590 MPa 级冷轧双相钢组织与性能研究[*1]

白海瑞,张秀飞,黄 利

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 实验室进行了 590 MPa 级冷轧双相钢研制,研究了化学成分、轧制工艺和连续退火工艺,进行了力学性能测定和显微组织分析,结合试验结果分析了平整延伸率对钢带力学性能的影响。结果表明,试制的冷轧双相钢经 820 ℃保温,缓冷至 680 ℃,以 >30 ℃/s 速率冷却至 270 ℃进行过时效处理,平整延伸率为 0.8%,得到力学性能优良的冷轧双相钢,试验钢屈服强度、抗拉强度、伸长率分别为 376 MPa、652 MPa、1%。

关键词: 冷轧; 双相钢; 连续退火; 平整; 组织性能

中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2019)02 - 0040 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.02.013

Study on Microstructure and Properties for 590 MPa Grade Cold Rolled Dual - phase Steel

Bai Hai - rui, Zhang Xiu - fei, Huang Li

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The 590 MPa grade cold rolled dual - phase steel was developed in the laboratory, its chemical composition, rolling and continuous annealing processes were studied, the mechanical properties were measured and the microstructure was analyzed as well as the effects of levelling elongation on the mechanical properties of steel belt were analyzed combining with the experimental results. The results indicated that the cold rolled dual - phase steel was with good mechanical properties by heat preservation at 820 ℃, slow cooling to 680 ℃, then rapid cooling with the rate of over 30 ℃/s to 270 ℃ to be overaging with the levelling elongation of 0.8%. Its yield strength was 376 MPa, tensile strength was 652 MPa and elongation reached 21%.

Key words: cold rolled; dual - phase steel; continuous annealing; levelling; microstructure and property

双相钢是指低碳钢或低合金高强度钢经临界区处理或控制轧制工艺而得到的,主要由铁素体(F) + 少量(体积分数 <20%) 马氏体(M) 组成的高强度钢,软相铁素体主要承担塑性,硬相马氏体主要承担强度,也称马氏体双相钢[1]。双相钢与传统的 HSLA 钢相比[2],不但具有高强度,而且具有低屈服强度和连续屈服的特性,在冲压成型时又有很高的加工硬化速率,利于材料均匀变形,因此双相钢成为新一代高强、高成型性钢铁材料,广泛应用于汽车结构件、加强件等零部件生产[3]。汽车采用双相钢可减轻构件重量 20% ~30%,符合汽车材料轻量化、高性能、安全、环保、节能的发展主题,正日益受到人们的重视[4]。冷轧双相钢的生产包括冶炼、连铸、热轧、冷轧与连续退火等环节,合理的生产工艺对双

* 收稿日期: 2019 - 01 - 11

作者简介: 白海瑞(1986 -),男,内蒙古土默特左旗人,硕士,工程师,现从事冷轧板带材研发工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相钢性能有重要影响。本文通过对 590 MPa 级冷轧双相钢的实验室试制，分析研究了双相钢生产工艺、组织特征与力学性能，为工业化试制提供技术依据。

1　试验材料与方法

1.1　试验材料

在 25 kg 真空感应炉中进行试验钢冶炼，采用碳 - 硅 - 锰 - 铬合金体系，化学成分具体见表 1。合理的化学成分设计是冷轧双相钢组织和性能的有力保证。碳主要用于形成所需数量的马氏体和保证钢的强度，同时影响焊接性能；硅可以扩大 Fe - C 相图的 α 区，使临界区的温度范围加宽，促进碳原子从铁素体中进入奥氏体，改善双相钢的工艺性能，但硅含量太高易导致钢带表面氧化铁皮难以去除，影响钢带表面质量；锰是典型的奥氏体稳定化元素，显著提高钢的淬透性，推迟珠光体转变和贝氏体转变，并起到固溶强化作用；铬的作用与锰类似，可以提高钢的淬透性，推迟珠光体转变和贝氏体转变，有利于马氏体的生成。

表 1　试验用钢化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Al_t	Cr
≤0.16	≤0.80	≤2.20	≤0.035	≤0.030	≥0.020	≤0.50

1.2　轧制工艺

试验钢经 9 道次热轧从 110 mm 轧制到 4 mm。加热温度 1 230 ℃，保温 1.5 h，热轧开轧温度 >1 150 ℃，再结晶区轧制温度 >1 050 ℃，未再结晶区轧制温度 <950 ℃。终轧温度为 860 ℃，轧后以10 ℃/s的速度水冷到 650 ℃，放入保温炉内随炉冷却到室温模拟卷取。热轧板经酸洗后冷轧到 1.5 mm，冷轧压下率为 62.5%。

1.3　退火工艺

试验钢连续退火工艺在 CCT - AY - Ⅱ 薄板热处理装置上进行，参照工业生产线连续退火设备及工艺，制定了本试验钢的连续退火工艺，具体参数控制如表 2 所示。将冷轧钢板加工成 220 mm × 70 mm的矩形试样，加热到奥氏体和铁素体两相区温度(又称临界区温度)保温，确保部分奥氏体形成(经热膨胀仪测得试验钢 A_{c3} = 861 ℃、A_{c1} = 730 ℃)。随后缓慢冷却至 A_{c1} 以下一定温度，使得一定数量的取向附生铁素体析出，同时使碳、锰等合金元素充分向奥氏体转移，提高铁素体的纯净度，并强烈地增加未转变奥氏体的稳定性[5]。随后以 >30 ℃/s 冷速冷却至 M_f 点(经热膨胀仪测得试验钢 M_f = 323 ℃) 温度以下，保证过冷奥氏体充分转变成马氏体。然后在低温区等温 505 s(模拟工业化连续退火炉过时效时间)，促使铁素体中固溶原子向相界面转移从而使铁素体更加纯净，同时对双相钢中淬硬的马氏体进行回火处理，降低马氏体的硬度，改善综合力学性能。最后将试样取出，空冷至室温。

表 2　连续退火工艺参数

均热温度/℃	均热时间/s	缓冷终止温度/℃	快冷冷速/(℃·s^{-1})	快冷终止温度/℃	过时效温度/℃
820	120	680	40	270	250 ~ 270

1.4　组织性能检测

将热轧态和连续退火后的钢板线切割成标准拉伸试样，标距为 80 mm，在 MTS810 试验机上进行力学性能测试，连续退火后试样模拟不同平整延伸率(0、0.5%、0.8%、1.0%、1.2%)，研究不同平整延伸率对试验钢力学性能的影响。同时在钢板上切取金相试样，经 4% 的硝酸酒精腐蚀后，在光学显微镜下观察试样的金相组织。

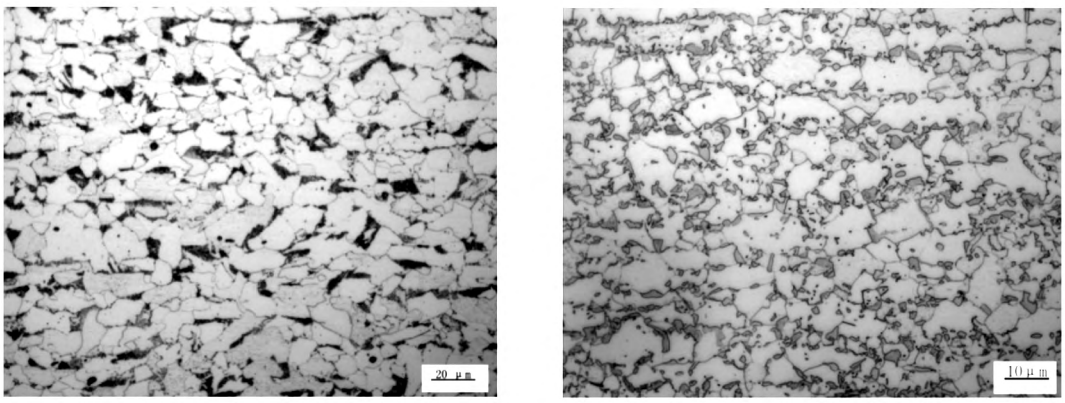
2　试验结果与分析

2.1　显微组织

图 1 显示了热轧态与冷轧退火后的金相组织，热轧态组织由铁素体与珠光体组成，而退火后的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 级，马氏体含量约为 17.6%。F + P 热轧组织的强化机制一般是阻碍位错运动的固溶强化与细晶强化，因而屈服强度较高且伴随着较差的成形性。双相钢则是在柔软纯净的铁素体基体上弥散分布着岛状马氏体作为强化相。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。而双相钢的这种早期加工硬化行为，能够提高材料在成形过程中的应变分配的均

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

匀性，有利于防止早期鼓起和褶皱的发生[2]。



（a）热轧组织　　（b）冷轧退火组织

图1　热轧态与冷轧退火后的显微组织

2.2　力学性能

表3为热轧态和连续退火并模拟平整后试验钢力学性能，试验钢力学性能满足GB/T 20564.2—2006标准要求[2]，双相区连续退火对试验钢的力学性能有显著的影响。热轧态试验钢的屈服强度（R_{eL}）为429 MPa，抗拉强度（R_m）为523 MPa，屈强比为0.82，伸长率（A_{80}）为23%，n值为0.16。钢板经冷轧、双相区连续退火后，屈服强度平均值为375 MPa，比热轧态降低了54 MPa，而抗拉强度增加了128 MPa达到651 MPa，伸长率（A_{80}）为21%，n值为0.22。退火后的伸长率有所下降，但是没有屈服平台。退火后双相钢的n值明显增大到0.22，这表明双相钢的加工硬化能力远大于热轧态。试验钢退火后的力学性能较好地反映了双相钢的优良力学特性。

表3　试验钢力学性能

试样状态	$R_{p0.2}$/MPa	R_m/MPa	A_{80}%	n	屈强比
热轧态	429	523	23	0.16	0.81
退火+平整（平整延伸率0）	313	653	21	0.24	0.48
退火+平整（平整延伸率0.5%）	355	652	22	0.24	0.54
退火+平整（平整延伸率0.8%）	376	652	21	0.21	0.58
退火+平整（平整延伸率1.0%）	398	654	21	0.20	0.61
退火+平整（平整延伸率1.2%）	436	648	22	0.18	0.67
GB/T 20564.2—2006[2]	340～460	≥590	≥18		

2.3　平整延伸率对力学性能的影响

连续退火后模拟不同平整延伸率并进行力学性能测定，具体力学性能值见表3。连续退火后未模拟平整（平整延伸率0）试样屈服强度略低于（27 MPa）标准下限要求，其余性能指标满足标准要求。模拟平整后（平整延伸率0.5%～1.2%）试样力学性能都满足标准要求。图2为平整延伸率对力学性能影响，由图2所示，屈服强度随着平整延伸率的增加呈快速上升趋势，抗拉强度基本不变，延伸率有小幅波动，n值逐渐降低，屈强比逐渐增加。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

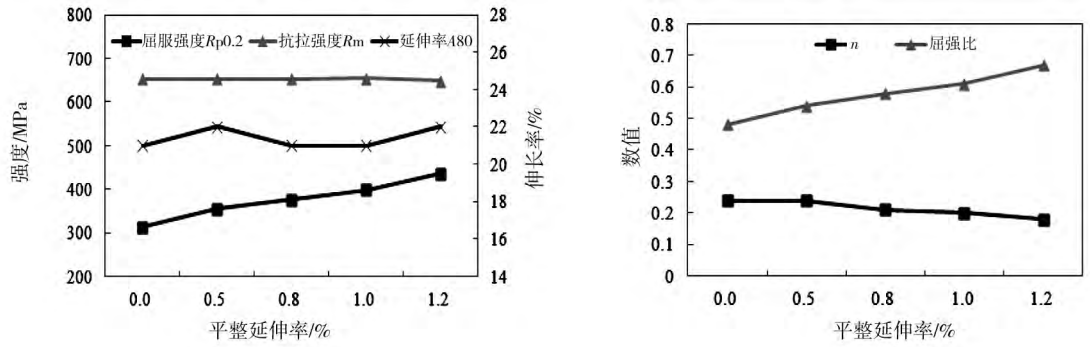


图 2　平整延伸率对力学性能的影响

连续退火后钢板的平整过程中，铁素体中的高密度位错之间将相互发生位错缠结，从而形成大量的位错发团或者形成位错割阶，这样将提高位错与析出第二相杂质之间的交互作用，因而使试验钢板的屈服强度提高[7]，带钢的平整过程可以等效地看成对带钢施加一个预拉伸，由于本试验中平整延伸率≤1.2%，在这种情况下，钢板仍处于应变硬化阶段而且是其表面所受的加工硬化最大，对其抗拉强度影响很小。不同平整延伸率下试验钢的应变硬化速率都很高，当试验钢发生屈服之后，随着真应变的增加试验钢的应变硬化速率下降的程度则不同。对于未经平整的试验钢来说，其应变硬化速率随真应变的增加持续下降，可以产生连续的应变硬化。一旦经过平整之后，试验钢的应变硬化能力逐渐降低，而且随着平整延伸率的提高，其应变硬化能力逐渐减弱，表现为 n 值逐渐降低。

3　结论

(1) 试验冷轧双相钢经 820 ℃保温，缓冷至 680 ℃后快速冷却，以 > 30 ℃/s 速率冷却至 270 ℃，在 270 ℃下过时效处理 505 s，试验钢屈服强度、抗拉强度、伸长率分别为 376 MPa、652 MPa、21%，综合力学性能优良。

(2) 试验双相钢组织由岛状马氏体和铁素体组成，马氏体分布在铁素体晶界或晶内，晶粒度约 11 级，马氏体含量约 17.6%。

(3) 试验冷轧双相钢连续退火后经过平整工序，可以提高屈服强度，对抗拉强度和延伸率影响较小，n 值降低，为了保证试验钢具有良好的综合力学性能，平整延伸率设定≤1.0% 为宜。

参　考　文　献

[1] 马鸣图，吴宝榕. 双相钢—物理和力学冶金[M]. 北京: 冶金工业出版社，1988.

[2] Shi M F. 双相钢和低合金高强度钢成形性能的对比[J]. 世界钢铁，2002，(4)：18－22.

[3] 占部俊明，细谷佳弘. 汽车用高强度冷轧钢板的现状及展望[J]. 世界钢铁，2007，(4)：58－62.

[4] 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)：125－128.

[5] 朱晓东，王利. 连续退火工艺参数对 Si－Mn 系冷轧双相钢的力学性能的影响[A]. 2003 中国钢铁年会论文集[C]. 北京: 中国金属学会，2003，684－688.

[6] GB/T 20564.2—2006，汽车用高强度冷连轧钢板及钢带，第 2 部分: 双相钢[S].

[7] 罗青，赵征志，徐刚，等. 退火温度和平整对冷轧热镀锌双相钢组织和性能的影响[J]. 钢铁研究学报，2009，21(10)：33.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net