

钛合金高方盒形件拉深新方法

李 涛, 袁秦峰, 王以华

(浙江申吉钛业股份有限公司, 浙江 湖州 313307)

摘要: 为了解决现行高方盒形件成形效率低、生产成本高等问题, 提出一种新的成形工艺——锥形与方形组合凹模成形工艺。运用 Qform2D/3D、V7 分别在传统的辐射状和新工艺的锥形与方形组合凹模中模拟板材高方盒形件拉深成形过程, 并据 M-K 失稳准则和 Hill48 判据损伤评价研究力的规范、应力-应变状态。分析结果表明: 对于高方盒形件拉深成形, 采用传统辐射状凹模拉深平均应力较锥形-方形组合凹模中拉深平均应力大 10%, 此时, 在组合凹模中最大变形程度位置平均应变较传统辐射状凹模小 16%, 新成形工艺提高了变形均匀性。同时, 板材在组合凹模中采用压边圈条件下, 仅要一段锥形与一段方形的组合凹模, 经一个工步成形高方盒形件; 在不使用压边圈条件下, 可用两段锥形与一段方形的组合凹模, 经一个工步成形高方盒形件。这一研究成果为类似零件在拉深过程中免除中间退火工序、实现自动化生产线创造了条件。

关键词: 拉深; 高方盒形零件; 凹模; 凸模; 强度; 应力; 应变; 断裂

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.05.018

中图分类号: TP391.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2022) 05-0116-06

New deep drawing method for titanium alloy high square box parts

Li Tao, Yuan Qinfeng, Wang Yihua

(Zhejiang Shenji Taiye Industry Co., Ltd., Huzhou 313307, China)

Abstract: In order to solve the problems of low forming efficiency and high production cost for high square box parts, a new forming process of conical and square combined die forming process was proposed. The deep drawing process of high square box part for sheet metal was simulated by using Qform2D/3D and V7 in the traditional radial die and the new process of conical and square combined die respectively, and the specification of force and the stress-strain state were studied according to the M-K instability criterion and Hill48 criterion damage evaluation. For the deep drawing of high square box part, the analysis results show that the average stress of deep drawing with the traditional radial die is 10% larger than that with the conical and square combined die, and the average strain with the conical and square combined die is 16% smaller than that with the radial die at the maximum deformation position. The deformation uniform is improved by the new forming process. Meanwhile, when the blank holder is used in the combined die of sheet, the combined die with only one conical section and one square section is needed to form a high square box part in one step, and under the condition without blank holder, the high square box part can be formed by the combined die with two conical sections and one square section in one step. Thus, the above research results create conditions for eliminate the intermediate annealing process in the deep drawing process for similar parts and realize automatic production line.

Key words: deep drawing; high square box part; die; punch; strength; stress; strain; fracture

方盒形件被广泛应用于航空航天、汽车、仪表等工业领域, 甚至应用于日常生活用品。现行的方盒形件成形工艺为利用平板坯在对应形状的模具中经多道次拉深成形: 第 1 道工序, 在模具中获得圆柱形半成品, 之后几道工序成形方盒形件, 中间伴随退火、清洗等污染环境的工序。其生产成本低、成形效率低。

方盒形件拉深成形过程的受力情况较为复杂,

圆角区域主要发生塑性变形, 直壁区域主要发生拉深变形。国内外学者对方形件、矩形件拉深进行了实验和研究。黄珍媛等^[1]认为拉延次序是影响拉延成形成功与否的重要因素, 拟定了先反向、后正向的拉延方案, 并通过实验验证了方案的可行性。尤彬波等^[2]以某车型 A 柱加强板为研究对象, 对其成形过程中可能出现的开裂、起皱、回弹等缺陷进行预测, 通过调节压边力并增加工艺补充造型成功地消除了起皱等缺陷。李奇涵等^[3]研究分析了方盒形件在不同压边力加载模式下的拉深成形性能和极限拉深比, 建立了方盒形件成形过程中变压边力加载

收稿日期: 2021-03-31; 修订日期: 2021-07-08

作者简介: 李 涛 (1970-), 男, 学士, 工程师

E-mail: doudou060119@qq.com

规律的神经网络预测模型,发现A型变压边力加载模式能够更好地改善方盒形件的成形质量,但也不能消除中间退火工序。

本文借助Qform2D/3D、V7软件分别对高方盒形件在传统的辐射状和锥形与方形组合凹模中拉深成形过程进行了模拟。板材在组合凹模中采用压边圈条件下,仅需一段锥形与一段方形经一个工步即可成形高方盒形件;在无压边圈条件下,需两段锥形与一段方形经一个工步可成形高方盒形件。新工艺为提高类似零件拉深成形效率、节约生产成本,提供了依据。

1 传统工艺分析

采用文献[4]中的高方盒形件的高宽比范围,即考虑切边余量零件高度 H /对应高方盒形零件横截面宽(长)度 $B>0.6\sim 0.8$,研究对象为工业纯钛板TA1(GB/T 3621—2007^[5])拉深成形的高方盒形件,零件边长为45 mm、高度为50 mm,由圆板毛坯 $\Phi 110\text{ mm}\times 1.5\text{ mm}$ 在具有不同几何尺寸的凹模中拉深成形。

在模拟条件下,选择名义力为5 MN的液压机,设置拉深速度 $v=2\text{ mm}\cdot\text{ms}^{-1}$,设置材料接触边界和模具摩擦因数 $\mu=0.15$ 。按照文献[6]确定总的拉深系数 $m=0.52$ 和毛坯相对厚度 $(S/D)\times 100=1.36$,其中, S 为板坯厚度, D 为板坯直径。为了获得所规定的零件尺寸,在最简单的凹模内进行2道次拉深工序。在第1道工序,拉深成直径为 $\Phi 75\text{ mm}$ 的半成品杯形件;在第2道工序,拉深成高方盒形件,如图1所示,其中, r_0 为圆形毛坯半径, r'_0 为半成品杯形件半径, r_y 为高方盒形件圆角半径。

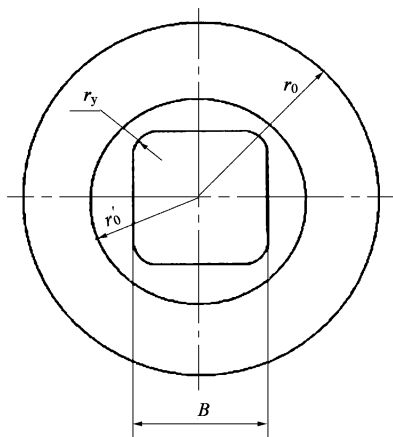


图1 第2道工序拉深成形高方盒形件

Fig. 1 Deep drawing of high square box part in the second process

借助Qform2D/3D、V7软件模拟两道次拉深工序(圆坯→圆柱体,圆柱体→高方盒形)过程,如图2所示。

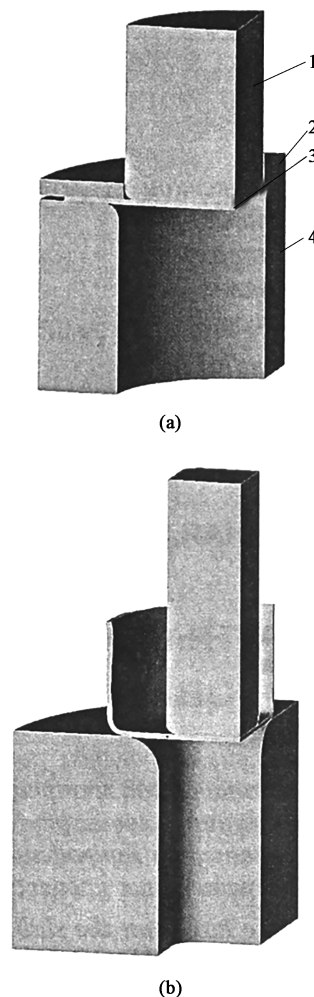


图2 传统工艺拉深成形过程示意图

(a) 圆坯→圆柱体 (b) 圆柱体→高方盒形

1. 凸模 2. 压边圈 3. 毛坯 4. 凹模

Fig. 2 Schematic diagrams of traditional deep drawing process

(a) Round billet → cylinder (b) Cylinder → high square box

在实施第1道工序时,未出现带有传统圆柱体零件拉深成形工艺的特点。但是,从圆柱体拉深成形高方盒形时(图2b),毛坯到达凸模侧面中点位置较到达角部区域早得多(图3),这就导致了褶皱的出现^[7],且在拉深完成后褶皱仍然留存,可以通过切边工序去除该缺陷。

2 新拉深成形工艺分析

2.1 在一段锥形和方形组合凹模中试验

本文提出了一种新的拉深成形工艺,该工艺能

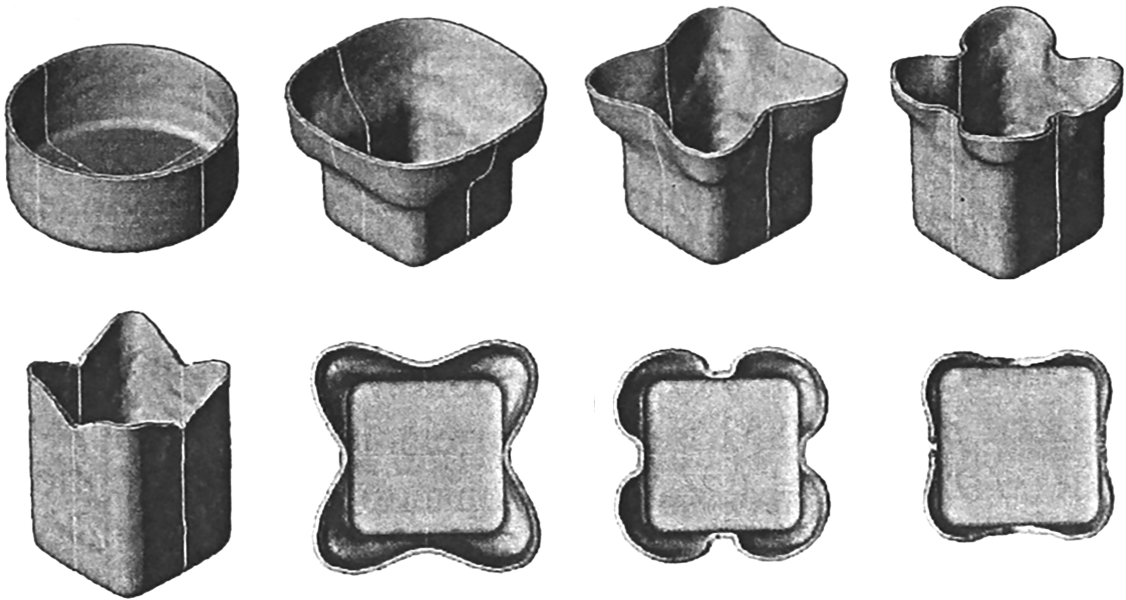


图 3 传统工艺成形的高方盒形零件
Fig. 3 High square box parts formed by traditional process

够用一个工步在各种形式的锥形和方形组合凹模中完成。在这种组合凹模中进行拉深成形试验，能够用圆形毛坯在有压边圈压边的条件下，用方形凸模在组合形状凹模中成形。组合凹模上部分为锥形、下部分为方形，锥形表面与方形零件直壁平面的交线形成双曲线拉深边缘^[8]（图 4）。

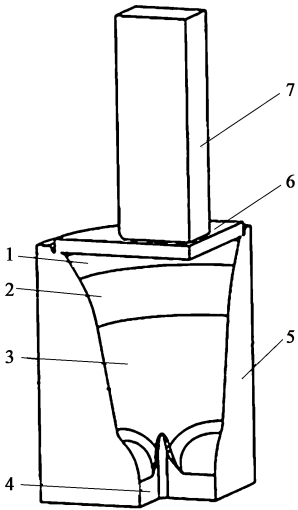


图 4 双锥形和方形组合凹模示意图
1. 第 1 段锥形 2. 平滑过渡段 3. 第 2 段锥形 4. 方形空心柱结构
5. 凹模 6. 毛坯 7. 凸模

Fig. 4 Schematic diagram of double conical and square combined die

显而易见，圆形毛坯在一段锥形和方形组合凹模中拉深成形高方盒形件时会与底部脱离（图 5），所以，在一段锥形和方形组合凹模中一步拉深成形

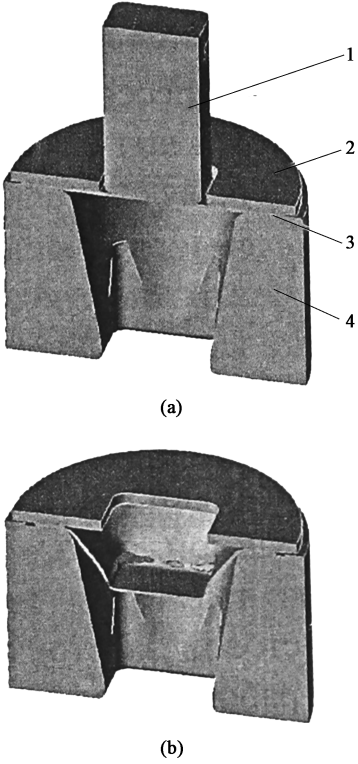


图 5 在 1 段锥形和方形组合凹模中拉深成形过程示意图
(a) 开始瞬间 (b) 离底瞬间
1. 凸模 2. 压边圈 3. 毛坯 4. 凹模
Fig. 5 Schematic diagrams of deep drawing process in one-section conical and square combined die
(a) Moment of start (b) Moment of off bottom

高方盒形件时需要压边装置。

2.2 在两段锥形和方形组合凹模中试验

图6为在两段锥形和方形组合凹模中未使用压边圈的拉深成形过程示意图。在这种组合凹模中,

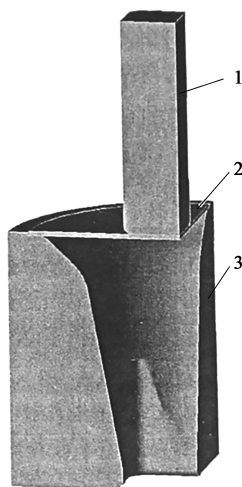


图6 两段锥形和方形组合凹模中无压边圈时的拉深成形过程示意图

1. 凸模 2. 毛坯 3. 凹模

Fig. 6 Schematic diagram of deep drawing process in two-section conical and square combined die without blank holder

高方盒形件的拉深成形特点为: 凹模上部分由两个相贯锥形组成, 在上、下两个工作主体之间有足够大半径的平滑过渡, 模具下部分靠近底部为方形(图4)。在两段锥形和方形组合凹模中用一个工作行程获得高方盒形件的拉深成形过程如图7所示。

从图7中可以看到, 在两段锥形和方形组合凹模中用一个工作行程获得的半成品, 其上端面较用传统的辐射状凹模拉深成形的半成品更加均匀、光洁, 材料整体变形分布也更加均匀^[9]。

3 新旧拉深成形工艺对比分析

图8为拉深成形过程中 P 点(零件最大可能破裂部位)的拉深力的变化曲线。由图8可以看出, 在锥形和方形组合凹模中的拉深力较传统的辐射状凹模中的拉深力小。其原因为: 毛坯在组合凹模中拉深成形高方盒形件具有最有利条件^[10], 使之后形成的锥形法兰具有更高的稳定性。两段锥形和方形组合凹模保证了在拉深成形过程中拉深力的变化最为平稳。

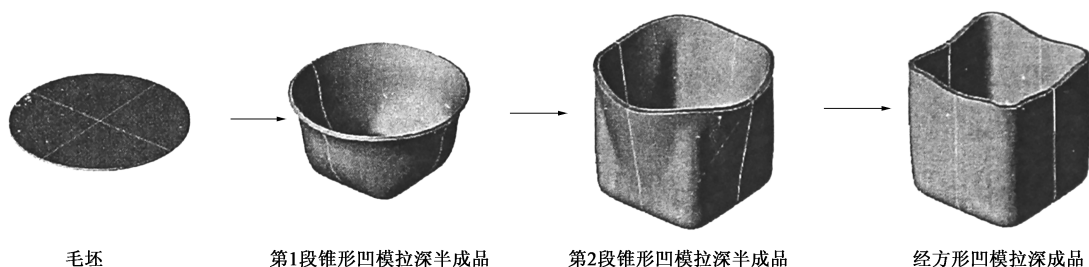


图7 在两段锥形和方形组合凹模中高方盒形件的拉深成形过程

Fig. 7 Deep drawing process of high square box part in two-section conical and square combined die

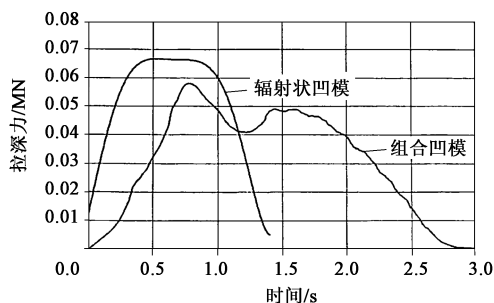


图8 拉深成形过程中 P 点拉深力的变化曲线

Fig. 8 Change curves of drawing force at point P in deep drawing process

保障冷拉深成形过程稳定的重要因素之一为材料在塑性变形过程中不发生破坏^[11]。模拟软件Qform2D/3D、V7根据Hill48判据及M-K失稳准则^[12], 确定预测各种金属破坏的方法。

图9为根据Hill48判据及M-K失稳准则的高

方盒形件拉深破坏标准数值指标, 该指标根据整个材料在各种模具中拉深成形高方盒形件所得。图9中标尺表示拉深破坏标准值, 即为归一化的损伤值, 如果达到1.0, 则出现破裂。显而易见, 组合凹模比辐射状凹模的破裂值小, 且二者均小于1.0。

获得结果表明, 对于两种拉深成形工艺, 在加载过程中材料均未发生破裂。在此条件下, 高方盒形件最大可能破坏部位为壁与底部的连接处^[7]。该部位标志点 P 在拉深成形过程中的平均应力、平均应变变化趋势如图10和图11所示。

分析结果表明, 在辐射状凹模中多次拉深成形后 P 点平均应力较锥形和方形组合凹模中大10%, 此时, 锥形和方形组合凹模中的最大变形程度下 P 点的平均应变较辐射状凹模中小16%。

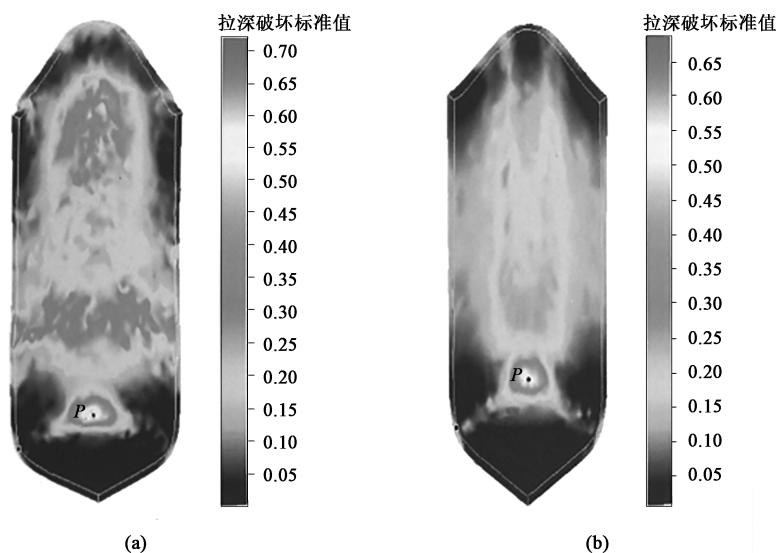


图 9 根据 M-K 失稳准则和 Hill48 判据的高方盒件拉深破坏标准值的分布

(a) 辐射状凹模 (b) 组合凹模

Fig. 9 Distributions of standard values for high deep drawing failure for high square box parts according to M-K instability criterion and Hill48 criterion

(a) Radial die (b) Combined die

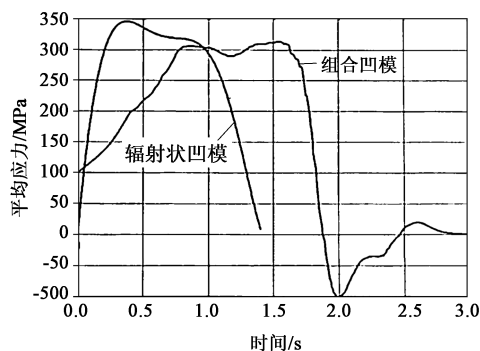


图 10 拉深成形过程中 P 点的平均应力变化曲线

Fig. 10 Change curves of average stress at point P in deep drawing process

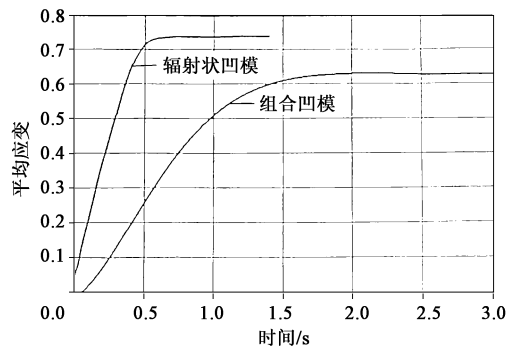


图 11 拉深成形过程中 P 点的应变变化曲线

Fig. 11 Change curves of average strain at point P in deep drawing process

4 结论

(1) 在锥形和方形组合凹模中, 由板材拉深高

方盒件, 与辐射状凹模相比, 提高了变形均匀性, 降低平均拉伸应力约 10%。此时, 在组合凹模中最大变形程度下 P 点的平均应变较辐射状凹模小 16%。

(2) 本文提出的高方盒件拉深成形新工艺可行。在采用压边圈条件下, 可用一段锥形和方形组合凹模, 经一个工步成形高方盒件; 在不使用压边圈条件下, 可用两段锥形和方形组合凹模, 经一个工步成形高方盒件。

参考文献:

- [1] 黄珍媛, 谭朋朋, 李超. 薄壁高矩形金属食品罐多道次拉深工艺设计 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (7): 40-45.
Huang Z Y, Tan P P, Li C. Multi-pass drawing process design on thin-walled high rectangle metal food can [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (7): 40-45.
- [2] 尤彬波, 林楷, 谢育涛, 等. A 柱加强板热成形拐角开裂起皱优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (3): 105-110.
You B B, Lin K, Xie Y T, et al. Optimization on wrinkle and crack at corner of A-pillar reinforcement panel in thermoforming [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (3): 105-110.
- [3] 李奇涵, 邢继刚, 高嵩, 等. 5052 铝合金方盒件冲压成形变压力技术 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (9): 51-56.
Li Q H, Xing J G, Gao S, et al. Variable blank holder force technology of stamping for 5052 aluminum alloy square box parts [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (9): 51-56.
- [4] 《冲模设计手册》编写组. 冲模设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

(下转第 174 页)