结构件用590 MPa级冷轧双相钢研发与应用*

宋冉臣[1,2],刘 妍[2],陈 林[1],路 璐[2],张秀飞[2]

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 随着汽车轻量化的发展需求,为满足车身安全、环保要求,基于包钢先进的设备和工艺特点,通过C-Mn-Cr合金体系的化学成分设计,配合合理的热轧、酸轧和连续退火工艺,成功研发了汽车结构件用590 MPa级冷轧双相钢。批量生产和用户应用情况表明,冷轧双相钢HC340/590DP各项力学性能指标满足技术要求及用户使用需求。

关键词: 结构件; 冷轧双相钢; 连续退火
中图分类号: TG142.1 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2021)04-0030-05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.04.008

Research and Development and Application of 590 MPa Grade Cold-rolled Dual Phase Steel for Structural Parts

Song Ran-chen[1,2], *Liu Yan*[2], *Chen Lin*[1], *Lu Lu*[2], *Zhang Xiu-fei*[2]

(1. *School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: With the development requirements of lightweight of automobile, the 590 MPa grade cold-rolled dual phase steel for structural parts is successfully researched and developed through the chemical composition design with C-Mn-Cr alloy system combining with reasonable hot rolling, pickling tandem cold rolling and continuous annealing processes based on the advanced equipment and technological characteristics of Baotou Steel in order to meet the requirements of car body safety and environmental protection. The mass production and application of users show that all the mechanical properties of cold-rolled dual phase steel HC340/590DP could meet the technical and user requirements.

Key words: structural parts; cold-rolled dual phase steel; continuous annealing

汽车轻量化的发展日益受到车企青睐,乘用车自身质量每下降10%,其油耗和排放都会降低3%~8%[1]。双相钢由于具有低屈强比、高抗拉强度和高加工硬化指数等特点,兼顾了材料的高强度和成型性能,成为汽车轻量化的主力应用钢种[2],广泛应用于B柱内板、车底十字构件、悬挂件、防撞杆、防撞杆加强结构件等,是汽车轻量化的理想材料[3]。冷轧双相钢的生产包括冶炼、连铸、热轧、酸

* **收稿日期**: 2021-05-18
作者简介: 宋冉臣(1988-),男,内蒙古包头市人,在读硕士,工程师,现从事冷轧、镀锌钢带研发工作。

轧与连续退火等工序[4]，合理的化学成分设计及生产工艺控制对双相钢性能与组织有重要影响。本文通过对 590 MPa 级冷轧双相钢 C－Mn－Cr 合金体系的化学成分设计，配合合理的热轧、酸轧和连续退火工艺，成功研发了汽车结构件用 590 MPa 级冷轧双相钢。

1　技术要求

参考国内外冷轧双相钢的相关标准，包钢开发的 HC340/590DP 的化学成分及力学性能的技术要求如表 1 和表 2 所示。

表 1　HC340/590DP 化学成分技术要求（质量分数）　%

C	Si	Mn	P	S	Al_t
≤0.15	≤0.60	≤2.50	≤0.040	≤0.015	≥0.015

备注：根据需要可添加 Cr、Mo、B 等合金元素。

表 2　HC340/590DP 拉伸性能技术要求

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	应变硬化指数 n_{90}
340～440	≥590	≥20	≥0.14

备注：试样为 GB/T 228.1—2010 中的 P6 试样（L_0 = 80 mm，b_0 = 20 mm），取样方向为横向。

2　化学成分设计

冷轧双相钢的主要合金元素包括 C、Si、Mn、Cr 等。C 是形成马氏体的基本元素，对马氏体的含量和钢板强度有重要的作用。Mn 元素既是固溶强化元素，又可以增强奥氏体稳定性，延迟奥氏体向珠光体转变，有利于在快速冷却后生成马氏体组织。Si 元素可促进铁素体的形成，有利于控制铁素体、马氏体组织的比例。为保证 HC340/590DP 的力学性能符合要求，工业试制的成分设计如表 3 所示。

表 3　HC340/590DP 化学成分控制要求（质量分数）　%

C	Si	Mn	P	S	Al_t	Cr
0.06～0.10	0.30～0.50	1.55～1.75	≤0.030	≤0.010	0.020～0.060	≤0.50

3　关键工艺控制

3.1　工艺流程

结构件用 590 MPa 级冷轧双相钢产品主要生产工序为冶炼、热轧、酸轧、连续退火，具体工艺流程如下。

铁水预处理→转炉冶炼→精炼→板坯加热→高压水除鳞→定宽压力机→粗轧→F1—F7 精轧→层流冷却→卷取→酸轧→退火炉→平整→卷取

3.2　热轧工艺

冷轧双相钢的热轧原料金相组织一般控制为铁素体＋珠光体。在保证稳定轧制的同时，获得所需尺寸的奥氏体晶粒，加热温度控制在 1 220～1 260 ℃。为了保证热轧板合适的晶粒尺寸大小及强度，有效降低带状组织缺陷概率，热轧工艺采用相对较低的终轧温度和卷取温度工艺参数，终轧温度控制在 860～900 ℃，卷取温度控制在 580～620 ℃，有利于获得均匀、尺寸合适的铁素体＋珠光体组织。

3.3　酸轧工艺

热轧原料酸轧工艺中对钢带力学性能影响最大的是压下率参数，考虑到设备能力、板形、产品力学性能等综合因素，酸轧压下率实际控制在 60%～70%，保证产品性能及工业生产顺行。

3.4　连续退火工艺

冷轧钢带退火前的组织为纤维状的铁素体和珠光体，通过退火先实现部分奥氏体化，再以 10 ℃/s 左右的速率加热到两相区温度，实现冷轧组织在加热过程中发生回复和再结晶。为了使再结晶的组织均匀化并生成足够量的奥氏体，需要在两相区保温，合金元素大量地向奥氏体中偏聚和转移，可净化铁素体，降低铁素体中的固溶原子数量[5]。随后以 3～5 ℃/s缓慢冷却至某一温度，在此期间一定数量的奥氏体转变为铁素体，并使 C、Mn 等元素向奥氏体中聚集，增加未转变奥氏体的稳定性，提高淬透性，随后以大于 20 ℃/s 的冷却速率一直快速冷却到马氏体转变的低温区。快冷段结束后，在低温区再保温一段时间，即过时效段，有利于碳化物析出，并向晶界迁移，使铁素体更加纯净，提高双相钢的塑韧性，稳定马氏体组织，最终稳定产品性能。钢带出过时效段之后，温度降低到氧化温度以下，最终冷却到 40～150 ℃后卷取。

两相区加热温度、保温时间、缓冷温度、快冷温度、过时效温度、平整机延伸率对产品组织和性能均

有不同程度影响，合理的参数设计能够保证产品性能和组织满足协议要求。针对 HC340/590DP 冷轧双相钢产品，设计不同快冷温度（280 ℃、295 ℃、305 ℃），研究快冷温度对产品性能和组织的影响，连续退火工艺参数如表 4 所示。

表 4 连续退火工艺参数

均热温度/℃	均热时间/s	缓冷温度/℃	快冷温度/℃	过时效温度/℃	平整机延伸率/%
800～840	100～140	670～690	280～305	280～305	0.4～0.8

3.5 组织性能检测

将连续退火后的钢板切取成标准拉伸试样，标距为 L_0 = 80 mm，平行部宽度 b_0 = 20 mm，在 MTS810 试验机上进行力学性能测试，同时在钢板上切取金相试样，经 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀后，在光学显微镜下观察试样的金相组织。

表 5 为 590 MPa 级冷轧双相钢在不同快冷温度下的力学性能，冷轧双相钢产品缓冷温度 675 ℃，快冷温度 280～305 ℃，力学性能：屈服强度 371～390 MPa，抗拉强度 606～652 MPa，延伸率 23.0%～24.5%，n 值 0.15～0.16，屈强比 0.58～0.64，满足技术指标要求。

4 试验结果与分析

4.1 力学性能

表 5 不同快冷温度 HC340/590DP 力学性能

要求及牌号	缓冷温度/℃	快冷温度/℃	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	n_{90}	屈强比
技术指标			340～440	≥590	≥20	≥0.14	
HC340/590DP	675	280	377	652	24.5	0.15	0.58
	675	295	371	624	23.0	0.16	0.59
	675	305	390	606	24.0	0.15	0.64

4.2 快冷温度对力学性能的影响

快冷温度对产品的力学性能尤其是屈服强度、抗拉强度、屈强比有明显影响，如图 1 所示。随着快冷温度由 280 ℃提高到 305 ℃，产品屈服强度先由 377 MPa 略有下降再升高到 390 MPa，抗拉强度由 652 MPa 下降到 606 MPa，延伸率和 n_{90} 值无明显变化规律，屈强比由 0.58 提高到 0.64。

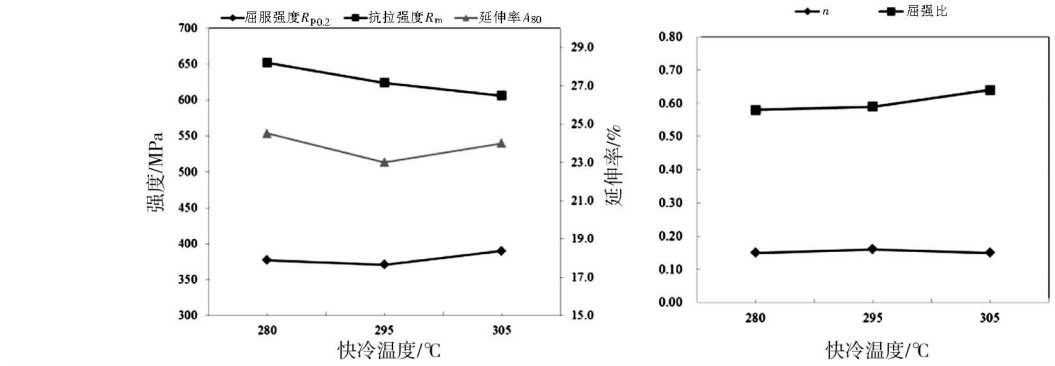


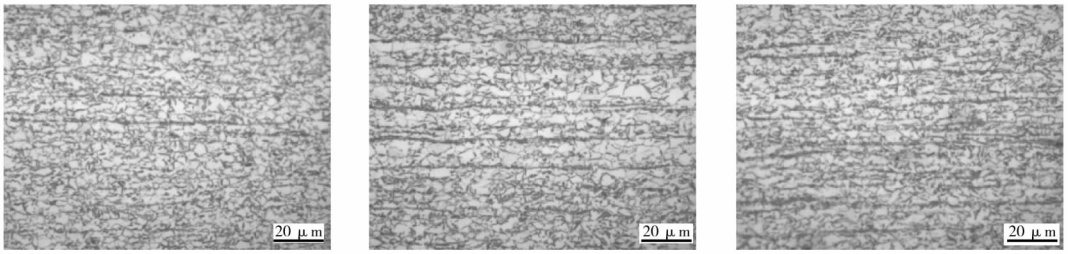
图 1 快冷温度对力学性能、n_{90} 值、屈强比的影响

随着快冷温度的升高，抗拉强度逐渐下降，当升高到 305 ℃时，马氏体部分分解，材料的屈服强度显

著上升，屈强比也随之上升。所以快冷温度对产品性能有明显影响，应在保证产品性能合格且余量适中的情况下，降低屈强比，将快冷温度控制在 305 ℃以下。

4.3　显微组织

图 2 为快冷温度 280 ℃、295 ℃、305 ℃冷轧双相钢 HC340/590DP 金相组织。组织由铁素体与马氏体组成，马氏体分布在铁素体晶界或晶内，晶粒度约 11 ~ 12 级，马氏体作为强化相弥散分布于纯净的铁素体基体上，当屈服在铁素体中首先发生后，可动位错将很快运动到 F/M 相界面而塞积，变形抗力将迅速上升以使塑性变形向马氏体中扩展，因此双相钢具有较高的初始加工硬化能力。



（a）快冷温度280 ℃　（b）快冷温度295 ℃　（c）快冷温度305 ℃

图 2　HC340/590DP 冷轧退火后的显微组织

5　产品应用

结构件用 590 MPa 级冷轧双相钢已实现批量工业化生产，产品力学性能及表面质量满足技术指标要求及用户使用需求，成功应用于前围侧内板、B 立柱内板等汽车结构件。图 3 为 HC340/590DP 实际应用情况。



（a）前围侧内板　（b）B立柱内板

图 3　HC340/590DP 应用情况

6　结论

（1）结构件用 590 MPa 级冷轧双相钢采用 C－Mn－Cr合金体系的化学成分设计，配合合理的热轧、酸轧和连续退火工艺，研制的产品力学性能：屈服强度 371 ~ 390 MPa，抗拉强度 606 ~ 652 MPa，延伸率 23.0% ~ 24.5%，n 值 0.15 ~ 0.16，满足技术指标要求。

（2）快冷温度对产品的力学性能尤其是屈服强度、抗拉强度、屈强比有明显影响。随着快冷温度的升高，抗拉强度逐渐下降，当升高到 305 ℃时，材料的屈服强度明显上升，抗拉强度下降，屈强比升高。

（3）金相组织由铁素体与马氏体组成，马氏体分布在铁素体晶界或晶内，晶粒度约 11 ~ 12 级，马氏体作为强化相弥散分布于铁素体基体上。

（4）开发的 590 MPa 级冷轧双相钢具有良好的成形性能，应用于汽车内部结构件如前围侧内板、B 立柱内板等零件。

参 考 文 献

[1] Tong K N, Chakko M K. Predictions of roll spalling in 4 – high mills based on fatigue strength of roll materials and wear pattern of rolls[J]. Iron & Steel, 1964,(7):143.

[2] 康永林,邝霜,尹显东. 汽车用双相钢板的开发与研究进展[J]. 汽车工艺与材料,2006,(5):1 –5.

[3] 唐荻,米振莉,陈雨来. 国外新型汽车用钢的技术要求及研究开发现状[J]. 钢铁,2005,40(6):1 –5.

[4] 左秀荣,陈蕴博,王淼辉,等. 铁素体/马氏体双相钢的组织性能[J]. 材料热处理学报,2010,31(1):29 –34.

[5] 张峰. DP1000 冷轧双相钢的热处理工艺与性能的实验研究[D]. 北京: 北京科技大学,2007.

中文名称	英文	含义
亩		面积的市制单位,为2000/3平方米。
品脱	pint(UK); pt(UK)	英国体积、容积单位,为0.568 261立方分米。
平方码	square yard; yd^2	面积的英制单位,为0.836 127 36平方米。
平方英尺	square foot; ft^2	面积的英制单位,为0.092 903 04平方米。
平方英寸	square inch; in^2	面积的英制单位,为645.16平方毫米。
平方英里	square mile; $mile^2$	面积的英制单位,为2.589 988平方千米,美制测绘中为2.589 998平方千米。
蒲式耳	bushel; bushel(UK); bu(US)	体积、容积的英制单位,为36.368 7升(英)或35.239 1立方分米(美)。
千卡[1]	kilocalorie; kcal	热量的非法定计量单位,为1 000卡。
千卡[2]		“热化学卡”的异名。
千克力	kilogram – force; kgf	力的米千克力秒制单位,为9.806 65牛顿。
千克力每平方米	kilogram – force per square metre; kgf/m^2	压力的米千克力秒制单位,为9.806 65帕斯卡。
千克力米	kilogram – force metre; kgf·m	力矩、力偶矩和转矩等的米千克力秒制单位,为9.806 65牛顿米。
千克力米每秒	kilogram – force metre per second; kgf·m/s	功率的工程单位制单位,为9.806 65瓦特。
钱		“市钱”的异名。
热化学卡	thermochemical calorie; cam_{th}	热量的非法定计量单位,为4.184焦耳。
市担		质量的市制单位,为50千克。