

冲裁断面质量对外缘翻边开裂影响的试验研究

李慧远, 宋建新, 黄 赓, 宋霄鹰, 张坤龙

(广州 JFE 钢板有限公司, 广东 广州 511462)

摘要: 针对某 DP980 超高强钢汽车零件在正常冲压生产一段时间后出现的翻边开裂的问题, 通过对冲裁模具刃口打磨再次实现正常生产, 针对此现象, 开展冲裁断面质量对外缘翻边开裂影响的试验研究。通过外形精度、断面轮廓和断面形貌等对比试验发现, 发生翻边开裂的冲裁件的断面质量比翻边正常的冲裁件差, 表明冲裁断面质量不好是造成翻边开裂的直接原因。采用研磨机对开裂批次的冲裁试样进行打磨, 然后进行冲压测试, 发现不再出现翻边开裂问题, 再次证明提高冲裁断面质量可以解决翻边开裂问题。研究对车用超高强钢零件冲压厂具有一定的实践指导意义。

关键词: DP980 超高强钢; 冲裁; 断面质量; 外缘翻边; 开裂

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2025.01.014

中图分类号: TG386.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2025) 01-0108-05

Experimental research on influence of blanking section quality on outer edge flanging cracking

Li Huiyuan, Song Jianxin, Huang Geng, Song Xiaoying, Zhang Kunlong

(Guangzhou JFE Steel Sheet Company Ltd., Guangzhou 511462, China)

Abstract: For the problem of flanging cracking for a certain automotive part of DP980 ultra-high strength steel after a period of normal stamping production, the normal production was achieved again by grinding the blanking die edge, and the influences of blanking section quality on outer edge flanging cracking were researched. Then, through comparative tests on shape accuracy, cross-sectional profile and cross-sectional morphology, it was found that the section quality of blanking parts with flanging cracking was worse than that of blanking parts with normal flanging, indicating that the poor quality of the blanking section was the direct cause of flanging cracking. Furthermore, the banking samples of the cracked batch were polished by using the grinder, and the stamping tests were conducted. There is no longer a problem of flanging cracking, proving that improving the quality of blanking section solves the problem of flanging cracking. Thus, the research has certain practical guidance significance for the stamping factories of automotive ultra-high strength steel parts.

Key words: DP980 ultra-high strength steel; blanking; section quality; outer edge flanging; cracking

随着低碳环保政策的持续推进, 汽车厂商对乘用车排放的重视程度越来越高。作为节能减排路径之一的车身轻量化, 其技术也越来越成熟, 其中应用最为广泛的方法就是提高先进高强度汽车钢板的使用比例^[1-3]。双相钢是典型的先进高强度钢, 微观组织主要由铁素体和马氏体组成, 具有低屈强比、高初始加工硬化速率等特点, 是目前车身用钢的主要材料^[3-5]。相比于普通钢材, 超高强钢存在变形抗力大、塑性低、成形质量不易控制等难题, 例如高强钢材料翻边开裂问题一直是汽车钣金零件制造

中普遍、棘手的问题^[6-8]。本文以某车型侧边梁连接板出现的翻边开裂问题为例, 开展材料性能、冲裁轮廓、冲裁剪切断面轮廓、冲裁断面形貌以及打磨测试等对比试验, 研究分析冲裁断面质量对外缘翻边开裂的影响, 研究成果能为汽车冲压企业的高强钢翻边成形工艺管控提供参考。

1 问题描述与分析

DP980 超高强钢板是广州 JFE 钢板有限公司供给的某中级轿车用材料, 材料强度为 980 MPa 级别。使用 DP980 超高强钢板材料进行某车型侧边梁连接板冲压, 落料后将经过成形—翻边—裁切—冲孔—整形等工序加工。该零件在量产一段时间后,

收稿日期: 2024-04-16; 修订日期: 2024-07-29

作者简介: 李慧远 (1980-), 男, 硕士, 高级工程师

E-mail: gwli98@163.com

某个批次的工件在翻边工序发生批量开裂的问题，而在翻边前均未发生开裂，如图 1 所示。由图 1 可知，该工件的翻边开裂位置外形内凹，该处翻边属于伸长类外缘翻边。在伸长类外缘翻边工艺中，坯料变形区在切向拉应力的作用下产生切向伸长变形，易出现边缘拉裂问题；当板料边缘剪切质量不好时，更易诱发翻边开裂^[9-12]。结合该理论和企业的生产情况，初步判断是由于落料工序发生了模具刃口磨损，导致板料边缘剪切质量下降，造成翻边开裂。为验证该判断，对落料模具凸、凹模刃口进行修理，再次生产时显示产品质量良好，如图 2 所示。针对这一现象，本文开展了一系列的试验研究。

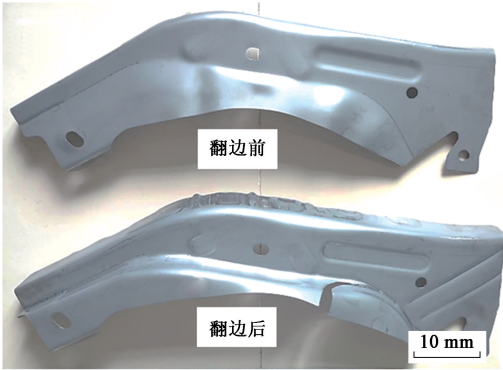


图 1 翻边开裂制件
Fig. 1 Flanging cracking parts

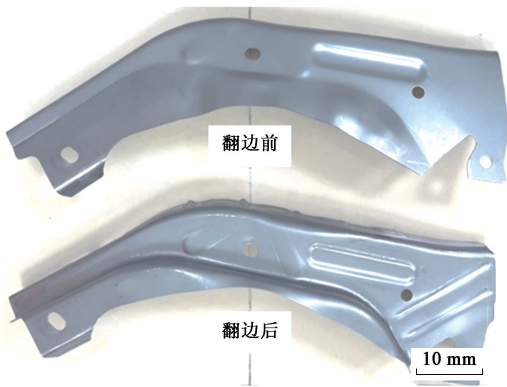


图 2 刃口打磨后的正常翻边制件
Fig. 2 Normal flanging parts after edge grinding

2 试验研究与分析

2.1 材料性能对比

用 Zwick Z150 型全自动拉伸试验机在 23 ℃ 按照 JIS Z 2241: 2022^[13] 用垂直轧向的 5#试样，对开裂批次材料（以下简称“NG 样品”）和正常批次

材料（以下简称“OK 样品”）进行力学性能测试，试验结果如表 1 所示。结果显示，NG 样品和 OK 样品的力学性能并无显著差异，由此判断翻边开裂与材料力学性能无关。

表 1 力学性能对比分析

Table 1 Comparison analysis of mechanical properties					
序号	厚度/ mm	塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_{50} /%	硬化指数 n
NG 样品	1.6	663	1008	15	0.10
OK 样品 1	1.6	627	989	16	0.11
OK 样品 2	1.6	685	1048	14	0.09
OK 样品 3	1.6	675	1032	14	0.10

2.2 冲裁外形轮廓对比试验

将 NG 样品和 OK 样品的冲裁件叠放进行观察，在凸出边和 4 个定位孔完全对齐的情况下，发现冲裁件开裂区域的轮廓有轻微差异，测量发现，在翻边开裂位置，NG 样品比 OK 样品外形多 0.8 ~ 1.0 mm，如图 3 所示。外形轮廓增加意味着翻边高度增加，这也是导致翻边开裂的一个因素。

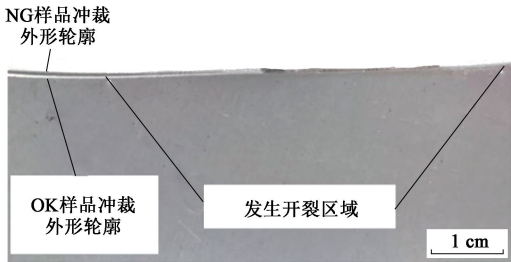


图 3 冲裁外形轮廓对比
Fig. 3 Comparison of blanking outline profiles

2.3 冲裁断面质量对比试验

2.3.1 冲裁断面轮廓对比

使用 GeminiSEM 360 扫描电镜对 NG 样品和 OK 样品的冲裁断面轮廓形貌进行观察，结果如图 4 所示。结果显示，未发生翻边开裂的冲裁件剪切断面边轮廓形貌更平直，圆角带很小，毛刺不明显，发生翻边开裂的冲裁件剪切断面边轮廓形貌不平直，毛刺更明显。

2.3.2 冲裁断面形貌对比

利用 VHX-5000 型超景深三维光学显微镜对 NG 样品和 OK 样品的冲裁断面形貌进行观察分析，试验结果如图 5 所示。结果表明，NG 样品冲裁断面出现了二次开裂，其正常光亮带宽度约占板厚 20%，而 OK 样品剪切断面的正常光亮带约占板厚

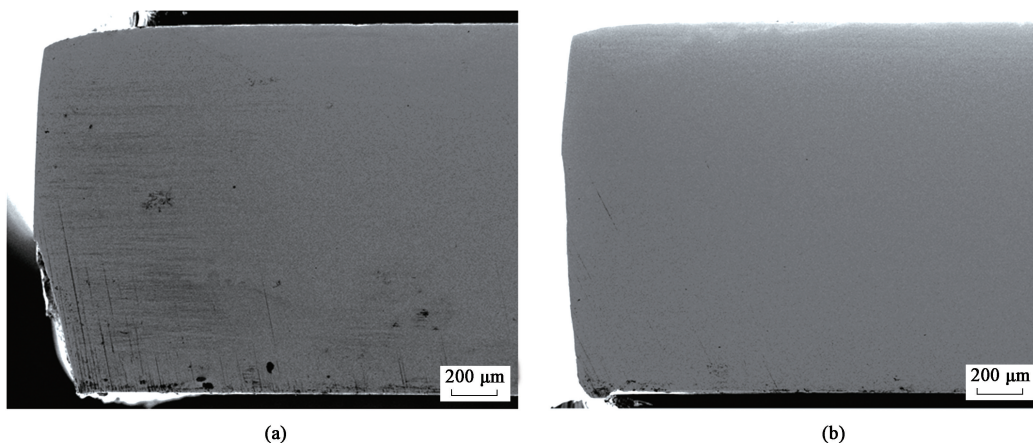


图 4 冲裁断面轮廓对比

(a) NG 样品 (b) OK 样品

Fig. 4 Comparison of blanking section profiles

(a) NG sample (b) OK sample

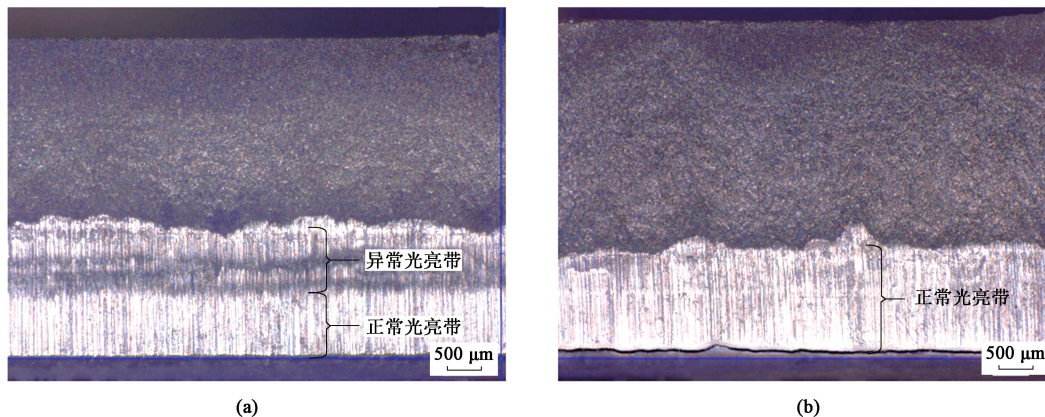


图 5 冲裁断面形貌对比

(a) NG 样品 (b) OK 样品

Fig. 5 Comparison of blanking section morphologies

(a) NG sample (b) OK sample

35%。以上试验结果表明, OK 样品的落料冲裁断面质量比 NG 样品好, 证明翻边开裂问题是由冲裁断面质量降低引起的。长时间生产后, 冲裁模具刃口磨损导致冲裁断面质量下降, 进而引发批量翻边开裂问题; 若之后采取刃口修理措施提高冲裁断面质量, 则不再出现翻边开裂问题。

2.4 断面打磨试验后冲压试制对比

使用研磨机对 NG 样品冲裁件断面进行打磨, 打磨方法及打磨后的断面形貌如图 6a 和图 6b 所示。将打磨后的 NG 样品与未打磨 NG 样品、两批次 OK 样品的冲裁件再次进行成形—翻边测试, 结果如表 2 所示。

冲压试制结果表明, 未打磨的 NG 样品冲压试

制时依然发生翻边开裂, 合格率为 0; 通过研磨机打磨后的 NG 样品冲压时不再发生翻边开裂, 合格率为 100%; 其余 OK 样品冲压试制时接近 100% 合格率。该测试结果进一步表明, 冲裁件的冲裁断面质量是导致翻边开裂的直接原因, 提高冲裁件断面质量可以解决翻边开裂问题。

3 结论

(1) 提高冲裁断面质量对于解决车用超高强钢的翻边开裂至关重要。DP980 超高强钢冲裁断面的光亮带比例在 30%~35% 时, 翻边成形未发生开裂; 光亮带比例降低到 20% 以下、或者存在二次撕裂带

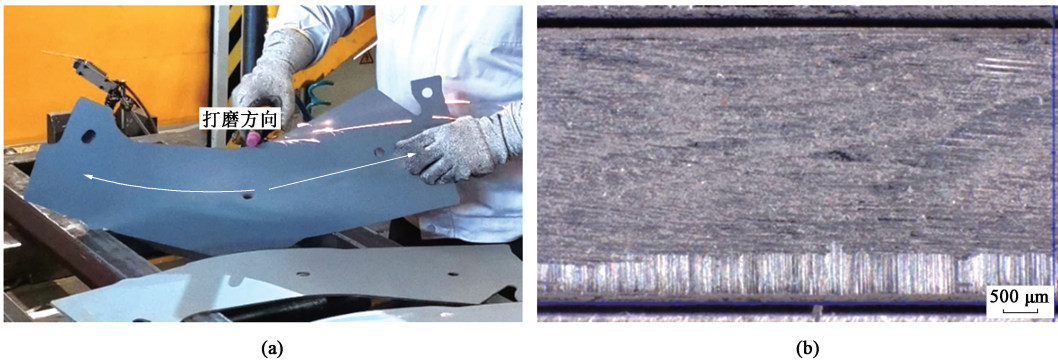


图 6 NG 样品打磨测试
(a) 打磨示意图 (b) 打磨后断面形貌

Fig. 6 Grinding test of NG sample
(a) Schematic diagram of grinding (b) Section morphology after grinding

表 2 NG 样品、OK 样品及打磨后 NG 样品的冲压情况对比
Table 2 Comparison of stamping condition for NG sample, OK sample and NG sample after grinding

样品	测试数量/件	合格数量/件	开裂数量/件	合格率/%
NG 样品	20	0	20	0
OK 样品 1	3000	3000	0	100
OK 样品 2	3000	2985	15	99.5
打磨后的 NG 样品	42	42	0	100

时，翻边成形时极易发生开裂。

(2) 以翻边成形为主的零件，冲裁加工时需要重点关注冲裁面质量。如果冲裁凹凸模刃口不平行或开卷校平时板料平整状态不好，可能导致冲裁模刃口与板面不垂直、以及落料件外形精度不够等问题，也会影响冲裁面质量，因此在加工落料环节需要重点关注。

(3) 对模具刃口修理调整或者对冲裁件断面进行打磨以提高冲裁件断面质量，是解决翻边开裂问题的有效手段。在对冲裁件断面进行打磨时，应该沿垂直于冲裁方向进行。

参考文献：

[1] 苏达权, 黄珍媛, 伍宇安, 等. 汽车吸能盒零件多工位级进模设计 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (1): 196-201.
Su D Q, Huang Z Y, Wu Y A, et al. Design on multi-station progressive die for automotive energy absorbing box parts [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (1): 196-201.

[2] 李慧远, 戴杰涛, 洗玲标, 等. 退火工艺对 DP590GA 双相钢组织和性能的影响 [J], 金属热处理, 2021, 46 (1): 50-54.

Li H Y, Dai J T, Xian L B, et al. Effect of annealing process on microstructure and properties of dual phase steel DP590GA [J]. Heat Treatment of Metals, 2021, 46 (1): 50-54.

[3] 赵征志, 陈伟健, 高鹏飞, 等. 先进高强度汽车用钢研究进展及展望 [J]. 钢铁研究学报, 2020, 32 (12): 1059-1076.
Zhao Z Z, Chen W J, Gao P F, et al. Progress and perspective of advanced high strength automotive steel [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2020, 32 (12): 1059-1076.

[4] 赵川翔, 吴科, 谢福永, 等. 590 MPa 级合金化热镀锌双相钢剪边断面色差分析及改善 [J], 塑性工程学报, 2023, 30 (8): 235-241.
Zhao C X, Wu K, Xie F Y, et al. Analysis and improvement of color difference on trimming surface of 590 MPa galvanized dual phase steel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2023, 30 (8): 235-241.

[5] 汪永明, 董书豪, 李偲. 冲裁间隙对弯链板冲孔断面质量及凸模磨损的影响 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (3): 68-74.
Wang Y M, Dong S H, Li W. Influence of blanking clearance on punching section quality and punch wear for bend chain plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (3): 68-74.

[6] 李慧远. 汽车用热镀锌钢板的生产与应用 [J]. 汽车工艺与材料, 2011, 270 (6): 42-45.
Li H Y. Production of hot-galvanized plate for automobile and application [J]. Automobile Technology and Material, 2011, 270 (6): 42-45.

[7] 孔敏, 胡伟. 工艺方案对高强平板冲压件回弹及补偿的影响 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (10): 75-80.
Kong M, Hu W. Influence of process scheme on springback and compensation for high strength flat stamping part [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (3): 75-80.

[8] 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.
- [9] 靳阳, 胡晓, 樊华, 等. 铌元素对 DP980 钢断裂性能的影响与应用研究 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (10): 75-80.
- Jin Y, Hu X, Fan H, et al. Research on effect and application of niobium element on fracture performance of DP980 steel [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (10): 75-80.
- [10] 郑晖, 廖恕, 宋适元, 等. 汽车内板件一步翻边成形模具设计 [J], 锻压技术, 2022, 47 (12): 182-188.
- Zheng H, Liao S, Song S Y, et al. Design on one-step flanging die for automobile inner panel [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (12): 182-188.
- [11] 康永林. 现代汽车板工艺及成形理论与技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
- Kang Y L. Theory and Technology of Processing and Forming for Advanced Automobile Steel Sheets [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2009.
- [12] 刘建超, 张宝忠. 冲压模具设计与制造 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- Liu J C, Zhang B Z. Stamping Mold Design and Manufacturing [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [13] JIS Z 2241: 2022, 金属材料拉伸试验方法 [S].
- JIS Z 2241: 2022, Metallic materials—Tensile testing—Method of test at room temperature [S].

(上接第 73 页)

- Chen Y, Ma X, Wang Z M. Research and application for flange nodes with no nib [J]. Building Structure, 2002, 32 (5): 15-18.
- [3] 李云松, 李彩霞, 毕江涛. 基于有限元方法的支承法兰盘结构优化研究 [J]. 研究与设计, 2010, 37 (5): 15-17.
- Li Y S, Li C X, Bi J T. A study of structural optimization of bearing flange based on finite element method [J]. Design and Research, 2010, 37 (5): 15-17.
- [4] 林雅杰, 仲太生, 丁武学. 车用齿轮毛坯多工位精密热模锻工艺分析及模具设计 [J]. 锻压装备与制造技术, 2019, 54 (3): 82-87.
- Lin Y J, Zhong T S, Ding W X. Process analysis and die design of multi-station precision hot die forging for automotive gear blank [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2019, 54 (3): 82-87.
- [5] 胡锦玲, 胡强. 基于有限元的转轴多级锻造成形仿真及试验研究 [J]. 热加工工艺, 2019, 48 (7): 164-167.
- Hu J L, Hu Q. Simulation and experimental research on multistage forging forming of rotary shaft based on finite element [J]. Hot Working Technology, 2019, 48 (7): 164-167.
- [6] GB/T 3077—2015, 合金结构钢 [S].
- GB/T 3077—2015, Alloy structure steels [S].
- [7] 胡亚民, 付传锋, 赵军华. 精锻成形技术 60 年的发展与进步 [J]. 金属加工 (热加工), 2010 (15): 1-5.
- Hu Y M, Hu C F, Zhao J H. 60 years of development and progress of precision forging technology [J]. MW Metal Forming, 2010 (15): 1-5.
- [8] 张学奇. 单座阀杆热模锻工艺研究 [D]. 上海: 上海工程技术大学, 2016.
- Zhang X Q. Research on Single Seated Valve Stem Hot Forging Process [D]. Shanghai: Shanghai University of Engineering Science, 2016.
- [9] 郝滨海. 挤压模具简明设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- Hao B H. Extrusion Die Concise Design Manual [M]. Beijing: Chemical Industry, 2005.
- [10] JB/T 10478—2004, 热轧环形件机械加工余量及公差 [S].
- JB/T 10478—2004, Machining allowance & tolerance for rolled ring [S].
- [11] 华林, 曹宏深, 赵仲治. 法兰环件轧制变形规律和毛坯设计方法 [J]. 汽车工程, 1995 (4): 62-67.
- Hua L, Cao H S, Zhao Z Z. Rolling deformation law of flange ring parts and blank design method [J]. Automotive Engineering, 1995 (4): 62-67.
- [12] JB/T 6052—2005, 钢质自由锻件加热通用技术条件 [S].
- JB/T 6052—2005, General specifications for heating up of steel free forgings [S].
- [13] 陈光伟, 于泽琦. 工艺参数对齿轮坯锻造质量的影响 [J]. 热加工工艺, 2021, 50 (7): 108-110.
- Chen G W, Yu Z Q. Effect of technological parameters on forging quality of gear blank [J]. Hot Working Technology, 2021, 50 (7): 108-110.
- [14] 赵劲松, 周昌磊, 黄素霞, 等. 60 钢热压缩变形行为及其变参数 Arrhenius 本构方程 [J]. 机械工程材料, 2022, 46 (11): 86-91.
- Zhao J S, Zhou C L, Huang S X, et al. Hot compression deformation behavior and variable parameter Arrhenius constitutive equation of 60 steel [J]. Materials for Mechanical Engineering, 2022, 46 (11): 86-91.