

2 差厚拼焊板车门内板焊缝开裂缩颈问题分析

2.1 问题描述

拼焊板车门内板左右件造型突变位置拼焊缝开裂缩颈频发, 且左右件缺陷形式和位置对应, 如图1所示, 属于拼焊板零件不可接受的工艺缺陷。

2.2 差厚拼焊板车门内板焊缝开裂缩颈成因分析

我们在成因分析时, 依托CAE分析拼焊板车门内板拉伸成型过程中, 由外向内考虑外部进料状态, 工艺控制点的合理性、造型突变位置拼焊缝成型条件、形状固化过程中的阶段补料设计对拼焊缝成形的影响; 结合拉伸件实际出件状态, 对比拉伸阶段拼焊缝成形状态、明确拼焊缝移动趋势; 确定拉伸模具带来的影响因素, 相互对比分析, 确定影响因素。

2.2.1 拉伸模拟分析

(1) 拉伸进料模拟分析

模拟分析中, 板料进料线的合理位置即要保证内部成型需要, 又要保证拉伸件不出现失效现象。鉴于拼焊板车门内板成型工艺的极限性, 拼焊板车门内板上下左右侧进料线状态属于平衡状态, 如图2所示, 红线所示区域的立壁位置已经存在成型极限点, 因此在料片尺寸不变的情况下, 进料可调性几乎为零, 这种状态下的进料数据见图3。



(a) 拼焊板车门内板

(b) 造型突变位置拼焊缝开裂缩颈

图1 拼焊板车门内板左右件造型突变位置拼焊缝开裂缩颈示意图

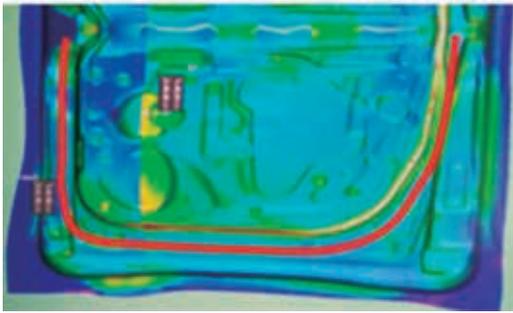


图2 拼焊板车门内板拉延控制状态示意图

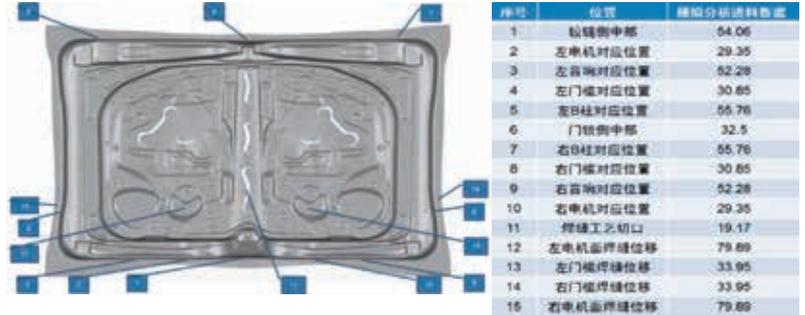


图3 模拟分析中车门内板进料数据示意图

(2) 造型突变位置拼焊缝成型条件分析

I拼焊板车门内板拉延件造型突变位置拼焊缝成型性分析中,为了保证车门内板造型突变位置在一次模具行程过程中充分成型,特征突出,外部产品造型区域设计的圆角尺寸仅8mm,以此保证内部复杂成型区域充分减薄定型,如图4所示,红色框圈出的圆角区域,这时候造型突变位置焊缝位移尺寸合理,偏移位置79.89mm。

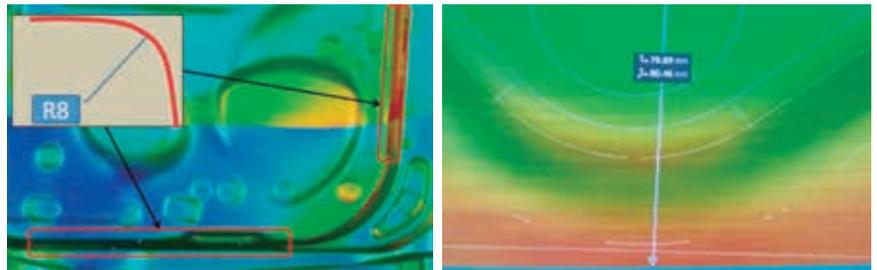


图4 拼焊板车门内板外部产品造型区域圆角状态及造型突变位置焊缝偏移位置示意图

II拼焊板车门内板拉延件造型突变位置拼焊缝成型性分析中,为了保证车门内板造型突变位置在一次模具行程过程中充分成型,特征突出,造型突变成型区域设计的圆角尺寸仅12mm,以此保证复杂成型区域充分减薄定型。如图5所示,红色框圈出的圆角区域。

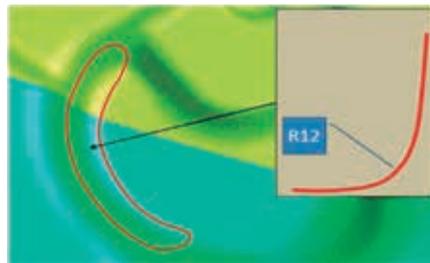


图5 拼焊板车门内板内部产品造型突变区域圆角状态示意图

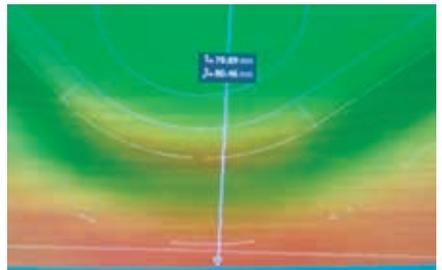


图6 拼焊板车门内板内部刺破工艺切口状态示意图

III拼焊板车门内板拉延件造型突变位置拼焊缝成型性分析中,为了保证车门内板造型突变位置在一次模具行程过程中有足够的材料成型,不仅需要外部进料补充,内部还需要进行阶段性的补料,如图6所示,造型突变位置区域成型到底前10mm,将进行内部刺破进行内部工艺补料,补料后刺破开口19mm,以此保证造型突变位置拼焊缝可以有足够料合理成型,并可以平衡受力状态。

IV拼焊板车门内板拉延件造型突变位置拼焊缝成型性分析中,为了保证车门内板造型突变位置在一次模具行程过程中焊缝偏移量可控,焊缝附近的薄板胀形区域需要垂直于焊缝的拉力较大,以此最大限度的单向减薄,缓解焊缝热影响区单向拉力过大造成的极剧减薄,从而保证焊缝不向薄板一侧移动;焊缝附近的厚板胀形区域需要平行于焊缝的拉力较大,以此最大限度的均衡差厚板料减薄不同步带来的平行于焊缝的剪应力,从而保证焊缝向厚板一侧移动可控,如图7所示,薄板和厚板不同方向受力大小的配合,将保证焊缝热影响区成型稳

定不失效,焊缝移动方向正确,造型突变位置拼焊缝合理成型。

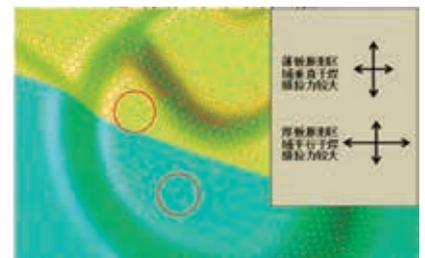


图7 拼焊板车门内板造型突变位置成型受力状态示意图

(3) 造型突变位置拼焊缝减薄及焊缝位移分析

模拟分析中摩擦系数由0.15增加至0.20造型突变位置拼焊缝减薄状态变化不大,反而焊缝有所偏移,偏移位

置90.04mm,如图8所示。

(4)拼焊板车门内板模拟分析结论:

进料可调性几乎为零,意味着拉伸成型处于极限的成型状态;在此基础上外部产品造型圆角和造型突变位置成形圆角偏小的设计,保证了内部复杂成型区域充分减薄定型,特征突出;内部增加的阶段刺破补料工艺结构,保证了造型突变位置拼焊缝有足够的料合理成型,并可以平衡受力状态;型面突变位置薄板和厚板不同方向受力大小的配合,将保证焊缝热影响区成型稳定不失效,焊缝移动方向正确,造型突变位置拼焊缝合理成型,焊缝成型时偏移量可控;薄板胀形区域减薄状态直接影响拼焊缝减薄状态,影响焊缝区域整体成型状态。

2.2.2 拉伸件分析

拉伸件实际出件分析中,为了清晰的看到造型突变位置拼焊缝开裂缩颈产生的过程,需要确认拉伸实际出件的进料状态并与模拟分析中的理论进料状态进行对比,如图9所示;在进料状态稳定的前提下,进行拉伸件造型突变位置成型的各个阶段确认拼焊缝成型状态,并与拼焊缝成型性分析和减薄分析中的拼焊缝成型状态进行对比,确认实际出件是否完全的还原了模拟分析的结果,分析偏差项。

(1) 拉伸件进料线分析

实际出件过程中,为了控制成型过程中不出现聚料褶皱缺陷,拼焊板车门内板主要成型控制点进料状态属于少进料状态,见图10。

(2) 拉伸件进料线与模拟分析中的理论进料线对比分析

实际出件过程中,拼焊板车门内板内部成型过程中薄板与厚板成形时

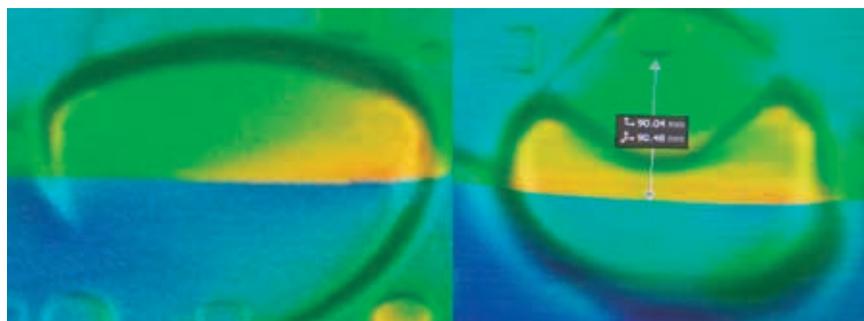


图8 拼焊板车门内板造型突变位置拼焊缝减薄及位移变化示意图

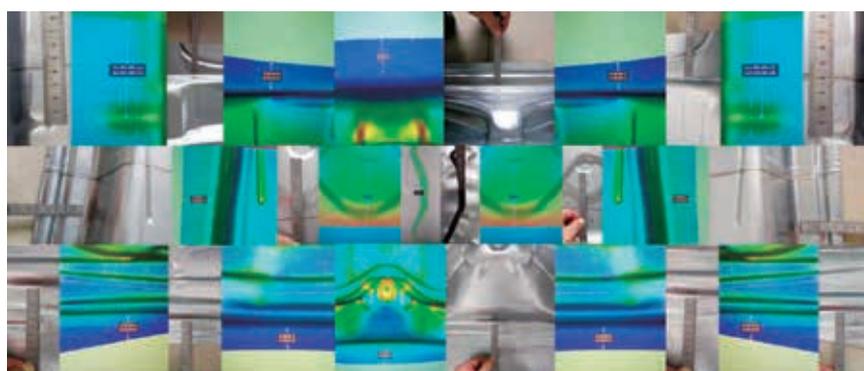


图9 拼焊板车门内板拉伸件进料状态分析及与理论进料状态对比示意图

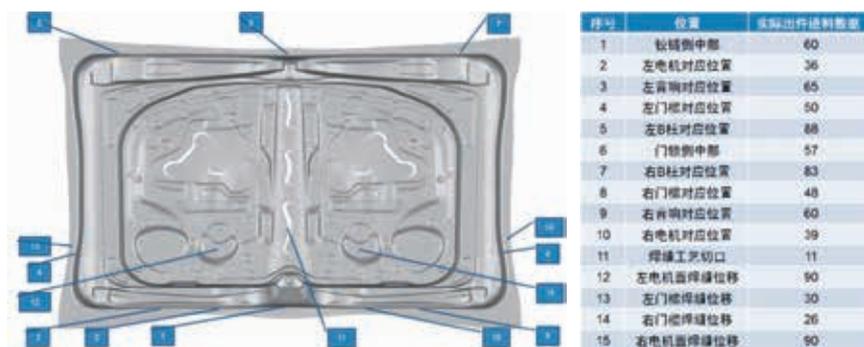


图10 拼焊板车门内板拉伸件进料分析中进料数据示意图

急剧减薄才能满足成形需求,厚板少进料尺寸明显小于薄板少进料尺寸,由于板厚差异,材料内部的成型应力作用下出现焊缝向厚板侧移动现象,与焊缝移动数据显示的趋势一致,见图11。

(3) 拉伸件造型突变位置拼焊缝阶段成型状态分析

以实际出件少进料状态进行内部造型突变位置成型阶段分析,从造型突变位置到底深度-28mm开始,合理

序号	位置	模拟出件进料数据	实际出件进料数据	差值	备注
1	铰链侧中部	64.96	60	-4.96	少进料
2	左电机对应位置	29.38	36	6.62	少进料
3	左背响对应位置	62.88	65	-2.12	少进料
4	左门框对应位置	30.85	50	19.15	少进料
5	左B柱对应位置	65.78	88	22.22	少进料
6	门框侧中部	52.5	57	4.5	少进料
7	右B柱对应位置	65.78	83	17.22	少进料
8	右门框对应位置	30.85	48	17.15	少进料
9	右背响对应位置	62.88	60	-2.88	少进料
10	右电机对应位置	29.38	39	9.62	少进料
11	焊缝工艺切口	18.17	11	7.07	开口小,材料少
12	左电机当焊缝位移	79.88	90	10.12	实际会移动
13	左门框焊缝位移	33.95	30	3.95	实际会移动
14	右门框焊缝位移	33.95	26	7.95	实际会移动
15	右电机当焊缝位移	79.88	90	10.12	实际会移动

图11 拼焊板车门内板拉伸件实际进料线与理论进料线数据对比分析示意图

间隔成型深度变化,确认造型突变位置焊缝成型状态,尤其是焊缝热影响区附近的材料减薄状态,可以看出随

随着成型深度不断增加，薄板一侧焊缝氧化线逐渐出现展开和位移的现象，在到底深度-5mm时橘皮现象出现，意味着薄板一侧焊缝热影响区在不断的急剧减薄，直到造型突变位置到底深度0mm，薄板一侧焊缝热影响区出现严重的橘皮减薄，我们称之为缩颈。如图12所示，如果是一次性成型，薄板一侧焊缝热影响区必然直接开裂。

(4) 拉延件造型突变位置开裂源分析

开裂源分析中，开裂在薄板侧，从造型突变位置形状上看薄板一侧形状变形更剧烈也更靠近开裂区，厚板侧由于变形过程中强度较高，伸长变形量不大，可以减缓薄板侧形状线长应对板厚不等的均匀伸长引起的剪应力激增现象，如图13所示。开裂的根源来源于厚板一侧；厚板侧的拉应变引起的压应变，进一步加剧了薄板侧少料趋势，恶化开裂问题。

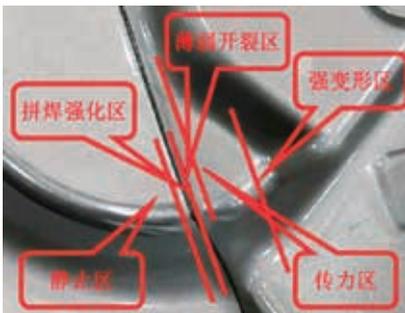


图13 拼焊板车门内板拉延件造型突变位置成型区域块受力状态示意图

(5) 拼焊板车门内板拉延件分析结语：

实际出件的进料状态与模拟分析中的理论进料状态的对比，确认进料变化都是少进料状态，这种状态成为造型突变位置拼焊缝开裂缩颈的诱因；在进料状态稳定的前提下，进行阶段件确认，经过与模拟分析对比，实

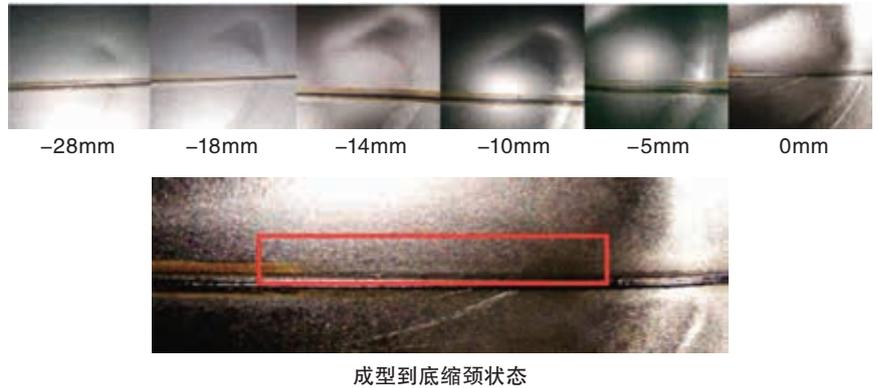


图12 拼焊板车门内板拉延件造型突变位置拼焊缝阶段成型状态示意图

际出件基本还原了模拟分析的结果，拉延件焊缝与理论焊缝移动数据显示的趋势一致；成型到底-5mm时，焊缝热影响区开始急剧减薄，说明内部阶段补料未能起到作用；薄板成型时，减薄不均匀，导致传力区力量激增，影响了焊缝均匀受力状态，最终影响焊缝成型状态，这将是我们要深入研究的关键。

2.2.3 拉延模具分析

(1) 拉延模具外部产品造型圆角分析

拉延件造型突变位置拼焊缝成型性分析中，特征突出的外部产品造型区域设计的圆角尺寸仅8mm，与拉延模具型面中该位置的圆角尺寸一致，并在拉延模具成型过程中出现局部的严重磨损。这说明该处圆角很好的起到了保证内部复杂成型区域充分减薄成型的辅助作用。但是这种作用同样加强了造型突变位置厚板侧传力区力量，同时加强了拼焊缝向厚板料区域移动的趋势，如图14所示。

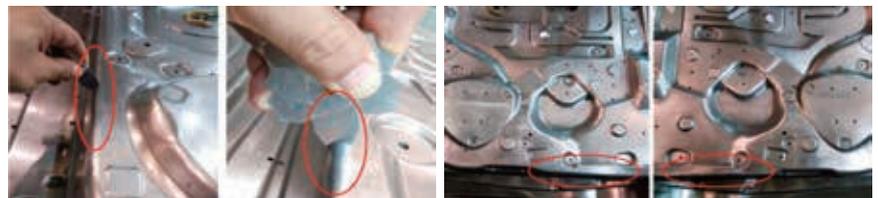


图14 拼焊板车门内板拉延模具小圆角成型过程中出现局部的严重磨损状态示意图

(2) 拉延模具内部造型突变位置产品造型圆角分析

拉延件造型突变位置拼焊缝成型性分析中，造型突变位置区域设计的圆角尺寸仅12mm，与拉延模具型面中该位置的圆角尺寸一致。该处圆角很好的起到了保证内部复杂成型区域充分减薄成型的作用。但是这种作用同样加强了造型突变位置厚板侧强变形区的变形程度，减弱了内部胀形区域的变形程度，更加激化了板厚不等的均匀伸长引起的剪应力激增现象，如图15所示。

(3) 拉延模具压料控料分析

拉延模具压料面存在急剧磨损拉毛现象，对应的区域正是造型突变位置区域的法兰边控制工艺点。同时两侧的双筋设计，更是将厚板料径向移动控制的很好，虽然保证了两侧法兰边焊缝移动量可控，但是无形中增大了外部产品造型圆角厚板侧传力区力量，对造型突变位置内部胀形区域的变形程度有加剧的作用，对控制焊