

基于AutoForm的Z向拉延筋截面参数理论求解

丁顺风 张胜利 刘庆

(一汽模具(天津)有限公司车身装备部,天津 301509)

摘要:为解决AutoForm拉延筋截面参数在3D软件设计中无法直接使用的问题,推算了在3D软件中可以直接使用的Z向拉延筋截面参数求解公式,主要有流入、流出侧Z向立面与拉延筋中心线的距离、凸筋圆角、凹筋圆角。使用CATIA软件设计的拉延筋与AutoForm自动生成的拉延筋进行模拟对比,得到了理想的验证结果,其中筋宽误差和筋高误差均控制在小于0.05 mm,拉延流入量误差控制在小于1 mm。

关键词:拉延筋 AutoForm 截面参数 冲压成形 CATIA

中图分类号: TG386

文献标志码: B

DOI: 10.19710/J.cnki.1003-8817.20230057

Solution of Section Parameter of Drawbead in Z-Direction Based on AutoForm

Ding Shunfeng, Zhang Shengli, Liu Qing

(Equipment of Car Body Department, FAW Tooling Die (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 301509)

Abstract: In order to solve the problem that the cross-sectional parameters of AutoForm drawbead could not be directly used in 3D software design, this paper derived solution formula for the cross-sectional parameters of Z-direction drawbead that could be directly used in 3D software, mainly including the distance between the Z-direction elevation on the inflow and outflow sides and the centerline of the drawbead, convex fillets, and concave fillets. The drawbead designed using CATIA software was compared with the drawbead automatically generated by AutoForm, which yielded ideal validation results, with both the width and height errors controlled within the range of 0.05mm, and the draw-in error was controlled in 1 millimeter.

Key words: Drawbead, AutoForm, Section parameter, Stamping forming, CATIA

1 前言

在汽车覆盖件的拉延工艺设计中,拉延筋起着不可替代的作用^[1],外覆盖件拉延时需要拉延筋控制板料的流入量,以达到3%的减薄率,内板件需要拉延筋保证板料均匀流入以防止角部起皱。拉延筋设计不合理会直接造成零件起皱、开裂、减薄率不足、回弹变形等缺陷^[2]。

前期冲压工艺分析均采用计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)模拟的方法以快速设计拉延型,拉延筋采用等效虚拟筋模拟,

在后期制作加工数据前完成实体拉延筋型的制作。然而后期制作的拉延筋与CAE分析时用的等效虚筋往往有出入,需要多次修改才能达到预期的效果。为了解决反复修改的问题,熊洋等^[3]提出了基于UG软件(Unigraphics NX, UG)的参数化设计拉延筋方法,王振等^[4]开发了面向自动化的拉延筋参数化设计系统,尹雁飞等^[5]设计了模块化的拉延筋设计方法,实现了更改参数直接生成拉延筋。

截面参数是制作拉延筋的关键因素,郑刚等^[6]采用近似模型反求拉延筋的几何参数。现在CAE

作者简介:丁顺风(1987—),男,工程师,硕士学位,主要研究方向为汽车覆盖件冲压成形工艺。

参考文献引用格式:

丁顺风,张胜利,刘庆.基于AutoForm的Z向拉延筋截面参数理论求解[J].汽车工艺与材料,2024(1):26-30.

DING S F, ZHANG S L, LIU Q. Solution of Section Parameter of Drawbead in Z-Direction Based on AutoForm[J]. Automobile Technology & Material, 2024(1): 26-30.

分析冲压成形速度最快的软件是 AutoForm,可以自动生成拉延筋,但不能导出作为加工数据。然而目前研究 AutoForm 生成筋几何参数的文献不多,本文根据 AutoForm 生成筋的截面参数固有的几何约束关系,求解了适用于 3D 设计软件的关键参数,并进行模拟验证。

2 AutoForm 中 Z 向拉延筋的截面参数

2.1 AutoForm 中 Z 向拉延筋的设置方法

在 AutoForm 中,Z 向拉延筋的设置方法如图 1 所示,拉延筋方向在 Construction 中设置 Bead Axis 为法向筋或 Z 向筋;一般的设置筋为等宽筋,即 Small Height Behavior 中 Bead 设置为 Keep width;间隙设置为等间隙,即 Wall Clearance 设置为 Keep (Adjust Groove)。其他参数保持默认设置即可。



图 1 AutoForm 设置拉延筋形式界面

2.2 AutoForm 中 Z 向拉延筋的截面参数

AutoForm 设置 Z 向拉延筋的截面参数如图 2 所示。为了便于标记,设定参数记号为:

H : 凸筋高,即 Bead Height; w : 凸筋宽度,即 Bead Top Width、Bead Base Width; R : 凸筋圆角,即 Bead Radius; r : 凹筋圆角,即 Groove Radius; c : 凸凹筋间隙,即 Clearance Wall; b : 凸凹筋底部间隙,即 Clearance Top。

后文求解公式中的符号 H 、 w 、 R 、 r 、 c 、 b 均为以上 AutoForm 中声明的参数。

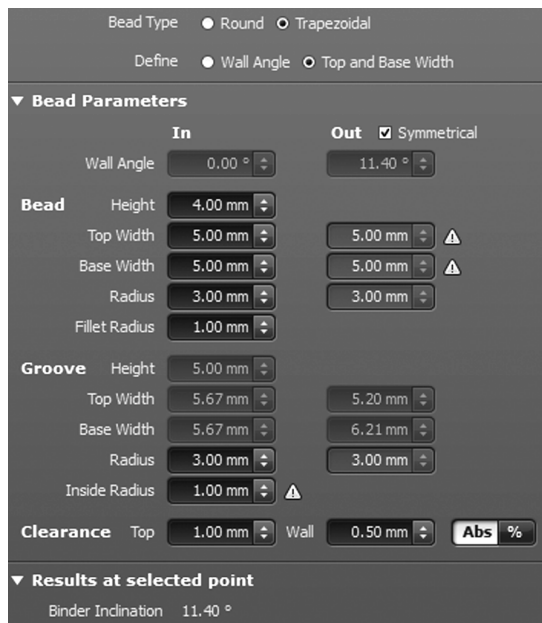


图 2 AutoForm 设置 Z 向方形筋的参数界面

3 3D 软件设计筋时所需的截面参数

3.1 Z 向拉延筋截面参数的几何约束关系

AutoForm 生成 Z 向方形筋时,控制截面形状的关键参数如图 3 所示。其中参数含义及约束关系如下:

- a. w_1 和 w_2 分别为流入、流出方向的筋宽,且为沿 Z 向投影的宽度,需要满足 $w_1=w_2$ 。
- b. H 为筋高,且为沿 Z 向的高度。
- c. R_1 和 R_2 分别为流入、流出方向的凸筋圆角。
- d. r_1 和 r_2 分别为流入、流出方向的凹筋圆角,且 $r_1=r_2$ 。
- e. c 为凸凹筋的间隙值,筋较高时为凸凹筋立面的间隙值,筋较低时为凸凹筋圆角的最小间隙值。
- f. b 为凸凹筋底部间隙值。
- g. α 为压料面的倾角,此值为压料面的特征值,而非输入的参数值,本文设定 $\alpha \geq 0$ 。

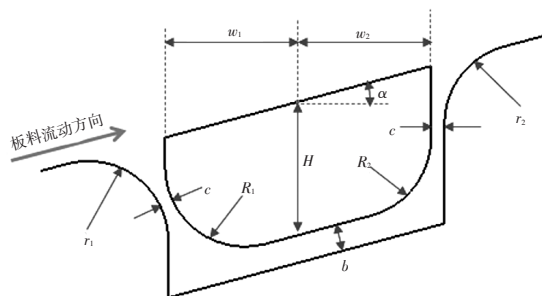


图 3 AutoForm 生成 Z 向方形筋的截面参数

3.2 3D 软件设计 Z 向拉延筋截面参数

在使用 3D 软件设计 Z 向方形筋时,需要的关键参数如图 4 所示。为了便于分析与说明,将凸筋分为流入方向和流出方向分别计算。在流入方向,凸筋圆角与筋中心的距离 $d_1 \geq 0$,因此, R_1 存在极大值,其关系式为:

$$d_1 = \frac{w}{\cos \alpha} - R \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) \quad (1)$$

设定 R_1 判据为凸筋流入侧最大圆角 $R_{1\max}$,则:

$$R_{1\max} = \begin{cases} R & (d_1 \geq 0) \\ \frac{w}{\cos \alpha \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right)} & (d_1 < 0) \end{cases} \quad (2)$$

在流入方向,只有当筋较高时,凸筋流入侧圆角与压料面距离 $e_1 \geq 0$,则:

$$e_1 = H - R_{1\max} \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) \quad (3)$$

由公式(1)~公式(3),可得用 3D 软件设计筋时的参数:

$$R_1 = \begin{cases} R_{1\max} & (e_1 \geq 0) \\ \frac{1}{2} \sqrt{\left[R_{1\max} \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) - H \sin \alpha \right]^2 + [H \cos \alpha]^2} & (e_1 < 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$X_{in} = \begin{cases} w & (e_1 \geq 0) \\ w + R_1 + R_1 \cos[(\alpha - 90^\circ) + 2 \tan^{-1} \left(\frac{R_{1\max} \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) - H \sin \alpha}{H \cos \alpha} \right)] & (e_1 < 0) \end{cases} \quad (5)$$

式中: X_{in} 为凸筋流入侧立壁与拉延筋中心线在 Z 向投影的距离。

可得流出侧的几何约束关系 $d_2 \geq 0$,即:

$$d_2 = \frac{w}{\cos \alpha} - R \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) \quad (6)$$

设定 R_2 判据为凸筋流出侧最大圆角 $R_{2\max}$,则有以下关系式:

$$R_{2\max} = \begin{cases} R & (d_2 \geq 0) \\ \frac{w}{\cos \alpha \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right)} & (d_2 < 0) \end{cases} \quad (7)$$

在流出方向,只有当筋较高时,凸筋流出侧圆角与压料面距离 $e_2 \geq 0$,则:

$$e_2 = H - R_{2\max} \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) \quad (8)$$

由公式(6)~公式(8),可得用 3D 软件设计筋时的参数:

$$R_2 = \begin{cases} R_{2\max} & (e_2 \geq 0) \\ \frac{1}{2} H \cos \alpha & (e_2 < 0) \end{cases} \quad (9)$$

$$X_{out} = \begin{cases} w & (e_2 \geq 0) \\ w + R_2 + R_2 \cos\left[2 \tan^{-1} \left(\frac{R_{1\max} \tan\left(45^\circ + \frac{\alpha}{2}\right) + H \sin \alpha}{H \cos \alpha} \right) + (\alpha - 90^\circ) \right] & (e_2 < 0) \end{cases} \quad (10)$$

式中: X_{out} 为凸筋流出侧立壁与拉延筋中心线在 Z 向投影的距离。

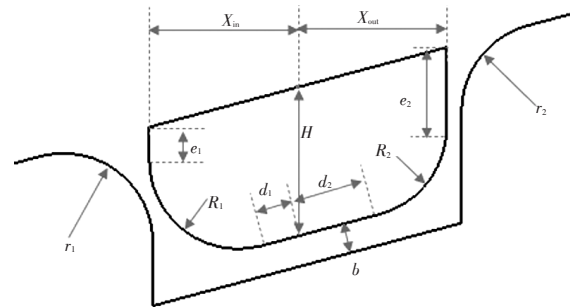


图 4 使用 3D 软件设计 Z 向方形筋时的关键参数

以上所有求解公式均未考虑料厚和基准侧,在 3D 软件设计筋时需要考虑料厚和基准侧,若为上型基准,压边圈上的凹筋参数增加料厚 t ;若为下型基准,则上模凸筋的参数增加料厚 t 。同时,以上的求解公式不包含凹筋的截面参数,因为在 3D 设计软件中可以将凸筋向外偏置间隙值 c 后,再与压料面倒角(凹筋流入、流出角),最后拉深凹筋立面即可得到最终凹筋形状。

4 前门外板拉延过程的模拟验证

为了对比 AutoForm 自动生成的拉延筋和用理论公式计算的拉延筋在拉延过程中的差别,采用某车型的前门外板进行模拟验证,主要模拟参数为:

板料材质为 FC180-340HD+Z;料厚为 0.7 mm;压边力为 2 800 kN;摩擦因数为 0.14;模拟精度为 FV。

在对比中,模拟文件 1 为 AutoForm 自动生成的拉延筋,且闭合和拉延过程中均保持筋型,即 Profile Based 3D Bead 模型,如图 5 所示。模拟文件 2

为用理论公式计算的拉延筋截面参数,再用 CATIA 制作的拉延筋,如图 6 所示,闭合和拉延过程也均保持拉延筋型。



图 5 AutoForm 应用的拉延筋模型

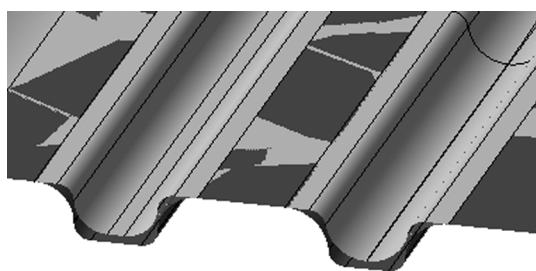


图 6 CATIA 中制作的筋型

4.1 拉延筋截面参数验证

一般情况下,CAITA 设计的筋,其筋高、凸筋圆角、凹筋圆角等参数只需要考虑料厚和基准侧,但当筋高较低时,其筋宽、凸凹筋间隙会与 AutoForm 生成的筋有偏差。在本次对比验证中,设定 AutoForm 的筋为等宽 Z 向方形筋,其筋宽为 10 mm,凸凹筋间隙为 0.5 mm。

在此模拟验证中,拉延筋为双层筋。为了检查筋在不同高度、不同压料面倾角下,CATIA 制作的筋与 AutoForm 生成筋的差别,采集了 7 段内侧筋的宽度和凸凹筋间隙值(图 7)作为对比量。其中筋宽的对比结果如表 1 所示。

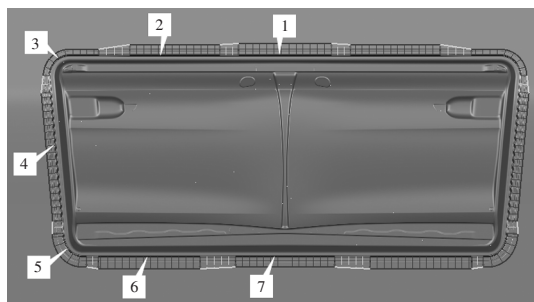


图 7 拉延筋的分段

由表 1 可知,通过用理论公式求解的 Z 向拉延筋截面参数制作的拉延筋,在筋高较低时与 AutoForm 生成的拉延筋的筋宽保持一致。拐角的筋高较低处偏差最大,最大偏差仅为 0.04 mm。

表 1 AutoForm 生成的筋与 CATIA 制作的筋宽度对比 mm

序号	1	2	3	4	5	6	7
AutoForm 筋宽	9.99	9.98	10.02	9.98	9.97	9.99	9.98
CATIA 筋宽	10.01	9.98	9.99	9.99	10.01	9.98	9.97
偏差	0.02	0	-0.03	0.01	0.04	-0.01	-0.01

由表 2 可知,通过用理论公式求解的 Z 向拉延筋截面参数制作的拉延筋,无论筋高如何变化,仍能保持较为恒定的凸凹筋间隙,且与 AutoForm 生成的拉延筋的间隙值最大偏差仅为 0.06 mm。

表 2 AutoForm 与 CATIA 凸凹筋间隙对比 mm

序号	1	2	3	4	5	6	7
AutoForm 筋间隙	0.50	0.51	0.53	0.51	0.52	0.50	0.51
CATIA 筋间隙	0.52	0.52	0.56	0.51	0.58	0.51	0.51
偏差	0.02	0.01	0.04	0	0.06	0.01	0

4.2 拉延结果验证

拉延筋对模拟结果最直接的影响便是流入量,图 8、图 9 分别为 AutoForm 生成筋的流入量和 CATIA 制作筋的流入量。通过对比,流入量误差小于 1 mm; AutoForm 生成筋的流入量较 CATIA 制作筋的流入量偏大,这与后者制作的筋宽偏大、凸凹筋间隙偏大有关,另外,AutoForm 生成的筋在拉延过程中有阻料的属性,但是 CATIA 生成的筋在 AutoForm 模拟过程中仅为一个造型失去了阻料的属性,导致其流入量偏大。

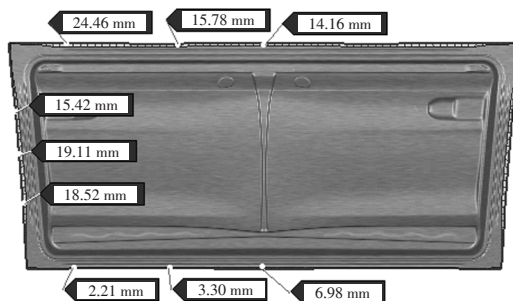


图 8 AutoForm 生成拉延筋的流入量

流入量的变化反映到拉延结果上便是减薄率的变化,图 10、图 11 分别为 AutoForm 生成筋的减薄率和 CATIA 制作筋的减薄率。通过对比,中间部位的减薄率没有变化,在靠近分模线附近的减

薄率有一定变化,变化量极小。

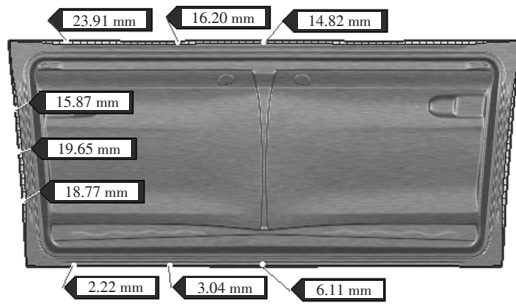


图 9 CATIA制作拉延筋的流入量

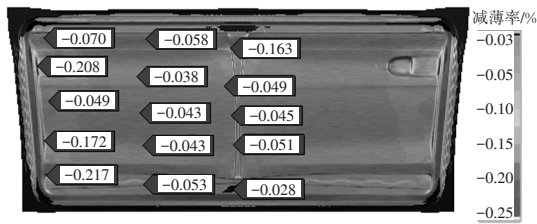


图 10 AutoForm生成拉延筋的减薄率

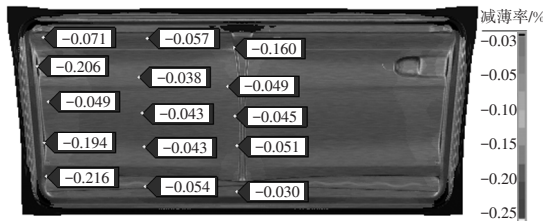


图 11 CATIA制作拉延筋的减薄率

5 结束语

通过分析 AutoForm 生成拉延筋的截面参数的几何约束关系,求解了 Z 向拉延筋的凸筋截面参数

的理论公式,并通过模拟验证得出了以下结论。

a. 在筋高较低时,AutoForm 生成 Z 向拉延筋截面参数有其特定的几何约束关系,可求解适用于 3D 软件设计拉延筋的关键参数的理论公式,考虑料厚和基准侧后,便可制作与 AutoForm 生成一致的筋。

b. 依据理论公式制作的拉延筋,其筋宽、凸凹筋间隙均与 AutoForm 生成的拉延筋截面形状有很好的—致性。

c. 使用 3D 软件设计的拉延筋和 AutoForm 生成的拉延筋,经过模拟验证,其流入量和减薄率均能保持良好的—致性。

参考文献:

[1] 金森. 方形拉深筋力能特性的数值模拟研究[J]. 燕山大学学报, 2001, 25(3): 209-212.

[2] 种亮, 孔垂品, 周雄辉. 覆盖件型面拉延筋参数化设计系统[J]. 模具技术, 2021, 233(5): 1-7.

[3] 熊洋, 王义林, 董剑安, 等. 基于 UG 的汽车覆盖件拉深筋参数化设计[J]. 模具工业, 2013, 39(1): 29-34.

[4] 王振, 张秋翀, 柳玉起, 等. 面向自动化设计的拉深筋参数化建模方法[J]. 锻压技术, 2016, 41(10): 37-42.

[5] 尹雁飞, 王义林, 王耕耘, 等. 汽车覆盖件拉延筋参数化设计[J]. 锻压装备与制造技术, 2010, 45(6): 75-78.

[6] 郑刚, 李光耀, 孙光永, 等. 基于近似模型的拉延筋几何参数反求[J]. 中国机械工程, 2006, 17(19): 1988-1992.

