

某薄壁壳体精密成形工艺数值模拟

姚宇康 冯再新 郭小森 王兴雷 左 森 李 健

(中北大学材料科学与工程学院)

摘 要 某异形壳体尺寸大、材料昂贵,材料利用率仅 10% 左右,加工成本居高不下。为提高材料利用率,在分析其结构特点的基础上,设计了新的成形工艺方案:下料-底部成形-薄壁成形-拉深-机加。在底部成形过程中分别设计了冲孔-翻孔-挤压法和连皮法;在薄壁成形时以减小加工余量的方式提高材料利用率。利用数值模拟方法,分析不同方案、不同坯料厚度及不同部分成形过程中的行程载荷、等效应力等,根据实际条件选择合适的工艺方案,最终使其材料利用率提高了 4 倍。

关键词 数值模拟;成形工艺;材料利用率;结构特点

中图分类号 TG230.2;TP311

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.05.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Numerical Simulation of Precision Forming Process for a Thin-walled Shell

Yao Yukang, Feng Zaixin, Guo Xiaosen, Wang Xinglei, Zuo Sen, Li Jian

(School of Materials Science and Engineering, North University of China)

Abstract: The processing cost of a special shaped shell is high as a result of large size, expensive material and only about 10% in material utilization. In order to improve the utilization rate of materials, a new forming scheme was designed based on its structural characteristics: blanking-bottom forming-thin wall part forming-deep drawing-mechanical processing. In the process of bottom forming, the punching-turning-squeeze method and even skin method were designed, respectively. In thin wall forming, the material utilization rate could be improved by reducing machining allowance. Using numerical simulation method to analyze the load, equivalent stress in different solutions, different blank thickness and different part, appropriate process was chosen according to the practical conditions to improve the material utilization by 4 times.

Key Words: Numerical Simulation, Forming Process, Material Utilization Rate, Structural Characteristics

30Cr3 超高强度合金钢具有良好的综合性能,被广泛应用于航空、航海、车辆和动力领域,但价格昂贵^[1]。某壳体零件材质为 30Cr3 合金钢,壁厚差大,底部厚度为 32.0 mm,见图 1,最薄部位仅为 2.8 mm,厚薄比达

11.4;目前,壳体采用锻压制坯。生产过程为:下料-自由锻-机加工,材料利用率仅 12.5%,后续机加工时间长,成本高,为了降低成本,本课题拟采用精密成形工艺制坯,以降低该产品成本。

收稿日期:2022-02-20;**修改稿收到日期:**2022-03-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51871075)

第一作者简介:姚宇康,男,1995 年出生,硕士研究生,太原(030051),E-mail:596422100@qq.com

通信作者:冯再新,男,1968 年出生,教授,太原(030051),E-mail:fengzaixin@nuc.edu.cn

引用格式:姚宇康,冯再新,郭小森,等. 某薄壁壳体精密成形工艺数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(5):627-630.

YAO Y K, FENG Z X, GUO X S, et al. Numerical simulation of precision forming process for a thin-walled shell[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(5):627-630.

[11] 李国丽,彭公秋,钟翔屿. 国产 T800 级碳纤维复合材料力学性能 [A]. 第二十一届全国复合材料学术会议[C]. 呼和浩特,2020.

[12] 乔伟静,田艳红,张学军. 国产聚丙烯基高强高模碳纤维电化学氧化表面处理工艺[J]. 复合材料学报,2018,35(9):2449-2457.

[13] 贺福. 碳纤维及其应用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[14] 聂明明,徐志锋,徐鹏,等. 纤维预热温度对 3D-C_f/Al 复合材料显微组织及力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报,2016,26(5):1001-1009.

[15] 胡银生,尹家新,余欢,等. 保压时间对 3D-SiC_f/Al 复合材料组

织及力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2018,38(10):1100-1104.

[16] 帅亮,余欢,徐志锋,等. 三维五向 C_f/Al 复合材料不同温度下的轴向弯曲变形力学行为[J]. 材料导报,2020,34(20):137-142.

[17] 支建海,钱鑫,张永刚,等. 国产碳纤维增强树脂基复合材料的界面结合性能研究[J]. 合成纤维工业,2018,41(4):14-17.

[18] 王迎芬,刘刚,彭公秋,等. 国产 T700 级碳纤维/双马来酰亚胺树脂复合材料界面性能[J]. 材料工程,2018,46(4):140-145.

(编辑:刘卫)

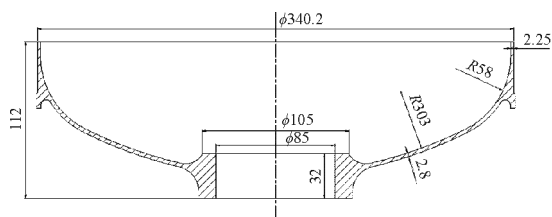


图 1 某壳体零件
Fig.1 A shell part

1 成形工艺方案

壳体分为底部区域和外侧凸起两个区域,采用锻造工艺时,要保证较厚部分及外侧凸起留有足够的加工量,选择等厚度的板料制坯,造成薄壁区域的加工余量是厚部的 11 倍左右,见图 2。

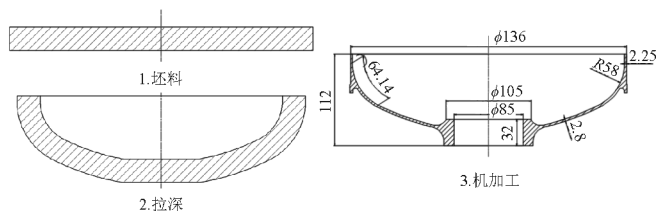


图 2 锻压工序
Fig.2 Forging procedure

根据壳体的结构特点,采用底部成形-薄壁成形-拉深成形的方案制坯,依据 GB/T 12362-2003,薄壁区域加工余量为 2.2 mm,底部区域加工余量为 2.0 mm^[2]。底部中间孔径为 φ85.0 mm,其体积约占坯料体积的 5%。为充分利用这部分,可选成形方案有两个:冲孔-翻孔-挤压法和连皮法成形,其毛坯图见图 3。

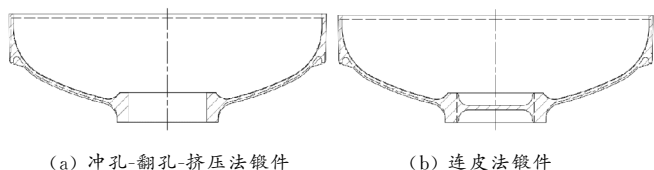


图 3 不同方案的锻件图

Fig.3 Forging diagram in different schemes

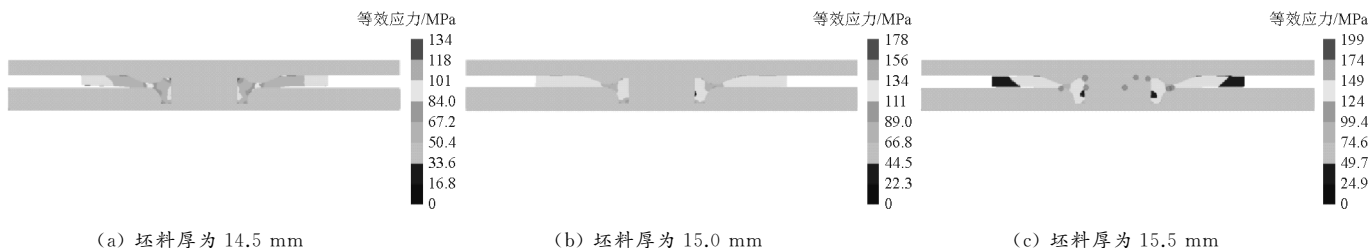


图 5 方案 1 底部成形等效应力云图

Fig.5 Equivalent stress nephogram of bottom forming in scheme 1

底部成形完整,无缺陷产生;厚 15.5 mm 坯料底部成形时,变形区域等效应力最小值为 49.7 MPa,最大值为 99.4 MPa,其最大挤压力为 4 820 kN,出现了折叠缺

2 成形模拟及结果分析

2.1 底部成形工艺

分别以冲孔-翻孔-挤压法(方案 1)和连皮法(方案 2)进行成形模拟,其工序见图 4。

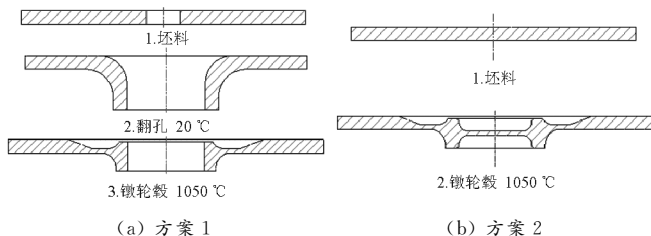


图 4 底部成形工序图

Fig.4 Procedure diagram of bottom forming

在制坯过程中,坯料太薄,底部成形时难以充满,坯料太厚,后续薄壁部分成形困难。在保证底部成形的前提下,坯料越薄越好。根据体积守恒原则及多次模拟,方案 1 选取厚度分别为 14.5、15.0、15.5 mm 的坯料进行模拟试验,冲孔的孔径为 φ38.5 mm,经过计算,此时可以满足极限翻孔系数要求^[3];方案 2 选取 16.5、17.0、17.5、18.0 mm 的坯料进行模拟,连皮厚度为 5.0 mm^[4]。

使用 Deform 软件进行数值模拟,使用四面体划分网格,最小元素尺寸约为 1.14 mm,设置凸模挤压速度为 1 mm/s。方案 1 的翻孔前,在常温下进行冲孔,摩擦因数恒定为 0.12;方案 1 和方案 2 锻底过程中温度设定为 1 050 °C,使用恒温解析,凸凹模温度均为 1 050 °C,摩擦因数恒定为 0.2^[5]。模拟等效应力云图见图 5、图 6。用 Y32-500 液压机试验,其公称压力为 5 000 kN。

从图 5 可知,厚 14.5 mm 坯料成形时,变形较大的区域等效应力最小值为 67.2 MPa,最大值为 101.0 MPa,底部不能完全成形;厚 15.0 mm 坯料底部成形时,等效应力最小值为 66.8 MPa,最大值为 111.0 MPa,应力分布较为均匀,其最大挤压力为 4 650 kN,

陷。从图 6 可以看出,坯料厚度增加至 18.0 mm 时,底部才能成形。在挤压过程中,由于凸凹模中间凸起接触

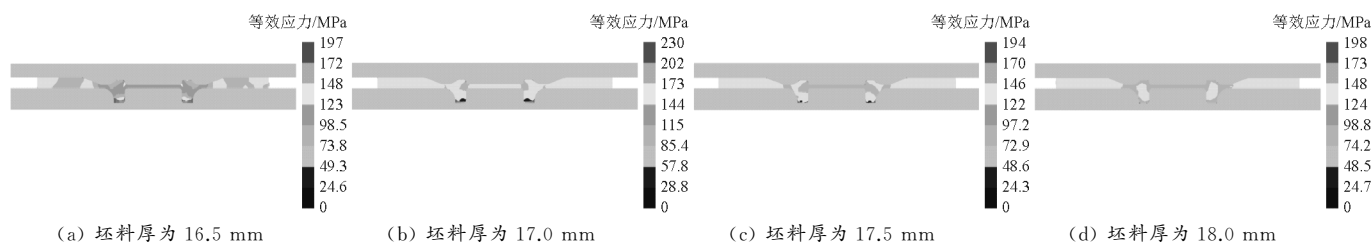


图6 方案2底部成形等效应力云图

Fig.6 Equivalent stress nephogram of bottom forming in scheme 2

时,金属沿径向流动至薄壁区域,使得合金体积不够,不能充满型腔,且会增加所需的挤压力,其挤压力分别为 10 700、12 300、14 100、18 600 kN,大于 Y32-500 液压机的 5 000 kN。厚 17.0 mm 坯料的变形过程流动速度

云图见图 7。

经过计算,方案 1 中冲孔体积为 17 462.35 mm³,方案 2 中连皮体积为 25 132.74 mm³,且方案 1 所需挤压力远小于方案 2,故底部用方案 1 成形。

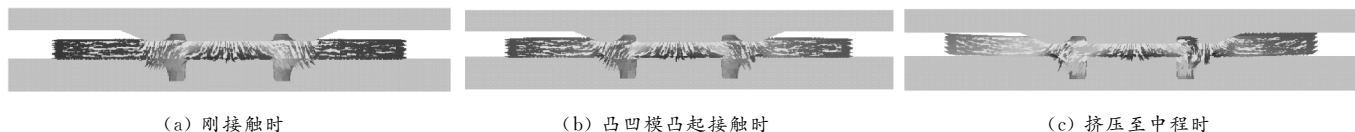


图7 17 mm厚坯料流动速度云图

Fig.7 Nephogram of flow velocity of blank with 17 mm thickness

2.2 薄壁部分成形方案

薄壁部分面积大,一次成形时易形成“死区”,为了改变应力状态,降低挤压力,采用逐次减薄的成形方案。以逐次减薄方式进行减薄成形时,需确定合理的减薄次数,同时注意变形区对已变形区的影响^[6]。通过改变凸模形状,增加一个斜面,与水平方向的夹角为 20°,其在挤压过程中为工件施加一个向外扩张的力来减少变形区对已变形区的影响。经过试验,第 1 次减薄直径为 200 mm 时,压力为 7 430 kN,大于 Y32-500 液压机的公称压力;第 1 次减薄直径为 190 mm 时,压力为 4 070 kN,小于公称压力,故第 1 次减薄直径为 190 mm。在衔接过程中,相邻两道工序凸模直径变化应在斜面的投影范围内,以使斜面发挥作用,故逐次增加的直径为 37 mm。在薄壁区域有外侧凸起,为了保证符合工件要求,减少部分减薄区域,在拉深时,未减薄区域顺利成为

薄壁区域的凸起部分。根据弧长公式计算,外侧凸起在减薄后直径 320 mm 之外,同时考虑到斜面区域会导致尺寸不符合要求,最终减薄直径为 $\phi 300$ mm。减薄工序图见图 8,模拟结果见图 9。

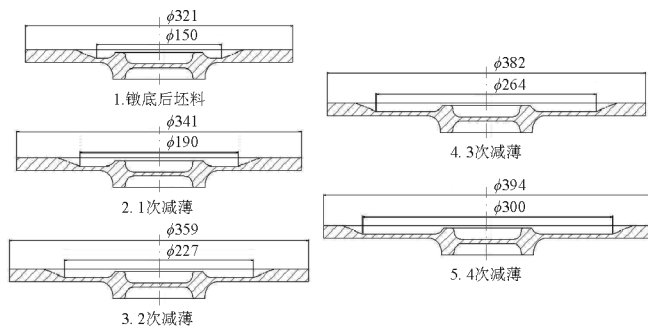


图8 减薄工序图

Fig.8 Thinning process diagram

从图9中可以看出,4次减薄后,等效应力主要集

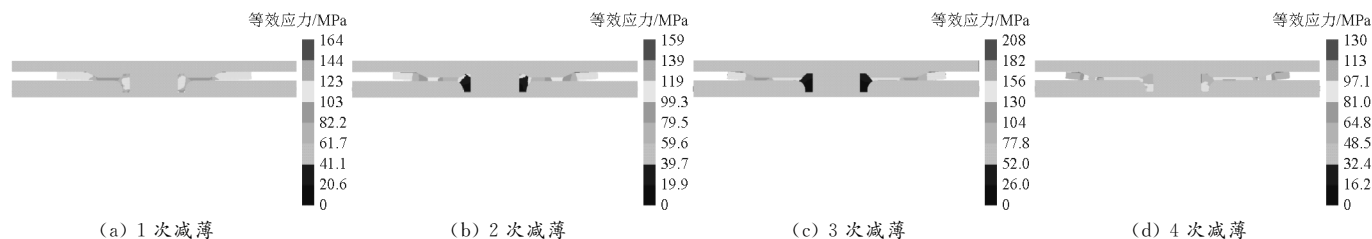


图9 减薄完成的等效应力云图

Fig.9 Equivalent stress nephogram after thinning

中在变形区域,且均在 80~130 MPa 内,已变薄区域的等效应力均在 70 MPa 以下。在所有的减薄过程中,随着直径增加,面积也有所不同,但是所需挤压力均在 3 000~5 000 kN,符合设备要求,且变形充分均匀,无

缺陷产生^[7]。

2.3 拉深成形模拟及验证

图 10 为成形过程中凸模载荷随时间变化的曲线。可以看出,拉深时间在 78~110 s 时,压力增加;在挤压

至最终阶段时,压力急剧增加,这是由于贴模时多方面因素导致的,其最大值为 3 090 kN。图 11 为挤压 86 s 时和完成时的的等效应力云图。可以看到,未减薄区域

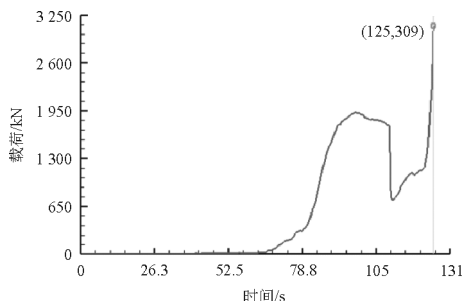
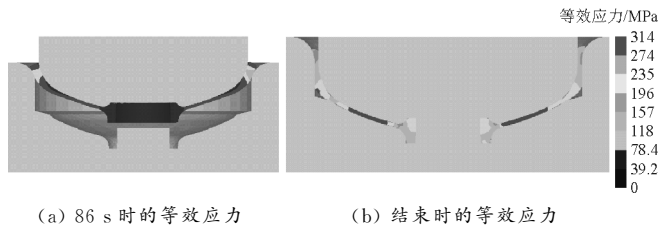


图 10 成形过程中凸模载荷随时间变化的曲线

Fig.10 Variation curve of punch load with time in forming process

在拉深变形时由于凸模及凹模拉深圆角的挤压,此区域为应力集中区域;从图 11b 可以看出,贴模时应力集中区域为外侧凸起部位。在实际试验中,翻孔完整,无裂纹,底部成形及薄壁部分成形完整,未出现因变形产生的裂纹,挤压力与模拟结果基本符合,最后的拉深结果无褶皱,毛坯尺寸符合要求,见图 12^[8]。

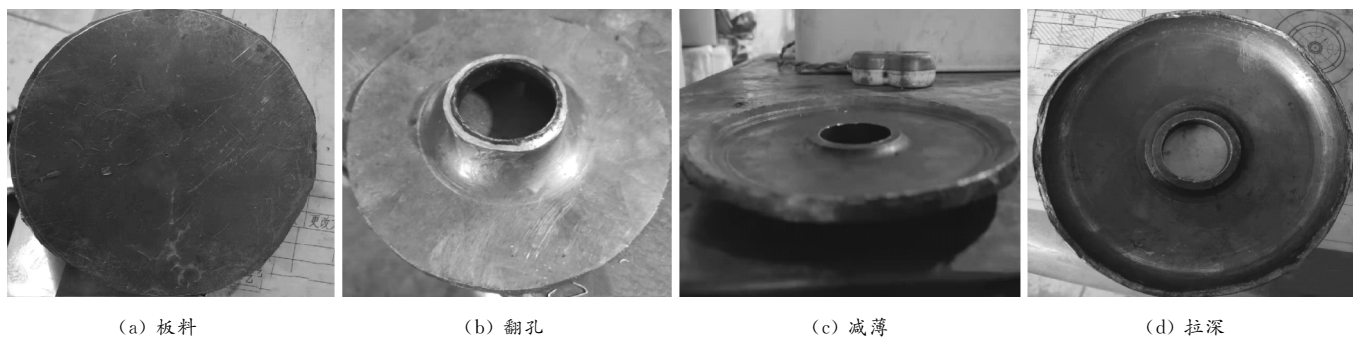


(a) 86 s 时的等效应力

(b) 结束时的等效应力

图 11 拉深成形等效应力云图

Fig.11 Equivalent stress nephogram of deep drawing



(a) 板料

(b) 翻孔

(c) 减薄

(d) 拉深

图 12 壳体挤压过程的零件形貌

Fig.12 Component appearance during extruded process

3 结 论

通过对壳体工件结构特点及多次数值模拟结果分析,坯料选用厚度为 15.0 mm,直径为 295 mm 的板料,使用冲孔方式冲出 38.5 mm 的预冲孔,通过翻孔、挤压的方式形成较厚的底部;通过分次减薄及设计斜面模具使外侧金属向外扩展时形成薄壁部分;通过拉深-挤压整体成形,同时成形外侧凸起区域,最终进行机加达到零件精度要求。经试验验证,材料利用率提高至 58.5%;成形过程中所需的最高压力为 5 000 kN,且成形后符合尺寸要求。

参 考 文 献

- [1] 唐康. 30Cr3 超高强度钢激光选区熔化成形性研究[D]. 东营:中国石油大学(华东), 2016.
- [2] 石浩哲. 基于 UG& 斯沃仿真的一体化曲面加工研究[J]. 机械研究与应用, 2016, 29(4): 201-203.
- [3] 熊勇勇. 开式冲孔变形研究[D]. 南昌:南昌大学, 2013.
- [4] 闫洪. 锻造工艺与模具设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2015.
- [5] 刘雁峰. 镁合金正挤压-弯曲剪切复合连续变形模具型腔设计及工艺参数优化[D]. 长沙:湖南科技大学, 2017.
- [6] 周六如. 金属板料数控渐进成形机理及工艺的研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2004.

[7] 胡捷飞. 四辊式卷板机滚弯成形工艺的理论研究及试验分析[D]. 上海:上海理工大学, 2016.

[8] 刘奇, 申红斌, 李保永, 等. 5A06 铝合金鞍型横梁等温挤压近净成形工艺[J]. 锻压技术, 2020, 45(1): 136-143.

(编辑:刘卫)

特斯拉柏林工厂将配套 8 台超大型压铸机

德国《商报》报道,现代化的特斯拉汽车工厂在柏林格林海德启动。特斯拉柏林工厂的压铸车间,采用特斯拉“公司色”的巨型压铸机正在生产车身部件,该压铸机的模具重达 50 t。该压铸车间不久还将压制电池箱,即 4680 锂电池的壳体。

据介绍,柏林工厂里将再加装六台“超级压铸机”,总计将达 8 台。是因为 Model Y 车型不仅后车身一体压铸成型,而且前车身也将由单次压铸制成。这款跨界车将变成了由极少部件组装而成的一个结构套件。

未来,特斯拉汽车车身将主要由 3 部分组成,包括前车身和后车身这两个大部件将与电池箱相连,这种方法总共省去了 370 个生产步骤。马斯克说:“仅后车身就为我们节省了 300 台机器人。”

(摘自压铸周刊)