变压边力控制对拼焊板成形性能的影响研究

徐珂，李萍
（合肥工业大学 材料科学与工程学院，合肥 230009）

摘要：分析了控制焊缝移动的拼焊板薄厚两侧所需的压边力关系式，并据此提出了变压边力控制方案。通过数值模拟对比分析了不同方案的冲压结果，验证了：减少厚侧压边力可有效的降低焊缝向薄侧的移动量，从而降低薄侧材料应力集中，改善应力状态，大大提高了拼焊板的成形性能。

关键词：拼焊板；变压边力；焊缝移动；成形性能
中图分类号：TG386.4 **文献标识码**：A
文章编号：1674-6457(2010)05-0020-04

The Study of Variable Blank-holder Pressure Controlling Technology in Improvement of Formability of Tailor-welded Plate

XU Ke, *LI Ping*
(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The paper analyzed the relational expression of blank-holder pressures needed for the thick and thin sides of a tailor-welded plate under the control of displacement of welding seam and proposed a stamping forming plan under variable blank-holder pressure controlling. The numerical simulation technology was applied to simulate the stamping process under different plans. The result proved that the pressurization of smaller force on the thick side than that on the thin side can effectively diminish the displacement of welding seam and the stress concentration in the thin side which improved the forming performance of the tailor-welded plate.

Key words: tailor-welded blanks; variable blank-holder pressure; displacement of welding seam; formability

拼焊板(TWB)技术是指将2块或2块以上的板料，采用焊接方法焊在一起，然后进行冲压成形。这些板料，可以具有不同厚度、性能、材质和表面涂层。拼焊板冲压成形汽车覆盖件具有降低车身质量以减少尾气排放和满足环保要求，增强车身设计的灵活性，提高汽车耐撞性等诸多的优点，但也出现了许多技术上难以解决的问题。其中最主要的是焊缝区组织变化，焊缝两侧变形不均匀和焊缝移动等因素所造成的成形性能下降等问题[1-2]。

Youho Choi等[3]进行了与焊缝相关问题的研究，结果表明焊缝移动量越小，弱侧母材变形量越小，拼焊板的成形质量越高，并建议用焊缝移动量表征拼焊板的成形性能。Kinsey等[4]采用液压系统夹持焊缝的方法，有效地控制了焊缝移动，改善了薄侧板料的变形。Ahmetoglu等[5]进行了拼焊板杯形件的变压边力数值模拟和实验研究，结果表明：厚、薄两侧加载合理的压边力可以有效控制焊缝移动，但没有深入分析变压边力对拼焊板成形性能影

收稿日期：2010-06-11
基金项目：安徽省优秀青年科技基金(10040606Y21)
作者简介：徐珂(1987—)，男，山东泰安人，在读研究生，主要研究方向为先进塑性成形。

响[6]。

文中以某一拼焊板件为研究对象,分析了控制焊缝移动所需的薄厚两侧板料所需压边力关系,提出了分段压边圈作用下的此拼焊板件成形方案。并对其进行拉深成形过程的数值模拟,验证了理论分析的有效性。讨论了变压边力对拼焊板成形的影响[6-7]。

1　理论分析

拼焊板件简化的 2D 截面分析模型如图 1 所

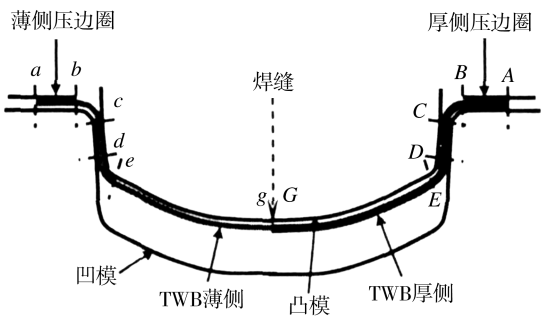


图 1　拼焊板件 2D 截面拉深模型

Fig. 1　2D sectional plane model of TWB

示。根据文献[6]所述,冲压成形中拼焊板薄侧板料法兰处 ab 段在拉应力作用下向内流动;bc 段发生弯曲和弯曲变形也向内流动;假设 cd 段与 eg 段为平面应变状态,忽略摩擦与弯曲,de 段的流动不确定,取决于板材的应变状态及压边力大小。厚侧材料应变较小故认为其只有 1 种流动模式,DE 段为 D 流向 E,其他段与薄侧流动方向相同,因此整块板料的流动模式有 2 种,在焊缝不移动条件下,HE[7] 通过推导得到了以下薄厚两侧压边力差公式。流动模式为薄侧材料由 d 流向 e:

$$F-F'=\frac{e^{\mu_2\theta}(T'_{B_{bc}}-T_{B_{bc}})+(T'_{B_{dc}}-T_{B_{dc}})}{(\mu_1+\mu_2)e^{(\mu_1+\mu_2)\theta}} \quad (1)$$

流动模式为薄侧材料由 e 流向 d:

$$F-F'=\frac{T'_{B_{bc}}+T'_{F_{bc}}+T'_{B_{dc}}+T'_{F_{dc}}}{\mu_1+\mu_2} \quad (2)$$

式中:T_B,T'_B 为薄厚两侧弯曲力;T_F,T'_F 为薄厚两侧摩擦力;F,F'为薄厚两侧材料压边力;μ_1,μ_2 分别为板料与压边圈、板料与凹模之间的摩擦因数;θ 为板料的弯曲角。

其中 T_B 可根据 Swift 弯曲模型计算:

$$T_B=\sigma_y t^2/2R$$

式中:σ_y 为理想刚塑性材料屈服应力;t 为板料厚度;R 为弯曲半径。

(1),(2)两式中右侧始终为正,即要保证焊缝在成形过程中不发生移动,薄侧板材所需压边力应大于厚侧板材。两侧压边力差值由摩擦因数和材料的厚度差决定。

2　拼焊板零件成形过程数值模拟

2.1　零件成形性分析

文中所研究拼焊板零件的 3D 模型如图 2 所

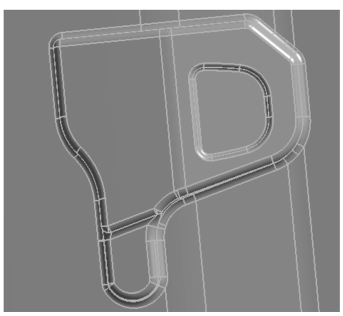


图 2　零件 3D 模型

Fig. 2　Three-dimensional model of the part

示。该零件具有复杂的曲面结构组合,包含了多种侧壁形状且侧壁高度有差别,不需要添加其他工艺补充,因此,此零件用于拼焊板冲压成形分析具有良好的代表性。此拉延件包含正拉延特征,反鼓包特征,板坯厚度较小,由于板料为薄厚 2 块板料拼焊而成,容易造成变形不均匀,冲压成形后极易出现破裂,造成零件报废。

2.2　有限元模型的建立

在 dynaform 软件中对此零件进行前处理,使用计算效率较高的 BT 壳单元对模具及板料进行网格划分处理,焊缝采用刚性处理,不单独划分网格。最后生成各工具网格如图 3 所示。

板料采用 DQSK36 低碳钢,厚度组合为 1.0 mm×1.2 mm,材料性能参数见表 1。材料模型选取满足 Hill 屈服准则的弹塑性模型,考虑各项异性,材料与凸模、凹模之间静摩擦系数取 0.125,动

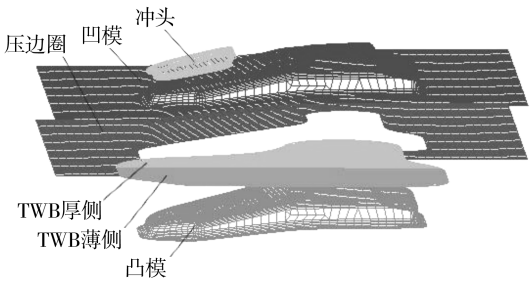


图 3 各工具有限元网格

Fig. 3 Finite element models of tools

摩擦系数取 0.1。该材料模型无拉延筋,为增加法兰部分材料的流动阻力,材料与压边圈之间静摩擦因子取 0.4。

表 1 材料性能参数

Table 1 Mechanical properties of material

杨氏模量 /GPa	屈服强度 /MPa	极限强度 /MPa	厚向异性系数	硬化系数	应变硬化指数
207	154	444	1.65	520.4	0.232

2.3 模拟方案的选定

在板料厚薄两侧分别加载 2 个不同方案的压边力。根据压边力公式,方案 1 厚侧、薄侧压边力均加载 200 kN;方案 2 中板料厚侧加载 120 kN 压边力,薄侧加载 200 kN。数值模拟采用 LS-Dyna 求解器,后处理采用 Dynaform/Post GL。

3 结果与分析

差厚拼焊板分别在方案 1,2 条件下数值模拟后所得成形极限(FLD)如图 4 所示。可以看出,此拼焊板零件的危险区域位于薄板侧底部圆角处。当采用方案 1 时,圆角部位的应变超过应变极限,零件危险区域内发生破裂;当采用方案 2 时,薄侧所有部位应变均小于应变极限,位于安全区域内。可看出厚侧材料加载比薄侧材料小的压边力时,减小了薄侧材料的变形程度,从而降低了破裂的风险,提高了拼焊板的整体性能。

两方案的主应力分布如图 5 所示。可以看出,2 种方案最大主应力均出现在底部圆角处,方案 1 中最大主应力为 507 MPa,方案 2 中由于厚侧采用较小压边力,从而改善了薄侧板料的应力状态,最大主应力降至 450 MPa,提高了拼焊板的成形裕度。

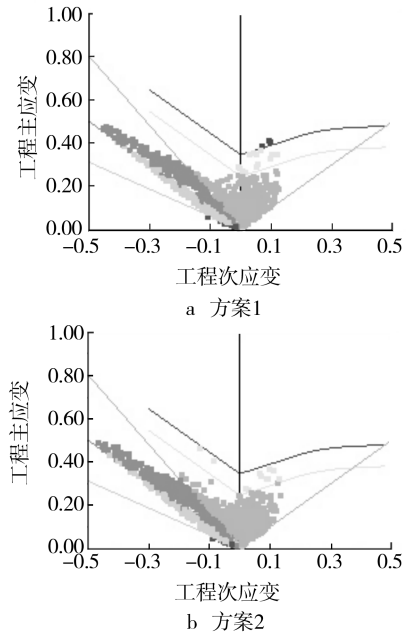


图 4 方案 1 和方案 2 薄侧板材的 FLD

Fig. 4 FLD of the thin side of plan 1 and plan 2



图 5 主应力分布

Fig. 5 The distribution of principal stress

为了测量焊缝移动量的大小,沿焊缝长度方向取等距的节点,测量各个节点在焊缝垂直方向上的移动量,焊缝向厚侧方向移动设为正值,向薄侧方向移动设为负值。测量示意如图 6 所示,沿焊缝 *A-B* 记录各个节点垂直于焊缝方向的移动距离 *Y*。

焊缝上某一节点(11341)分别在方案 1 和方案 2 的冲压过程中,移动量随时间变化的曲线如图 7 所示。两方案中压边阶段的焊缝移动大体一致,而在拉深阶段中,方案 2 由于降低了厚侧压边力有效

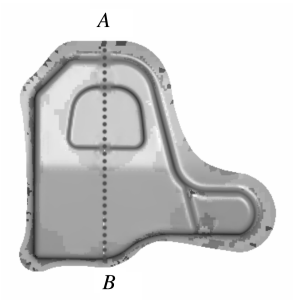


图 6　焊缝测量示意

Fig. 6　Schematic diagram of the welding seam mearsurement

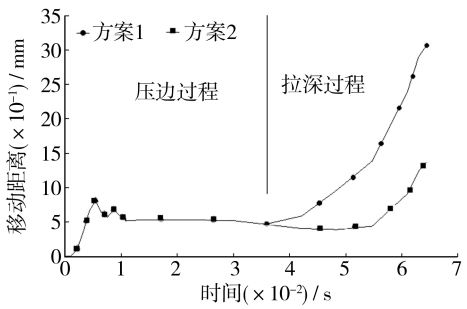


图 7　11341 焊缝节点移动曲线

Fig. 7　The moving curve of modes 11341 on the welding seam

地降低了此节点的移动量。最终成形结束后,焊缝移动量由方案 1 的 3.07 mm 降为 1.33 mm。

2 种方案在成形后焊缝上各个节点沿垂直于焊缝方向的移动量如图 8 所示。可以看出,采用方案

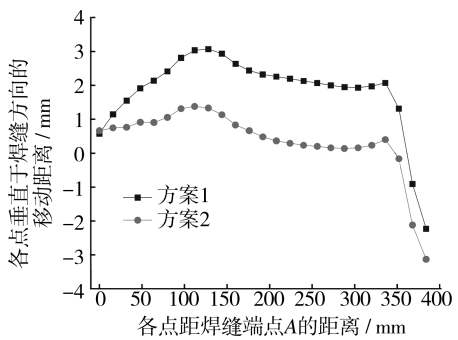
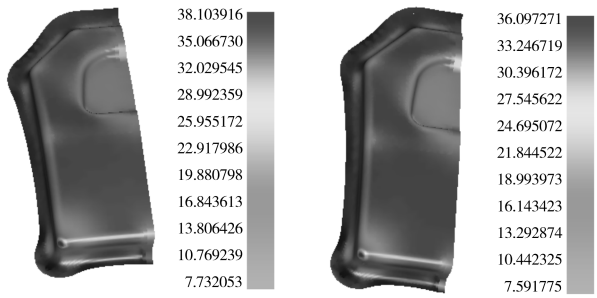


图 8　方案 1,2 焊缝移动量

Fig. 8　The displacement of welding seam of plan 1 and 2

2 后,减小厚侧的压边力使得焊缝上各点的移动量明显降低,特别是反拉深部位的焊缝节点,移动量大大降低,只有靠近下边缘处的焊缝节点有向厚侧移动的趋势。方案 1 的焊缝移动量最大值为 3.07 mm,而方案 2 的焊缝移动量最大值为 1.38 mm,可以看出减小厚侧压边力可有效降低焊缝移动量。

2 种方案下拉延件厚度减薄率分布如图 9 所示。



a 方案1　　b 方案2

图 9　厚度减薄率分布

Fig. 9　The distribution of thickness thinning

从图 9 中可以看出,当降低厚侧压边力时,拉延件的最大减薄率也有了一定程度的降低,从方案 1 的 38.1%降为方案 2 所示的 36.1%。分析靠近焊缝处薄厚两侧的母材,发现方案 2 中焊缝处薄侧母材减薄率比方案 1 中降低了 2%～6%,可见方案 2 确实能够抑制薄侧母材的破裂趋势,提高拼焊板的冲压成形性能。

4　结语

焊缝移动,焊缝两侧材料变形不匀及与此相关的成形性能下降是拼焊板成形过程中需要解决的问题。文中通过分析推导拼焊板薄厚两侧最优压边力关系,提出了不同的变压力控制方案,对拼焊板冲压件进行了数值模拟。数值模拟结果表明:焊缝移动量对拼焊板拉延件的成形极限图、应力分布以及减薄率有明显影响;厚侧材料选用较小压边力可以改善焊缝移动情况,从而改善应力分布,降低最大减薄率,提高拼焊板整体成形性能。

参考文献:

[1]　陈炜,杨继昌,林忠钦. 拼焊板在车身覆盖件制造中的应用[J]. 汽车工程,2003,25(1):82－87.

[2]　陈炜,杨继昌,林忠钦. 拼焊板覆盖件成形过程中的焊缝移动和成形性能[J]. 机械工程学报,2004,40(9):62－66.

(下转第 60 页)

面与凹模的上表面接触时，挤压深度到位，此时滑块上行，凸模与卸料板一块上行，下顶杆也随之顶出。卸料板上行到螺杆顶端后停止，凸模继续上行，挤压件在碰到卸料板后脱模自动落下，同时下顶杆自动退回，完成一个压制循环。

3 挤压件成形质量问题的分析与解决方法

在成形过程中出现了孔口高低不平和壁厚不均匀，其原因主要有：坯料两端不平；坯料加热不均匀；挤压坯料与凹模孔径的间隙不均匀，坯料定位不准；凸模与凹模中心不同心；挤压时如凸模受挤压件不均匀变形的影响，且凹模对凸模无导向作用，凸模产生横向弯曲弹性变形，下端偏移。对于上述问题，主要采取了以下几个方面的措施。

1) 设计了一个导向套，内孔与凸模滑配合，外径与凹模滑配合，保证了模具制造和装模过程中凸、凹模同心。

2) 机械手自动送料进入凹模，加热坯料与凹模内孔的间隙，除要满足机械手自动装模需要(太小不能自动装模)又要满足坯料在凹模内不致间隙过大，产生歪斜。

3) 挤压成形后，孔口有时一边高，一边低，严重时高度差达到 10～15 mm，坯料的尺寸精度、形状精度、定位精度对挤压件的尺寸、形状精度的影响非常大。由于棒料尺寸公差直接影响挤压成形的尺寸精度、形位公差，对此采取的措施是坯料采用自动机切断倒角，车外径的工艺，从工艺上保证了毛坯外径的一致性和两端的平行度，同时结合凹模锥度型腔，对坯料加工与凹模孔一致的角度 5×30°，利用锥度能自动找正。

4) 毛坯采取中频感应加热装置，用单排连接自动环绕感应加热技术加热，加热时间、加热温度都能有效控制，确保坯料加热均匀，避免由于坯料加热不均匀造成挤压件壁厚不一致和孔口高低不平。

5) 凸模过细过长也易引起挤压件壁厚差大，孔口高低不平。对凸模挤压工作部分以外的部分加大直径，提高强度和刚度；对凸模后端采用大锥度压紧环进行锁紧，使凸模与垫板接触面积增大，提高凸模的稳定性。工作部分以外台阶面(直径 ϕ70 mm)对卸料板推压，有效地缩短了凸模的工作部分长度。

由于采取了上述及时有效的措施，因此在挤压生产过程中基本上消除了壁厚差较大，孔口高低不平的现象。

4 结语

通过对深锥形壳体数值模拟，验证了一次温挤压成形的可行性。设计了温挤压模具，分析了成形过程中出现的孔口高低不平和壁厚不匀的原因，提出了解决脱模困难的措施。该工艺及模具通过生产实践证明，挤压的零件成形好，孔口端面平齐，壁厚基本均匀，挤压件力学性能大于棒料机加工艺，产品无裂纹，材料消耗降低 50%，质量稳定，生产效率高，适合大批量生产。

参考文献：

[1] 林立杰，柳瑞清. 热压缩铝合金 LY12 流变应力的影响因素分析[J]. 南方冶金学院学报，2000，21(4)：282－285.

(上接第 23 页)

[3] CHOI Y，HEO Y，KIM H Y，et al. Investigations of Weld-line Movements for the Deep Drawing Process of Tailor Welded Blanks[J]. Journal of Materials Processing Technology，2000，108(1)：1－7.

[4] KINSEY B，LIU Z H，CAO J. New Apparatus and Method for Forming Tailor Welded Blanks[J]. SAE，1999，108(5)：653－660.

[5] AHMETOGLU M A，BROUWERS D，SHULKIN L，et al. Deep Drawing of Round Cups from Tailor-welded Blanks[J]. Journal of Materials Processing Technology，1995，53(3/4)：684－694.

[6] 刘建祥，陈炜，吕盾，等. 应用变压边力控制技术改善拼焊板的成形性能[J]. 模具工业，2007，33(8)：20－24.

[7] HE S J，WU X，HU S J. Formability Enhancement for Tailor-welded Blanks Using Blank Holding Force Control [J] Journal of Manufacture Science and Engineering，2003，125(3)：461－467.