

热冲压模具电弧堆焊铁基和钴基合金涂层的数值模拟

彭世鑫

(重庆城市职业学院 智能制造学院, 重庆 402160)

摘要: 针对热冲压模具存在的成本高、寿命低问题, 提出采用“45 钢+Fe 基合金”和“5CrNiMo 钢+Co 基合金”的堆焊结构分别制造变强度热冲压模具的冷区和热区部分, 通过显微组织分析和数值模拟方法验证两种热冲压模具堆焊结构的可行性。实验和模拟结果表明: 45 钢+Fe 基合金、5CrNiMo 钢+Co 基合金均能形成较好的冶金结合; “45 钢+Fe 基合金”堆焊的热冲压模具在第 4 次热冲压循环后达到了动态的热平衡状态, 模具的最高温度约为 146 °C、最大应力为 134 MPa; “5CrNiMo 钢+Co 基合金”堆焊的热冲压模具的最高瞬时温度可达 567 °C、最大应力为 146 MPa。研究表明, 两种堆焊结构均满足热冲压成形过程中的强度要求, 适合于热冲压模具的制造或修复。

关键词: 热冲压模具; 电弧堆焊; 显微组织; 温度场; 应力场

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2026.02.025

中图分类号: TG174.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2026) 02-0206-09

Numerical simulation of arc-surfaced Fe-based and Co-based alloy coatings for hot stamping dies

Peng Shixin

(College of Intelligent Manufacturing, Chongqing City Vocational College, Chongqing 402160, China)

Abstract: Aiming at the issues of high cost and short service life of hot stamping dies, two surfaced structures, namely “45 steel + Fe-based alloy” and “5CrNiMo steel + Co-based alloy”, were proposed for the fabrication of the cold and hot zones of a graded-strength hot stamping die, respectively. The feasibility of the two surfaced structures was evaluated through microstructural analysis and numerical simulation. The results indicate that the better metallurgical bonding is achieved at the interfaces of both 45 steel+Fe-based alloy and 5CrNiMo steel+Co-based alloy. For the hot stamping die surfaced with the “45 steel + Fe-based alloy”, a dynamic thermal equilibrium is reached after the fourth stamping cycle, with the peak temperature of about 146 °C and the maximum stress of 134 MPa. The hot stamping die surface with the “5CrNiMo steel + Co-based alloy” exhibits a maximum instantaneous temperature of 567 °C and the maximum stress of 146 MPa. Therefore, both surfaced structures meet the strength requirements during hot stamping and are suitable for the manufacture or repair of hot stamping dies.

Key words: hot stamping die; arc surfacing; microstructure; temperature field; stress field

为同时满足汽车轻量化和安全性的双重要求, 高强度钢板的热冲压技术被广泛应用于汽车零部件的制造^[1-4], 然而, 热冲压模具在服役一段时间后, 其圆角部位易出现严重的磨损和拉毛等缺陷, 降低了热冲压模具寿命^[5-6]。此外, 热冲压模具往往采用均质的模具钢(如 5CrNiMo 钢和 H13 钢)制造, 这使得热冲压模具的成本较高^[7-8]。根据模具的服役温度, 热冲压模具可分为两种: (1) 普通热冲压

模具或变强度模具的冷区部分, 即在模具内部开设了冷却水道, 模具表面温度被控制在 200 °C 左右, 该类模具的主要问题为成本较高; (2) 变强度模具的热区部分, 模具表面温度被控制在 520 °C 左右, 该类模具的主要问题为寿命较低^[9-10]。

针对这两类热冲压模具寿命低和成本高的问题, 张珂珉等^[11]和程晓宇等^[12]研究了热冲压模具电弧堆焊 Fe 基、Ni 基和 Co 基 3 种合金涂层的磨损性能, 得到了最佳的合金涂层材料。舒倩等^[13]在 45 钢上激光熔覆 3 种 Fe 基合金材料制造冷冲压修边模的镶块, 从而降低了模具制造成本。姜波等^[14]为修复超高强度热冲压模具, 采用激光熔覆技术在淬火态 H13 钢表面熔覆同质化的 Fe 基合金粉末。周

收稿日期: 2025-06-19; 修订日期: 2025-09-20

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目 (KJQN202403909)

作者简介: 彭世鑫 (1987-), 男, 博士, 高级工程师

E-mail: 446729735@qq.com

建^[15]采用等离子堆焊技术,在 Q235 钢表面堆焊了不同 Mo 含量(质量分数)的 Fe-Cr-Mo-C 耐磨堆焊合金和不同 B 含量(质量分数)的 Fe-B-Ti-C 耐磨堆焊合金。冯安平等^[16]将激光增减材复合制造技术应用于模具修复领域,对模具修复工艺流程和参数优化过程进行了研究。与激光熔覆技术相比,电弧堆焊最大的优点为制造成本低。为降低热冲压模具制造成本和提高模具寿命,本文提出变强度模具冷区部分的堆焊结构为 45 钢+Fe 基合金,变强度模具

热区部分的堆焊结构为 5CrNiMo 钢+Co 基合金,其结构如图 1 所示。选择两种堆焊结构的原因主要为:冷区和热区部分所处工况不一样,冷区部分表面温度较低(约为 200 ℃),可选用较为便宜的 Fe 基合金作为表面层,而热区部分表面温度较高(约为 500 ℃),需选用耐高温性能更好的 Co 基合金。此外,本文还通过显微组织观察和数值模拟验证了两种热冲压模具堆焊结构的可行性,为电弧堆焊制造与再制造热冲压模具的应用提供了更有效的参考。

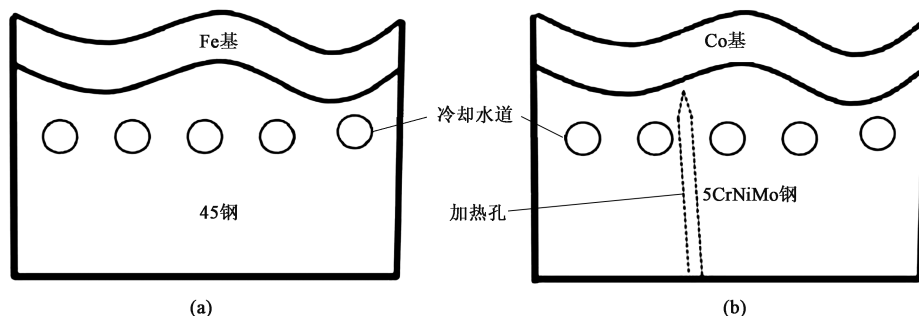


图 1 两种热冲压模具类型

(a) 冷区部分 (b) 热区部分

Fig. 1 Two types of hot stamping dies

(a) Cold zone (b) Hot zone

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

本文基体材料为调质态 45 钢和 5CrNiMo 钢,分别在两种基体的表面上电弧堆焊 HST72 铁基合金和 HST32 钴基合金,堆焊材料的化学成分如表 1 所示。

表 1 两种堆焊材料的化学成分(%,质量分数)

Table 1 Chemical compositions of two surfacing materials (% , mass fraction)

材料	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	W	Mo	Fe
HST72 铁基合金	0.25	0.74	1.00	5.42	—	—	1.78	2.40	余量
HST32 钴基合金	0.21	1.00	1.02	27.50	2.35	余量	0.12	2.75	1.58

1.2 实验方法

两种基体在堆焊前均被预热至 300 ℃,然后采用手工电弧堆焊的方法制备厚度约为 6 mm 的堆焊层,堆焊后的试样如图 2 所示。电弧堆焊工艺参数为:堆焊 Fe 基合金的电压为 23 V、电流为 140 A;堆焊 Co 基合金的电压为 30 V、电流为 200 A;焊接速度均为 5 mm·s⁻¹,采用氩气和二氧化碳的混合气体进行保护;堆焊后立即加热至 500 ℃并保温 1 h

以消除焊接应力。

采用光学显微镜 Axiovert 200MAT 观察基体与堆焊层之间的微观组织,腐蚀液为王水,腐蚀时间为 30 s。使用 Gleeble3500 热模拟试验机测定基体与堆焊层之间的高温屈服强度,其压缩试样尺寸为 $\Phi 6$ mm×9 mm,其中基体的高度为 4 mm、涂层的高度为 5 mm。利用 LFA457 激光热传导仪和 DIL402C 热膨胀仪测定堆焊层的热导率和热膨胀系数,热导率试样尺寸为 $\Phi 12$ mm×2 mm,热膨胀系数试样尺寸为 $\Phi 5$ mm×3 mm。

2 结果与讨论

2.1 微观组织分析

图 3a 和图 3b 显示了 45 钢+Fe 基合金、5CrNiMo 钢+Co 基合金堆焊结构在界面处的微观组织。由图 3 可知,可划分为基体、融合区和涂层,界面处无明显的缺陷,如气孔和裂纹,即基体与涂层之间形成了较好的冶金结合。

图 4a~图 4d 显示了电弧堆焊热处理后两种基体和两种堆焊材料的显微组织。由图 4 可知:堆焊后 45 钢的基体组织为回火索氏体,这种组织具有良好

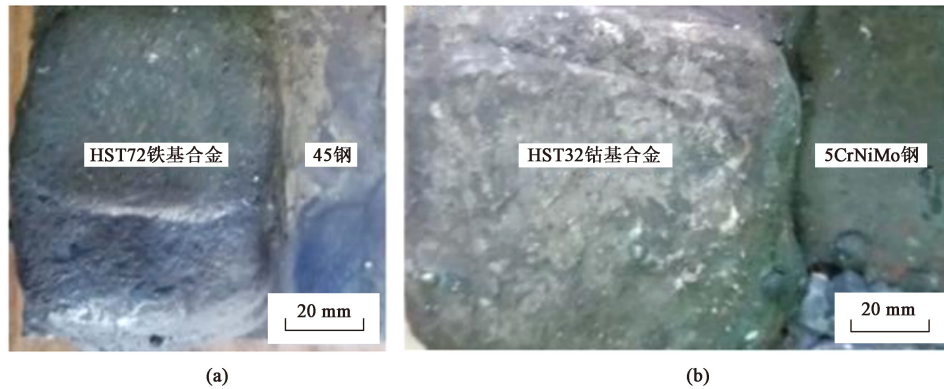


图 2 电弧堆焊的 Fe 基 (a) 和 Co 基 (b) 合金试样

Fig. 2 Specimens of Fe-based (a) and Co-based (b) alloys welded by arc surfacing

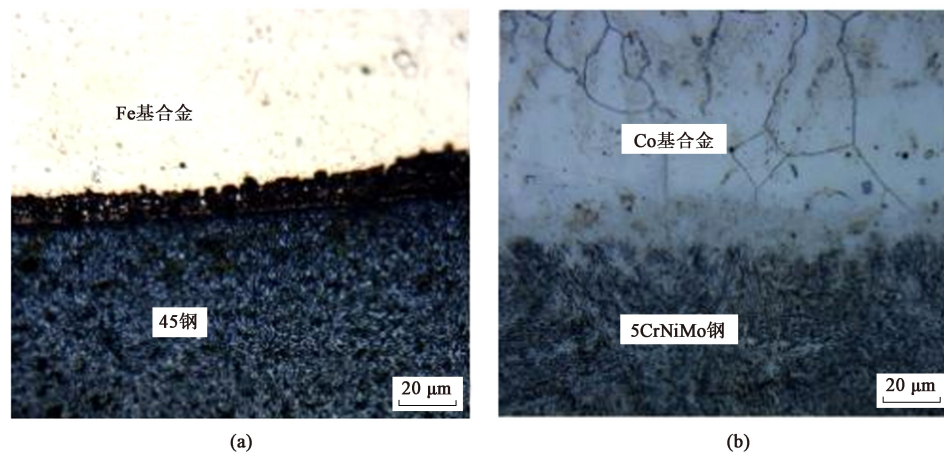


图 3 堆焊界面的金相组织

(a) 45 钢+Fe 基合金 (b) 5CrNiMo 钢+Co 基合金

Fig. 3 Metallographic structures of surfacing interface

(a) 45 steel+Fe-based alloy (b) 5CrNiMo steel+Co-based alloy

的韧性和塑性，同时具有较高的强度；堆焊后 5CrNiMo 钢的基体组织为回火屈氏体，其由针状 α 相和粒状渗碳体组成，具有良好的综合力学性能，但温度超过 550 $^{\circ}\text{C}$ 时其热稳定性和耐磨性将变差；堆焊后的 Fe 基合金组织为回火马氏体，该组织具有较好的硬度和耐磨性；堆焊后的 Co 基合金组织为奥氏体基体上分布不同类型的碳化物，该组织具有较好高温强度、热稳定性和耐磨性。

2.2 物理性能

图 5 显示了 45 钢+Fe 基合金和 5CrNiMo 钢+Co 基合金堆焊结构在不同温度下的屈服强度。由图 5 可知：当温度在 25~350 $^{\circ}\text{C}$ 变化时，45 钢+Fe 基合金堆焊结构的屈服强度随着温度的增加而略有减少，但基本维持在 200 MPa 左右；当温度在 350~550 $^{\circ}\text{C}$ 变化时，5CrNiMo 钢+Co 基合金堆焊结构的屈服强

度保持在 300 MPa 左右。

图 6 和图 7 分别显示了堆焊 Fe 基合金和 Co 基合金的热导率和热膨胀系数。两种堆焊材料的热导率随着温度的升高而增大，而热膨胀系数则随着温度的升高而降低，这些参数将较大地影响热冲压模具冲压时的应力场和温度场，是热冲压模具进行数值模拟时的重要参数。

2.3 有限元分析

本文采用后纵梁零件变强度模具的冷区和热区部分别进行 45 钢+Fe 基合金和 5CrNiMo 钢+Co 基合金电弧堆焊后的数学建模和数值模拟分析。首先，利用 UG 软件对两种模具结构进行建模，然后在 ABAQUS 软件中建立热冲压成形的有限元模型，两种堆焊模具的典型二维截面结构和有限元模型如图 8 所示，其中堆焊层的厚度为 6 mm。由图 8 可知，

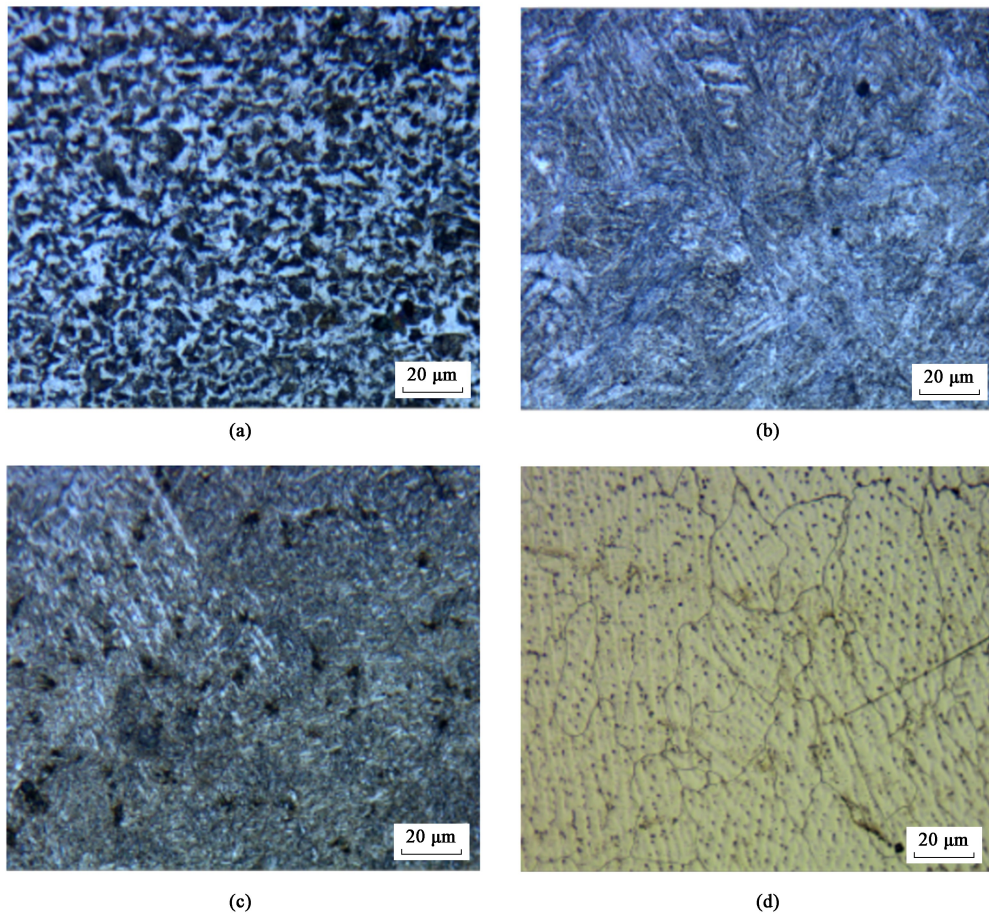


图 4 基体和堆焊材料的显微组织

(a) 45 钢 (b) 5CrNiMo 钢 (c) Fe 基合金 (d) Co 基合金

Fig. 4 Microstructures of substrate and surfacing materials

(a) 45 steel (b) 5CrNiMo steel (c) Fe-based alloy (d) Co-based alloy

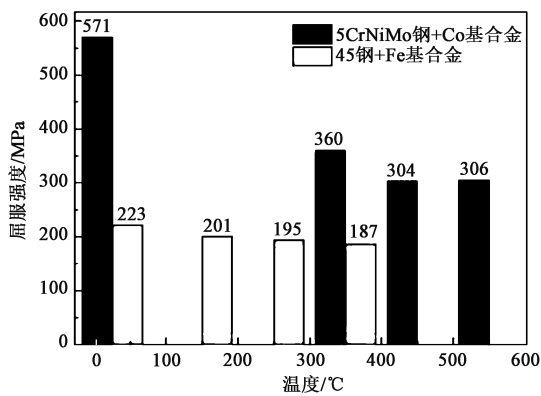


图 5 两种堆焊结构的高温压缩屈服强度

Fig. 5 High-temperature-compressive yield strength of two surfacing structures

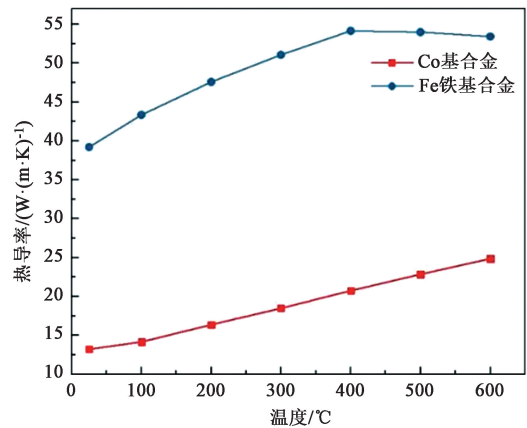


图 6 堆焊材料的热导率

Fig. 6 Heat conductivity of surfacing materials

冷区部分的几何模型包括板料、凹模、压料板和凸模；热区部分的几何模型包含凸模、凹模和板料，不设置压料板。其中，模具内的加热孔被忽略，板料为带铝硅镀层的 22MnB5 高强度钢。为节约模拟计算时间，冷区部分采用截面的 1/2 进行数值模拟。

在网格划分方面，在堆焊层和靠近冷却水道的位置进行网格加密，网格单元类型为四面体线性缩减积分单元。冷区和热区部分的有限元模型如图 8 所示。

对于冷区部分的热冲压有限元模拟设置如下：

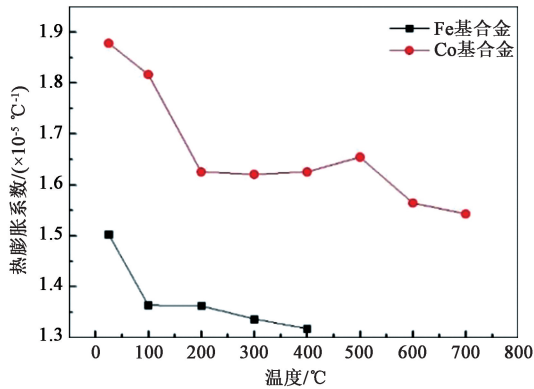


图7 堆焊材料的热膨胀系数

Fig. 7 Thermal expansion coefficient of surfacing materials

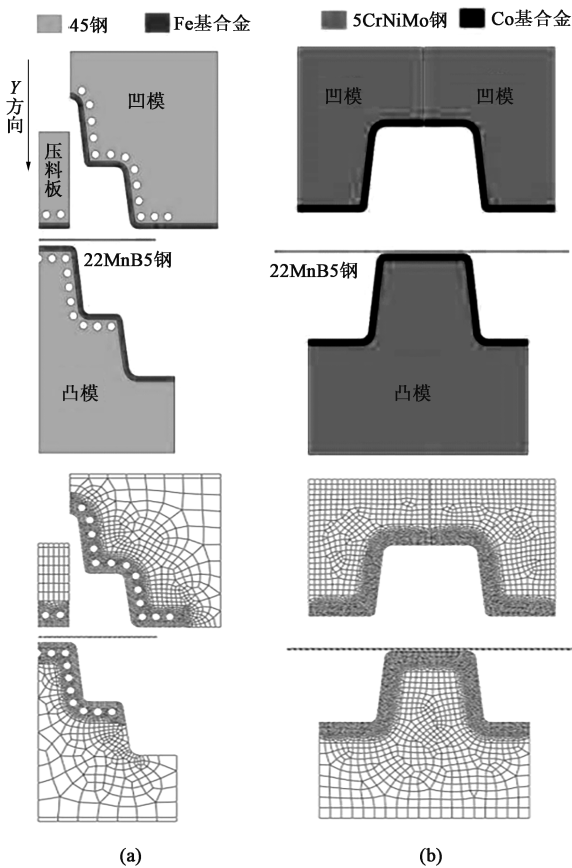


图8 两种堆焊模具的典型截面结构和有限元模型

(a) 冷区部分 (b) 热区部分

Fig. 8 Typical cross-sectional structures and finite element models of two surfacing dies

(a) Cold zone (b) Hot zone

板料开始成形的温度为 760 °C，压料板的保压压力为 10 MPa，凹模的保压压力为 5 MPa；板料的转运时间为 4 s，冲压时间为 2 s，保压时间为 10 s，开模时间为 1 s，一个冲压周期为 17 s；板料、模具与空气之间的热交换系数为 $160 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ ，板

料与模具之间的摩擦因数设为 0.3，模具与冷却水之间的换热系数为 $5393 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ ，模具初始温度和冷却水温度为 25 °C，板料、模具与空气之间的热辐射发射率为 0.8。在模拟中，凸模完全固定不动，压料板首先将板料压于凸模上，随后凹模以一定的速度成形零件，然后保压一段时间后，压料板和凹模向 Y 方向移动完成开模动作，模具完成一次热冲压周期。如此往复，连续进行 6 次热冲压，通过预定义场设定上次模具结束时的温度场和应力场为下一次冲压开始时模具的温度场和应力场，从而获得连续热冲压 6 次后模具的温度场变化情况。

对于热区部分的热冲压有限元模拟设置如下：模具的初始温度为 520 °C，模具的保压压力为 10 MPa，其余设置与冷区部分相同。值得注意的是，在热区部分的模具内部设置了冷却水道和加热孔，并放置了热电偶。当模具温度超过 540 °C 时，开启冷却水以降低温度；若模具温度小于 500 °C 时，加热棒开始对模具温度进行加热。冷却水和加热棒共同作用以保证模具温度在 500~540 °C 之间变化，故热区部分仅模拟一次热冲压后模具的温度场和应力场。

2.3.1 冷区部分模具的温度场和应力场

图 9a~图 9d 分别显示了经过 6 次热冲压循环后模具在保压时间为 0、1、5 和 10 s 时的温度场。由图 9 可知，模具的最高温度主要集中在点 P1、P2 和 P3 附近，最高温度约为 146 °C。

图 10 显示了点 P1、P2 和 P3 这 3 个点在 6 次热冲压循环时的温度-时间曲线。由图 10 可知，在第 4 次热冲压循环后，热冲压模具的温度已经达到了动态的热平衡状态，其中 P1 点的温度变化最大，3 个点的温度变化范围约为 60~140 °C。

图 11 显示了 6 次热冲压循环后模具在保压时间为 0、3、6 和 10 s 时的 Mises 应力场。由图 11 可知，随着保压时间的延长，模具所受的应力不断增加，最大应力出现在凹模的凸圆角和冷却水道附近，最大应力为 134 MPa，小于“45 钢+Fe 基合金”堆焊结构在 150 °C 时的屈服强度 (201 MPa)，故该堆焊结构满足强度要求。

2.3.2 热区部分模具的温度场和应力场

图 12 显示了热区部分模具在保压时间为 4 s 时的温度场，其中浅色部分为温度小于 540 °C 的区域，深色部分为温度大于 540 °C 的区域。由图 12 可知，在一次热冲压过程中，在热区模具表面的最高瞬时温度可达 567 °C，深色区域的最大深度约为 4 mm。

图 13 显示了热区部分模具在保压时间为 1 和

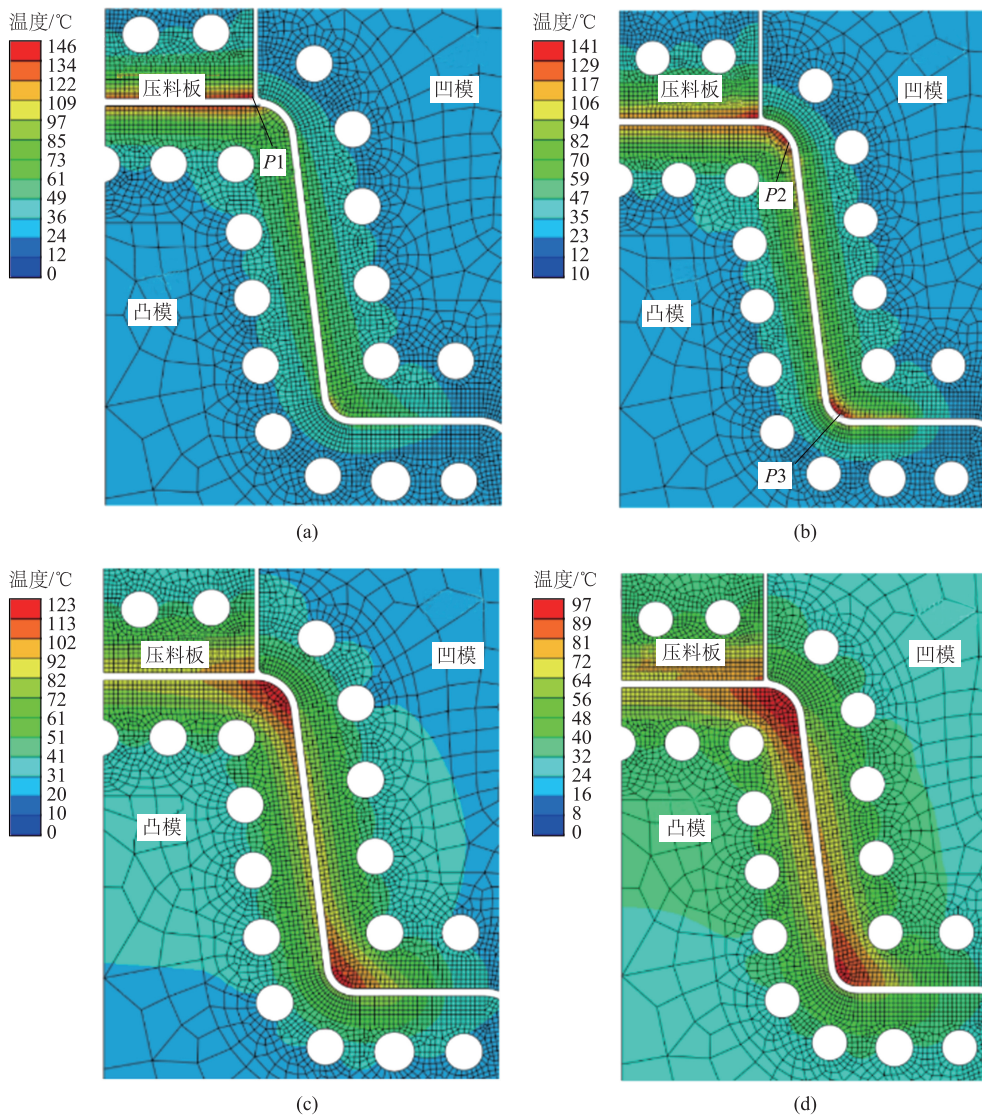


图 9 6 次热冲压循环后不同保压时间下模具的温度场

(a) 0 s (b) 1 s (c) 5 s (d) 10 s

Fig. 9 Temperature fields of die under different holding time after six times of hot stamping cycles

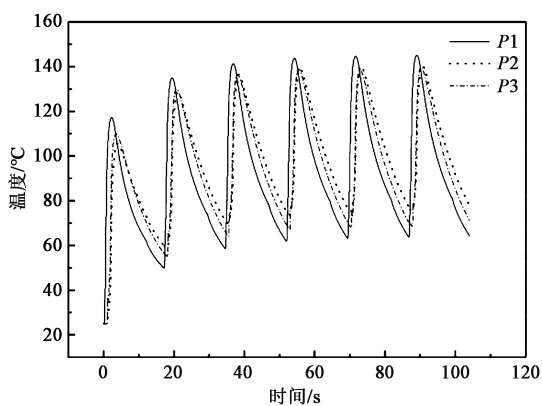


图 10 点 P1、P2、P3 的温度-时间曲线

Fig. 10 Temperature-time curves of points P1, P2 and P3

4 s 时的 Mises 应力场。由图 13 可知，模具的最大应力出现在点 P4、P5、P6 附近，约为 144 MPa。图 14 为点 P4、P5、P6 随时间变化的应力曲线，点 P5 在冲压时间为 3 s 时达到了最大应力 146 MPa，远小于 5CrNiMo 钢+Co 基合金堆焊结构在 550 °C 时的屈服强度 (306 MPa)，满足热区部分模具的强度要求。

为验证本文提出的电弧堆焊结构的可行性，对选用的后纵梁热冲压模具进行了生产验证。结果表明，“45 钢+Fe 基合金”堆焊结构热冲压模具能够试制出合格的后纵梁冲压件，如图 15 所示。图 15 中箭头所指的地方为变强度热冲压模具冷区的 4 个新型热冲压镶块。与传统热冲压模具相比，在保证模具寿命的同时，该堆焊结构的模具成本进一步降低。

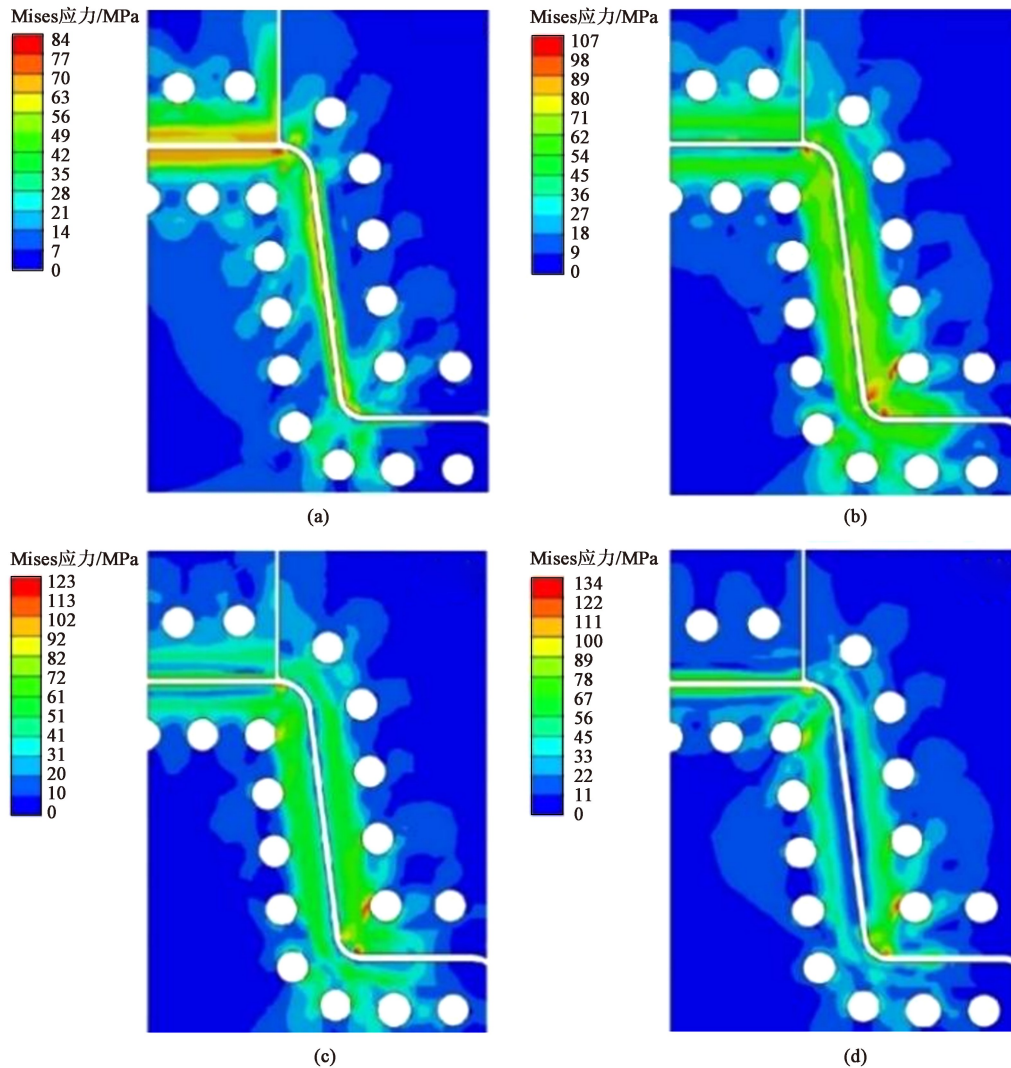


图 11 6次热冲压循环后不同保压时间下模具的 Mises 应力场

(a) 0 s (b) 3 s (c) 6 s (d) 10 s

Fig. 11 Mises stress fields of die under different holding time after six times of hot stamping cycles

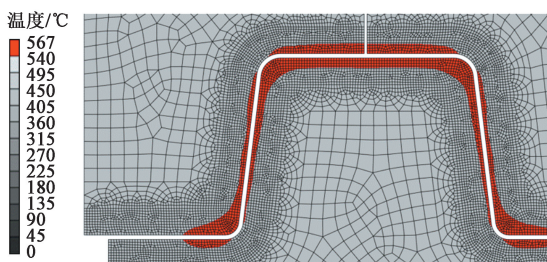


图 12 热区部分模具的温度场

Fig. 12 Temperature field of die in hot zone

3 结论

(1) 实验表明, 在电弧堆焊工艺下 45 钢+Fe 基

合金、5CrNiMo 钢+Co 基合金能形成较好的冶金结合。堆焊后的 Fe 基合金组织为回火马氏体, 堆焊后的 Co 基合金组织为奥氏体基体上分布不同类型的碳化物。

(2) 数值模拟结果表明, 新制的 45 钢+Fe 基合金堆焊结构模具在第 4 次热冲压循环后达到了动态的热平衡状态, 模具的最高温度约为 146 °C, 最大应力为 134 MPa; 再制造的 5CrNiMo 钢+Co 基合金堆焊结构的最高瞬时温度可达 567 °C, 最大应力为 146 MPa, 两种堆焊模具结构类型均满足强度要求。

(3) 经过实际试模验证, 堆焊而成的热冲压模具能够生产出合格的后纵梁冲压件, 满足模具寿命要求。

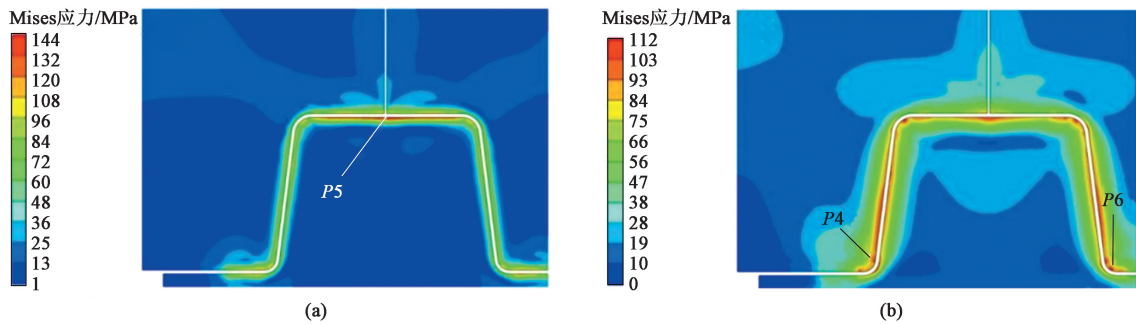


图 13 热区部分模具不同保压时间下的 Mises 应力场
(a) 1 s (b) 4 s

Fig. 13 Mises stress fields of die in hot zone under different holding time

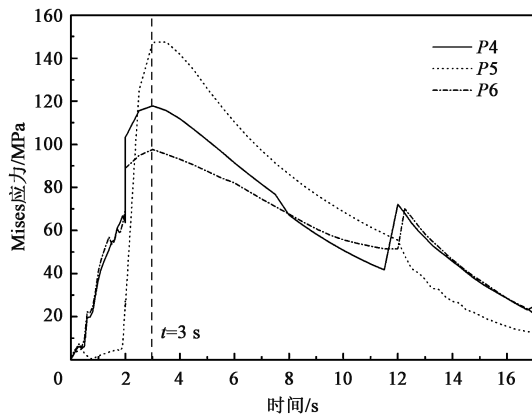


图 14 点 P4、P5 和 P6 的应力-时间曲线

Fig. 14 Stress-time curves of points P4, P5 and P6



图 15 冷区模具镶块

Fig. 15 Die inserts in cold zone

参考文献：

[1] 宋燕利, 刘煜键, 方志凌, 等. 超高强钢构件热冲压成形技术与应用 [J]. 机械工程学报, 2023, 59 (20): 154-178.
Song Y L, Liu Y J, Fang Z L, et al. Hot Stamping technology and application of ultra-high strength steel components [J]. Journal of

Mechanical Engineering, 2023, 59 (20): 154-178.
[2] 裴永生, 盛天放, 杨园超, 等. QP980 超高强钢翻边性能分析 [J]. 塑性工程学报, 2019, 26 (6): 50-54.
Pei Y S, Sheng T F, Yang Y C, et al. Analysis of flange performance of QP980 ultra-high-strength steel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2019, 26 (6): 50-54.
[3] Maeno T, Mori K I, Fujimoto M. Improvements in productivity and formability by water and die quenching in hot stamping of ultra-high strength steel parts [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2015, 64 (1): 281-284.
[4] 何全福. 热成形过程热力耦合 CAE 分析及模具工艺优化研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
He Q F. Coupled Thermo-mechanical CAE Analysis on Hot Forming and the Optimization of Mold Process [D]. Changsha: Hunan University, 2014.
[5] 孙玉双. 22MnB5 钢板 B 柱热冲压成形技术研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2015.
Sun Y S. Study on 22MnB5 B Pillar Hot Stamping Process [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2015.
[6] 巩子天纵. 汽车超高强钢热冲压工艺影响因素及试验研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2014.
Gong Z T Z. Research on Effect Factors and Experiment of Automotive Ultra-high Strength Steel Hot Stamping Process [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2014.
[7] George R, Bardelcik A, Worswick J M. Hot forming of boron steels using heated and cooled tooling for tailored properties [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212 (11): 2386-2399.
[8] Shen L, Zhou J, Xiong Y B, et al. Study on the combination of cobalt-based superalloy and ferrous alloys by bimetal-layer surfacing technology in refabrication of large hot forging dies [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 714: 338-347.
[9] 刘鑫. 高强钢热成形过程模具磨损的数值模拟研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.
Liu X. Numerical Simulation Research on Die Wear during the Thermal Process of High Strength Steel [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
[10] He B, Ying L, Hu P, et al. Investigation of mechanical property and springback behavior with hot stamping RCP process [J]. Advanced Materials Research, 2014, 1063: 186-189.
[11] 张珂珉, 周杰, 张盟盟, 等. 热成形模具铁基合金耐磨层磨

- 损性能研究 [J]. 热加工工艺, 2020, 49 (18): 81-85.
- Zhang K M, Zhou J, Zhang M M, et al. Study on wear resistance of Fe-based alloy wear-resistant layer of hot-forming die [J]. Hot Working Technology, 2020, 49 (18): 81-85.
- [12] 程晓宇, 张赛军, 郑朝尹, 等. 热冲压 DAC 模具磨损失研究及预测 [J]. 锻压技术, 2025, 50 (7): 211-218.
- Cheng X Y, Zhang S J, Zheng C Y, et al. Wear research and prediction on hot stamping DAC die steel [J]. Forging & Stamping Technology, 2025, 50 (7): 211-218.
- [13] Shu Q, Zhou J, Peng S X, et al. Study on microstructure of laser cladding Fe-based coatings and comparison of mechanical properties with SKD11 steel [J]. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2021, 75: 35-46.
- [14] 姜波, 孙福臻. H13 超高强度热冲压模具同质化激光熔覆修复工艺研究 [J]. 热加工工艺, 2025, 54 (17): 38-44.
- Jiang B, Sun F Z. Study on repairing of H13 ultra high strength steel hot stamping mold by homogenization laser cladding technology [J]. Hot Working Technology, 2025, 54 (17): 38-44.
- [15] 周建. 两种新型耐磨堆焊合金组织与性能的研究 [D]. 沈阳: 沈阳化工大学, 2023.
- Zhou J. Study on Microstructure and Properties of Two New Wear-resistant Surfacing Alloys [D]. Shenyang: Shenyang University of Chemical Technology, 2023.
- [16] 冯安平, 林惠娟, 张炜, 等. 采用增减材复合制造技术的模具修复工艺研究 [J]. 机械科学与技术, 2024, 43 (7): 1244-1248.
- Feng A P, Lin H X, Zhang W, et al. Study on die repairing technology using additive-subtractive hybrid manufacturing [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2024, 43 (7): 1244-1248.

现行锻压领域行业标准目录

序号	标准号	标准名称	序号	标准号	标准名称
1	JB/T 5109—2001	金属板料压弯工艺设计规范	22	JB/T 11760—2013	直齿锥齿轮精密冷锻件 技术条件
2	JB/T 6053—2004	钢质锻件热锻工艺燃料消耗定额计算方法	23	JB/T 11761—2013	齿轮轴毛坯楔横轧 技术条件
3	JB/T 6541—2004	冷挤压件 形状和结构要素	24	JB/T 9180.1—2014	钢质冷挤压件 第1部分: 公差
4	JB/T 10478—2004	热轧环形件 机械加工余量及公差	25	JB/T 91802—2014	钢质冷挤压件 第2部分: 通用技术条件
5	JB/T 6052—2005	钢质自由锻件加热 通用技术条件	26	JB/T 12028—2014	涡旋压缩机铝合金精锻涡旋盘 通用技术条件
6	JB/T 7531—2005	旋压件设计规范	27	JB/T 12029—2014	汽车发电机用精锻爪极 通用技术条件
7	JB/T 7532—2005	旋压工艺编制原则	28	JB/T 8930—2015	冲压工艺质量控制规范
8	JB/T 6959—2008	金属板料拉深工艺设计规范	29	JB/T 9177—2015	钢质模锻件 结构要素
9	JB/T 4290—2011	高速工具钢锻件 技术条件	30	JB/T 13274—2017	阀门阀体多向精密模锻件 工艺编制原则
10	JB/T 4381—2011	冲压剪切下料 未注公差尺寸的极限偏差	31	JB/T 13275—2017	阀门阀体多向精密模锻件 通用技术条件
11	JB/T 91751—2013	精密冲裁件 第1部分: 结构工艺性	32	JB/T 13276—2017	钢质汽车转向节锻件 通用技术条件
12	JB/T 91752—2013	精密冲裁件 第2部分: 质量	33	JB/T 13277—2017	汽车变速器换挡齿轮复合精密锻件 技术条件
13	JB/T 91791—2013	液压机上钢质自由锻件 机械加工余量与公差 第1部分: 一般要求	34	JB/T 11218—2020	风力发电塔架 法兰锻件
14	JB/T 91792—2013	液压机上钢质自由锻件 机械加工余量与公差 第2部分: 圆轴、方轴和矩形截面类	35	JB/T 13847—2020	变速器轴类冷挤压件 技术要求
15	JB/T 91793—2013	液压机上钢质自由锻件 机械加工余量与公差 第3部分: 台阶轴类	36	JB/T 13848—2020	钢质汽车转向节臂锻件 技术要求
16	JB/T 91794—2013	液压机上钢质自由锻件 机械加工余量与公差 第4部分: 圆盘和冲孔类	37	JB/T 13849—2020	共轨系统用喷油器壳体精密锻件 技术要求
17	JB/T 91795—2013	液压机上钢质自由锻件 机械加工余量与公差 第5部分: 短圆柱类	38	JB/T 13850—2020	汽车前轴锻件 技术要求
18	JB/T 91796—2013	液压机上钢质自由锻件 机械加工余量与公差 第6部分: 模块类	39	JB/T 14180—2021	钢质汽车转向节锻件 工艺规范
19	JB/T 91797—2013	液压机上钢质自由锻件 机械加工余量与公差 第7部分: 筒体类	40	JB/T 14181—2021	共轨系统用喷油器壳体精密锻件 工艺规范
20	JB/T 91798—2013	液压机上钢质自由锻件 机械加工余量与公差 第8部分: 圆环、筒节和法兰类	41	JB/T 14450—2023	铝合金车轮摆动辗压-旋压复合成形件 通用技术规范
21	JB/T 11759—2013	冷轧轴承环件机械加工余量及公差	42	JB/T 14451—2023	钢质锻件锻造生产能源消耗限额及评价方法
			43	JB/T 14452—2023	钢质楔横轧件材料消耗工艺定额编制要求
			44	JB/T 14667—2024	螺旋锥齿轮精密热锻件 通用技术规范
			45	JB/T 14666—2024	钢质汽车转向节臂锻件 工艺规范
			46	JB/T 14894—2025	轨道交通装备 钢质模锻件 通用技术规范
			47	JB/T 14895—2025	汽车变速器换挡齿轮复合精密锻件 工艺规范
			48	JB/T 14896—2025	汽车前轴锻件 工艺规范