

模具

汽车吸能盒零件多工位级进模设计

苏达权¹, 黄珍媛¹, 伍宇安², 吴挺浩², 林卫腾², 谭伟智²

(1. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510641; 2. 广东同正精密模具有限公司, 广东 惠州 516259)

摘要: 针对厚度大、强度高、成形困难且尺寸精度要求高的汽车吸能盒零件, 通过工艺分析确定了直排中间载体的排样设计的14工位级进模冲压方案, 材料利用率达75.14%。采用有限元模拟方法分析了产品成形过程中的回弹变形量, 通过在侧整形工位施加补偿的方法解决了回弹超差问题; 采用先冲孔后成型的方式解决了位于圆角上的溃缩孔无法直接冲裁的问题; 采用挂台加背托板的形式固定凸模, 解决了冲裁轮廓不封闭引起的冲裁力不平衡的问题; 设计了楔形回退机构, 解决了零件存在冲压负角无法直接成型的问题。生产试制结果表明, 该级进模设计合理可靠, 产品质量达到要求, 生产效率高。

关键词: 吸能盒; 级进模; 回弹补偿; 楔形回退机构; 冲压负角

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.01.025

中图分类号: U468.2; TG385.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2024) 01-0196-06

Design on multi-station progressive die for automotive energy absorbing box parts

Su Daquan¹, Huang Zhenyuan¹, Wu Yu'an², Wu Tinghao², Lin Weiteng², Tan Weizhi²

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

2. Guangdong Topzone Tooling Co., Ltd., Huizhou 516259, China)

Abstract: For the automotive energy absorbing box parts with large thickness, high strength, difficult to form and high dimensional accuracy requirement, the 14-station progressive die stamping scheme for straight-line intermediate carrier layout design was determined through process analysis, and the material utilization rate reached 75.14%. Then, the amount of springback deformation during the product forming process was analyzed by finite element simulation method, and the problem of springback out-of-tolerance was solved by applying compensation at the side shaping station. Furthermore, the method of punching first and then forming was used to solve the problem that the collapsed hole located on the fillet could not be directly blanked, and the punch was fixed in the form of hanging table and a back support plate to solve the problem of unbalanced blanking force caused by unclosed blanking profile. Finally, the wedge-shaped retraction mechanism was designed to solve the problem that the stamping negative angles of parts could not be directly formed. The trial production results show that the progressive die design is reasonable and reliable, the product quality meets the requirements, and the production efficiency is high.

Key words: energy absorbing box; progressive die; springback compensation; wedge-shaped retraction mechanism; stamping negative angle

汽车吸能盒作为汽车保险杠系统中的重要吸能装置, 一般焊接在前保险杠上, 并用螺栓连接在前纵梁上^[1]。吸能盒通过自身压溃的形式吸收汽车碰撞中的能量, 以尽可能地保护汽车其他结构不受破坏并保障驾驶人的人身安全。为了保证发生纵向溃缩以吸收尽可能多的能量^[2], 吸能盒一般采用高强度钢板制造^[3-4], 且一般设计有溃缩引导槽或溃缩孔, 在提升吸能盒碰撞性能的同时, 也带来了成形困难、回弹变形大^[5-6]、冲压负角处的溃缩引导槽

和位于圆角的溃缩孔无法直接成形等问题。本文针对某汽车吸能盒零件, 通过工艺分析、排样设计、回弹分析及补偿确定多工位级进冲压方案, 并设计出多工位级进模具结构, 最后进行生产试制。

1 吸能盒结构及工艺分析

本文研究的汽车吸能盒零件如图1所示, 其整体呈方筒形, 分为上下两个部分, 两部分均设计有溃缩引导槽和两个基准孔, 其中一个还设计有溃缩孔。该零件主要存在以下工艺难点: (1) 其侧壁的溃缩引导槽和凹造型存在冲压负角, 无法直接成型出来; (2) 整体尺寸为83 mm×104 mm×226 mm, 材料为HC420LA低合金高强度钢, 屈服强度为

收稿日期: 2023-07-24; 修订日期: 2023-10-25

作者简介: 苏达权 (1998-), 男, 硕士研究生

E-mail: 1045301592@qq.com

通信作者: 黄珍媛 (1975-), 女, 博士, 副教授

E-mail: zhenyuan@scut.edu.cn

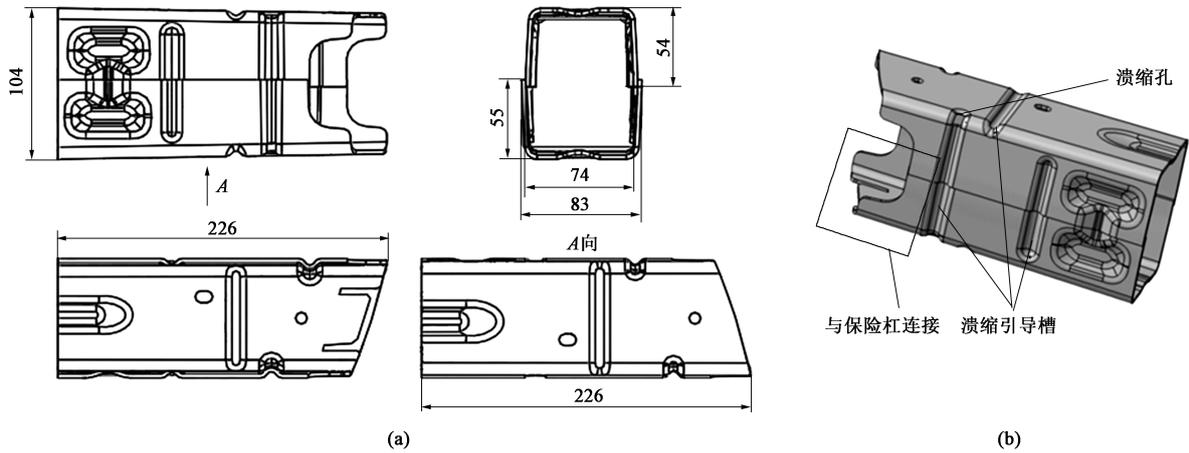


图 1 吸能盒零件图 (a) 及三维模型 (b)

Fig. 1 Part drawing (a) and 3D model (b) of energy absorbing box

461 MPa, 抗拉强度为 528 MPa, 厚度为 2.8 mm, 零件成形困难, 回弹变形大; (3) 型面和边线的公差为±0.5 mm, 尺寸精度高。

该零件的年生产批量为十万件, 属于大批量生产, 工艺上需分多步成形, 如采用单工序模具生产, 需要设计多套模具, 生产成本高。为满足高产量和低成本要求, 本文选用多工位级进模生产此零件。多工位级进模^[7]是在压力机的一次行程中, 在送料方向上连续排列的多个工位上同时完成多道冲压工序的冲压模具, 具有冲压效率高、尺寸精度高、生产成本低等特点, 被广泛应用于汽车零部件的生产^[8-9]。

2 排样设计

排样设计是多工位级进模设计中最重要的一环, 是模具结构设计的主要依据^[10]。本文吸能盒上下两部分具有相似性, 其坯料展开图近似于矩形, 为保证材料利用率最大, 毛坯排样采用直排中间载体的形式, 吸能盒上下两部分分列两边, 料带宽度为

500 mm, 送料步距为 186 mm, 材料利用率 75.14%。

综合零件特征和毛坯排样设计, 确定了 14 工位的级进模工序排样方案, 如图 2 所示。本工艺方案采用预成形+一次成形+二次成形+侧整形的方式保证吸能盒的侧壁形状精度; 采用侧刃与双重导正销的联合定距方式, 其中双重导正销由一个位于中间的精定位导正销和两个位于两侧的粗定位导正销组成, 保证料带传送的位置精度和稳定性。工位 1 为吸能盒顶面造型预成形、两侧导正 U 形定位孔和定距侧刃冲裁, 保证后面成形工序中压料板无成形内容, 使成形更稳定; 工位 2 为精定位定位孔冲裁, 将该孔安排在工位 1 的预成形之后, 是为了避免预成形造成孔变形, 影响定位精度; 工位 3~工位 5 为零件外形和两个溃缩孔冲裁, 冲裁刃口按照先中间后两边及工位间交替进行的原则进行分解, 为保证刃口强度, 一次冲裁废料长度≤300 mm; 工位 6 为侧壁一次成形, 侧壁向下成形 45°; 工位 7、工位 9 和工位 11 为空工位^[11], 主要起到为相邻两工位留足空间的作用; 工位 8 为侧壁二次成形到位; 工位

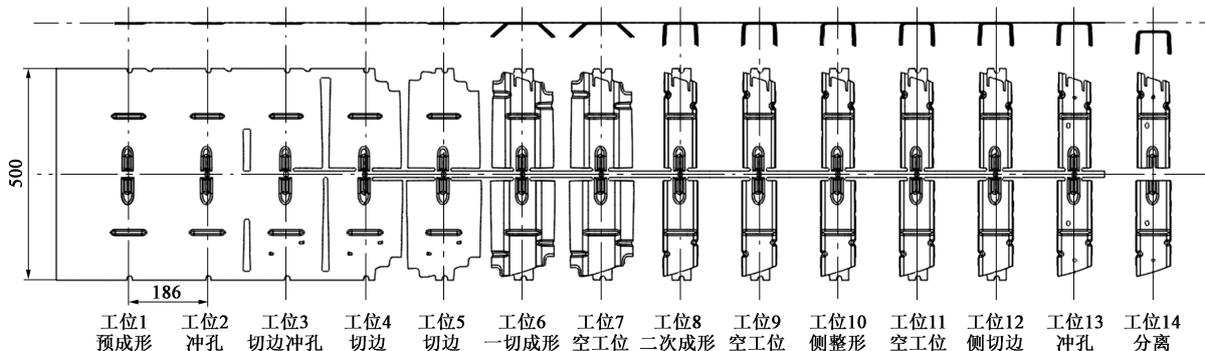


图 2 排样设计图

Fig. 2 Layout design drawing

10 为侧整形，主要是将侧壁存在负角的特征成形到位，以及改善成形精度；工位 12 为侧切吸能盒与防撞梁连接处精度要求高的轮廓；工位 13 为冲孔；工位 14 为制件和料带分离。

3 回弹分析及补偿

采用 Autoform 有限元软件对零件进行回弹分

析^[12]，结果如图 3a 所示，零件的最大正向回弹量为 +1.417 mm，最大负向回弹量为 -0.446 mm，分析结果表明，回弹主要集中在侧壁部分。在侧整形工位进行反向补偿^[13-14]，最大补偿量为 1.160 mm。补偿后的回弹分析结果如图 3b 所示，结果表明，最大正向回弹量为 +0.414 mm、最大负向回弹量为 -0.384 mm，回弹量被控制在 ± 0.5 mm 以内。

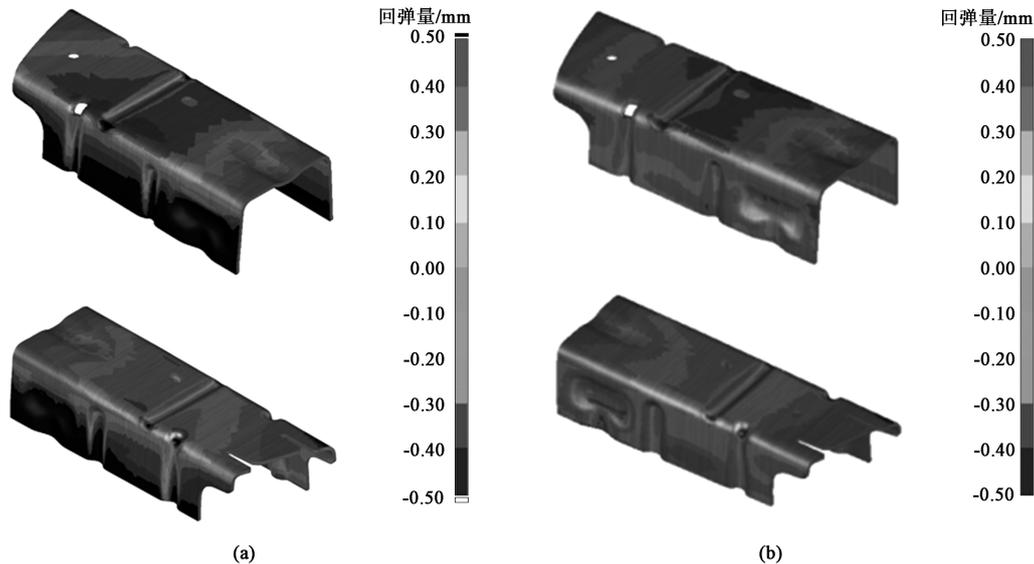


图 3 零件回弹结果

(a) 补偿前 (b) 补偿后

Fig. 3 Springback results of parts

(a) Before compensation (b) After compensation

4 模具结构设计与生产试制

4.1 模具结构总体设计

根据 2 章的工艺方案，开发了正式式多工位级进模具结构^[10]，如图 4 所示。上模部分由上垫脚、上模座、上垫板、凸模固定板（块）、上模卸料板和凸模等组成，下模由下底板、下垫脚、下模座、下模托料板和凹模镶块等组成。整体模具的外形尺寸为 3160 mm×1164 mm，闭合高度为 750 mm。为保证导向精度，采用内外双重导向。其中外导向由 4 个滚珠导柱导套（零件序号为 3、54）加 4 个自制导柱导套（零件序号为 7、50）结合组成；内导向由 20 个较小的滑动导柱导套（零件序号为 12、45）组成。

针对不同的冲裁形状，采用了不同的凸模固定方式。简单的圆形截面采用带台阶面的标准冲头形式^[10]，较小的异形冲裁凸模采用挂台加螺钉锁紧的形式，对于冲裁轮廓不封闭的情况，在挂台模式的

基础上增加背托板，如图 5 所示，背托板不仅可以平衡冲裁过程中的侧向力^[15]，而且可以起到耐磨板的作用，提高模具寿命。

因为零件上存在负角特征，为保证工位 10 侧整形时料带能顺利与凹模镶块分离，凹模镶块上特别设计了楔形回退机构，该楔形回退机构由 4 个楔形滑块组成，这 4 个楔形回退滑块分别通过 4 个氮气弹簧驱动，氮气弹簧安装在楔形滑块下方，如图 6 所示。在冲压行程开始时，料带在上模压料板的作用下开始下行，首先接触凸起的楔形滑块，然后该机构和料带一起下行，随着料带与凹模接触，该机构到达到底状态，随后凸模到位完成侧整形工作内容；当凸模复位后，料带开始上行，料带先与凹模分离，再与楔形滑块分离，最后料带到达上死点即完成一次冲压行程。

4.2 生产试制

生产试制模具的凸凹模镶块材料采用硬质合金工具钢 Cr12MoV，线切割和铣削加工后，淬火至 58~60 HRC；其他结构材料均采用 45 钢。

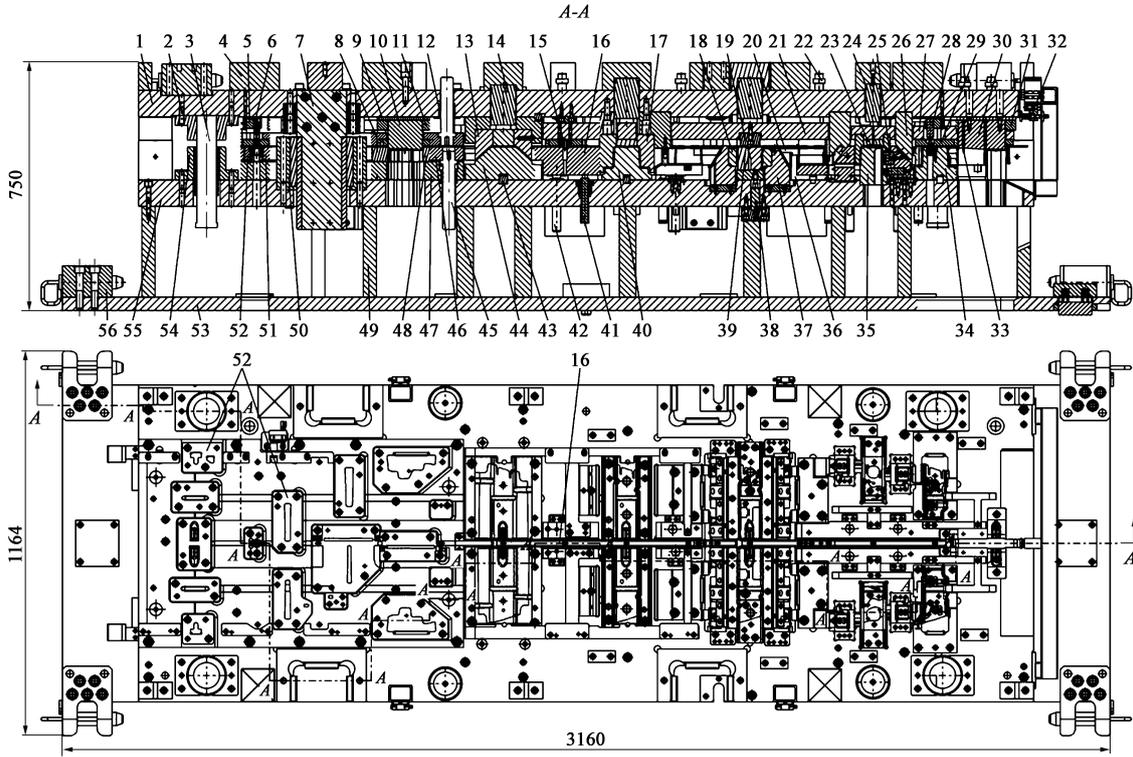


图 4 模具装配图

- 1. 上模座 2. 销钉 3、7. 外导柱 4. 上垫脚 5、11、31、37. 凸模固定板(块) 6、10、25、28、30. 冲裁凸模 8、21、27. 上模卸料板
- 9. 上垫板 12. 内导套 13、17、18. 成形凸模 14、24、38、41. 氮气弹簧 15. 导正销 16. 浮升架 19、23、29. 上模压料板
- 20、26. 斜楔驱动块 22. 限位柱 32. 误送料检测装置 33. 弹顶销 34、35、39、40、44、48、52. 凹模 36. 防侧板 42、45. 内导柱
- 43. 键 46、51. 下模托料板 47. 下垫板 49. 下垫脚 50、54. 外导套 53. 下底板 55. 下模座 56. 吊耳

Fig. 4 Die assembly drawing

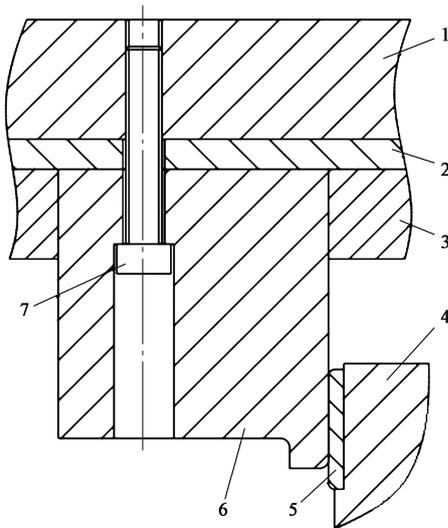


图 5 “挂台+背托”冲裁凸模固定形式

- 1. 上模座 2. 上垫板 3. 凸模固定板 4. 凹模 5. 背托板
- 6. 凸模 7. 内六角螺栓

Fig. 5 Fixed form for blanking punch of “hanging table+back support”

将调试好的模具装夹在 800 t 机械式压力机上进行生产试制，得到零件如图 7 所示。经过检具检测，

试制得到的零件质量满足设计要求，其中型面最大正向偏差为+0.47 mm，最大负向偏差为-0.42 mm，均在公差要求的±0.50 mm 以内，表明本文提出的排样设计和模具结构设计合理可靠，能够满足大批量生产需求。

5 结论

(1) 针对吸能盒零件的特点，确定了 14 工位的级进排样设计方案，采用直排中间载体，料带宽度为 500 mm，送料步距为 186 mm，材料利用率高达 75.14%。

(2) 零件成形方式采用预成形、一次成形、二次成形和侧整形的渐进成形方式，并对回弹进行有限元分析和补偿，回弹量被控制在±0.50 mm 内。

(3) 针对位于圆角的溃缩孔无法在零件成形后冲孔和冲裁轮廓不封闭导致冲裁力不平衡的问题，可分别采用先冲孔再成形的方式和“挂台+背托”的凸模固定形式解决。

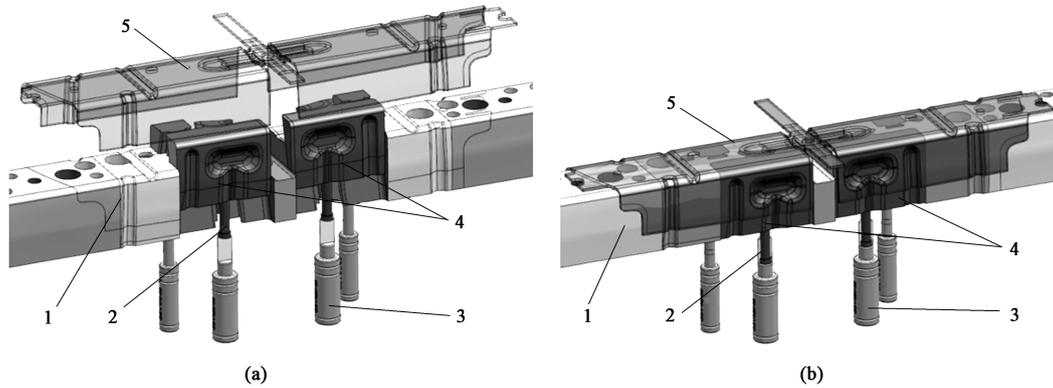


图 6 楔形回退机构

(a) 初始状态 (b) 到底状态

1. 凹模镶块 2. 顶杆 3. 氮气弹簧 4. 楔形滑块 5. 料带

Fig. 6 Wedge-shaped retraction mechanism

(a) Original state (b) Bottom state

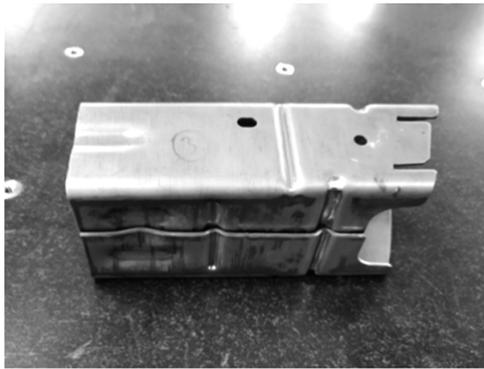


图 7 生产试制产品图

Fig. 7 Production trial product drawing

(4) 对于存在成形负角的零件, 可通过设计楔形回退机构实现零件与凹模的分离。

参考文献:

- [1] 曲明. 汽车吸能盒结构低速正面撞击的数值仿真研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.
Qu M. Simulation and Research of the Structure of Crash Box in the Low Speed Front Collision [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2008.
- [2] 周运, 梁伟, 田镇明, 等. 考虑损伤下的汽车吸能盒轴向压缩特性研究 [J]. 汽车工程学报, 2023, 13 (1): 126-133.
Zhou Y, Liang W, Tian Z M, et al. Research on axial compression characteristics of automobile energy absorbing box under damage conditions [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2023, 13 (1): 126-133.
- [3] 罗培锋, 杨万庆, 陈东, 等. 高强度钢成形技术及车身轻量化应用 [J]. 汽车实用技术, 2020, 45 (16): 170-175.
Luo P F, Yang W Q, Chen D, et al. Forming technology of high strength steel and application of body lightweight [J]. Automobile Applied Technology, 2020, 45 (16): 170-175.
- [4] 张燕瑰, 邓劲松, 魏宪波, 等. 高强度钢性能及其在车身中的应用 [J]. 精密成形工程, 2013, 5 (4): 64-68.
Zhang Y G, Deng J S, Wei X B, et al. A study on performance of high strength steel and application in bodywork [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5 (4): 64-68.
- [5] 李军, 刘鑫, 曹广祥, 等. 汽车车身高强度钢的应用发展及挑战 [J]. 汽车工艺与材料, 2021, (8): 1-6.
Li J, Liu X, Cao G X, et al. Application development and challenge on high strength steel for automobile body [J]. Automobile Technology & Material, 2021, (8): 1-6.
- [6] 苏浚翔. 基于几何特性的汽车高强钢抗撞吸能结构件成形性研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2022.
Su J X. Research on Formability of Automotive High-strength Steel Crash-resistant and Energy-absorbing Structural Parts Based on Geometric Characteristics [D]. Changsha: Hunan University, 2022.
- [7] 陈炎嗣. 多工位级进模的发展与应用 [J]. 金属加工: 冷加工, 2013, 677 (2): 14-17.
Chen Y S. Development and application of multi-station progressive die [J]. Metal Working: Metal Cutting, 2013, 677 (2): 14-17.
- [8] 蔡恒. 基于 NX 的汽车结构件级进模工艺设计系统的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
Cai H. Research on Process Design System of Auto Parts Progressive Die Based on NX [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2019.
- [9] 王二冬. 多工位级进冲模模具结构分析及优化关键技术研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
Wang E D. Research on the Key Technologies of Structure Analysis and Optimization of Multi-position Progressive Die [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.

- [10] 贾俐俐, 柯旭贵, 高锦张, 等. 冲压工艺与模具设计 [M]. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
Jia L L, Ke X G, Gao J Z, et al. Stamping Process and Die Design [M]. Second Edition. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2016.
- [11] 王巍, 李珍, 张贺, 等. 航空座椅连接件多工位级进模设计 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (10): 223-228.
Wang W, Li Z, Zhang H, et al. Design on multi-station progressive die for aero seat connector [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (10): 223-228.
- [12] 张留伟, 沈仙兵, 洪维, 等. 基于 CAD/CAE 的前翼板支架拉伸模设计 [J]. 塑性工程学报, 2023, 30 (3): 82-90.
Zhang L W, Shen X B, Hong W, et al. Draw die design of front wing support based on CAD/CAE [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2023, 30 (3): 82-90.
- [13] 刘龙. 汽车覆盖件冲压成形回弹补偿方法研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2018.
Liu L. Research on the Springback Compensation Method for Automobile Panel Stamping [D]. Changsha: Hunan University, 2018.
- [14] 周晶, 李晓仁, 王琳, 等. 高强度钢冲压件的回弹及预防措施 [J]. 金属加工: 热加工, 2017, (7): 39-40.
Zhou J, Li X R, Wang L, et al. Springback and preventive measures for stamped parts of high-strength steel [J]. MW Metal Forming, 2017, (7): 39-40.
- [15] 王成勇, 王思艳, 张心怡, 等. 级进模内球面偏心冲孔凸模刃口结构设计与侧向力控制 [J]. 塑性工程学报, 2016, 23 (2): 6-10.
Wang C Y, Wang S Y, Zhang X Y, et al. Punch structure design and lateral force control for eccentric holes blanking on inner spherical surface in progressive die process [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2016, 23 (2): 6-10.
-
- (上接第 188 页)
- Ye C, Zhu H, Wang M L, et al. Development of an intelligent feeding mechanism control system for cold heading machine based on STM32 [J]. Machine Tools and Hydraulics, 2016, 44 (11): 58-60, 65.
- [4] 滕欣艺. 高速螺钉冷镦机传动机构刚柔耦合模型仿真研究 [D]. 济南: 济南大学, 2021.
Teng X Y. Simulation Study on the Rigid-flexible Coupling Model of High-speed Screw Cold Heading Machine Transmission Mechanism [D]. Jinan: Jinan University, 2021.
- [5] Guo Q Z, Ru W Y, Xiu M J. Study on design of ratchet-pawl clutch in winder [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 215-216: 263-269.
- [6] 侯升亮, 侯磊, 梁廷伟. 某型航空用棘轮棘爪离合器动力学仿真分析 [J]. 中国科学: 技术科学, 2018, 48 (9): 999-1011.
Hou S L, Hou L, Liang T W. Dynamic simulation analysis of a certain type of aviation ratchet and pawl clutch [J]. Chinese Science: Technology Science, 2018, 48 (9): 999-1011.
- [7] 赵红利, 吴眉, 王元浩, 等. 粉末冶金换挡棘爪断裂失效分析 [J]. 粉末冶金工业, 2021, 31 (1): 34-38.
Zhao H L, Wu M, Wang Y H, et al. Fracture failure analysis of powder metallurgy shift pawl [J]. Powder Metallurgy Industry, 2021, 31 (1): 34-38.
- [8] 孟旭铮, 于宁, 韦一可, 等. 42CrMo 和 Cr12MoV 合金钢在 NaCl 溶液中的腐蚀电化学行为分析 [J]. 材料保护, 2022, 55 (6): 75-79.
Meng X Z, Yu N, Wei Y K, et al. Analysis of the corrosion electrochemical behavior of 42CrMo and Cr12MoV alloy steels in NaCl solution [J]. Materials Protection, 2022, 55 (6): 75-79.
- [9] 章昊, 周敏, 唐季平, 等. Cr12MoV 钢的耐磨性与其碳化物相关性研究 [J]. 上海金属, 2021, 43 (1): 42-49.
Zhang H, Zhou M, Tang J P, et al. Study on the wear resistance and carbide correlation of Cr12MoV steel [J]. Shanghai Metals, 2021, 43 (1): 42-49.
- [10] Xing Z X, Wang X, Ning M, et al. Micromagnetic and robust evaluation of surface hardness in Cr12MoV steel considering repeatability of the instrument [J]. Sensors, 2023, 23 (3): 1273-1273.
- [11] 潘成刚, 程伟伦, 周家林, 等. Cr12MoV 模具钢中性盐浴渗钛组织与性能 [J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37 (1): 1-5.
Pan C G, Cheng W L, Zhou J L, et al. Microstructure and properties of Cr12MoV die steel treated by neutral salt bath titanium carburizing [J]. Special Casting and Nonferrous Alloys, 2017, 37 (1): 1-5.
- [12] Chala A, Darsouni A, Belahssen O, et al. Electro-chemical corrosion of 42CrMo4Steel nitrided with different impedance parameters [J]. Journal of Chemistry and Materials Research, 2015, 2 (2): 39-41.
- [13] 王龙, 唐修检, 汪刘应, 等. 20CrMnTi 钢齿轮磨削表面的摩擦磨损试验研究 [J]. 工具技术, 2021, 55 (4): 69-72.
Wang L, Tang X J, Wang L Y, et al. Experimental study on friction and wear of ground surface of 20CrMnTi steel gears [J]. Tool Engineering, 2021, 55 (4): 69-72.
- [14] Heinz A, Haszler A, Keidel C, et al. Recent development in aluminium alloys for aerospace applications [J]. Materials Science and Engineering: A, 2000, 280 (1): 102-107.
- [15] 王庚祥, 马道林, 刘洋, 等. 多体系统碰撞动力学中接触力模型的研究进展 [J]. 力学学报, 2022, 54 (12): 3239-3232.
Wang G X, Ma D L, Liu Y, et al. Research progress on contact force models in the dynamics of multi-body systems collisions [J]. Acta Mechanica Sinica, 2022, 54 (12): 3239-3232.