



# 7075 铝合金挡风梁热冲压成形减薄预测模型研究

董晓传<sup>1</sup>, 倪炆<sup>1</sup>, 蔡玉俊<sup>1</sup>, 潘高峰<sup>2</sup>, 袁斌先<sup>1</sup>

(1.天津职业技术师范大学汽车模具智能制造技术国家地方联合工程实验室, 天津, 300222, 中国;

2.天津市天锻压力机有限公司, 天津, 300222, 中国)

**摘要:**以 7075 铝合金挡风梁在热成形过程中的减薄率为研究对象, 通过热拉伸试验, 获取了 7075 铝合金板料在不同温度及应变速率条件下的真实应力应变曲线, 并将其引入数值模拟模型, 研究了板料初始温度、压边力、摩擦系数对 7075 铝合金挡风梁热冲压成形危险区域表征点减薄率的影响规律并分析了其形成原因, 然后根据线性回归理论, 基于三元二次回归方程建立了 7075 铝合金挡风梁危险区域减薄率预测模型, 进而通过不同温度条件下的实验对比, 对该预测模型进行了修正, 最终获得修正的 7075 铝合金挡风梁危险区域减薄率预测模型。研究结果为铝合金板料热成形减薄率的分析提供了新的思路。

**关键词:** 7075 铝合金; 热冲压; 成形性能; 减薄预测

**中图分类号:** TG156.1

## 引言

随着全球能源的日渐稀缺、环境污染的日益加剧, 节能减排的呼声越来越高, 推进汽车的轻量化自然也成为势在必行之举<sup>[1-3]</sup>。选用轻质材料是实现汽车轻量化的有效方法之一, 7075 铝合金因其密度小, 比强度高, 耐腐蚀的优点而越来越多的被应用于中高端汽车框架结构。但是 7075 铝合金在常温下延伸率低, 无法成形复杂零件, 而在高温条件下板料**变形抗力**减小, 且流动更均匀, 不易发生破裂<sup>[4-5]</sup>, 故 7075 铝合金多采用热冲压成形工艺。该过程是一个热力耦合过程, 成形工艺参数对产品尺寸成形精度及力学性能具有决定性影响, 因此国内外众多学者开展了相关方面的研究工作。

丁凌<sup>[6]</sup>等研究了 7075 铝合金在不同应变速率以及试验温度下的力学性能, 建立本构方程, 并进行恒速拉伸实验, 及数值模拟, 确定了其在实验条件下的损伤极限; Kaka Ma<sup>[7]</sup>等

通过制备超细晶体块材料, 并进行热处理, 研究了 7075 铝合金微观结构与力学行为的关系, 建立了复合沉淀强化体系的强化机制。刘克威<sup>[8]</sup>等通过热压缩实验研究了 7075 铝合金在不同应变速率, 应变及变形温度对变形抗力的影响, 并建立了变形抗力模型, 对其进行分析且进行实验验证, 结果相吻合; Y. Li<sup>[9]</sup>等研究了 7075 铝合金在轴向和扭转载荷下的疲劳性能, 并采用扫描电子显微镜观察了断口形貌, 研究裂纹萌生和扩展过程。朱永博<sup>[10]</sup>等利用 LSPSF 制备 7075 铝合金棒料, 后进行均匀化、热挤压及 T6 热处理, 研究其对铝合金显微组织及拉伸性能的影响; 刘辰辰<sup>[11]</sup>等利用自行开发的腐蚀装置对 7075 铝合金进行未腐蚀和 3.5%NaCl 盐雾原位腐蚀条件下, 等效应力分别为 200 MPa、250 MPa 和 300 MPa 时的多轴疲劳试验, 对比分析多轴疲劳失效机理, 并提出了改进的 Manson-Coffin-Basquin 准则进行寿命预测。李海<sup>[12]</sup>等研究了时效处理对经历固溶+冷轧的 7075 铝合金显微组织和力学性

**基金项目:** 天津市智能制造专项 (基于互联网的重型锻压装备客制化工艺与智能化健康管理服务平台) (20191010); 天津市教委科研计划项目 (2017KJ101)

**作者简介:** 蔡玉俊 (通讯作者), 男, 1970 年生, 教授, 博士, 主要从事模具 CAD/CAE/CAM 研究, E-mail: cyjal@126.com

能的影响规律,并根据时效析出和位错回复特征,分析了时效过程中合金强度和伸长率的变化规律。姜月<sup>[13]</sup>等采用搅拌摩擦焊对厚度为6mm的7075铝合金进行了不同工艺下的平板对接试验,研究了对接头微观组织、显微硬度及沉淀相种类与形貌,并进行了分析。陈国亮<sup>[14]</sup>等对H18态7075铝合金进行了同步冷却热成形+时效处理,研究了其宏观形貌、回弹角、显微组织和拉伸性能,并将其与传统冷压成形结果进行了对比,探索了7075铝合金同步冷却热成形的可行性。

上述学者研究了7075铝合金在不同的变形条件下,材料显微组织以及力学性能,取得了一定的成果,但均未涉及7075铝合金热冲压制件的减薄预测,而对于冲压加工而言,板料的减薄程度直接决定了模具的有效性,冲压件的使用寿命,是评价产品合格性的重要标准之一。通用、福特等北美汽车主机厂要求其供应商对所有关键结构件提供产品减薄量检测结果,且对于铝合金零件减薄量的规定相比钢结构更为严格。

有鉴于此,本文针对7075铝合金汽车挡风梁,通过Autoform数值模拟,研究热冲压工艺参数对其成形质量的影响规律,建立挡风梁热成形件关键位置的减薄预测模型,并进行实验验证,以期进一步提高零件合格率,丰富7075铝合金板料热冲压加工工艺的理论基础。

## 1 汽车挡风梁有限元模型建立

通过Autoform软件,建立汽车挡风梁成形数值模拟模型,其中板料为弹塑性变形体,厚度为1.6mm,凸、凹模及压边圈为刚体。根据挡风梁的结构特点,在凹模中部设有一个可上下移动的小凹模(通过底部导柱推动),如此在成形过程中,该处(挡风梁底部)先于两侧成形(定义为先成形区域),然后再随凹模下降成形其它位置(定义为后成形区域)。从而能够避免因先成形两侧,使得中间凹陷部位原本就受拉,最后再成形底部局部形状时,两边压紧,受拉更严重,进而造成破裂失效的情况。挡风梁数值模拟模型示意图如下图1所示:

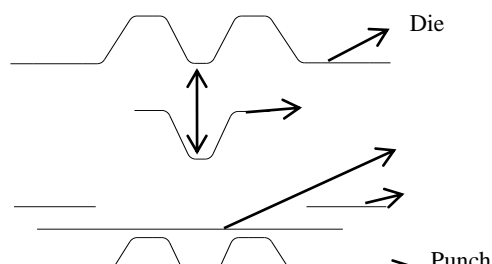


图1 挡风梁数值模拟示意图  
Fig. 1 Finite element model of windshield beam

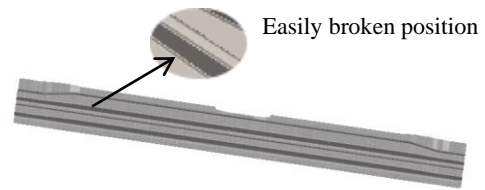


图2 挡风梁  
Fig. 2 Windshield beam

本文中所用材料为T6状态的7075铝合金的板材,其化学成分如表1所示。

表1 试验材料化学成分(%,质量分数)

Tab.1 Chemical composition of test material(% ,mass

| Element | Zn   | Mg   | Si   | Cr   | Ti   | Fe   | Mn   | Al        |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| Content | 5.83 | 2.37 | 0.05 | 0.22 | 0.03 | 0.07 | 0.04 | allowance |

fraction)  
为了使数值模拟与物理实验的材料参数尽量一致,本文采用高温电子万能试验机(图3)进行7075铝合金的热拉伸实验,获取不同应变速率(0.1s<sup>-1</sup>、0.01s<sup>-1</sup>、0.001s<sup>-1</sup>)<sup>[15]</sup>及不同温度(440℃、460℃、480℃)条件下的真实应力应变曲线,如图4所示分别为应变速率为0.1 s<sup>-1</sup>和温度为460℃时应力应变曲线。将该数据制作成材料卡,导入到Autoform软件中,设置弹性模量E=7.1GPa,泊松比u=0.33,密度为2.81g/cm<sup>3</sup>,比热为960J/(kg·k),热传导系数为130W/(m<sup>2</sup>·k)。

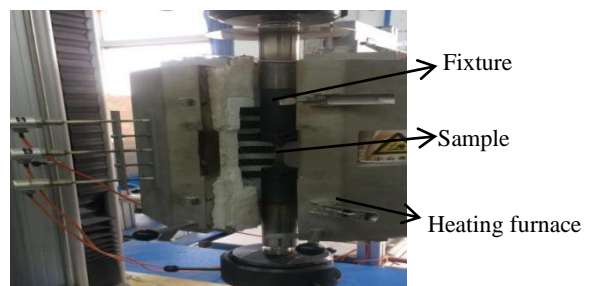
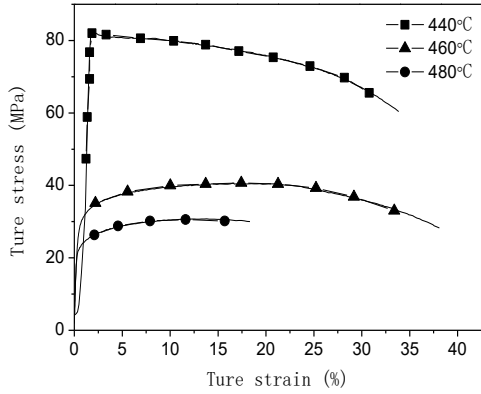
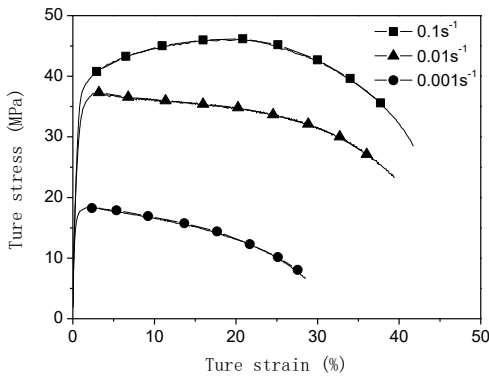


图3 高温电子万能试验机

Fig.3 High temperature electronic universal testing machine



(a) 应变速率为  $0.1s^{-1}$



(b) 温度为  $460^{\circ}C$

图4 7075 铝合金热拉伸真实应力应变曲线

Fig. 4 true stress-strain curve of hot drawing of 7075 aluminum alloy

依次设置 Autoform 成形工序：加热、冲压、冷却、回弹。根据 7075 铝合金固溶温度以及工程经验，工艺参数选择如下表 2 所示。

表 2 工艺参数

Tab.2 Process parameters

| Sheet temperature<br>( $^{\circ}C$ ) | Friction coefficient | Blank holder force<br>(kN) |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| 440                                  | 0.1                  | 20                         |
| 460                                  | 0.3                  | 30                         |
| 480                                  | 0.5                  | 40                         |
| 500                                  | 0.7                  | 50                         |

## 2 模拟结果及分析

基于上述挡风梁有限元模型，对数值模拟

结果进行分析。尽管回弹也是冲压成形中常见的问题，尤其是铝合金材料在成形后回弹明显，但在热冲压工艺下，铝合金的回弹量一般比较小，如本文研究的挡风梁的回弹在  $10^{-3}mm$  数量级范围中，对最终成形件精度几乎没有影响，故此处仅将成形后制件厚度作为热冲压成形质量的评定标准。

### 2.1 板料初始温度对减薄率的影响

保持压边力为 20kN，摩擦系数为 0.1，不变，设定板料温度分别为  $440^{\circ}C$ 、 $460^{\circ}C$ 、 $480^{\circ}C$  及  $500^{\circ}C$ 。根据模拟结果，选取板料易破裂区域的四个标记点（图 5）进行分析，其减薄率的对比结果如图 6 所示。

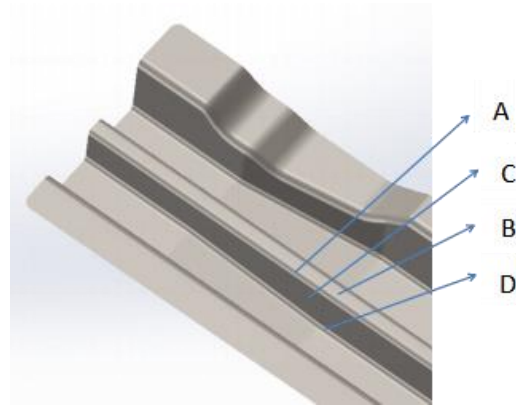


图5 危险部位取点图

Fig.5 Point of danger point drawing

从图 6 中不难发现，随着板料温度的上升，挡风梁成形件的减薄率先减小后增大，这是由于，当温度升高时，铝合金流变应力减小，成形极限逐渐提高，周边板料补充流动及时，但随着温度继续升高，流变应力越小，变形区材料流动越容易，当挡风梁其它位置成形时，其危险区域（A-D 点区域）作为先成形部位会有更多的材料通过传力区到达变形区，因此导致这部分减薄加剧。

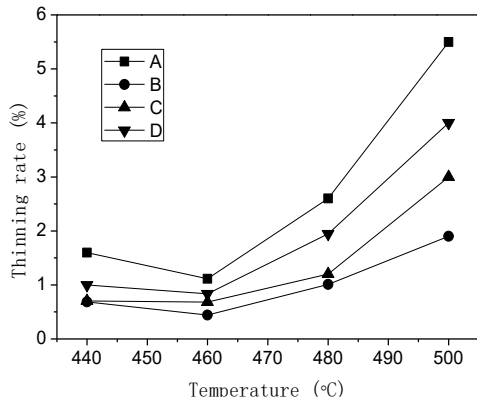


图6 板料温度对减薄率的影响

Fig. 6 Effect of sheet metal temperature on thinning rate

此外，从图中还可发现 A、B、C、D 的减薄率由高到低依次为  $A > D > C > B$ 。因为 B 点为先成形区域，该部分成形时，未有压边力，材料流动充分，因此减薄量非常小，随着挡风梁压边力加载及其它位置成形，B 点处在模具摩擦力的作用下降低了板料流动性，因此该点在整个成形过程中，减薄量最小；A 点位于中部圆角处，因此在先成形阶段，其厚度就已经发生较大的减薄，而后期其它位置变形时，应变区域扩展，又进一步促进了 A 处材料向外侧流动，因此 A 点减薄最严重；D 点较 C 点距离挡风梁后变形区域更为接近，且位于变形区域底端圆角处，因此 D 点减薄量也较 C 点更大。

## 2.2 压边力对减薄率的影响

保持板料温度为  $460^{\circ}\text{C}$ ，摩擦系数为 0.3 不变，压边力设定为 20 kN、30 kN、40 kN 和 50kN，其挡风梁成形件危险区域标记点的减薄率变化如图 7 所示。

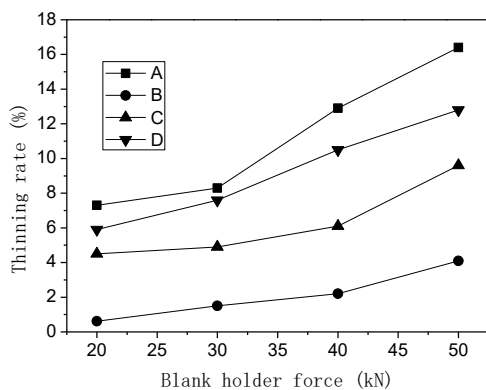


图7 压边力对减薄率的影响

Fig. 7 Effect of blank holder force on thinning rate

由上图可知，压边力对热冲压成形的质量有着明显的影响，在其它条件相同的情况下，随着压边力的增大，成形件的减薄率也随之不断增加。这是由于，压边力的增大使得材料流动的阻力变大，周边材料难以及时流动补充危险区域，进而导致该部分厚度减薄显著，甚至出现拉裂的情况（图 8 标记位置，对应前面 A 点位置），且危险区域标记点减薄程度的次序与图 6 的趋势及机理一致。



图8 成形件拉裂图

Fig. 8 Crack drawing of forming parts

## 2.3 摩擦系数对减薄率的影响

保持板料温度为  $460^{\circ}\text{C}$ ，压边力为 20kN 不变，依次设定摩擦系数为 0.1、0.3、0.5、0.7，其挡风梁成形件危险区域标记点的减薄率变化如图 9 所示。

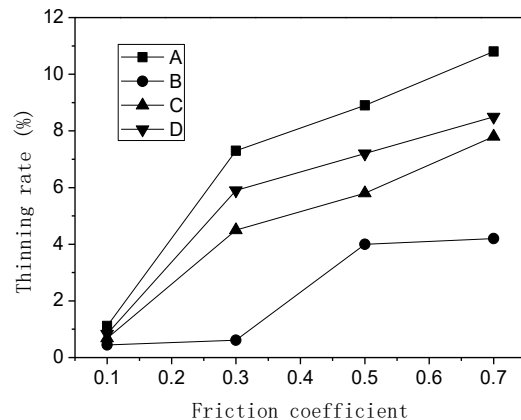


图9 摩擦系数对减薄率的影响

Fig. 9 Influence of friction coefficient on thinning rate

从图 9 中易知，随着摩擦系数的增大，各点处减薄率呈上升趋势，表明在热冲压过程中，摩擦力的增大，使得板料的流动困难，导致危险区域板料厚度下降。同样的，其危险区域标记点减薄程度的次序与图 6 的趋势及机理一致。

理一致。需要注意的是，尽管 C 点减薄率数值不是最大，但其增幅却最高，这是因为，当摩擦系数增大之后，先后成形区域模具底端近似于形成了两个固定端约束（B 点虽有增加，但绝对值及增幅都不大），随着后成形区应变增大，位于中间段的 C 点受拉加剧，进一步加大了其减薄率。

## 2.4 减薄预测模型

通过上述分析可知，板料温度、摩擦系数及压边力对挡风梁热冲压成形的减薄率的影响显著，同时，三个影响因素之间又存在相互影响，故根据线性回归理论，建立基于三元二次回归方程的挡风梁危险区域减薄率的预测模型。设该方程为：

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (1)$$

式中 a, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>12</sub>, b<sub>13</sub>, b<sub>23</sub>, b<sub>11</sub>, b<sub>22</sub>, b<sub>33</sub> ——与参数有关的常数

x<sub>1</sub> ——板料温度

x<sub>2</sub> ——摩擦系数

x<sub>3</sub> ——压边力

y ——减薄率

通过单因素数值模拟结果，设计回归正交试验方案，如表 3 所示：

表 3 减薄率三元二次模拟实验设计

Tab.3 Three-way quadratic experimental design for thinning rate

| Experiment number | Temperature / °C | Friction Coefficient | Blank holder force / kN | Thinning rate / % |
|-------------------|------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| 1                 | 500              | 0.5                  | 40                      | 5.4               |
| 2                 | 500              | 0.5                  | 20                      | 4.8               |
| 3                 | 500              | 0.1                  | 40                      | 2.5               |
| 4                 | 500              | 0.1                  | 20                      | 1.9               |
| 5                 | 460              | 0.5                  | 40                      | 3.1               |
| 6                 | 460              | 0.5                  | 20                      | 2.5               |
| 7                 | 460              | 0.1                  | 40                      | 2.9               |
| 8                 | 460              | 0.1                  | 20                      | 1.1               |
| 9                 | 504.3            | 0.3                  | 30                      | 4.6               |
| 10                | 455.7            | 0.3                  | 30                      | 2.9               |

|    |     |       |       |     |
|----|-----|-------|-------|-----|
| 11 | 480 | 0.543 | 30    | 4.5 |
| 12 | 480 | 0.057 | 30    | 1.0 |
| 13 | 480 | 0.3   | 42.15 | 3.8 |
| 14 | 480 | 0.3   | 17.85 | 1.8 |
| 15 | 480 | 0.3   | 30    | 2.3 |

对每个因素进行编码并将 x<sub>i</sub> 的各水平进行线性变化：

$$z_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta_i} \quad (2)$$

其中 x<sub>i</sub> 为各因素，z<sub>i</sub> 为各因素的编码，Δ<sub>i</sub> 为各因素的变化间距。将 x<sub>i</sub> 转化为 z<sub>i</sub> 的回归设计为表 4：

表 4 编码减薄三元二次模拟实验设计

Tab.4 Design of Ternary Quadratic Simulation experiment of coding thinning

| Experiment number | Z1     | Z2     | Z3     | y   |
|-------------------|--------|--------|--------|-----|
| 1                 | 1      | 1      | 1      | 5.4 |
| 2                 | 1      | 1      | -1     | 4.8 |
| 3                 | 1      | -1     | 1      | 2.5 |
| 4                 | 1      | -1     | -1     | 1.9 |
| 5                 | -1     | 1      | 1      | 3.1 |
| 6                 | -1     | 1      | -1     | 2.5 |
| 7                 | -1     | -1     | 1      | 2.9 |
| 8                 | -1     | -1     | -1     | 1.1 |
| 9                 | 1.215  | 0      | 0      | 4.6 |
| 10                | -1.215 | 0      | 0      | 2.9 |
| 11                | 0      | 1.215  | 0      | 4.5 |
| 12                | 0      | -1.215 | 0      | 1.0 |
| 13                | 0      | 0      | 1.215  | 3.8 |
| 14                | 0      | 0      | -1.215 | 1.8 |
| 15                | 0      | 0      | 0      | 2.3 |

据此进行回归计算，得：

$$y = 3.006973 + 0.645107z_1 + 1.063917z_2 + 0.550562z_3 + 0.525z_1z_2 - 0.15z_1z_3 - 0.15z_2z_3 + 0.526z_1^2 - 0.151z_2^2 - 0.117z_3^2 \quad (3)$$

将式（2）带入式（3），可得挡风梁危险区域减薄预测模型为：



$$y = 276.275 - 1.247x_1 - 53.1654x_2 + 0.5078x_3 + 0.1313x_1x_2 + 7.5 \times 10^{-4}x_1x_3 + 0.075x_2x_3 + 1.315 \times 10^{-3}x_1^2 - 3.775x_2^2 - 1.17 \times 10^{-3}x_3^2 \quad (4)$$

### 3 热冲压实验研究

本文通过 7075 铝合金的热冲压实验验证挡风梁危险区域减薄预测模型的准确性,主要设备包括一台 5000 kN 液压机及箱式加热炉,如图 10 所示。根据前述模拟结果,选择实验参数为:板料加热温度 460°C、480°C、490°C、500°C,压边力 20kN,保温时间 20min,保压时间 20s,润滑剂使用二硫化钼(用于板料冲压时的摩擦系数约为 0.12~0.15<sup>[16]</sup>)。所得实验产品如图 11 所示。



图 10 冲压模具及机床  
Fig. 10 Stamping die and machine tool

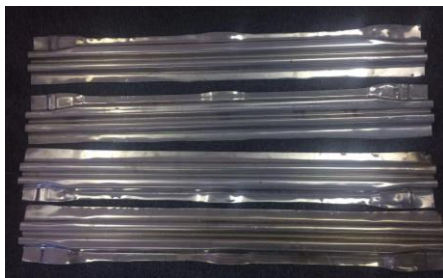


图 11 热冲压成形挡风梁  
Fig. 11 Hot stamped windshield beam

采用海克斯康关节臂 Romer7525 对成形后的挡风梁进行测量,通过尺寸检测可知,在本文的实验条件下,成形件的回弹很小,说明热冲压对控制工件回弹,提高成形精度有较大的优势。由厚度分布云图可知,测量的关键点厚度都在 1.484~1.619mm 之间,而板料厚度为 1.6mm,减薄及增厚都在极限内(减薄不超过 20%,增厚不超过 10%<sup>[17]</sup>),说明此成形件合格。

为了验证预测模型的准确性,将上述实验参数依次代入预测模型式(4),进行计算,并将预测值与实验值进行对比,结果如图 12 所示。

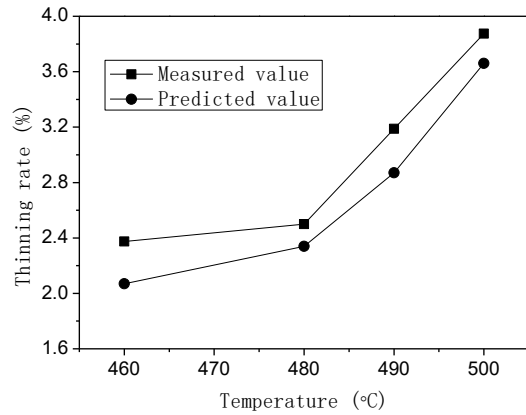


图 12 预测值与实测值的减薄分析

Fig. 12 Thinning analysis of predicted and measured values

通过上图的对比不难发现,随着温度升高,减薄率的预测值及实验值均随之增大,且都在 480°C 之后,减薄率的变化幅度加快。其中,预测值与实际测量值的最大误差为 12.8%,最小误差为 6.4%,且减薄率的实际值均比预测值要大。分析其原因,主要是工件从加热炉中转移到模具上的过程中,板料散热较快,实际冲压温度低于设置温度,使得板料的流动性较模拟中的理想状态要差,从而导致减薄增大。出于安全考虑,对式(4)进行修正,添加一个安全因子 k,综合上述误差分析,按照最小二乘法获得 k 的值为 1.086,即可得挡风梁危险区域减薄预测模型为:

$$y = 1.086 * (276.275 - 1.247x_1 - 53.1654x_2 + 0.5078x_3 + 0.1313x_1x_2 + 7.5 \times 10^{-4}x_1x_3 + 0.075x_2x_3 + 1.315 \times 10^{-3}x_1^2 - 3.775x_2^2 - 1.17 \times 10^{-3}x_3^2) \quad (5)$$

进而将实验值与式(5)计算值进行比较,所得最大误差为 6.7%,最小误差为 1.5%,由此可见,修正后的模型预测挡风梁危险区域减薄量较为准确。

### 4 结论

(1) 通过数值模拟分析,获得了板料温度、压边力及摩擦系数对 7075 铝合金挡风梁

减薄率的影响规律,分析并验证了挡风梁危险区域的成因,确定了该制件成形的合理工艺参数范围。

(2)建立了基于板料温度、压边力及摩擦系数的7075铝合金挡风梁热冲压成形危险区域减薄率的预测模型,并通过实验对对其进行修正。

## REFERENCES

- [1]X Jiang, R Lyu, Y Fukushima, M Otake, D Y Ju. Lightweight design and analysis of automobile wheel based on bending and radial loads[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 372(1).
- [2] Yelin Deng, Yansong Guo, Peng Wu, Giuseppe Ingarao. Optimal design of flax fiber reinforced polymer composite as a lightweight component for automobiles from a life cycle assessment perspective[J]. Journal of Industrial Ecology, 2019, 23(4).
- [3]LI Yongbing, LI Yating, LOU Ming, Lin Zhong-qin. Lightweight car body and its challenges to connection technology [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48 (18): 44-54.
- [4]王孟君,任杰,黄电源,姜海涛.汽车用 5182 铝合金板材的温拉伸流变行为[J].中国有色金属学报,2008,18(11):1958-1963.
- Wang Meng-jun, Ren Jie, Huang Dian-yuan, Jiang Hai-tao. Thermal tensile flowing deformation behavior of 5182 Aluminum Alloy sheet for Automobile [J]. Transactions of Nonferrous Metals society of China, 2008, 18 (11): 1958 -1963.
- [5]MOHAMSD S M, ALISTAIR D F, LIN Jiao-guo. Investigation of deformation and failure features in hot stamping of AA6082: Experimentation and modeling[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2012, 53(1/3): 281-293.
- [6]丁凌,陈建,郑坤,王高潮.7075 铝合金高温变形及损伤极限[J].塑性工程学报, 2016, 23(06): 157-161.
- Ding Ling, Chen Jian, Zheng Kun, Wang Gao-chao. High temperature deformation and damage limit of 7075 Aluminum Alloy [J]. Journal of plastic Engineering, 2016, 23 (06): 157 - 161.
- [7]Kaka Ma, Haiming Wen, Tao Hu, Troy D. Topping, Dieter Isheim, David N. Seidman, Enrique J. Lavernia, Julie M. Schoenung. Mechanical behavior and strengthening mechanisms in ultrafine grain precipitation-strengthened aluminum alloy[J]. Acta Materialia, 2014, 62.
- [8]刘克威,姚明镜,程精涛,罗国华.7075 铝合金热变形抗力模型[J].热加工工艺, 2019, 48(05): 161-163.
- Liu Ke-wei, Yao Ming-jing, Cheng Jing-tao, Luo Guo-hua. Hot deformation resistance model of 7075 aluminum alloy [J]. Hot working process, 2019, 48 (05): 161-163.
- [9]Y. Li, D. Retraint, H. Xue, T. Gao, Z. Sun. Fatigue properties and cracking mechanisms of a 7075 aluminum alloy under axial and torsional loadings[J]. Procedia Structural Integrity, 2019, 19.
- [10]朱永博,杨湘杰,桂云鹏.热挤压与热处理对半固态方法制备 7075 铝合金显微组织与拉伸性能的影响[J].机械工程材料,2018,42(01):39-43.
- Zhu Yong-bo, Yang Xiang-jie, Gui Yun-peng. Effect of hot extrusion and heat treatment on microstructure and tensile properties of 7075 aluminum alloy prepared by semi-solid method [J]. Mechanical Engineering Materials, 2018, 42 (01): 39-43.
- [11]刘辰辰,陈亚军,李柯,王川.7075 航空铝合金原位腐蚀 - 多轴疲劳行为分析 [J]. 中国机械工程,2019,30(05):615-621.
- Liu Chen-chen, Chen Ya-jun, Li Ke, Wang Chuan. Analysis of in situ corrosion and multi-axis fatigue behavior of 7075 aeronautical aluminum alloy [J]. China Mechanical Engineering , 2019, 30(05): 615-621.
- [12]李海,陈鹏,王芝秀,郑子樵.时效对固溶+冷轧 7075 铝合金力学性能和显微组织的影响[J].中国有色金属学报,2018,28(10):1999-2008.
- Li Hai, Chen Peng, Wang Zhi-xiu, Zheng Zi-qiao. Effect of aging on mechanical properties and microstructure of solid solution cold rolled 7075 aluminum alloy [J]. Transactions of Nonferrous Metals society of China, 2018, 28(10): 1999-2008.
- [13]姜月,朱浩,刘家伦,赵熠朋,王军.7075 铝合金搅拌摩擦焊工艺对接头沉淀相析出行为影响[J].中国有色金属学报,2018,28(11):2191-2198.

- Jiang Yue, Zhu Hao, Liu Jialun, Zhao Yipeng, Wang Jun. effect of 7075 aluminum alloy friction stir welding process on precipitation behavior of joint [J]. Chinese Journal of non ferrous metals, 2018,28 (11): 2191-2198
- [14]陈国亮,陈明和,王宁,孙家伟,王春艳.7075 铝合金的同步冷却热成形工艺 [J]. 机械工程材料,2017,41(06):30-33.
- Chen Guo-liang, Chen Ming-he, Wang Ning, Sun Jia-wei, Wang Chun-yan. Synchronous cooling hot forming process of 7075 aluminum alloy [J]. Mechanical Engineering Materials, 2017, 41 (06): 30-33.
- [15]李昂.7AXX 铝合金在热压缩状态下的流变行为[J]. 原子能科学技术,2019,53(03):504-510.
- Li Ang.Rheological behavior of 7AXX aluminum alloy under hot compression [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2019,53 (03): 504-510.
- [16]罗仁平,陶匡衡,吴广新,王武荣.AZ31B 镁合金板材温冲压用润滑介质研究[J].上海金属, 2016, 38(03): 62-67.
- Luo Ren-ping, Tao Kuan-gheng, Wu Guang-xin, Wang Wu-rong. Study on Lubricating Medium for AZ31B Magnesium Alloy Plate for Temperature Stamping [J]. Shanghai Metal , 2016, 38(03): 62-67.
- [17]尚健.金属塑性成形过程模拟[M].北京:机械工业出版社,1999.
- Be Jian. Simulation of metal plastic forming process [M]. Beijing: machinery Industry Press, 1999.

## Research on prediction model of hot stamping thinning of 7075 aluminum alloy windshield beam

Dong Xiao-chuan<sup>1</sup>, Ni Yang<sup>1</sup>, Cai Yu-jun<sup>1</sup>, Pan Gao-feng<sup>2</sup>, Yuan Bin-xian<sup>1</sup>

(1.National-Local Joint Engineering Laboratory of Intelligent Manufacturing Oriented Automobile Die &Mould, Tianjin University of technology & Education, Tianjin,300222,China;

2.Tianjin Tianduan Press Co., Ltd., Tianjin ,300222,China)

**Abstract:** Taking the thinning rate of 7075 aluminum alloy windshield beam during the hot forming process as the research object, the true stress-strain curves of 7075 aluminum alloy sheet under different temperature and strain rate conditions were obtained through thermal tensile test, and the A numerical simulation model was introduced to study the influence of the initial sheet temperature, blank holding force, and friction coefficient on the thinning rate of the characteristic point of the hot stamping danger zone of 7075 aluminum alloy wind beam. And the reason for the formation was analyzed. Then, according to the linear regression theory, based on the three-dimensional quadratic regression equation, the prediction model of the risk area thinning rate of 7075 aluminum alloy windshield beam is established, and then through the experimental comparison under different temperature conditions, the prediction model is modified, and finally the modified prediction model of the risk area thinning rate of 7075 aluminum alloy wind shield beam is obtained. The research results provide a new idea for the analysis of the reduction rate of aluminum alloy sheet in hot forming.

**Foundation item:** Tianjin intelligent manufacturing project (customized process and intelligent health management service platform for heavy forging equipment based on Internet) (20191010) ;Scientific research project of Tianjin Education Commission (2017KJ101) .

**Corresponding author:** Cai Yu-jun, male, born in 1970, Professor, doctor, mainly engaged in mold CAD / CAE / CAM research, E-mail: cyjal@126.com.



**Key words:**7075 aluminum alloy; hot stamping; formability; thinning prediction.



