

大型双曲率非等厚 TC4 钛合金壁板整体 SPF/DB 成形工艺及优化

王会东¹, 付和国¹, 韩颖杰¹, 谢洪志¹, 张鑫¹, 尹延广², 赵天章²

(1. 沈阳飞机工业(集团)有限公司, 辽宁 沈阳 110034; 2. 沈阳航空航天大学 航空宇航学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘要: 针对大型双曲率非等厚 TC4 钛合金壁板整体 SPF/DB 成形工艺进行了研究。由于零件尺寸超过 1800 mm, 型面复杂(双曲率, 弦高为 330 mm), 壁厚分布不均匀, 成形后出现了严重开裂(多于 6 处)、明显缩沟(深度大于 1.1 mm)和不贴模等缺陷, 且在成形后难于通过化铣精确控制壁厚分布, 提出了预变形、化铣、扩散连接和超塑成形的新工艺思路, 通过有限元模拟预测了超塑成形后的壁厚分布, 验证先化铣再 SPF/DB 的工艺路线的可行性。并利用自动敷膜和激光刻形等手段提高了隔离剂的涂覆精度, 最终在 870~930 ℃、1.0~1.5 MPa 的条件下成功整体超塑成形得到壁板零件, 并且表面无阶差和缩沟等缺陷, 贴模度小于 0.3 mm, 焊合率超过 90%, 壁厚分布较为均匀, 在口框交叉位置的减薄最为严重, 约为母材原始厚度(2 mm)的 44.5%, 达到了该零件的关键技术指标。

关键词: SPF/DB; 钛合金; 壁板; 双曲率; 壁厚

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.01.011

中图分类号: TG146.2*3

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940(2022)01-0075-06

Integral SPF/DB forming process and its optimization for TC4 titanium alloy panel with large size, dual curvature and non-uniform thickness

Wang Huidong¹, Fu Heguo¹, Han Yingjie¹, Xie Hongzhi¹, Zhang Xin¹, Yin Yanguang², Zhao Tianzhang²

(1. Shenyang Aircraft Corporation, Shenyang 110034, China;

2. School of Aerospace and Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: The integral SPF/DB (Super Plastic Forming/Diffusion Bonding) forming process for TC4 titanium alloy panel with large size, dual curvature and non-uniform thickness was investigated, the forming defects including serious fracture (more than six places), obvious shrinkage of grooves (depth of more than 1.1 mm) and badly die attaching appeared after forming due to part size exceeding 1800 mm, complex profile (double curvature, chord height of 330 mm) and uneven wall thickness, and it was difficult to precisely control the distribution of wall thickness after forming by the chemical milling. Therefore, a new process of pre-deformation, chemical milling, diffusion bonding and superplastic forming was proposed, the distribution of wall thickness after superplastic forming was predicted by the FEM simulation, and the feasibility of the process route for chemical milling first and then SPF/DB was proved. Furthermore, the coating accuracy of release agent was improved by the automatic film coating and laser engraving, the panel parts were finally successfully obtained by integral superplastic forming under the condition of 870~930 ℃、1.0~1.5 MPa without defects such as step difference and shrinkage grooves on the surface, the degree of die attaching was smaller than 0.3 mm, the welding rate was more than 90%, the wall thickness distribution was relatively uniform, and the thinning at the intersection of mouth frame was most serious, which was 44.5% of the origin thickness (2 mm). Thus, the main technical requirements of the part were achieved.

Key words: SPF/DB; titanium alloy; panel; double curvature; wall thickness

钛合金板材具有高的比强度、优越的热稳定性和耐腐蚀性能, 作为结构材料被广泛应用在飞行器制造中, 包括壁板、蒙皮、隔热罩和机匣等重要部件。随着航空制造业的发展, 钛合金的用量在逐渐

增加, 以降低飞机质量、提高其机动性能和可靠性^[1-3]。目前, 钛合金板材的塑性成形方法主要包括热成形和超塑成形/扩散连接(SPF/DB)。

SPF/DB 是利用金属材料在特定温度区间内的超塑性和扩散连接性在一次热循环中完成超塑成形和扩散连接, 从而制造出多层整体结构的一种成形方法^[4], 具有成形精确高和效率高等优点, 解决了钛合金板材塑性成形难的问题, 并适用于含有内筋

收稿日期: 2020-12-24; 修订日期: 2021-03-24

作者简介: 王会东(1988-), 男, 学士, 工程师

E-mail: 260095181@qq.com

加强的多层空心结构,在降低飞机结构质量和承载能力方面具有明显的技术优点,已经成为钛合金板材最关键的轻量化塑性成形技术^[5-6]。韩文波等^[7]通过对 TC4 钛合金多层板结构的 SPF/DB 成形工艺的研究,获得了最佳的成形温度、压力和保温时间。门向南等^[8]研究了 SPF/DB 成形工艺参数对 TC4 钛合金双层板结构零件壁厚分布和焊合率的影响。刘佳佳等^[9]研究了 TA15 板材的 SPF/DB 成形工艺路线及超塑成形后的力学性能,并从微观组织方面探究了其机制。王斌等^[10]对 TA15 四层板结构的 SPF/DB 成形工艺进行了研究,分别确定了扩散连接和超塑成形的最佳工艺参数。韩颖杰等^[11]分析了含预置板的 TC4 钛合金双层板结构 SPF/DB 成形工艺中的缺陷及形成机制,并提出了工艺优化。同时,随着有限元仿真技术的发展,数值模拟逐渐成为研究钛合金板材 SPF/DB 成形技术的重要手段。Yoon J H 等^[12]构建了 TC4 钛合金超塑成形的材料模型,利用有限元模拟方法分析了金属流动规律。朱丽等^[13]利用 PAM-STAMP 2G 研究了 TC4 钛合金四层板结构的 SPF/DB 成形工艺,优化了压力-时间曲线,分析了超塑成形过程中的金属流动及壁厚分布。王石川等^[14]选用 MSC. Marc 模拟了 TA15 钛合金四层板结构的 SPF/DB 成形工艺,优化了工艺试验。何辰佳等^[15]利用 Abaqus 构建了单通道气路加压的 SPF/DB 成形新工艺的有限元模型。王国峰等^[16]利用 SPF/DB 成形工艺实现了 2B06 铝合金双层板结构的制备。

可见,目前关于 TC4 钛合金板材 SPF/DB 成形工艺的研究仅仅集中在型面简单和结构单一的空心多层结构,但随着航空产业的发展,对其疲劳性能和可靠性的要求逐渐提高,钛合金壁板正朝着大型化和整体化方向发展,相关工艺研究仍旧不足。本文针对大型双曲率非等厚的 TC4 钛合金壁板整体 SPF/DB 成形工艺展开研究,剖析了成形缺陷及形成原因,并制定了新工艺流程,最终成功地制造了贴模性好、壁厚较为均匀的零件。

1 壁板零件

壁板零件所用材料为 TC4 钛合金,室温屈服强度约为 1018 MPa。图 1 为壁板零件结构,含有 7 个纵向空心的加强筋包和 4 个口框,长度为 1850.5 mm,宽度为 1441.7 mm,长度方向的弦高约为 330 mm,两个方向上均具有一定的曲率,故属于大型双曲率复杂型面的壁板。另外,该零件为两层

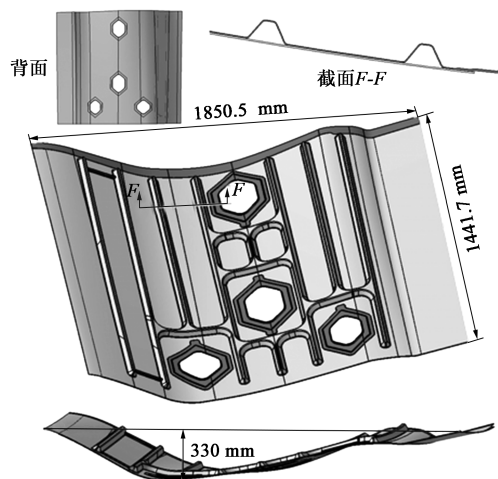


图 1 大型双曲率非等厚钛合金壁板结构
Fig. 1 Structure of titanium alloy panel with large size, dual curvature and non-uniform thickness

板结构,下层板厚为 1.5 mm,上层板厚不均匀,红色区域的壁厚为 2 mm,其他位置的壁厚为 1.2 mm。关键技术指标包括无阶差和缩沟等表面缺陷,贴模间隙小于 0.5 mm,最小壁厚大于 0.70 mm。

由于该零件整体外廓尺寸较大,型面复杂,曲率及非等厚区域变化明显,导致壁板整体 SPF/DB 成形难度大,表面质量、贴模度、厚度均匀性和成形件的力学性能指标不易得到保证。因此,如何通过 SPF/DB 成形出符合要求的壁板整体件成为本文研究的一个重点。

2 壁板整体 SPF/DB 的成形缺陷及原因

2.1 壁板整体 SPF/DB 的成形缺陷

为了提高壁板制造的效率与精度,增加成形零件的疲劳寿命和可靠性,拟采用壁板整体 SPF/DB 成形再进行化铣的工艺路线,即选用壁厚分别为 2.0 和 1.5 mm 的板材作为坯料,根据零件展开情况估算隔离剂(主要成分为:聚甲基丙烯酸甲酯粉、醋酸乙酯)的涂覆区域,一次热循环中完成扩散连接和超塑成形,成形温度为 870~930 ℃,成形压力为 1.0~1.5 MPa,最后再通过化铣将局部壁厚降低至 1.2 mm。SPF/DB 成形结果如图 2 所示,出现了多处成形缺陷。首先,在筋包边缘发生严重开裂,多于 6 处,主要分布在横向和纵向筋包的交叉圆角处。其次,筋包高度不足,贴模性较差。再次,出现了严重缩沟,深度超过了 1.1 mm。另外,SPF/DB 成形后难于利用化铣精确控制上层板的壁厚分布。

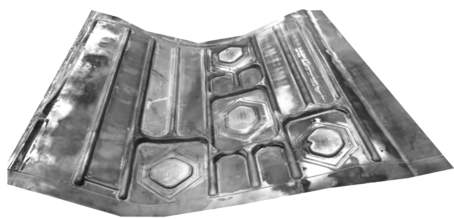


图2 传统工艺成形的壁板

Fig. 2 Panel formed by traditional processing

2.2 缺陷原因分析

首先,隔离剂涂覆位置不精准。利用展开算法预估隔离剂涂覆范围的方法,对于型面复杂的壁板而言,其误差过大,而且 SPF/DB 成形过程中壁板发生了较严重的不均匀变形,故隔离剂范围发生明显改变,致使开裂、缩沟和止焊效果不佳等缺陷的出现。

其次,壁厚分布不均匀。模具和坯料之间的摩擦力和复杂的型面导致合模过程中的塑性变形分布非常不均匀,故壁厚分布不均匀,过度减薄位置容易在后续超塑成形过程中出现开裂。

最后,无法开展成形后化铣。由于零件 SPF/DB 成形后,上层板筋包的壁厚减薄明显大于扩散连接区域,导致在后续实施等厚度化铣时,无法保证零件上层板筋包的最小壁厚和厚度变化的均匀性,而实施非等厚化铣工艺的可行性极低。另外,由于零件外形的复杂性,化铣样板难于制作,并且定位

基准不易保证,铣切面极易出现多处台阶,甚至在局部有开裂的风险。

3 数值仿真模拟

通过对壁板整体 SPF/DB 成形缺陷的原因分析可知,选用壁厚分别为 2.0 和 1.5 mm 的板材作为坯料,先 SPF/DB 成形再实施非等厚化铣的工艺路线不具备可行性。为充分验证先化铣再 SPF/DB 成形的工艺路线的可行性及了解 SPF/DB 成形的工艺路线的变形特性,本文利用 Abaqus 软件构建了壁板筋包超塑成形的有限元模型,并预测分析了成形后的壁厚分布规律。采用经典的 Backofen 方程 $\sigma = K\dot{\epsilon}^m$ (其中, σ 为流动应力, K 为待定系数, $\dot{\epsilon}$ 为应变速率, m 为应变速率敏感系数)描述钛合金板材超塑成形的力学行为(其中, $K = 900 \text{ MPa}$, $m = 0.57$),转化为蠕变材料模型(其中,系数为 6.58×10^{-6} ,指数为 1.754)。选用板料壁厚为 1.2 mm (化铣后),隔离剂涂覆区域的边缘为模具的圆角位置,摩擦因数为 0.1,利用蠕变速率统一原则自动生成加载谱,采用线性完全积分四边形壳单元(S4)。超塑成形后壁厚的分布规律如图 3a 所示,最小壁厚出现在筋包两端的最高处,约为 0.74 mm,满足技术指标的 0.72 mm,证明该方案具备理论可行性。超塑成形后的应变分布情况如图 3b 所示。

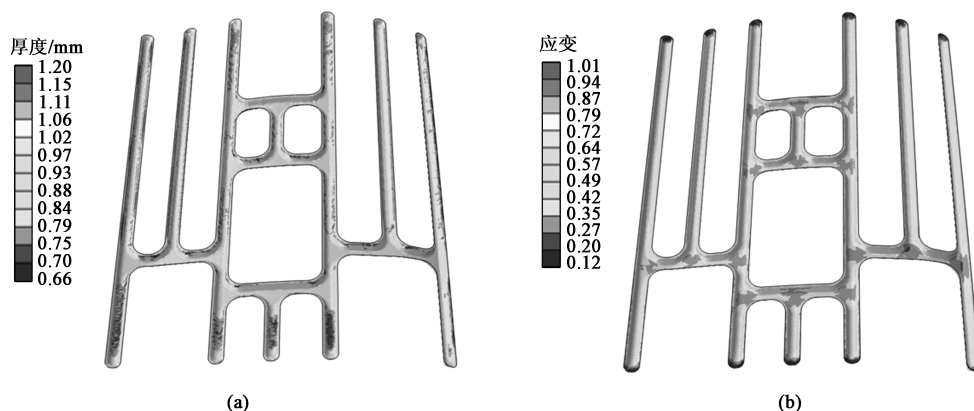


图3 超塑成形后壁厚(a)和应变(b)分布的数值仿真结果

Fig. 3 Numerical simulation results of wall thickness distribution (a) and strain distribution (b) after SPF

4 整体成形工艺优化及试验

4.1 工艺路线

图4为经过优化的钛合金壁板整体制造工艺流程图。选用壁厚分别为 2.0 和 1.5 mm 的板材作为坯料,

利用等温热成形方法完成坯料的预成形,获得与壁板型面弧度相同的毛料件;根据数模制造三维化铣样板,然后,再进行等厚化铣得到壁厚不均匀的上层板材;利用自动敷膜技术均匀地在下层板材敷膜,根据数模采用激光刻形技术对覆膜位置进行精准刻形,以确定隔离剂的涂覆范围,去膜后均匀涂覆隔离剂再进

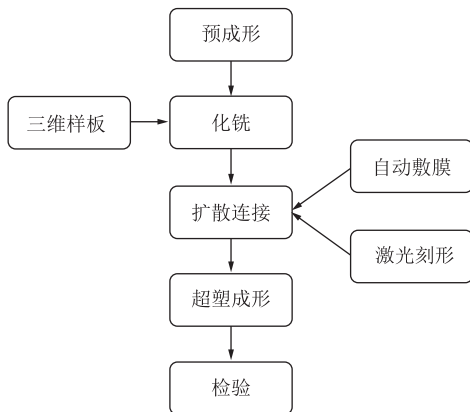


图 4 SPD/DB 新工艺的流程

Fig. 4 Flow of SPD/DB new process

行扩散连接；最终进行超塑成形和零件检验。

4.2 预成形零件

分别对上、下层板在 650~750 °C 温度范围内进行等温热成形（预成形），获得与壁板型面弧度相同的毛料件，表面处理后如图 5 所示，表面光滑且无破裂和起皱等缺陷，壁厚较均匀，最大减薄率约为 3.1%。

4.3 自动敷膜和激光刻形

本文利用自动覆膜机为预成形后的外蒙皮毛料件覆膜，可使板料与薄膜紧密贴合，中间不会存在

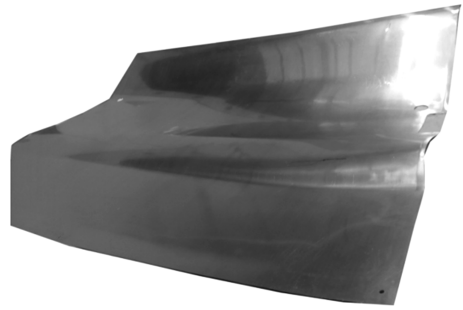
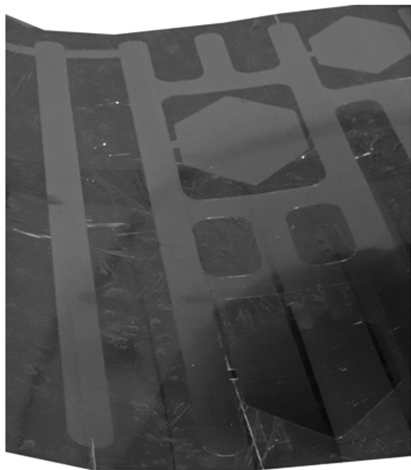


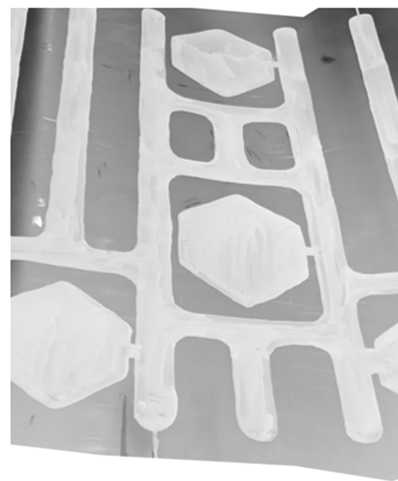
图 5 预成形零件

Fig. 5 Pre-forming part

残余的气泡，为后期的刻形作充足的前期保证。然后，采用数字化的三维激光刻形机，根据零件三维数模及专用程序，确定零件的具体刻形区域，可使得板料刻形深度在 0.05~0.07 mm 范围内，涂覆区域范围保证在 0~0.5 mm 内，比原工艺的手动刻形方法（刻形深度为 0.05~0.10 mm，涂覆区域位置精度为 0.5~1.5 mm）更加均匀化、涂覆区域精准化，去膜后得到的零件如图 6a 所示。最终，利用喷涂设备对刻形后的零件进行隔离剂的均匀涂覆，可明显地提高生产效率和扩散焊接质量，显著降低成形后的缺陷，如图 6b 所示。



(a)



(b)

图 6 扩散连接前的零件

(a) 自动覆膜和激光刻形 (b) 涂覆隔离剂后

Fig. 6 Parts before DB

(a) Automatic filming and laser engraving (b) After coating of flux

4.4 最终零件

870~930 °C 下采用 1.0~1.5 MPa 的压力完成零件的超塑成形，图 7 为最终零件。成形件表面无开裂、缩沟和阶差等缺陷，贴模度较好（≤0.3 mm），

焊合率可达 90% 以上。本文利用超声测厚仪测量了图 8 中具有代表性的 A、B、C、D 和 E 点处筋包上不同位置（a、b 和 c）的壁厚，结果如表 1 所示，最大减薄位置在口框附近的筋包上，减薄量约为



图7 工艺优化后的最终零件

Fig. 7 Final part after process optimization

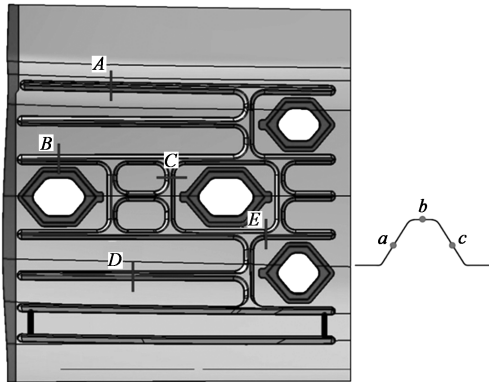


图8 壁厚检测位置示意图

Fig. 8 Schematic diagram of positions for wall thickness measurement

表1 不同位置筋包上的壁厚 (mm)

Table 1 Wall thicknesses of stiffeners at different positions (mm)

位置	a	b	c
A	1.12	1.21	1.09
B	0.93	0.89	0.93
C	0.89	0.95	0.90
D	0.92	0.93	0.91
E	1.00	0.98	0.92

0.89 mm, 为母材原始厚度 (2 mm) 的 44.5%, 最小壁厚满足技术指标。

5 结论

(1) 试验证明了无法利用传统的超塑成形/扩散连接工艺和后续化铣的方法制造大型双曲率非等厚钛合金壁板 (幅面约为 1800 mm×1400 mm, 弦高约为 330 mm), 会严重的开裂、缩沟和贴模性差等缺陷。

(2) 构建了超塑成形过程的有限元模型, 并预测了成形后零件上层板的壁厚分布, 最大减薄量出现在筋包圆角处, 壁厚约为 0.74 mm (超塑成形前壁厚为 1.2 mm), 验证了先化铣再 SPF/DB 成形的

工艺思路的可行性。

(3) 提出了预变形、化铣、扩散连接和超塑成形的工艺思路。利用自动敷膜和激光刻形等手段提高了隔离剂的涂覆精度, 在 870 ~ 930 ℃、1.0 ~ 1.5 MPa 的条件下成功超塑成形得到壁板零件, 表面无阶差和缩沟等缺陷, 贴模度小于 0.3 mm, 壁厚分布较为均匀, 在口框交叉位置的减薄最为严重, 约为母材原始厚度 (2 mm) 的 44.5%。

参考文献:

- [1] 刘莹, 曲周德, 王本贤. 钛合金 TC4 的研究开发与应用 [J]. 兵器材料科学与工程, 2005, (1): 47-50.
Liu Y, Qu Z D, Wang B X. Research development and application of Ti6Al4V alloy [J]. Ordnance Materials Science and Engineering, 2005, (1): 47-50.
- [2] 朱知寿. 我国航空用钛合金技术研究现状及发展 [J]. 航空材料学报, 2014, 34 (4): 44-50.
Zhu Z S. Recent research and development of titanium alloys for aviation application in China [J]. Journal of Aeronautical Materials, 2014, 34 (4): 44-50.
- [3] Ding R, Guo Z X, Wilson A. Microstructural evolution of a Ti-6Al-4V alloy during thermomechanical processing [J]. Materials Science & Engineering A, 2002, 327 (2): 233-245.
- [4] 曾元松. 先进航空板材成形技术应用现状与发展趋势 [J]. 航空科学技术, 2012, (1): 1-4.
Zeng Y S. Application and development trend of advanced sheet metal forming technology [J]. Aeronautical Science & Technology, 2012, (1): 1-4.
- [5] 王荣华, 陈明和, 陈国亮, 等. TC4 钛合金盒形件超塑成形工艺 [J]. 热加工工艺, 2008, (11): 46-48.
Wang R H, Chen M H, Chen G L, et al. Superplastic forming process for box-shaped part of TC4 alloy [J]. Hot Working Technology, 2008, (11): 46-48.
- [6] 王斌, 朱冬妹, 刘章光, 等. TA15 钛合金四层板结构 SPF/DB 数值模拟及工艺研究 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (6): 98-104.
Wang B, Zhu D M, Liu Z G, et al. Numerical simulation and process study of SPF/DB for four-sheet structure of TA15 titanium alloy [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (6): 98-104.
- [7] 韩文波, 张凯锋, 王国峰. Ti-6Al-4V 合金多层板结构的超塑成形/扩散连接工艺研究 [J]. 航空材料学报, 2005, (6): 32-35, 54.
Han W B, Zhang K F, Wang G F. Superplastic forming and diffusion bonding for multilayer structure of Ti-6Al-4V alloy [J]. Journal of Aeronautical Materials, 2005, (6): 32-35, 54.
- [8] 门向南, 童国权, 徐雪峰, 等. TC4 钛合金双层板结构超塑成型/扩散连接工艺 [J]. 机械工程材料, 2010, 34 (5): 86-89, 93.
Men X Q, Dong G Q, Xu X F, et al. Processing of superplastic forming and diffusion bonding for two-sheet structure of Ti-6Al-4V titanium alloy [J]. Materials for Mechanical Engineering, 2010, 34 (5): 86-89, 93.

- [9] 刘佳佳, 付明杰, 许慧元, 等. TA15 钛合金超塑及扩散连接性能 [J]. 塑性工程学报, 2016, 23 (6): 173-178.
Liu J J, Fu M J, Xu H Y, et al. Superplasticity and diffusion bonding property of TA15 alloy [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2016, 23 (6): 173-178.
- [10] 王斌, 朱冬妹, 刘章光, 等. TA15 钛合金四层板结构 SPF/DB 数值模拟及工艺研究 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (6): 98-104.
Wang B, Zhu D M, Liu Z G, et al. Numerical simulation and process study of SPF/DB for four-sheet structure of TA15 titanium alloy [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (6): 98-104.
- [11] 韩颖杰, 付和国, 王会东, 等. 含预置板的双层钛合金超塑成形/扩散连接零件缺陷分析及工艺改进 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (4): 41-47.
Han Y J, Fu H G, Wang H D, et al. Defects analysis and process improvement for double-layer SPF/DB structure parts of titanium alloy with pre-set panel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (4): 41-47.
- [12] Yoon J H, Lee H S, Yi Y M, et al. Finite element analysis on superplastic blow forming of Ti-6Al-4V multi-sheets [A]. Materials Science Forum [C]. Trans. Tech. Publications, 2007.
- [13] 朱丽, 张晓巍, 王国峰. 基于 PAMSTAMP2G 的四层超塑成形/扩散连接构件的数值模拟 [J]. 热加工工艺, 2016, 45 (1): 82-85.
Zhu L, Zhang X W, Wang G F. Numerical simulation of four-layer SPF/DB component based on PAMSTAMP2G [J]. Hot Working Technology, 2016, 45 (1): 82-85.
- [14] 王石川, 童国权, 袁继军, 等. 含预置板的 TA15 钛合金四层板 SPF/DB 试验研究 [J]. 稀有金属, 2017, 41 (1): 14-19.
Wang S C, Tong G Q, Yuan J J, et al. Superplastic forming/diffusion bonding of TA15 Four-Sheet sandwich with enhancement plates [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2017, 41 (1): 14-19.
- [15] 何辰佳, 吴勤, 陈路, 等. 单通道气路加压的超塑成形/扩散连接新工艺 [J]. 热加工工艺, 2019, 48 (19): 151-155, 159.
He C J, Wu Q, Chen L, et al. New process of superplastic forming/diffusion bonding with single channel gas pressurization [J]. Hot Working Technology, 2019, 48 (19): 151-155, 159.
- [16] 王国峰, 张建威, 张晓巍, 等. 2B06 铝合金双层结构件 DB&SPF 组合工艺研究 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (7): 187-191.
Wang G F, Zhang J W, Zhang X W, et al. Research on DB & SPF combination process of double-layer structural parts for 2B06 aluminum alloy [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (7): 187-191.

(上接第 74 页)

- 图片、表格应随文给出, 先见文后见图、表。
- 图题 (包括 (a)、(b) 等分图题)、表题要求同时用中、英文标注。
- 照片或灰度图应反差适当, 鲜明可见; 金相照片放大倍数均用比例尺表示, 如 5 μm 。
- 双栏排图片的宽度应控制在 7.8 cm 左右; 通栏排图片宽度应控制在 16 cm 左右。
- 表格使用三线表, 必要时可加横线, 但一般不得有竖线; 表格的宽度最好设计成 25 个汉字 (相当于 48 个字符) 以内; 表中所有文字一律左齐。
- 公式后应当注明公式中各符号的含义。
- 计量单位一律采用法定计量单位 (国际单位制)。
- 参考文献应按其在正文中被引用的顺序依次列出 (在正文中引用处务必用“[序号]”标注); 列出的参考文献应是重要的、近期的、已正式发表的文献资料, 每篇论文应列出 12 篇以上参考文献; 作者不多于 3 个的姓名全部写出, 多于 3 个的, 余者用“, 等 (, et al)”表示; 无论中外署名, 一律姓 (首字大写) 先名后 (例如: Zhang Y H)。

原文为非英文的参考文献, 需要同时用英文著录。

格式如下:

- [1] 期刊 文章作者. 论文题目 [J]. 刊名, 出版年, 卷号 (期号): 起页码-终页码.
- [2] 专著 作者. 书名 (英文实词首字大写) [M]. 版本. 出版地: 出版社, 出版年.
- [3] 译著 作者. 书名 (英文实词首字大写) [M]. 译者, 译. 版本. 出版地: 出版社, 出版年.
- [4] 论文集 论文作者. 论文题目 [A]. 论文集编者. 论文集名 (英文实词首字大写) [C]. 出版地: 出版者, 出版年.
- [5] 技术报告 作者. 论文题目 (英文实词首字大写) [R].

地名: 责任单位, 出版年.

[6] 学位论文 作者. 论文题目 (英文实词首字大写) [D]. 所在城市: 保存单位, 年份.

[7] 专利文献 专利申请者或所有者. 专利题名 [P]. 专利国别: 专利号, 公告日期或公开日期 (如, 2008-02-03).

[8] 技术标准 标准号, 标准名称 [S].

[9] 在线文献 作者. 论文题目 [EB/OL]. 获取和访问路径 http://..., 发表或更新日期 (如, 2008-02-03).

[10] 光盘文献 (数据库) 作者. 论文题目 [DB/CD]. 出版地: 出版者, 出版年.

原文为非英文的参考文献著录举例:

[1] 王博, 张凯锋, 赖小明, 等. SiC_p/2024Al 复合材料板材脉冲电流辅助拉深成形 [J]. 锻压技术, 2012, 37 (5): 22-26.

Wang B, Zhang K F, Lai X M, et al. Pulse current auxiliary deep drawing of SiC_p/2024Al composites sheet [J]. Forging & Stamping Technology, 2012, 37 (5): 22-26.

3 投稿方式及要求

(1) 请通过本刊网站的“作者投稿”系统投稿。

(2) 来稿文责自负, 请勿抄袭他人论文, 请勿一稿多投。对抄袭者和一稿多投者, 一经发现, 本刊将无条件退稿, 并作不良作者记录; 同时, 本刊将保留追索抄袭者浪费本刊资源和其他纷争的权利。

(3) 编辑部对来稿拥有修改权, 遇重大删改时将与作者协商; 排版后的清样将通过 E-mail 发给作者进行核对。

4 编辑部联系方式

地址: 北京市海淀区学清路 18 号《锻压技术》编辑部

邮编: 100083 电话: 010-62920652, 010-82415085

E-mail: fst@263.net

网址: http://www.fstjournal.net/

《锻压技术》编辑部