

双相钢冲压成形应变路径影响规律研究

徐珂, 李萍, 张超, 薛克敏

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 设计特征盒形件,使其包含双拉、拉-压、平面应变以及双线性应变路径,反映了覆盖件成形中常见的应变路径状态。通过正交试验方法,分析了工艺参数(压边力、摩擦系数、板厚)对其成形过程中特征区域应变路径影响的显著性,并得出了显著因素对应变路径的影响趋势。初步取得了控制 DP600 高强钢成形过程中特征区域应变路径的方法,为控制 DP 高强钢成形质量提供了有力的指导。

关键词: DP 高强钢板; 冲压成形; 应变路径; 正交试验

中图分类号: TG386 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2012)03-0060-04

Study on Parameters' Effect on Strain Paths of Stamping Forming Process of Dual-phase Sheet Steel

XU Ke, LI Ping, ZHANG Chao, XUE Ke-min

(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: A special box-shaped part is designed. It will contain the corresponding strain paths such as double tension strain path, tension-compression strain path, plane strain path and double-linear strain path, thus reflecting the common strain path conditions during the sheet metal forming. With the help of orthogonal experiment, the significance of influence of forming parameters (blank holder force, friction coefficient, blank thickness) on strain path of specific areas in forming process is analyzed, and the influencing tendency of significant factors on strain path is achieved. The methods to control the strain paths in specific areas during the high-strength steel's (DP600) forming process are obtained preliminarily, which also serves as a powerful guidance to improve the forming performance of the high-strength steel.

Key words: dual-phase sheet steel; stamping; strain path; orthogonal experiment

近年来,随着汽车行业对于板材要求的不断提高,高强钢的应用愈加广泛,同时高强度化也对板料冲压成形技术提出了更高的要求。高强度钢具有抗碰撞性能好、耐腐蚀性能强和轻量化成本低等优点。由于高强度钢板力学性能与普通碳钢差别较大,因此对于型面复杂的汽车覆盖件,传统的冲压成形工艺往往很难获得成形性良好的零件,多有破裂、起皱等缺陷产生,大大限制了高强度钢的应用及发展。

由此高强度钢板的成形性已成为目前的研究热点。

有关高强度钢板的成形性,人们从理论和实验等方面提出了许多研究与评价方法。如采用单向拉伸试验测定其力学性能(包括屈服强度、抗拉强度、加工硬化指数、各项异性系数等);采用杯凸试验测定其 IE 值,直接评估其胀形能力并间接反映其成形性能等。其中,最具有现实意义以及应用最广泛的为 20 世纪 60 年代由 Keerer 和 Goodwin 提出的成

收稿日期: 2011-05-10

作者简介: 徐珂(1987—),男,山东泰安人,在读研究生,主要研究方向为精密塑性成形新技术新工艺。

形极限图的 (FLD) 概念。FLD 反映了板料拉伸失稳前的最大变形程度,为评价板材成形性能及解决板材成形领域中众多难题提供了技术基础和实用判据^[1]。

应变路径是成形极限图的重要组成部分,对于钢板的成形性能有着重要影响。Yoshida, Matsuo-ka 和 Kobayashi 等就双线性应变路径对 FLD 的影响进行了较多的实验研究,证实了板材成形极限与应变路径之间有着极其紧密的联系^[2]。Graf 和 Hosford 研究了应变路径对铝合金 FLD 的影响,得出了简单预应变对于成形极限的影响规律^[3]。Durrenberger L 利用盒形件研究了动态载荷下,应变路径对于高强度钢板力学性能的影响,从而进一步分析了复杂应变条件下高强度钢板的力学性能^[4]。

针对双相钢 DP600,笔者设计了一套特征冲压件,使其能够反映汽车覆盖件成形中的常见应变路径状态。利用有限元仿真软件 Dynaform 模拟特征件冲压成形过程,并通过正交试验研究了压边力、摩擦系数以及板厚等对危险区域应变路径的影响,得出了其影响的显著性,初步取得了控制 DP600 高强度钢成形过程中特征区域应变路径的方法,为指导实际生产提供了可靠的依据。

1 有限元模型建立

首先,在 UG 平台中建立如图 1 所示的零件几何形状,以 IGES 格式导入 Dynaform 软件前处理,使用其自带毛坯尺寸估算模块(BSE)和模面工程模块(DFE)分别建立凸、凹模及毛坯的几何模型。

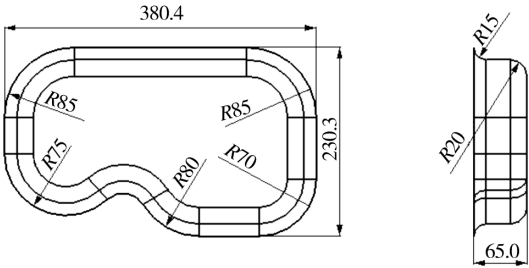


图 1 特征件几何模型
Fig. 1 Geometric model with features

所设计特征件包含不同尺寸圆角以及内凹区域,通过不同的几何型面组合,可以有效反映覆盖件

中常见的双拉、拉-压、平面应变以及双线性应变路径。拉深高度为 65 mm,凸、凹模圆角半径分别为 20,15 mm。

采用 BT 壳单元对板坯以及各工具几何模型进行网格离散化,如图 2 所示。

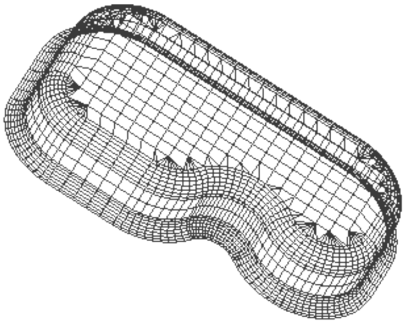


图 2 凸模有限元模型
Fig. 2 Finite element model of the punch

数值模拟所用材料为 Dynaform 材料库中自带 36 号各向异性 DP600 钢板,具体性能参数见表 1,材料模型遵循 HILL 屈服准则。

表 1 DP600 材料参数
Table 1 Material parameters of DP600

牌号	板厚 /mm	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	硬化 指数	厚向异 性系数
DP600	1.2	410	609	0.13	1.02

2 正交试验方案及结果分析

2.1 正交试验方案设计

板料应变路径受零件几何形状、成形工艺参数、模具圆角尺寸等多方面因素影响。为研究冲压成形过程中应变路径的控制方法,文中主要探讨压边力、摩擦系数、板厚对于应变路径的影响程度,采用正交试验方法,考虑 3 个因素:压边力、摩擦系数、板厚,每个因素各取三水平,水平变化幅度为 10%,参数见表 2。

表 2 正交试验因素水平
Table 2 Orthogonal experiment scheme

水平	因素		
	A1 压边力/kN	A2 摩擦系数	A3 板厚/mm
1	181.8	0.114	1.09
2	200.0	0.125	1.20
3	220.0	0.138	1.32

为表征板料应变路径的变化,文中定义一个值 β 作为正交试验的指标值,令 $\beta=\epsilon_1/\epsilon_2$ 。选取特征件危险区域处特征点为研究对象,如图 3 所示。区域 A 为凸模圆角,此处易发生破裂缺陷,应变路径为先双拉变形后平面变形的双线性应变路径;区域 B 为内凹处直壁,在保证内凹圆角处不发生折皱的前提下,此处易产生破裂。选用 $L_9(3^3)$ 正交表安排实验方案,提取两区域特征点在不同工艺参数组合下的应变路径,分别计算其主次应变比值 β_1, β_2 。

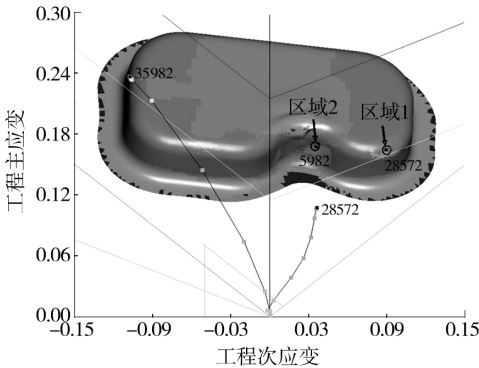


图 3 危险区域特征点应变路径

Fig. 3 Dangerous area feature point strain path

2.2 试验结果分析

提取数值模拟结果,建立 $L_9(3^3)$ 正交表,见表 3。

表 3 正交表 $L_9(3^3)$
Table 3 Orthogonal table $L_9(3^3)$

试 验 号	因素			指标	
	(1)A1 压边力	(2)A2 摩擦系数	(3)A3 板厚	A 区应变比 β_1	B 区应变比 β_2
1	1	1	1	2.349 018 53	-2.410 427 99
2	1	2	2	2.617 557 39	-2.432 331 37
3	1	3	3	2.863 673 21	-2.456 961 31
4	2	1	3	2.871 547 19	-2.411 393 32
5	2	2	1	2.286 336 18	-2.431 633 56
6	2	3	2	2.548 587 69	-2.488 810 41
7	3	1	2	2.566 569 56	-2.447 151 63
8	3	2	3	2.792 921 39	-2.465 215 96
9	3	3	1	2.242 490 27	-2.552 822 98

对试验结果进行极差分析。试验中包含 3 个因素(压边力、摩擦系数、板厚),设为 $A_i(i=1,2,3)$,令 $K_{i,j}(i=1,2,3;j=1,2,3)$ 表示 A_i 列上水平“j”

所对应的特征点主次应变比 β 的平均值,则 A_i 因素的极差值 R_i 为:

$$R_i=\max_j K_{i,j}-\min_j K_{i,j}$$

极差 R_i 的大小可以衡量试验中相应因素作用的大小。极差大的因素意味着它的不同水平造成的试验差别较大。这样就按照极差的大小顺序确定出各个工艺参数对板料冲压成形中应变路径影响的重要性。

极差分析计算结果见表 4、表 5。由极差分析结果可以看出,对于区域 A 即凸模圆角处,工艺参数对其应变路径影响的主次顺序为:板厚>压边力>摩擦系数;对于区域 B 即内凹处直壁工艺参数对其应变路径影响的主次顺序为:摩擦系数>压边力>板厚。

表 4 A 区域特征点应变比计算结果

Table 4 The calculation results of A regional feature points strain

$K_{i,j}$	压边力	摩擦系数	板厚
水平 1	2.610 083 0	2.595 711 8	2.292 615 0
水平 2	2.568 823 7	2.565 610 5	2.577 571 5
水平 3	2.533 993 7	2.551 583 7	2.842 713 9
极差 R_i	0.076 089 3	0.044 128 1	0.550 098 9

表 5 B 区域特征点应变比计算结果

Table 5 The calculation results of B regional feature points strain

$K_{i,j}$	压边力	摩擦系数	板厚
水平 1	-2.433 240 22	-2.422 99	-2.464 96
水平 2	-2.443 945 76	-2.443 06	-2.456 1
水平 3	-2.488 396 86	-2.499 53	-2.444 52
极差 R_i	0.055 156 636	0.076 541	0.020 438

当板厚发生变化时,由于模具结构不变,凸凹模间隙与板厚比值在 1~1.25 之间浮动,此时板坯与凹模贴合程度发生变化,凸模圆角处的板料流动状态变化剧烈,因而板厚的改变对于 A 区域特征点的应变路径影响在上述三因素中最为显著。对于区域 B,由于此处为内凹圆角,变形首先发生在凹模圆角处,板坯贴合程度对板料流动状态影响并不突出,压边力和摩擦系数的改变较大地影响了凹模圆角处的材料流动,使得特征点的应变路径发生相对较大的变化。

在工艺参数上下浮动 10% 的条件下,凸模角部

圆角危险区域的应变路径变化主要取决于板厚的变化,内凹处危险区域的应变路径主要取决于成形中的摩擦系数。

2.3 显著因素影响规律分析

分析板厚变化对于区域 A 特征点应变路径的影响。其他工艺参数保持不变,板厚分别增大、降低 10%,成形后提取 A 区域特征点的应变路径。由图 4 可以看出,凸凹模间隙不变的情况下,板厚增大相当于减小了间隙与板厚的比值,从而使得摩擦加剧,圆角处的应变路径存在由双拉应变状态向平面应变状态转变的趋势,从而降低了材料的成形裕度,恶化了成形性能。

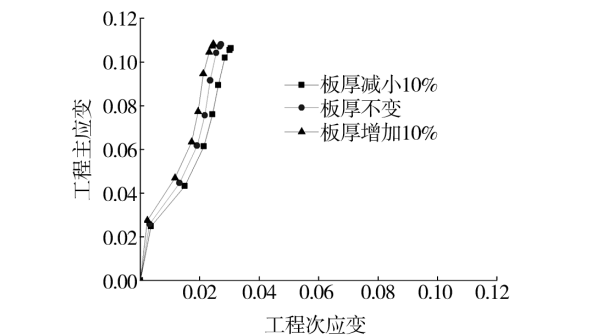


图 4 不同板厚条件下特征点应变路径

Fig. 4 The feature point strain paths with the condition of different thicknesses

分析摩擦系数对于区域 B 特征点应变路径的影响。摩擦系数分别增大、降低 10%,成形后提取 B 区域特征点应变路径。由图 5 可以看出随着成形系数的增大,此区域双线性应变路径发生变化,拉压阶段应变路径与主应变轴夹角减小,因此有效降低了起皱的风险,但使成形裕度降低,增大了破裂可能性。

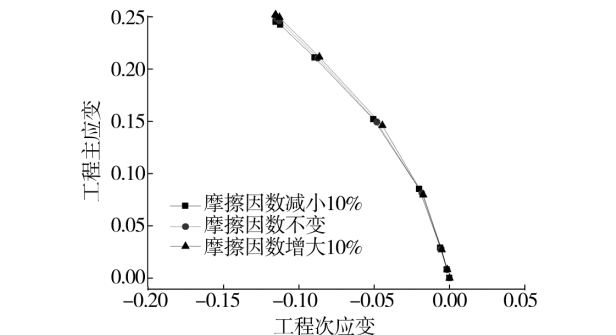


图 5 不同摩擦条件下特征点应变路径

Fig. 5 The feature point strain paths with different friction conditions

3 结语

通过不同型面组合设计了盒形特征件,使其冲压成形应变路径能反映覆盖件中常见的应变路径状态,为研究冲压成形中工艺参数对 DP600 高强钢板应变路径影响规律提供了简化模型。

考虑了压边力、摩擦系数以及板厚对于 DP600 高强钢板应变路径的综合影响,并在此基础上,通过正交试验获得了单个参数变化对应变路径影响的显著性。根据工艺参数影响能力大小,初步取得了控制 DP600 高强钢成形过程中特征区域应变路径的方法。

摩擦系数对内凹区域特征点应变路径的影响起关键作用,随着摩擦系数的增大,应变路径逐步向平面应变状态过渡,在减小起皱趋势的同时增大了破裂危险。对于凸模圆角区域,在模具间隙不发生变化的条件下,板厚在合理范围内减薄增大了凸模圆角处板坯变形的均匀性,应变状态存在由平面应变区域转向双拉应变状态的趋势,增大了成形裕度,提高了成形性,但合理的间隙、板厚比值变化范围有待进一步研究。

参考文献:

[1] 韩非,万敏,吴向东. 板料成形极限理论与实验研究进展[J]. 塑性工程学报,2006,13(5):80—85.

[2] 万敏,周贤宾. 板料复杂加载路径下板料屈服强化和成形极限的研究进展[J]. 塑性工程学报,2000,7(2):35—39.

[3] GRAF A, HOSFORD W. The Influence of Strain-path Changes on Forming Limit Diagrams of Al6111-T4 [J]. International Journal of Mechanical Science,1994, 36:897—910.

[4] DURRENBERGER L. Influrnce of the Strain Path on Crash Properties of a Crash-box Structure by Experimental and Numerical Approaches[C]. France: 8th International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dyanmic Loading,2006.