

液力变矩器涡轮外环叶片槽冲裁力的分析与研究

潘文宏

(陕西国防工业职业技术学院 智能制造学院, 陕西 西安 710300)

摘要: 为解决液力变矩器手工冲槽加工效率低这一难题, 提高冲裁件的断面质量和冲裁效率, 以 YB-265 中等型号冲焊型液力变矩器涡轮外环叶片冲槽加工为研究基础, 采用壳体厚度为 3 mm, 且相同规格的 10F 钢作为液力变矩器涡轮外环叶片槽冲裁试验材料。利用截面为 20 mm×1.5 mm 的矩形凸模进行冲槽试验, 通过更换凹模来改变冲裁间隙, 以完成在不同冲裁间隙条件下对涡轮外环叶片槽的冲裁试验, 采集并拟合分析冲裁力与冲裁间隙之间的变化曲线。研究发现, 随着冲裁间隙的增大, 冲裁力缓慢减小, 且断裂带形成具有一定的滞后性; 光亮带缓慢减小, 分布相对比较均匀, 但毛刺高度却随之增加。经比较经验公式和试验曲线, 得出经验公式所假设的冲裁间隙约为 23.42% t 。研究结果对汽车液力变矩器的制造技术和应用具有一定的实际意义和促进作用。

关键词: 液力变矩器; 涡轮外环; 叶片槽; 冲槽加工; 冲裁间隙; 冲裁力

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.01.011

中图分类号: TH69; TG386.2; TB31

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2023) 01-0084-06

Analysis and research on punching force for turbine outer ring blade groove of hydraulic torque converter

Pan Wenhong

(School of Intelligent Manufacturing, Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China)

Abstract: In order to solve the problem of low machining efficiency of manual punching groove for hydraulic torque converter to improve the section quality and punching efficiency of punching parts, based on the punching groove processing of turbine outer ring blade for YB-265 medium-sized model stamping and welding hydraulic torque converter, the 10F steel with a shell thickness of 3 mm and the same specification was used as the test material for punching of turbine outer ring groove for hydraulic torque converter, the punching groove test was conducted by a rectangular punch with a cross-section of 20 mm×1.5 mm, and the punching clearance was changed by replacing the die to complete the punching test of turbine outer ring groove under different punching clearance conditions. Furthermore, the changing curves between punching force and punching clearance were collected and fitted to analyze. The results show that the punching force decreases slowly with the increasing of punching clearance, and the formation of fault zone has a certain lag. The bright band decreases slowly and the distribution is relatively uniform, but the burr height increases. By comparing the empirical formula and the test curve, the punching clearance assumed by the empirical formula is about 23.42% t . Thus, the study result has certain practical significance and promoting effect on the manufacturing technology and application of automobile hydraulic torque converter.

Key words: hydraulic torque converter; turbine outer ring; blade groove; punching groove processing; punching clearance; punching force

由于液力变矩器出色的传递输送扭矩和自适应性等优点, 其在汽车、农业机械、军用车辆、风力发电以及工程机械 (如装载机和液力叉车等) 等领域的传动系统中得到了广泛的应用^[1]。

液力变矩器是由泵轮、涡轮和导轮组成的液力元件, YB-265 中等型号冲焊型液力变矩器涡轮外环分总成的加工工艺为: 钣金件进料→外环冲槽→叶片进料→叶片插装→内环进料→内环冲槽→叶片滚铆……。冲槽作为液力变矩器整个工艺中一个十分重要的加工环节, 主要分为涡轮外环和内环冲槽。

冲槽是指在冲压成形的涡轮壳体上加工便于插装叶片的槽孔, 冲压成形的叶片上带有固定耳片,

收稿日期: 2022-09-05; 修订日期: 2022-12-19

基金项目: 2022 年度陕西国防工业职业技术学院科研计划项目

(Gfy22-29)

作者简介: 潘文宏 (1992-), 男, 硕士, 讲师

E-mail: 1992550881@qq.com

在装配时,叶片上的插装耳与涡轮内外环壳体上的槽孔相配合,以起到后续涡轮叶片的插装和滚铆加工固定液力变矩器内部流道增距的作用^[2]。

通过对企业实际生产过程的调研可知,多数国内企业在中小批量生产时采用手动冲槽设备,手动冲槽机占比约为 88%。然而一种工装的手动冲槽机只能完成圆周上一种槽孔的加工。但是涡轮外环包括内、中和外槽,因此,加工一个完整的涡轮外环槽孔需更换 3 次工装。由于手动冲槽存在生产效率和加工精度低等缺点,故需要研究开发一套可应用于国内液力变矩器的涡轮外环叶片冲槽加工专用冲床,因此,首先需对叶片槽冲裁力进行研究。

随着液力变矩器制造行业的不断发展,针对目前手动冲槽这一现状,需对液力变矩器冲槽设备冲槽时的冲裁力进一步研究。通过对 10F 钢材料进行冲裁试验,研究冲裁间隙与冲裁力、光亮带高度、毛刺高度之间的关系,同时对比经验公式,求解出经验公式所假设的冲裁间隙。继而进一步对冲裁间隙对断面质量的影响进行分析研究。

1 涡轮外环叶片槽冲裁力试验

1.1 试验数据采集装置和冲裁力试验原理

本文以涡轮外环中槽加工为例,对叶片槽加工冲裁力进行研究。通过设计冲裁力的测试方案,完成冲裁试验,获得冲裁过程中的最大冲裁力与冲裁力-冲裁行程曲线,以验证冲裁力计算公式的正确性,分析冲裁间隙对冲裁力大小和冲裁质量的影响规律^[3-7]。液力变矩器原理图及实物如图 1 所示,涡轮叶片成形及装配示意图如图 2 所示,涡轮壳体冲槽前的模型和冲槽完成件如图 3 所示。

冲裁可以概括性地理解为是板料在凸、凹模的作用下产生双向裂纹分离的过程,按照冲裁变形机理,可简要地概括为弹性变形、塑性变形和断裂分离这 3 个阶段。以下试验中的冲裁间隙均指相对间隙 z/t ,其中 z 为双边间隙, t 为涡轮板料厚度,试验主要研究不同冲裁间隙对冲裁质量和冲裁力的影响,冲裁原理图如图 4 所示,其中 V 为凹模刃口宽度。

在叶片槽冲裁试验过程中,通过建立 PLC 控制数据采集系统,利用 HoneyWell GPTBG3YG250BSBFX 压阻式压力传感器和米朗 KTC-100 mm 拉杆式电子尺位移传感器得到的模拟量,间接地对冲裁力和冲裁

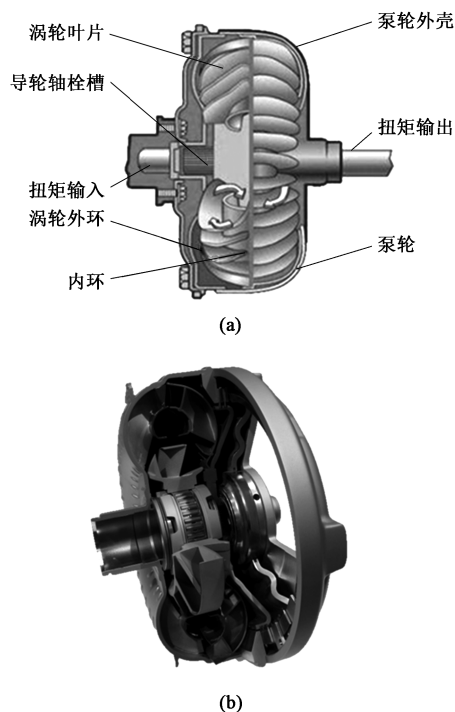


图 1 液力变矩器原理 (a) 及实物图 (b)

Fig. 1 Principle (a) and physical diagram (b) of hydraulic torque converter

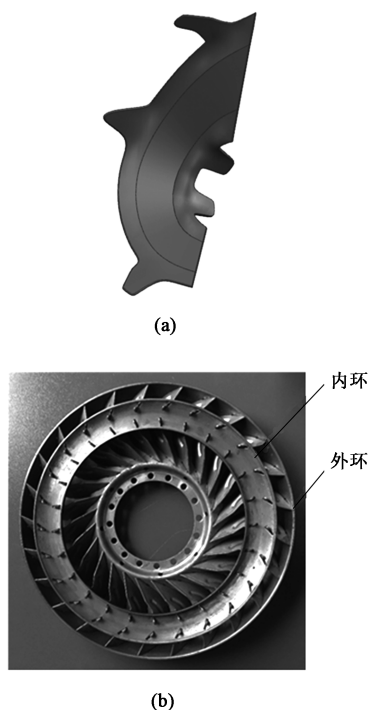


图 2 涡轮叶片成形及装配示意图

Fig. 2 Schematic diagrams of turbine blade forming (a) and assembly (b)

行程进行实时测量计算。冲裁力需要利用式 (1) 进行间接计算:

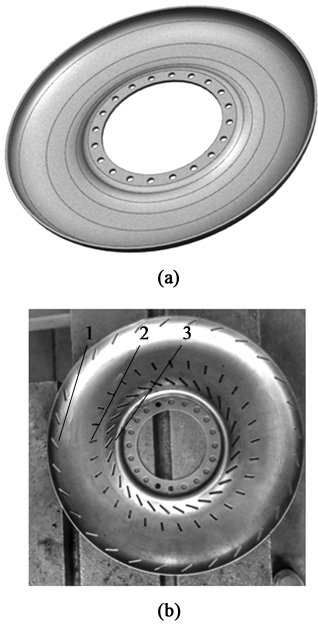


图 3 涡轮壳体冲槽前的模型 (a) 和冲槽完成件 (b)

1. 外槽 2. 中槽 3. 内槽

Fig. 3 Pre-punching model (a) and punched part (b) of turbine casing

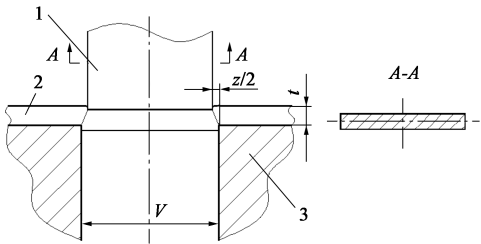


图 4 冲裁原理图

1. 凸模 2. 涡轮壳体 3. 凹模

Fig. 4 Principle diagram of punching

$$F = P\pi R^2 \tag{1}$$

式中： F 为冲裁力； P 为液压缸内部液压的油压力； R 为液压缸内部活塞的半径，本文中 $R=20\text{ mm}$ 。

1.2 试验材料

该试验冲床加工的液力变矩器涡轮外环壳体的最大厚度为 3 mm，槽孔为 20 mm×1.5 mm 的矩形孔，壳体材料为 10F 钢^[8]，其基本力学性能参数如表 1 所示。

表 1 10F 钢材料的力学性能参数

Table 1 Mechanical property parameters of 10F steel material

参数	抗剪强度 τ/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	屈服强度 R_{eL}/MPa	伸长率 $A/\%$	弹性模量 E/MPa
数值	216~333	315~412	186	30	210

1.3 试验设备

冲压机试验平台采用 WAW-1000C 电液伺服万

能液压冲压机，其主要参数为：输入电压为 220 V；额定工作油压为 70 MPa。试验所用设备——涡轮外环冲槽单刀头冲压机试验平台如图 5 所示，YB 系列冲焊型液力变矩器涡轮内环和外环试验的各类冲槽模具如图 6 所示。

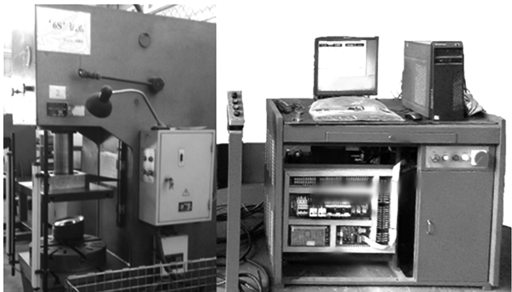


图 5 涡轮外环冲槽单刀头冲压机试验平台

Fig. 5 Test platform of single cutter punch for punching groove of turbine outer ring

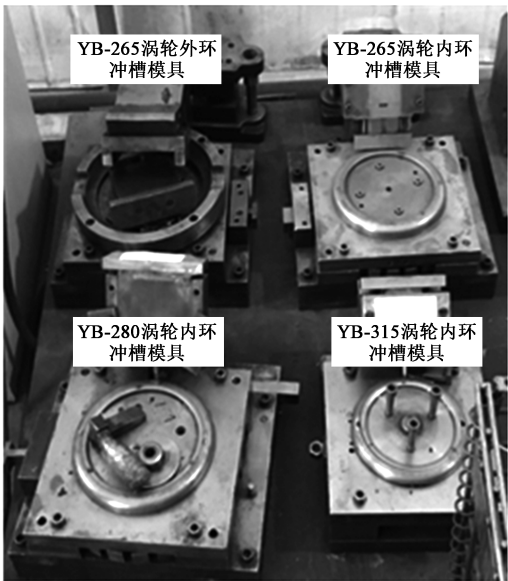


图 6 各种冲槽模具

Fig. 6 Various dies of punching groove

1.4 叶片槽冲裁力试验步骤

试验选取若干 YB-265 冲焊型液力变矩器涡轮外环壳体，材料为 10F 钢，厚度为 3 mm。为提高凸模的损耗寿命，在合理的冲裁间隙条件下，改变凹模的截面尺寸，以冲裁间隙为试验变量，分别取 15% t 、20% t 、25% t 、30% t 和 35% t 进行 5 组冲裁试验。试验选取凸模冲头尺寸为 20 mm×1.5 mm，通过更换不同矩形孔的凹模来改变冲裁间隙的大小。为了提高试验数据的准确性，每组试验经过多次冲裁，对测量结果取其平均值作为有效数据。

2 涡轮外环叶片槽冲裁力试验的结果分析

2.1 冲裁间隙对冲裁质量的影响

试验分别取冲裁间隙为 $15\%t$ 、 $20\%t$ 、 $25\%t$ 、 $30\%t$ 和 $35\%t$ ，依次对应矩形孔的凹模截面尺寸为 $20.45\text{ mm} \times 1.95\text{ mm}$ ， $20.60\text{ mm} \times 2.10\text{ mm}$ ， $20.75\text{ mm} \times 2.25\text{ mm}$ ， $20.90\text{ mm} \times 2.40\text{ mm}$ 和 $21.05\text{ mm} \times 2.55\text{ mm}$ ，通过冲裁试验得到的光亮带高度和毛刺高度数据如表 2 所示。

表 2 不同冲裁间隙条件下所得的相关数据

Table 2 Relevant data obtained in different punching clearance conditions

序号	涡轮外环厚度/mm	冲裁间隙	光亮带高度/mm	毛刺高度/mm
1	3	$15\%t$	1.670	0.082
2	3	$20\%t$	1.658	0.162
3	3	$25\%t$	1.612	0.300
4	3	$30\%t$	1.588	0.458
5	3	$35\%t$	1.512	0.486

完成 5 组不同冲裁间隙的冲裁试验后，得到不同冲裁间隙下的冲裁力-冲裁行程关系曲线。在此以冲裁间隙为 $15\%t$ 和 $25\%t$ 为例进行分析，如图 7 所示。

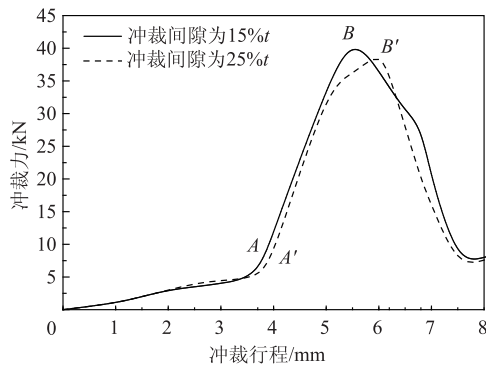


图 7 冲裁力-冲裁行程曲线

Fig. 7 Punching force-punching stroke curves

对比两组曲线发现：在冲裁初期阶段，冲裁间隙对冲裁力的影响较小，但随着冲裁行程的增大，冲裁间隙为 $15\%t$ 时的最大冲裁力明显大于冲裁间隙为 $25\%t$ 时的最大冲裁力。并且在断裂带形成过程中有一定的滞后性。由图 7 得知，冲裁间隙为 $15\%t$ 时的 $A \sim B$ 冲裁行程和冲裁间隙为 $25\%t$ 时的

$A' \sim B'$ 冲裁行程近似等于表 2 所对应的各光亮带高度^[9-12]。

同时，冲裁间隙与光亮带高度和毛刺高度的影响规律曲线如图 8 所示。由图 8 可知，随着冲裁间隙的逐渐增大，光亮带高度逐渐减小，近似于呈线型、缓慢下降趋势，光亮带的高度分布也比较均匀，但冲裁间隙对其的影响不大。当冲裁间隙为 $15\%t$ 时，光亮带高度最大，约为涡轮板厚的 55.67% ，光亮带高度也可作为冲裁制件断面质量的评价指标之一。

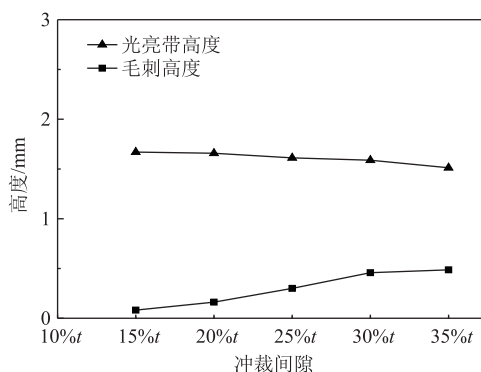


图 8 冲裁间隙-光亮带高度/毛刺高度关系曲线

Fig. 8 Relationship curves of punching clearance-bright strip height/burr height

在板料冲裁的最后一个阶段即断裂分离阶段，当冲裁间隙较小时，涡轮外环冲裁接口处，在沿着凸、凹模刃口处易产生裂纹，上、下裂纹在最大切应力方向上接近重合，故毛刺高度较小，较易去除。当冲裁间隙增大时，涡轮外环冲裁接口所受弯曲与拉伸作用增大，裂纹易在凹模离刃口稍远的侧面生成，故毛刺高度逐渐较大，不易去除。故随着冲裁间隙的不断增大，毛刺高度也随之增大。冲裁间隙增大后，断面质量会变差。

2.2 冲裁间隙对冲裁力的影响

上述试验通过改变凹模尺寸的方法来改变冲裁间隙，可得到最大冲裁力，通过在 Origin 软件中进行曲线拟合，获得拟合曲线，如图 9 所示。

由图 9 可知，随着冲裁间隙的增加，最大冲裁力依次减小。冲裁间隙较小时，板料所受弯矩较小，板料所受侧面拉应力越小，而垂直压应力越大，即板料所受的剪切作用越强，并产生一定的加工硬化现象，材料越不易被撕裂，会消耗较多能量，因此最大冲裁力越大。当冲裁间隙增大时，纯剪切变形量减少，拉应力产生的撕裂裂纹扩展占主导作用，此时最大冲裁力较低。

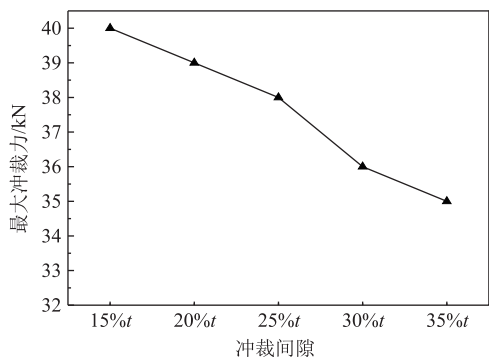


图 9 最大冲裁力-冲裁间隙曲线

Fig. 9 Maximum punching force-punching clearance curve

3 涡轮外环叶片槽冲裁力经验公式的计算分析

张维方等^[13]利用解析法总结了板料冲裁的冲裁力计算公式所包含因素的影响规律,并得到冲裁力计算公式,冲裁力 F 经验计算公式为:

$$F = KLt\tau \quad (2)$$

式中: L 为冲裁刃口周长, mm; t 为涡轮板料厚度, mm; τ 为工件材料抗剪强度, MPa; K 为考虑冲模刃口钝化、因工件表面质量引起的间隙不均匀、工件自身材料力学性能以及厚度不均等因素而增加的安全系数,常取 $K=1.3$ 。

在一般情况下,材料的抗拉强度 $R_m \approx 1.3\tau$, 故为计算方便常用式 (3) 计算冲裁力。

$$F = LtR_m \quad (3)$$

则涡轮壳体所需的冲裁力为 $F = 38.3 \text{ kN}$ 。式 (3) 主要计算的为最大冲裁力,通过冲裁试验得到的最大冲裁力和经验公式计算的冲裁力的对比,可获得如图 10 所示曲线。

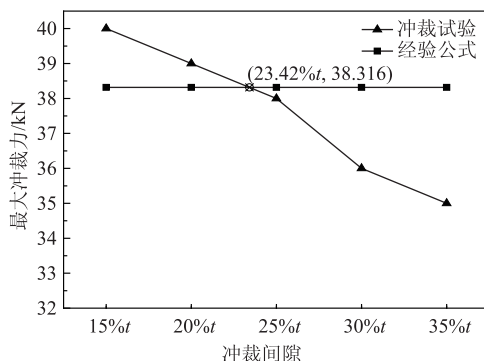


图 10 不同冲裁间隙下试验最大冲裁力和经验公式计算的冲裁力对比图

Fig. 10 Comparison diagram of maximum punching force in test and punching force calculated by empirical formula under different punching clearances

经验公式是在假设的某一理想的冲裁间隙下计算冲裁力。在一定程度上,利用不同的方法推导出冲裁力计算公式(式(3)),但所得式(3)并未完全包含冲裁间隙、冲裁板料形状和冲裁速度等一些重要影响因素^[14-18]。针对 10F 钢材料的经验冲裁力,由图 10 可知,两条曲线的交点即为经验公式所假设的相对冲裁间隙,约为 23.42% t 。涡轮外环冲槽试验的冲裁样件和冲裁孔实物图如图 11 所示。

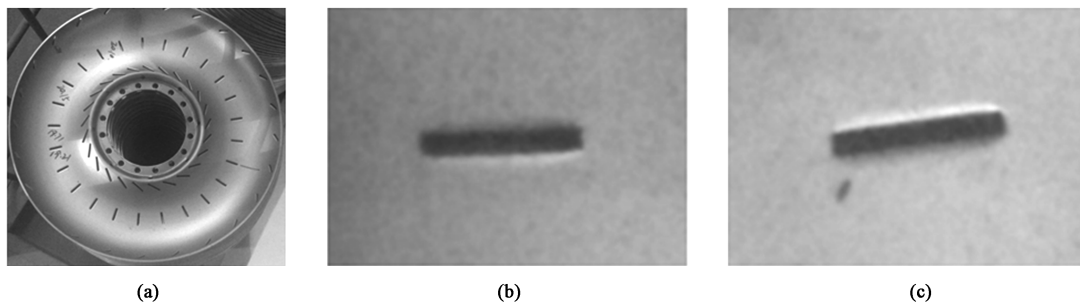


图 11 涡轮外环冲槽试验样件

(a) 冲裁样件 (b) 15% t 冲裁间隙下的冲裁孔 (c) 20% t 冲裁间隙下的冲裁孔

Fig. 11 Test samples of punching groove for turbine outer ring

(a) Punching sample (b) Punching holes at punching clearances of 15% t (c) Punching holes at punching clearances of 20% t

4 结论

(1) 以 YB-265 中等型号冲焊型液力变矩器涡

轮外环中槽冲槽加工为研究基础,可对各类液力变矩器涡轮内、外环和泵轮外壳各槽的加工提供参考依据。

(2) 相比于试验冲裁力,经验冲裁力未考虑到

冲裁间隙等因素。在试验中,通过曲线比较,求解得到 10F 钢材料涡轮外环叶片槽冲裁力经验计算公式的冲裁间隙为 23.42% t 。

(3) 冲裁间隙是影响冲裁质量的一个重要因素,随着冲裁间隙的增大,光亮带高度缓慢减小,毛刺高度逐渐增大。减小冲裁间隙能保证冲裁孔径尺寸的精度和断面质量,但过小的冲裁间隙会增加模具的损耗,减少寿命。

参考文献:

- [1] 刘城,闫清东,魏巍. 基于贝塞尔曲线的液力变矩器三维叶片造型方法[J]. 机械工程学报, 2017, (10): 201-208.
Liu C, Yan Q D, Wei W. Three dimensional torque converter blade modelling based on Bezier curves [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, (10): 201-208.
- [2] 潘文宏,曹巨江,邹锋,等. 基于 ANSYS Workbench 的液力变矩器叶片外环滚铆力学分析[J]. 现代制造工程, 2017, (2): 149-152.
Pan W H, Cao J J, Zou F, et al. Analysis of outer ring of torque converter blade rolling riveting mechanics based on ANSYS Workbench [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2017, (2): 149-152.
- [3] 李鹏元,何伟,樊瑜瑾,等. 304 不锈钢板冷冲及其冲裁质量研究[J]. 材料科学与工艺, 2018, 26 (2): 34-40.
Li P Y, He W, Fan Y J, et al. Investigation on cold-blanking and blanked edge quality of 304 stainless steel sheet [J]. Materials Science and Technology, 2018, 26 (2): 34-40.
- [4] Pesin A, Pustovoytov D. Finite element simulation of shear strain during high-ratio differential speed rolling of aluminum alloy 5083 [J]. Key Engineering Materials, 2016, 716: 700-707.
- [5] Canales C, Bussetta P, Ponthot J P. On the numerical simulation of sheet metal blanking process [J]. International Journal of Material Forming, 2017, 10 (1): 55-71.
- [6] 郑海涛,樊瑜瑾,杨振,等. T2 铜板冲裁间隙对冲裁力及断面质量的影响[J]. 材料科学与工艺, 2016, 24 (6): 61-66.
Zheng H T, Fan Y J, Yang Z, et al. The effect of punching clearance on punching force and quality of cross section for T2 copper [J]. Materials Science and Technology, 2016, 24 (6): 61-66.
- [7] 郑海涛. 不锈钢板冷冲过程及其成形质量影响因素研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2017.
Zheng H T. The Study of Stainless Steel Plate Cold Stamping Process and Forming Quality Influencing Factors [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2017.
- [8] 王新华. 冲模设计与制造实用计算手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
Wang X H. Practical Calculation Manual for Die Design and Manufacturing [M]. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [9] 黄苏婷,陈震,杨晨东,等. 热冲压超高强钢模具冲孔实验研究[J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (9): 47-55.
Huang S T, Chen Z, Yang C D, et al. Experimental research on die punching of hot stamped ultra-high strength steel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (9): 47-55.
- [10] 李贵,刘耀东,梁仁杰. 复杂汽车结构件多工位级进模条料冲裁刃口优化设计[J]. 锻压技术, 2022, 47 (1): 161-168.
Li G, Liu Y D, Liang R J. Optimization design of strip blanking blade of multi-station progressive die for complex automotive structural parts [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (1): 161-168.
- [11] Hu D C, Chen M H, Wang L, et al. Microstructural characterization of blanked surface of C5191 phosphor bronze sheet under ultra-high-speed blanking [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2021, 31 (3): 692-702.
- [12] 姚盼盼. 冲裁力理论分析与试验研究[D]. 济南: 济南大学, 2017.
Yao P P. Theoretical Analysis and Experimental Research of the Working Force in Punching and Blanking Process [D]. Jinan: University of Jinan, 2017.
- [13] 张维方,王士军. 厚钢板冲裁探讨[J]. 枣庄师专学报, 1997, (3): 90-93.
Zhang W F, Wang S J. Discussion on blanking of thick steel plate [J]. Journal of Zaozhuang University, 1997, (3): 90-93.
- [14] 叶成,樊瑜瑾,蒋崇健,等. 叠层紫铜母排冲裁成形研究[J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (8): 84-91.
Ye C, Fan Y J, Jiang C J, et al. Study on blanking process of laminated copper busbar [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (8): 84-91.
- [15] 焦太安,王希靖. 圆形截面台阶凸模冲裁受力分析与验证[J]. 机床与液压, 2020, 48 (13): 134-137.
Jiao T A, Wang X J. Analysis and verification of blanking force of circular step punch [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2020, 48 (13): 134-137.
- [16] 周明,李永好,胡启,等. 冲裁质量对 TRIP780 边部成形性能的影响[J]. 塑性工程学报, 2018, 25 (6): 7-13.
Zhou M, Li Y H, Hu Q, et al. Effect of shearing quality on edge formability of TRIP780 [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2018, 25 (6): 7-13.
- [17] 谢晖,周玉彬,王杭燕,等. 高强钢板冲裁断面质量的分析与优化[J]. 塑性工程学报, 2018, 25 (5): 99-104.
Xie H, Zhou Y B, Wang H Y, et al. Analysis and optimization for blanking section quality of high strength steel sheet [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2018, 25 (5): 99-104.
- [18] 蒋崇健,樊瑜瑾,梁勇,等. 叠层母线冲裁机理及冲裁特性研究[J]. 塑性工程学报, 2018, 25 (4): 141-148.
Jiang C J, Fan Y J, Liang Y, et al. Research on blanking mechanism and blanking properties of laminated busbar [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2018, 25 (4): 141-148.