

不同成分体系 800 MPa 级镀锌双相钢 成形性能对比分析

张 茜¹, 佟连杰¹, 刘立学¹, 王嘉伟², 王海龙^{1*}

(1. 唐山钢铁集团有限责任公司技术中心, 河北 唐山 063000; 2. 唐山学院机电工程学院, 河北 唐山 063000)

摘要: 采用金相组织、单轴拉伸、成形极限、扩孔、局部/全局成形性评价图等方法, 对比分析了两种成分体系 800 MPa 级镀锌双相钢成形性能差异。研究发现, 两种成分体系双相钢均为铁素体+马氏体组织, 且马氏体含量相当 (约 50%)。高碳系列双相钢有较低的屈强比 (0.563)、较高的均匀延伸率 (15.65%) 和较高的 FLD₀ (平面应变点, 0.236), 但扩孔率较低 (19.62%), 适用于复杂结构和高拉伸深度的零件, 如 B 柱、纵梁连接板等。相比而言, 低碳系列双相钢通过添加 Cr、Mo 等合金元素, 实现了马氏体岛的均匀细小弥散分布, 具有稍高的屈强比 (0.58)、较低的均匀延伸率 (11.72%) 和较低的 FLD₀ 值 (0.184), 但扩孔率很高 (25.68%), 更适用于对翻边、扩孔等局部成形性能要求高的零件, 如门槛、下边梁、座椅侧板等。研究结果为 800 MPa 级镀锌双相钢的选材应用提供了理论依据和实践指导。

关键词: 化学成分; 双相钢; 全局成形性能; 局部成形性能

中图分类号: TF76, TG142.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2026)01-0165-06

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2026.01.019

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Comparative analysis of forming performance of 800 MPa grade galvanized dual-phase steels with different components

ZHANG Xi¹, TONG Lianjie¹, LIU Lixue¹, WANG Jiawei², WANG Hailong^{1*}

(1. Technology Center, Tangshan Iron and Steel Group Co., Ltd., Tangshan 063000, Hebei, China; 2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Tangshan University, Tangshan 063000, Hebei, China)

Abstract: This study comparatively investigated the forming performance of two 800 MPa grade galvanized dual-phase steel systems, using metallographic analysis, uniaxial tensile testing, forming limit diagrams (FLDs), hole expansion tests, and local/global formability assessment diagrams. The study found that both dual-phase steels exhibited a ferrite-martensite dual-phase microstructure with a similar martensite fraction of ~ 50%. The high-carbon series dual-phase steel demonstrated a lower yield ratio (0.563), higher uniform elongation (15.65%), and a higher FLD₀ (0.236), but a lower hole expansion ratio (19.62%), making it suitable for complex structural components and parts demanding high drawability, such as B-pillars and longitudinal beam connecting plates. In contrast, the low-carbon series dual-phase steel, achieved through the addition of alloying elements such as Cr and Mo, resulting in a uniform, fine, and dispersed distribution of martensite islands, with a slightly higher yield ratio (0.58), lower uniform elongation (11.72%), and a lower FLD₀ (0.184), but a significantly higher hole expansion ratio (25.68%), making it more suitable for components requiring high local formability, such as

收稿日期: 2025-10-10; 修回日期: 2025-12-21; 接受日期: 2025-12-22

基金项目: 河北省自然科学基金 (E2025105045)。

作者简介: 张茜, 1991 年出生, 河北衡水人, 硕士, 高级工程师, 从事高强度钢冲压成形、有限元仿真分析研究, E-mail: zhangqian07@hbisco.com; * 通信作者: 王海龙, 1990 年出生, 河北唐山人, 硕士, 高级工程师, 从事高强度钢产品开发、工艺优化研究, E-mail: wanghailong03@hbisco.com。

flanging and hole expansion applications, including door sills, side rails, and seat side panels. This research provides a theoretical foundation and practical guidance for the material selection and application of 800 MPa grade galvanized dual-phase steel.

Key words: chemical component; dual-phase steels; global formability; local formability

0 引言

随着汽车行业轻量化技术的迫切需求,铝合金、镁合金、碳纤维及复合材料在汽车中的应用比例越来越高,然而由于成本、可制造性、碰撞安全性能的优势,高强钢仍然是白车身轻量化的首选材料^[1-2]。双相钢由铁素体和马氏体组成,其中铁素体为软相,使材料具有良好的延展性,马氏体为硬相提供强度,使双相钢具有低屈强比、良好延展性、高初始加工硬化特点,在冲压成形中具有不可替代的优势,广泛应用于车身纵梁、加强板等零件中。

双相钢常采用 C-Si-Mn 成分体系,为了满足不同类型零件成形需求,钢铁材料供应商通过添加 Nb、Ti、Cr、Mo 等合金元素,同时调整 C、Si、Mn 基础元素的含量并配合热处理过程工艺参数调整,实现了组织调控,保证达到原有强度级别的同时实现材料全局成形和局部成形性能个性化匹配,满足零件设计、选材的各种需求^[3-7]。

以两种成分体系的 800 MPa 级高强镀锌双相钢为研究对象,一种为常规高碳低合金元素成分体系,一种为低碳高合金元素成分体系,通过对两种材料的组织、力学性能、加工硬化能力、成形极限、扩孔性能以及局部/全局成形性能等综合评价,结合典型零件的应用案例,为零件设计和选材推荐提供了参考建议。

1 试验材料和方法

HC420/780DPD+Z 是白车身中应用最广泛的双相钢材料之一,选用唐山钢铁集团高强钢汽车板有限公司生产的厚度均为 1.5 mm 的两种成分体系材料开展分析,表 1 为两种成分体系双相钢化学成分对,两者采用相同的工艺生产,工艺流程为炼钢→连铸→热轧→冷轧→连退→平整。其中,热轧终轧温度为(900±20)℃,冷轧压下率为 55%~65%,连退均热温度为(790±20)℃,平整延伸率为 0.1%~0.3%。

表 1 两种成分体系双相钢化学成分
Table 1 Chemical compositions of dual-phase steels

Component system	C	Si	Mn	Nb	Ti	Cr	Mo	%
high-carbon	0.13	<1.0	1.8~2.2	0.01~0.05	0.01~0.05			
low-carbon	0.08	<0.10	1.8~2.2	0.01~0.05	0.01~0.05	0.2~0.5	0.1~0.4	

高碳系列产品碳含量 0.13%, C-Si-Mn-Nb-Ti 系是常规产品。低碳系列产品碳含量为 0.08%, C-Mn-Nb-Ti-Cr-Mo 系在常规产品的基础上降低了 C 和 Si 的含量,添加了 Cr 和 Mo 合金元素,保证强度的同时提高了淬透性和回火稳定性,但成本较高。

根据 GB/T 228.1—2021《金属材料 拉伸试验 第 1 部分: 室温试验方法》,在 ZWICK 拉伸试验机上进行准静态应变速率下力学性能测试,取平行于轧制方向试样,加工成 P6 尺寸,标距长度 80 mm。

根据 GB/T 15825.8—2008《金属薄板成形性能与试验方法 第 8 部分: 成形极限图 (FLD) 测定指南》,利用线切割加工测试试样,试样长度均为 180 mm,试样宽度范围为 20~180 mm,相邻尺寸宽度间隔为 20 mm,采用电化学腐蚀方法印制 2.5 mm×2.5 mm 的正方形网格,借助光学应变分析技术,在 BCS-50A 通用板材成形性能试验机上进行两种材料的成形极限曲线 FLC 测定,选取距开裂位

置最近的完整网格应变作为试样的极限应变点。

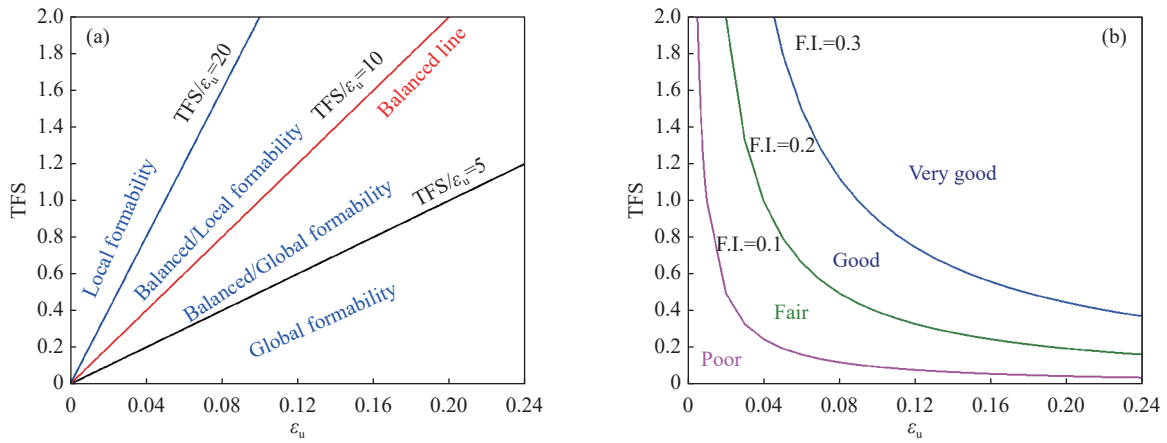
根据 GB/T 15825.4—2008《金属薄板成形性能与试验方法 第 4 部分: 扩孔试验》,在 BCS-50A 通用板材成形性能试验机上进行冲孔、扩孔测试,采用 Olympus 体视显微镜对冲孔试样的冲裁截面进行表征分析。

基于材料的真实均匀应变 ϵ_u 和真实断裂应变 TFS,定义局部/全局应变比和成形性指数两个指标,构建局部/全局成形性分类和评级系统^[8],如图 1 所示,评估两种成分体系材料的成形特性。将“TFS/ $\epsilon_u=10$ ”的线表示为“全局和局部成形性的平衡线”,在该条曲线上的材料具有平衡的局部和全局成形性能。曲线以上表示材料更适合局部成形性能零件,曲线以下表示材料更适合全局成形性能零件。

真实均匀应变 ϵ_u 的表达式如式 (1) 所示。

$$\epsilon_u = \ln(1 + UE/100), \quad (1)$$

其中,UE 为通过拉伸曲线测量得到的均匀延伸率。



(a) 基于局部/全局应变比构建成形性分类系统; (b) 基于成形性指数构建成形性评级系统

图 1 局部/全局成形性分类和评级系统

Fig. 1 Local/Global formability assessment diagrams

真实断裂应变 TFS 可基于体积不变原理, 根据拉断试样的断面收缩率计算得到^[9], 其表达式为式 (2)。

$$TFS = \ln(1/(1 - q)) = \ln(A_0/A_f) \quad (2)$$

其中: q 为断面收缩率; A_0 和 A_f 分别为试验前和失效后试样的截面积。

基于上述参数, 定义两个评价指标:

1) 局部/全局应变比 R , 其表达式为式 (3)。

$$R = \frac{TFS}{\epsilon_u} \quad (3)$$

2) 成形性指数 F.I., 其表达式为式 (4)。

$$F.I. = \sqrt{\epsilon_u \times TFS} \quad (4)$$

2 试验结果与分析

2.1 显微组织对比分析

采用金相显微镜和扫描电镜对两种成分体系材料的显微组织进行观察, 结果如图 2 所示。可以看出, 两种成分体系双相钢均由铁素体和马氏体组成, 其中, 高碳系列组织带状较严重, 马氏体岛较大、较长, 含量约为 52%, 在铁素体中离散分布, 而低碳系列组织由于 Mo、Cr 等合金元素的加入, 组织均匀化程度提高, 马氏体岛更细小、均匀、圆润, 含量约为 48%, 弥散分布在铁素体中^[10], 基体组织基本无带状。

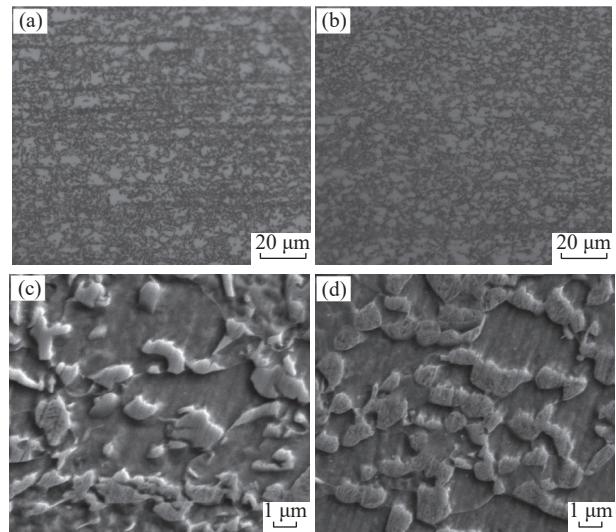
2.2 力学性能对比分析

两种成分体系 HC420/780DPD+Z 双相钢的力学性能如表 2 所示, 涵盖屈服强度 ($R_{p0.2}$)、抗拉强度 (R_m)、均匀延伸率 (A_g)、总延伸率 (A_{80})、屈强比等参数, 真实应力应变曲线及瞬时 n 值曲线如图 3 所示。加工硬化行为采用 Hollomon 准则进行表征^[11], 得到

瞬时加工硬化指数 n 的表达式, 见式 (5)。

$$n = d(\ln \sigma)/d(\ln \epsilon) \quad (5)$$

其中, σ 为真实应力, ϵ 为真实应变。



(a) 高碳系列×500; (b) 低碳系列×500; (c) 高碳系列×5000;

(d) 低碳系列×5000

图 2 双相钢的显微组织

Fig. 2 Microstructures of dual-phase steels

表 2 双相钢的力学性能

Table 2 Mechanical properties of dual-phase steels

Component system	$R_{p0.2}/MPa$	R_m/MPa	$A_g/\%$	$A_{80}/\%$	Yield ratio
high-carbon	460	817	15.65	21.66	0.563
low-carbon	481	830	11.72	17.43	0.580
Standard	420~550	≥ 780		≥ 14	

高碳系列屈服强度为 460 MPa, 抗拉强度为 817 MPa, 屈强比为 0.563, 低碳系列屈服强度为 481 MPa, 抗拉强度为 830 MPa, 较高碳系列强度高 13~21 MPa, 屈强比也略高为 0.58。高碳系列延伸率较高, 均匀延伸率和总延伸率均较低碳系列高

4.5% 左右。这是因为低碳系列产品中含有 Cr、Mo 强碳化物形成元素,能显著提高淬透性,促进马氏体形成,从而提升强度,但牺牲了部分塑性。高碳系列初始加工硬化能力很低,随着变形量增加,加工硬化能力呈现先升高再降低趋势,低碳系列初始加工硬化能力很高,随着变形量增加降低,轻微上升后持续降低。在小应变范围内低碳系列加工硬化能力较强,应变超过 0.02 时,高碳系列加工硬化能力更强。这也是由于低碳系列产品中马氏体含量多导致的初始加工硬化能力很强。

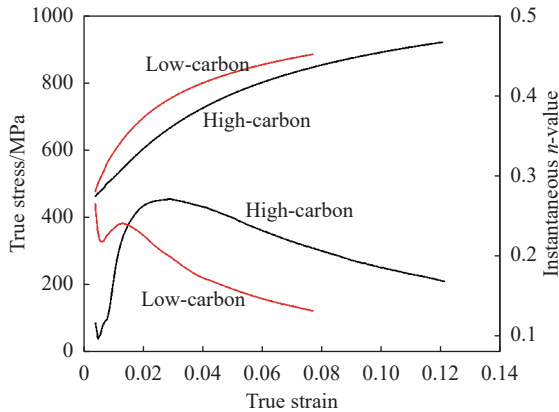


图 3 双相钢的真实应力应变曲线及瞬时 n 值
Fig. 3 True stress-strain curves along with instantaneous n -values of dual-phase steels

2.3 成形极限性能对比分析

两种成分体系 HC420/780DPD+Z 双相钢的成形极限曲线(FLC)如图 4 所示,胀形结束后试样如图 5 所示,所有样品均在顶部开裂失效。成形极限是衡量板材在发生开裂之前达到的最大变形能力的重要标志,可以简便直观判断零件安全裕度及开裂风险^[12]。高碳系列的成形极限性能更佳,平面应变点 FLD_0 是成形极限曲线中最关键的位置点,也是成形极限曲线的最低点,很多拉延成形零件都是在平面应变路径下失效开裂。高碳系列 FLD_0 值为 0.236 7,低碳系列 FLD_0 值为 0.184,高碳系列较低碳系列安全裕度大 0.05 左右。

2.4 扩孔性能对比分析

取两种成分体系 HC420/780DPD+Z 双相钢,采用 1.1 倍料厚凹模间隙冲裁直径 10 mm 的圆孔,再进行扩孔,裂纹贯穿厚度截面时试样失效,测量得到材料的扩孔率如表 3 所示,每种材料进行五次重复试验。测量结束后试样照片如图 6 所示。高碳系列产品的平均扩孔率值为 19.62%,低碳系列产品的平均扩孔率为 25.68%,较高碳系列高 6%。从扩孔结束试样可以看出,高碳系列孔缘处只有一条贯穿裂纹,无其他明显裂纹,而低碳系孔缘除去有 1 条完全

贯穿裂纹外还有 4 条基本贯穿裂纹和很多条未完全贯穿裂纹。

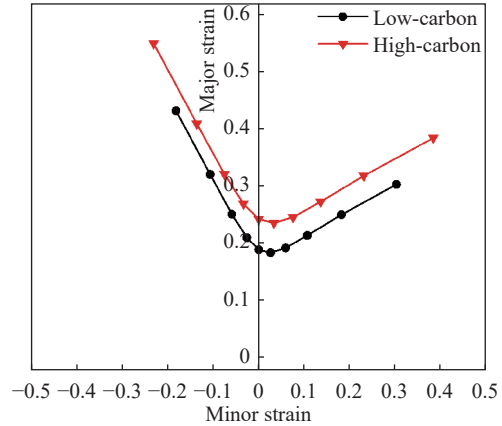


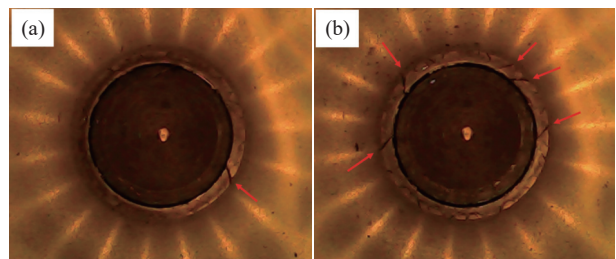
图 4 成形极限曲线
Fig. 4 Forming limit curves



图 5 成形极限曲线测试结束后试样
Fig. 5 Specimens after the forming limit curve testing

表 3 双相钢扩孔率统计
Table 3 Hole expansion ratios of dual-phase steels

Component system	Hole expansion ratio/%					Average/%
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	
high-carbon	19.5	19.3	20	21	18.3	19.62
low-carbon	25.8	26.8	25.8	27	23	25.68

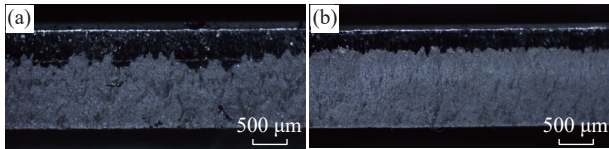


(a) 高碳系列; (b) 低碳系列
图 6 扩孔后的试样对比

Fig. 6 Comparison of the appearance after hole expanding

图 7 为两种成分体系 HC420/780DPD+Z 双相钢冲裁后扩孔前厚度方向截面的组织,高碳系列光亮带宽度较大,在截面宽度占比较大,但光亮带不平整与撕裂带分界线粗糙,撕裂带不均匀性显著,且存在大量撕裂棱和二次裂纹,局部存在明显的凹凸起

伏和断裂台阶, 初始冲裁后局部存在较明显的缺陷, 后续扩孔中, 在初始缺陷位置处应力集中, 快速扩展形成贯穿裂纹, 扩孔率较低。低碳系列中, 冲裁后虽然光亮带宽度较小, 但光亮带平整与撕裂带分界线平滑, 撕裂带纤维状流线取向一致, 表面相对平滑, 撕裂棱等特征不明显, 均匀性和致密性较好, 在后续扩孔时, 截面受到应力分散承担, 各位置协同变形, 以竞争机制产生出多条裂纹, 并缓慢扩展, 扩孔率高^[13-17]。



(a) 高碳系列; (b) 低碳系列
图 7 冲裁后边缘质量对比

Fig. 7 Comparison of Edge Quality after Blanking

2.5 局部/全局成形性能评价

通过测量拉伸断裂试样断面收缩率计算得到真实断裂应变 TFS, 通过拉伸测试得到的均匀延伸率 UE 计算得到真实均匀应变 ϵ_u , 两种成分体系双相钢局部/全局成形性能结果参数如图 8 所示, 其中高碳系列真实均匀应变为 0.15, 真实断裂应变为 0.58, 低碳系列真实均匀应变为 0.12, 真实断裂应变为 0.77, 两者在成形性评价图中的位置如图 9 所示。计算得到高碳系列局部/全局应变比为 3.87, 成形性指数 F.I. 为 0.295, 属于全局成形性产品, 评级为 Good 等级^[8], 低碳系列局部/全局应变比为 6.42, 成形性指数 F.I. 为 0.304, 属于全局/局部成形性均衡的产品中的 Very Good 等级^[8]。

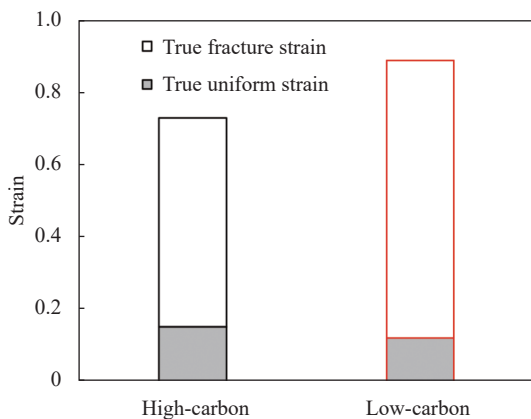


图 8 双相钢成形性能参数值

Fig. 8 Comparison of edge quality after blanking

2.6 典型应用

唐钢公司具备两种成分体系 HC420/780DP+Z 双相钢批量稳定供货生产能力, 可根据客户需求选材供货, 已在多家主机厂及零部件配套厂评估应用,

反馈良好。

高碳系列具有较高的延伸率和全局成形性能, 适合外形相对复杂、拉延深度要求较高的冲压件, 目前已经在 B 柱、纵梁连接板等零件厂成功应用(图 10)。

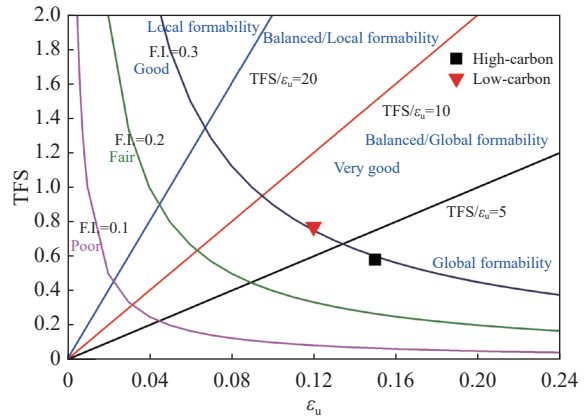


图 9 两种成分体双相钢在成形性评价图中的分布

Fig. 9 Distribution of dual-phase steels with two-component structures in formability evaluation diagrams

低碳系列具有较高的扩孔率和优异的局部成形性能, 适合以折弯、翻边变形为主的局部成形特征较多的零件, 目前已经在门槛、下边梁、座椅侧板等零件中成功试用, 效果良好(图 11)。



图 10 高碳系列冲压纵梁连接板

Fig. 10 Longitudinal beam connecting plate of the high-carbon series



图 11 低碳系列冲压座椅侧板

Fig. 11 Seat side panel of the low-carbon series

3 结论

- 1) 两种 800 MPa 级镀锌双相钢均为铁素体和马氏体组织, 低碳系列 Cr、Mo 合金元素使基体中马氏体岛更均匀、细小、圆润, 弥散分布。
- 2) 高碳系列强度较低, 延伸率较高, 应变较大

时加工硬化能力较强,低碳系列强度高,延伸率低,小应变时的加工硬化能力较强。

3) 高碳系列成形极限性能更佳,低碳系列冲裁后边缘质量较好,扩孔性能更佳。

4) 高碳系列是全局成形性产品,适合结构特征复杂、拉延性能要求较高的零件冲压,低碳系列是局部/全局平衡类产品,适合对折弯、翻边、扩孔类对局部成形性能要求较高的零件冲压。

参考文献

- [1] YANG P F, ZHU G R, LIANG J Q, *et al.* Current situation and trend of collaborative low-carbon development of automobile and steel[J]. *Auto Time*, 2024(23): 7-10.
(杨鹏飞, 褚关润, 梁嘉琪, 等. 汽车与钢铁产业协同低碳发展现状及趋势[J]. *时代汽车*, 2024(23): 7-10.)
- [2] HAN Y, LIU H S, XIAO B L. Progress in the development and application of automotive steels in China[J]. *Steel Rolling*, 2024, 41(5): 108-120.
(韩赞, 刘华赛, 肖宝亮. 我国汽车用钢开发应用现状及发展趋势[J]. *轧钢*, 2024, 41(5): 108-120.)
- [3] ZHOU L, JIAO M M, XUE R J, *et al.* Effect of continuous annealing process on microstructure and properties of 780 MPa cold-rolled dual phase steel with high formability[J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2025, 46(1): 192-197.
(周莉, 焦明木, 薛仁杰, 等. 连续退火工艺对 780 MPa 级冷轧增强成形性双相钢组织性能的影响[J]. *钢铁钒钛*, 2025, 46(1): 192-197.)
- [4] SHEN G, ZHANG W J, LIU R D, *et al.* Research on factors influenceing formability of TRIP780 and DP780 steels[J]. *Shanghai Metals*, 2022, 44(4): 61-68.
(沈刚, 张吴忌, 刘仁东, 等. TRIP780 及 DP780 钢成形性能的影响因素研究[J]. *上海金属*, 2022, 44(4): 61-68.)
- [5] LIU H S, LI C G, BAI X, *et al.* Low cycle fatigue properties of two 780 MPa hot-dip galvanized double phase steels[J]. *Automobile Technology & Material*, 2021(4): 44-47.
(刘华赛, 李春光, 白雪, 等. 两种 780 MPa 级热镀锌双相钢的低周疲劳断裂行为[J]. *汽车工艺与材料*, 2021(4): 44-47.)
- [6] HOU X Y, WANG J, DING M K, *et al.* Effect of matrix microstructure on mechanism of strength and ductility for 800 MPa grade dual phase steel[J]. *Heat Treatment of Metals*, 2022, 47(12): 222-227.
(侯晓英, 王军, 丁明凯, 等. 基体组织对 800 MPa 级双相钢强塑性机制的影响[J]. *金属热处理*, 2022, 47(12): 222-227.)
- [7] CHEN F, YANG M W, LIU C Y, *et al.* Effect of cold rolling reduction on the microstructure and properties of annealed Cr-Mo deep drawing dual phase steel[J]. *Mateals For Mechanical Engineering*, 2025, 49(8): 47-53.
(陈菲, 杨明维, 刘春雨, 等. 冷轧压下率对退火态 Cr-Mo 系深冲双相钢组织与性能的影响[J]. *机械工程材料*, 2025, 49(8): 47-53.)
- [8] HANCE B. Advanced high strength steel: Deciphering local and gobal formability[C]. *International Automotive Body Congress (IABC 2016)*, Dearborn, MI, USA, September 2016. ResearchGate, 2018.
- [9] SRIVASTAVA A, GHASSEMI-ARMAKI H, SUNG H, *et al.* Micromechanics of plastic deformation and phase transformation in a three-phase TRIP-assisted advanced high strength steel: Experiments and modeling[J]. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2015, 78: 46-69.
- [10] PAN L Z, ZHOU W Q, TAN W, *et al.* Microstructure and mechanical properties of 780 MPa dual phase steels with different chemical composition[J]. *Mateals For Mechanical Engineering*, 2021, 45(8): 45-48, 54.
(潘利波, 周文强, 谭文, 等. 不同成分 780 MPa 级双相钢的显微组织和力学性能[J]. *机械工程材料*, 2021, 45(8): 45-48, 54.)
- [11] LI Z C, DING H, MISRA R D K, *et al.* Deformation behavior in cold-rolled medium-manganese TRIP steel and effect of pre-strain on the Lüders bands[J]. *Materials Science and Engineering A*, 2016, 679: 230-239.
- [12] KONG Z, KONG N, ZHANG J, *et al.* Mechanical property of dual phase steel and its effect on the forming limit[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2017, 53(12): 140-146.
(孔政, 孔宁, 张杰, 等. 双相钢的力学性能和对成形极限的影响[J]. *机械工程学报*, 2017, 53(12): 140-146.)
- [13] ZHU H C, WANG Y L, WEI X, *et al.* Test on hole expansion property for 450 ~ 780 MPa dual phase steel sheets[J]. *Journal of Netshape Forming Engineering*, 2017, 9(6): 27-31.
(祝洪川, 王有禄, 魏星, 等. 450 ~ 780 MPa 系列双相钢扩孔性能实验[J]. *精密成形工程*, 2017, 9(6): 27-31.)
- [14] KONG Z, KONG N, ZHANG J, *et al.* Mechanical property of dual phase steel and its effect on the forming limit[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2017, 53(12): 140-146.
- [15] DING X N. Research on the forming limit of DP780 dual-phase steel under different pre-strain loading[D]. Changsha: Hunan University, 2021.
(丁小娜. DP780 双相钢不同预应变加载下的成形极限研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2021.)
- [16] CUI H L, WU Y Y. Fracture failure characterization model analysis of 780 MPa grade dual-phase steel with improved formability [J/OL]. *Forming & Stamping Technology*, 2025, (9): 272-281.
(崔华丽, 吴媛媛. 780 MPa 级增强成形性双相钢断裂失效表征模型分析[J/OL]. *锻压技术*, 2025, (9): 272-281.)
- [17] ZHANG W, LIU H S, SANG H, *et al.* Comparaive analysis of foming performanee of 780 MPa gade high strength dual phase steel with different components[J]. *Journal of Plasticity Engineering*, 2024, 31(5): 171-178.
(张伟, 刘华赛, 桑贺, 等. 不同成分 780 MPa 级高强双相钢成形性能对比分析[J]. *塑性工程学报*, 2024, 31(5): 171-178.)