

不同搭边对微型电机外壳级进拉深成形质量的影响规律

黄珍媛¹, 陈景茂¹, 魏婉珠¹, 谢佳娜², 陈敏生²

(1. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510641;

2. 揭阳市汇宝昌电器有限公司, 广东 揭阳 522000)

摘要: 针对某微型电机外壳, 设计了级进冲压工艺方案, 该方案设计了一种先变形后拉伸的新型柔性搭边结构; 利用软件对微型电机外壳多道次拉深成形过程进行了模拟分析, 并根据材料利用率、搭边平均厚度、最大减薄率和壁厚变化趋势等指标, 比较了采用柔性搭边结构和传统搭边结构对微型电机外壳产品的影响, 获得了不同的搭边形式对级进拉深成形过程中产品壁厚变化的影响规律。通过理论分析和实际的生产结果表明: 在生产过程中, 切废料式搭边直接被拉伸, 搭边与工序件连接处易发生撕裂现象, 而柔性搭边先发生变形再被拉伸, 减薄率极小, 安全性相对较高; 且新型柔性搭边结构与传统搭边结构相比, 在级进拉深中稳定性更高、材料流动性更好、壁厚均匀性更高、材料利用率更高, 材料最大减薄率仅次于切缝式搭边。

关键词: 微型电机外壳; 柔性搭边; 多道次拉深; 排样; 材料利用率

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.11.013

中图分类号: TG386.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2022) 11-0095-07

Influence law of different edge on forming quality of progressive deep drawing for micro motor shell

Huang Zhenyuan¹, Chen Jingmao¹, Wei Wanzhu¹, Xie Jiana², Chen Minsheng²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2. Jieyang Huibaochang Electrical Appliance Co., Ltd., Jieyang 522000, China)

Abstract: For a micro motor shell, a process scheme of progressive stamping was designed, which was a new type of flexible edge structure that was deformed first and then stretched, and the multi-pass deep drawing process of micro motor shell was simulated and analyzed by software. Then, according to material utilization rate, average edge thickness, maximum thinning rate and change trend of wall thickness and other indicators, the influences of flexible edge structure and traditional edge structure on the micro motor shell products were compared, and the influence laws of the different edge forms on the wall thickness of product during the progressive deep drawing process were obtained. The theoretical analysis and actual production results show that in the production process, the edge of scrap cutting type is directly stretched, and the connection between edge and process part is prone to tearing. While the flexible edge is deformed first and then stretched, the thinning rate is extremely small and the safety is relatively high. In addition, compared with the traditional edge structure, the new type of flexible edge structure has higher stability in the progressive deep drawing, better material fluidity, higher wall thickness uniformity and higher material utilization rate, and the maximum thinning rate of material is only second to the edge of slit type.

Key words: micro motor shell; flexible edge; multi-pass deep drawing; layout; material utilization rate

微型电机外壳的需求量大, 形状复杂, 精度要求高, 一般采用生产效率较高的级进模进行生产。

但因电机外壳具有高径比较大的外形特征, 往往需要多道次拉深才能成形。多道次拉深过程中材料会多次发生流动, 而在拉深过程中搭边会阻碍变形区材料的流动, 从而使搭接部分的壁厚减薄, 甚至会造成破裂, 严重影响成形质量^[1-2]。搭边的排样设计能够直接影响材料利用率, 因此, 优化搭边的排样设计是提高产品成形质量和降低生产成本的重要途径。目前传统的多道次拉深级进模通常采用切缝

收稿日期: 2021-11-17; 修订日期: 2022-02-15

基金项目: 2020年广东省科技大专项揭阳专项(x2jq-B8210180)

作者简介: 黄珍媛(1975-), 女, 博士, 副教授

E-mail: zhenyuan@scut.edu.cn

通信作者: 陈景茂(1999-), 男, 硕士研究生

E-mail: 1427658768@qq.com

式搭边,材料利用率仅为 60%左右,而材料成本占冲压加工总成本的比例高达 60%~80%。

当前有诸多学者围绕提高材料利用率的问题对搭边进行了研究,而搭边的设计主要以文献 [3] 中的方法为依据。曹立生^[4]针对定子冲片的排样设计提出,将排样由直排改为斜排可提高 4.5% 的材料利用率;鲁建平^[5]设计的壳体零件多工位拉深级进模中利用 3 个工位冲切了 4 个切口作为搭边,减小了拉深时的变形阻力。不同的产品采用不同的搭边方式对于级进模的设计有着极大的影响^[6-10],而好的搭边设计更能够极大地提高材料利用率,保证产品的质量^[11-14]。

本文以某微型电机外壳为例,设计了 3 种不同的搭边形式,并通过数值模拟对其在多道次拉深中的变形过程进行了分析,从材料利用率、搭边平均

厚度、最大减薄率和壁厚变化趋势等指标,研究了不同的搭边形式对级进拉深成形质量的影响规律。

1 传统搭边和柔性搭边设计

1.1 研究对象

本文的研究对象为如图 1a 所示的微型电机外壳,经计算,该零件的毛坯为直径为 $\Phi 58.9$ mm 的圆柱,各道次拉深的工序图如图 1b 所示。该零件具有以下特征:(1) 零件尺寸小,拉深高度大,筒形直径为 $\Phi 23.4$ mm,拉深筒高度为 33.6 mm,需经多道次拉深成形;(2) 材料厚度薄,材料 SECD 镀锌钢板的厚度仅为 0.8 mm;(3) 生产批量大,年产量达到 1000 万件。考虑以上特征,应采用级进模配合自动送料机构进行生产。

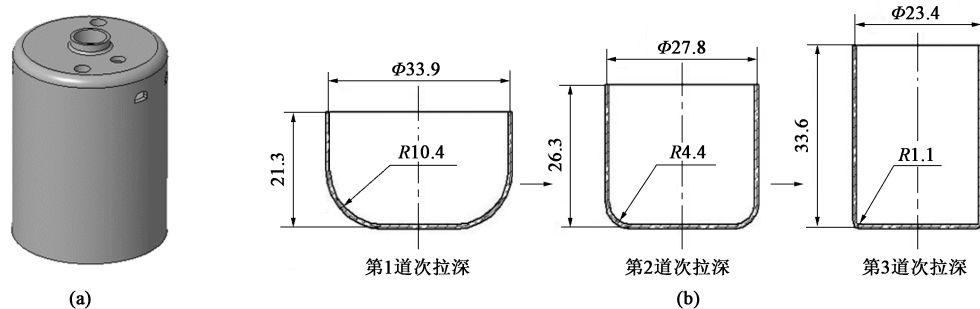


图 1 微型电机外壳零件图 (a) 及拉深工序图 (b)

Fig. 1 Part drawing (a) and deep drawing process (b) of micro motor shell

1.2 传统搭边设计

(1) 切废料式搭边

根据材料厚度为 0.8 mm,选择搭边值为 2.15 mm,切除废料最窄处为 1 mm,则料带宽度 $B=61.3$ mm,送料步距为 59.9 mm,切废料式搭边的级进拉深部分排样图如图 2 所示,该种切废料式搭边排样图的材料利用率为 74.2%。

根据上述零件特征和排样设计原则,设计排样

图时可先冲出毛坯和搭边的形状,后经级进拉深成形,从而获得 8 工位的级进拉深工艺方案,具体为:工位 1 冲导正孔,工位 2 和工位 3 冲毛坯和搭边形状,工位 4~工位 8 为多道次拉深,其中,工位 4 进行第 1 次拉深,工位 5 为空位,工位 6 进行第 2 次拉深,工位 7 为空位,工位 8 进行第 3 次拉深。

(2) 切缝式搭边

切缝式搭边的搭边值参考切废料式搭边的搭边值,

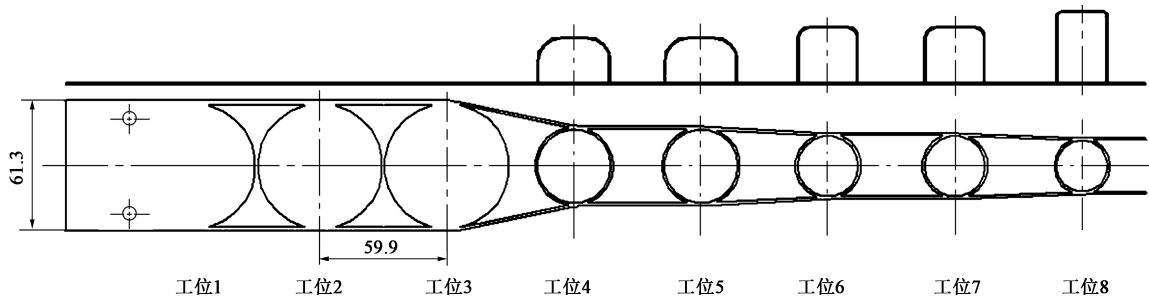


图 2 切废料式搭边排样图

Fig. 2 Layout drawing for edge of scrap cutting type

切缝宽度取板料厚度为 0.8 mm，切缝间搭边值为 1.0 mm，沿边值为 1.2 mm，则 $B=65.3\text{ mm}$ ，送料步距为 63.9 mm。具体工艺方案为：工位 1 冲导正孔，工位 2 和工位 3 冲毛坯的形状，工位 4~工位 8 为多道次拉

深，其中，工位 4 进行第 1 次拉深，工位 5 为空位，工位 6 进行第 2 次拉深，工位 7 为空位，工位 8 进行第 3 次拉深。切缝式搭边的级进拉深部分排样图如图 3 所示，该种切缝式搭边排样图的材料利用率为 65.3%。

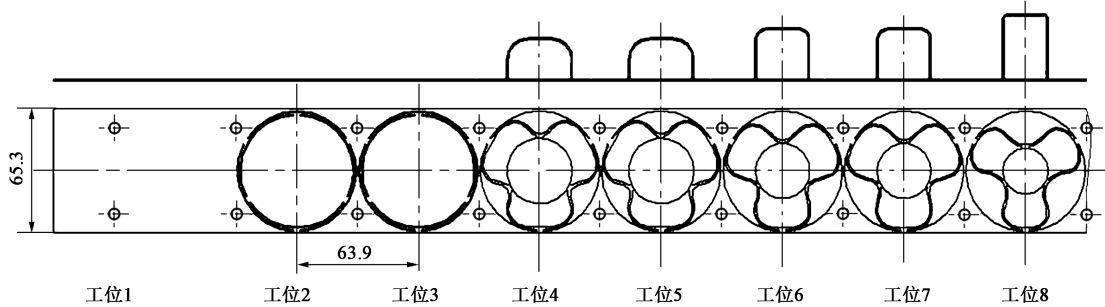


图 3 切缝式搭边排样图

Fig. 3 Layout drawing for edge of slit type

1.3 柔性搭边设计

柔性搭边参照切废料式和切缝式搭边设计，将两者进行一定程度的结合，但切废料式搭边在级进拉深成形过程中被拉扯伸长，可能出现失效，而切缝式搭边会对材料造成极大程度的浪费，所以为了节省材料，柔性搭边可选择以中间载体为搭边的设计，则料带宽度与毛坯直径相同，采用切缝的形式切出毛坯和搭边的外形，搭边形状具有一定的弯曲结构，在级进拉深过程中搭边先被拉扯打开，而不是直接拉长，保证了搭边在变形过程中依然拥有足够的强度完成工序件的传送。搭边值可选用 2.15 mm，切缝最窄处为 0.9 mm，则 $B=58.9\text{ mm}$ ，送料步距为 59.8 mm。

柔性搭边排样图如图 4 所示，该种柔性搭边排样图的材料利用率为 77.3%。在工作过程中，工位 1 冲材料两侧的导正孔，工位 2 和工位 3 冲毛坯以及搭边的形状，工位 4~工位 8 为多道次拉深过程，其中，工位 5 和工位 7 为空工位，工位 4、工位 6 和工位 8 则对零件进行 3 次拉深，工位 9 冲电机外壳底部的 4 个孔，工位 10 和工位 11 对底部中心的孔向外翻边，工位 12~工位 15 对底部另外两小孔向内翻边，工位 16~工位 18 在电机外壳侧面切出 4 个半圆形切口，最后工位 19 进行落料得到零件。实际生产过程中的料带图如图 5 所示，根据实际生产结果表明，该柔性搭边排样设计满足生产要求，且能够提高材料利用率。

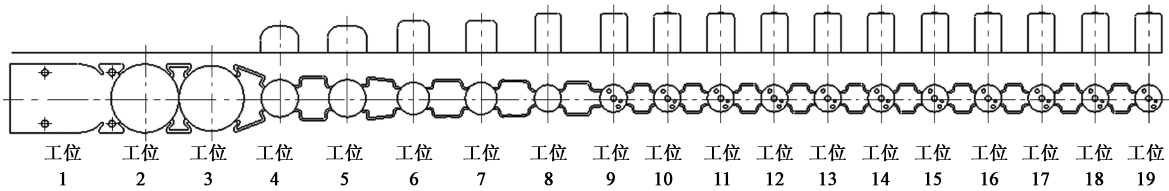


图 4 柔性搭边排样图

Fig. 4 Layout drawing of flexible edge

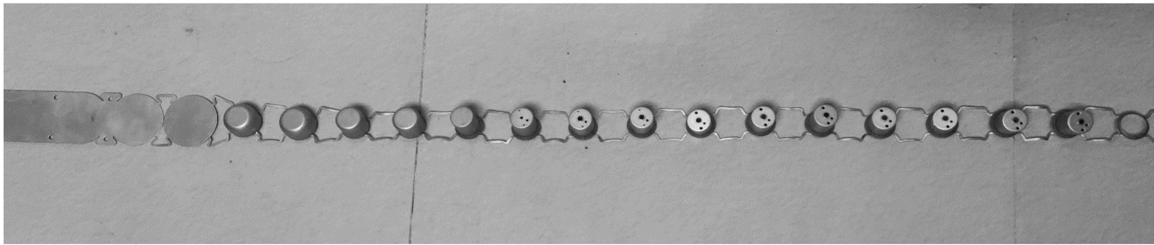


图 5 微型电机外壳产品料带图

Fig. 5 Material strip drawing of micro motor shell product

2 数值模拟结果分析

有限元数值模拟软件中，Dynaform 精度较高，

具有强大的后处理功能，被广泛应用于板料冲压成形的仿真与分析，利用 Dynaform 对运用 3 种搭边的工件的冲压变形过程进行数值模拟，获得的搭边厚度分布云图如图 6 所示。

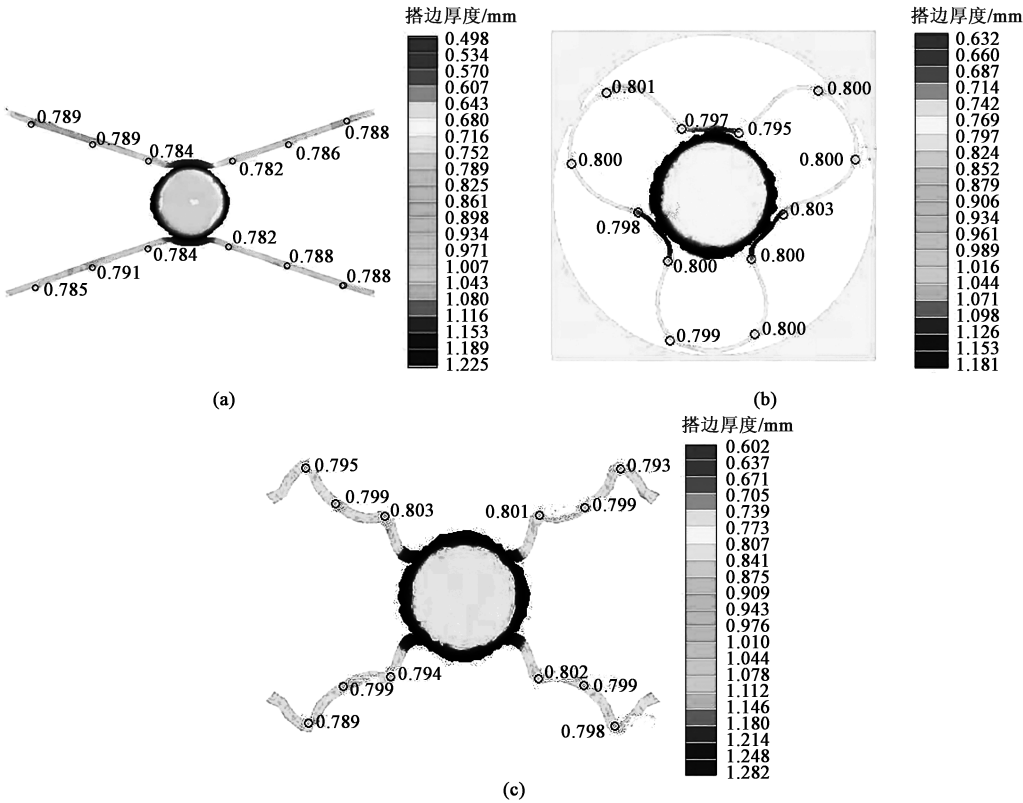


图 6 不同搭边形式的搭边厚度分布云图

(a) 切废料式搭边 (b) 切缝式搭边 (c) 柔性搭边

Fig. 6 Cloud images of edge thickness distribution for different forms of edge

(a) Edge of scrap cutting type (b) Edge of slit type (c) Flexible edge

切废料式搭边在进行数值模拟时，搭边被不断拉长，并跟随着材料的流动向工序件偏移；切缝式搭边在进行数值模拟时，搭边跟随着材料的流动向工序件偏移，搭边的曲率减小且有堆积起皱的趋势；柔性搭边排样设计在进行数值模拟时，搭边主要跟随着材料的流动发生变形。

切废料式、切缝式和柔性 3 种搭边形式的数值模拟结果如表 1 所示。

表 1 3 种搭边形式的数值模拟结果

Table 1 Numerical simulation results for three forms of edge

搭边形式	第 3 道次搭边平均厚度/mm	第 3 道次最大材料流入量/mm	最大减薄率/%	材料利用率/%
切废料式	0.786	3.366	37.8	74.2
切缝式	0.800	3.558	21.0	65.3
柔性	0.798	3.530	24.6	77.3

3 种形式的搭边的平均厚度对比如图 7 所示。由图 7 可见，在每道次拉深结束后，切缝式搭边的平均厚度最大，这是因为切缝式搭边在拉深过程中仅发生变形，且搭边随着材料的流动而变形时曲率变小，易发生材料堆积，使搭边厚度增大；柔性搭边的平均厚度次于切缝式搭边，搭边在拉深过程中先发生变形，而后被拉伸伸长，且随着拉深道次的增加而不断减薄，但平均最大减薄率仅为 0.2%；由于在拉深过程中无变形过程，直接被拉伸伸长，切废料式搭边的平均厚度最小，平均最大减薄率为 1.8%。3 种搭边形式中，柔性搭边在拉深过程中的变化最稳定。

3 种搭边形式的最大减薄率和材料利用率对比如图 8 所示，最大材料流入量对比如图 9 所示。由图 8 可见，3 种搭边形式中最大减薄率最小的为切缝式搭边，其次为柔性搭边，最大减薄率最大的为

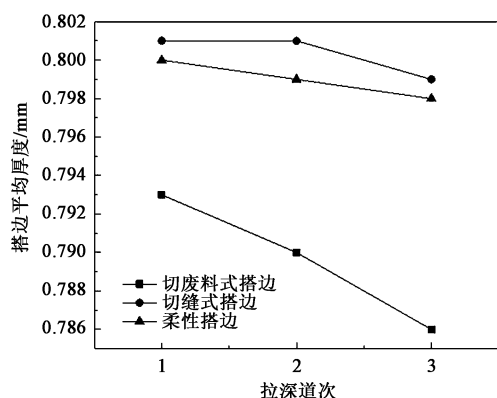


图 7 3 种搭边形式的搭边平均厚度对比图

Fig. 7 Comparison diagram of average edge thickness for three forms of edge

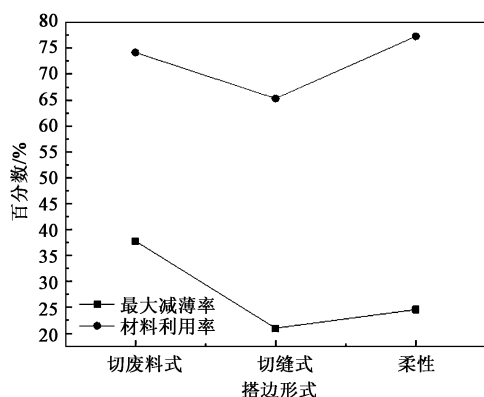


图 8 3 种搭边形式的最大减薄率和材料利用率对比图

Fig. 8 Comparison diagram of maximum thinning rate and material utilization rate for three forms of edge

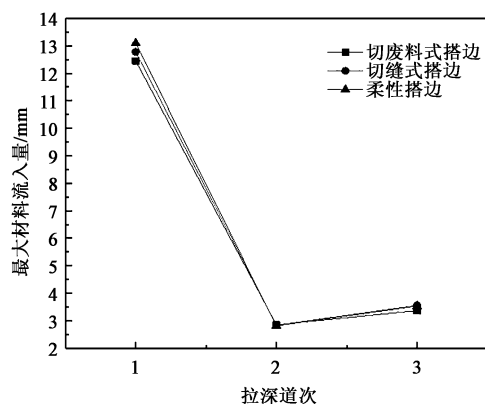


图 9 3 种搭边形式的最大材料流入量对比图

Fig. 9 Comparison diagram of maximum material inflow amount for three forms of edge

切废料式搭边，超过了 30%。而材料利用率最高的搭边形式为柔性搭边，其次为切废料式搭边，最低的为切缝式搭边，低于 70%。以最大减薄率为评价指标，级进拉深时采用切缝式搭边更安全，但是采用柔性搭边的经济效益更高，其材料利用率较切缝

式搭边高出 3.1%，且其最大减薄率较切缝式搭边仅高了 3.6%，在生产加工允许的范围内。

由图 9 可见，3 种搭边形式随着拉深道次的增加，最大材料流入量的变化趋势一致，均呈现先减小后增大的趋势。在第 1 道次拉深时，最大材料流入量最大的为柔性搭边，其次为切缝式搭边，最小的为切废料式搭边；第 2 道次拉深时，3 种搭边形式的最大材料流入量相近；第 3 道次拉深时，最大材料流入量最大的为切缝式搭边，其次为柔性搭边，最小的为切废料式搭边。这是由于切废料式搭边仅依靠搭边的拉伸保证工序件的连接，随着拉深次数的增加，搭边对于材料的拉力增大，不断阻碍材料的流动，而切缝式搭边和柔性搭边主要依靠搭边的变形来保证工序件的连接，其中切缝式搭边的可变形程度更大，第 3 道次拉深时最大材料流入量较柔性搭边大 0.028 mm，但在第 1 道次拉深时则较柔性搭边小 0.319 mm，综合考虑，级进拉深时采用柔性搭边更有利于成形。

在 3 种搭边形式每道次拉深后的工序件侧壁等距取点测量壁厚，绘制如图 10 所示的对比图。3 道次拉深中，从筒底至侧壁圆角处，壁厚呈现减小的趋势，从圆角至筒口处，壁厚呈现增大的趋势。由每道次拉深的侧壁壁厚曲线可以看出：采用切缝式搭边时，侧壁平均壁厚厚度最大，但曲线变化趋势最陡峭，说明壁厚变化剧烈，侧壁均匀性差；采用柔性搭边时，侧壁平均壁厚厚度最小，但曲线变化趋势最平缓，说明壁厚变化较小，侧壁均匀性好；切废料式搭边则介于两者之间。在软件中可以直观地看到模拟结果的应力分布图，应力分布均匀，在成形质量宏观指标中表现为壁厚均匀性较好。这说明柔性搭边在冲压过程中对工序件施加的拉力更均匀，与其他两种搭边形式相比，其成形质量更高。

3 结论

(1) 柔性搭边在级进拉深过程中的稳定性更高。切缝式搭边仅发生变形且出现材料堆积，搭边平均厚度最大；柔性搭边先发生变形再被拉伸，但减薄率极小；切废料式搭边直接被拉伸，搭边平均厚度最小，且搭边与工序件连接处易发生撕裂。

(2) 柔性搭边在级进拉深过程中材料流动性更好，壁厚均匀性更高。柔性搭边在第 1 道次拉深中最大材料流入量最大，在第 3 道次拉深中仅次于切

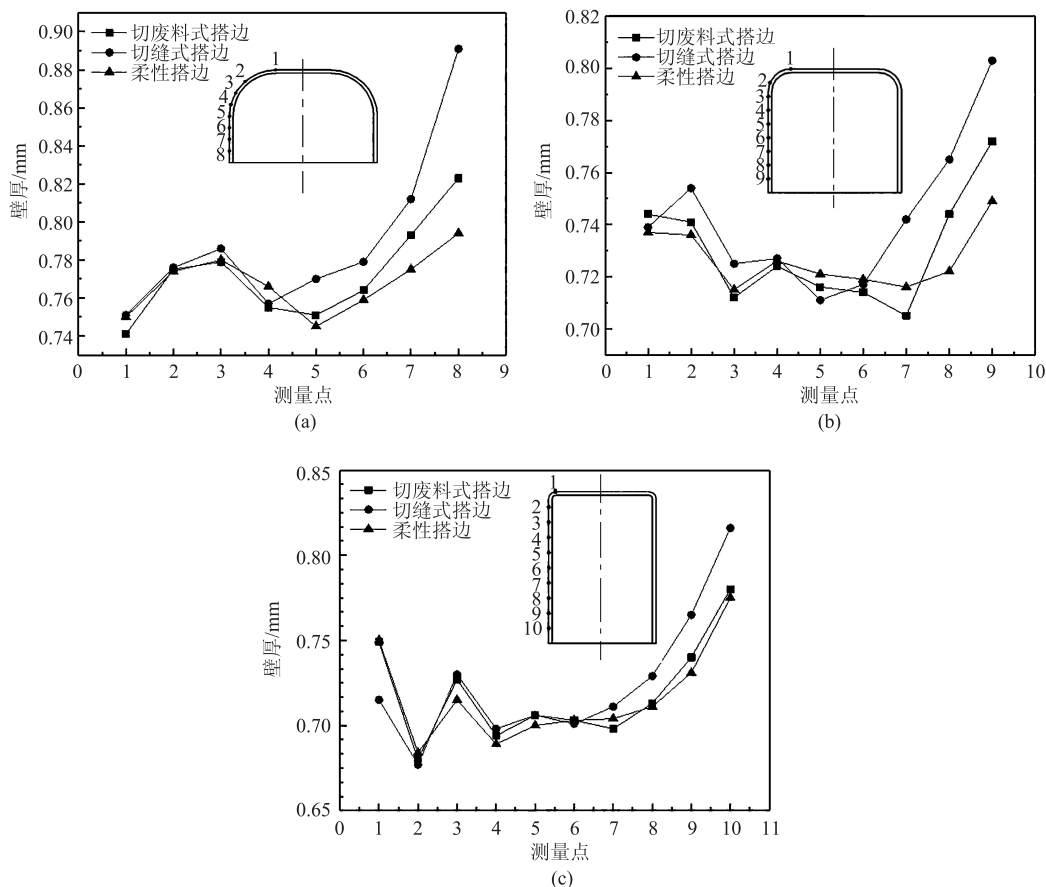


图 10 3 种搭边形式的工序件侧壁壁厚对比图

(a) 第 1 道次 (b) 第 2 道次 (c) 第 3 道次

Fig. 10 Comparison diagrams of side wall wall-thickness of process parts for three forms of edge

(a) The first pass (b) The second pass (c) The third pass

缝式搭边, 但与其仅相差 0.028 mm; 对于侧壁壁厚变化趋势, 柔性搭边的壁厚变化最为平稳, 切缝式搭边的壁厚变化最为剧烈。

(3) 切缝式搭边在级进拉深过程中的材料减薄率更小。切缝式搭边在级进拉深过程中最大减薄率为 21.0%, 柔性搭边最大减薄率为 24.6%, 切废料式搭边最大减薄率为 37.8%, 有破裂风险。

(4) 柔性搭边的材料利用率更高, 能够大大降低生产成本。柔性搭边的材料利用率达到 77.3%, 切废料式搭边的材料利用率为 74.2%, 切缝式搭边材料利用率仅为 65.3%。

参考文献:

- [1] 严培霞, 刘世群. 圆形拉伸件无搭边排样冲压工艺 [J]. 科技创业家, 2013, (5): 80.
Yan P X, Liu S Q. Stamping process of circular drawing parts without edges [J]. Technological Pioneers, 2013, (5): 80.
- [2] 胡成武, 李光, 毛远征, 等. 圆筒形件的拉深变形与应力分析 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (3): 130-136.
Hu C W, Li G, Mao Y Z, et al. Stress analysis and deformation

of deep drawing for cylindrical part [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (3): 130-136.

- [3] 黎敏绯, 周国荣. 谈多工位级进模冲压件的排样与搭边技术 [J]. 职业技术, 2007, (8): 146.
Li M F, Zhou G R. The layout and edging technology of multi-station progressive die stamping parts are discussed [J]. Vocational Technology, 2007, (8): 146.
- [4] 曹立生. 少无废料冲裁在电机零件生产中的应用 [J]. 模具工业, 2007, 33 (9): 31-33.
Cao L S. Application of no-waste blanking in manufacture of electric motor component [J]. Die & Mould Industry, 2007, 33 (9): 31-33.
- [5] 鲁建平. 壳体零件多工位拉深级进模设计 [J]. 模具工业, 2016, 42 (8): 26-30.
Lu J P. Design of multi-station drawing progressive die for shell part [J]. Die & Mould Industry, 2016, 42 (8): 26-30.
- [6] 徐自明. 薄壁深筒矩形件冲压工艺及级进模设计 [J]. 模具技术, 2011, (1): 14-17.
Xu Z M. Stamping process and design of progressive die for rectangular parts with thin wall deep cylinder [J]. Tool and Die Technology, 2011, (1): 14-17.

(下转第 108 页)