酸洗工序对600 MPa级双相钢组织及性能的影响*[1]

龙泽全[1]，张智刚[2]，魏 淼[3]

（1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂，内蒙古 包头 014010；
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢板材厂，内蒙古 包头 014010；
3. 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： 文章对600 MPa级汽车结构用双相钢热轧板与热轧酸洗板组织与性能进行比较，结果表明：酸洗后屈服强度与抗拉强度均有提高，延伸率变化不大，热轧酸洗板性能满足标准要求；因酸洗工序前要进行拉矫工序，对钢板产生一定的加工硬化，进行系列温度冲击试验，酸洗板的冲击功要比热轧板的冲击功值低；经过酸洗工序后，其组织为大量的多边形铁素体和少量的马氏体，由于冷变形，晶粒度由10.5级变为12.0级，晶粒变得更细小。

关键词： 双相钢；热轧酸洗板；力学性能；冲击韧性；显微组织
中图分类号： TG142.1 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2019)03－0034－04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.03.011

Effects of Pickling on Microstructure and Properties of 600 MPa Grade Dual Phase Steel

Long Ze－quan[1], *Zhang Zhi－gang*[2], *Wei Miao*[3]

(1. *CSP Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the microstructure and properties of hot rolled 600 MPa grade dual phase steel plate for automobile structure are compared with those of hot rolled pickling plate. The results show that both of the yield strength and tensile strength are improved after pickling, there is no great change for elongation as well as the performances of hot rolled pickling plate could meet the requirements of standard; due to the work hardening of plate caused by withdrawal and straightening process before pickling, the impact energy values of pickling plate are lower than those of hot rolled plate with a series of thermal shock tests; after the pickling process, the microstructure is a large number of polygonal ferrite and a small amount of martensite, the grain size is changed from grade 10.5 to grade 12.0 and grain becomes finer because of cold deformation.

Key words: dual phase steel; hot rolled pickling plate; mechanical property; impact toughness; microstructure

* **收稿日期：** 2019－03－19
作者简介： 龙泽全(1989－)，男，内蒙古包头市人，助理工程师，现从事板带材生产工作。

中国知网 https://www.cnki.net

双相钢(dual phase steel,简称 DP 钢) 是指低碳钢或低碳合金钢经过临界区热处理后控制轧制工艺而得到的,主要由铁素体和马氏体组成的先进高强度钢(advanced high - strength steel,AHSS) 。普通的高强钢是通过控制轧制细化晶粒,并通过微合金元素的碳氮化物析出强化基体的,而双相钢是通过马氏体相强化的,因此其强度与韧性得到了很好的协调[1-5]。热轧双相钢因具有低屈强比,高初始加工硬化率和良好的强塑性匹配,是制造车轮的理想材料[6-7]。随着国家节能减排要求不断提高,2020 年我国乘用车平均燃料消耗量水平要下降至 5 L/100 km左右[8]。与热轧板相比,酸洗板具有更优的表面质量、尺寸精度和加工性能,还可避免汽车企业"土酸洗"后废酸造成的环境污染问题。因此,汽车工业倾向于使用冷成形高强度汽车结构用酸洗板代替普通热轧汽车板制作汽车结构件。本文主要研究酸洗工艺对 600 MPa 级汽车结构用双相钢组织及性能的影响。

1　化学成分及生产工艺

1.1　化学成分

试验钢的化学成分如表 1 所示。化学成分采用 C - Si - Mn - Cr 系设计。C 作为钢中重要的元素之一,主要用于形成所需数量的马氏体,其含量直接影响钢的韧性、强度和焊接性能。含碳量高,硬度高,但韧性差,热处理开裂倾向大,焊接性较差; 含碳量过低,强度也会低。所以应在保证钢的强度和韧性同时,也考虑钢的焊接性。Si 可以扩大 Fe - C 相图的 α + γ 区,使临界区处理的温度范围加宽,改善双相钢的工艺性能,有利于保持双相钢强度、延伸率等性能的稳定和重现性,Si、Al 可以控制马氏体成分和体积分数。Mn 是典型的奥氏体稳定化元素,显著提高钢的淬透性,并起到固溶强化和细化铁素体晶粒的作用,可显著推迟珠光体转变以及贝氏体转变。Cr 是强碳化物形成元素,显著提高钢的淬透性,加入 Cr 的双相钢,延长保温时间、降低终轧温度可明显促进铁素体的转变[9],有利于获得低屈服强度的双相钢。因双相钢对力学性能有较高的要求,对其纯净度要求也越来越高。双相钢的强塑性主要取决于马氏体含量,其他影响材料性能的因素还包括马氏体组分,铁素体合金含量,残余奥氏体和铁素体新相含量。

表 1　DP600 热轧酸洗板化学成分(质量分数)　　%

C	Si	Mn	P	S	Al_t	Ca	Cr
0.065 ~ 0.080	0.19 ~ 0.25	0.80 ~ 0.88	0.036 ~ 0.046	≤0.003	0.020 ~ 0.060	0.001 ~ 0.003	< 1.0

其生产工艺流程为: 铁水预处理→转炉冶炼→LF 精炼→板坯连铸→加热炉→粗轧→精轧→层流冷却→卷取→取样、检验→酸洗开卷→焊接→拉矫→酸洗→漂洗→烘干→平整→包装→入库。

1.2　轧制工艺

双相钢热轧工艺路线为: 加热炉→粗轧→精轧→层流冷却→卷取→取样、检验。根据 600 MPa 级双相钢相关标准对力学性能要求,结合现在的实际生产能力和生产条件,加热轧制生产工艺见表 2。出炉温度、终轧温度和卷取温度是生产过程中主要控制参数,板坯出炉温度 1 200 ℃,精轧终轧温度波动范围 820 ~ 860 ℃,卷取温度≤ 250 ℃,工艺控制稳定,均在波动范围内。

表 2　主要加热轧制冷却工艺

板坯厚度/mm	出炉温度/℃	均热时间/min	在炉时间/min	终轧温度/℃	冷却方式	卷取温度/℃
230	1 200	30 ~ 60	160 ~ 280	840 ± 20	两段式冷却	≤250

1.3　酸洗工艺

双相钢酸洗工艺路线为: 酸洗开卷→焊接→拉矫→酸洗→漂洗→烘干→平整→包装→入库。

拉矫机工序,一方面可以提高钢带板形,另一方面破碎带钢表面氧化铁皮,加快化学反应,提高酸洗速度和酸洗质量。酸洗工序采用浅槽紊流盐酸式酸洗,可保证酸洗浓度均匀,缩短酸洗时间,提高酸洗质量。

中国知网　https://www.cnki.net

此次生产的双相钢酸洗生产时拉矫延伸率值控制在0.3%～0.5%，酸液槽参数控制见表3。

表3 酸洗槽工艺参数

酸洗槽	1号槽	2号槽	3号槽
酸洗温度/℃	75～85	75～85	75～85
酸液浓度/(g·L^{-1})	35～70	80～120	110～160

2 热轧板和酸洗板组织性能

2.1 力学性能分析

对双相钢热轧板和热轧酸洗板取样，在WAW—600C拉伸试验机进行力学性能分析。表4列出了力学性能范围，双相钢酸洗后的屈服强度和抗拉强度得到提高。屈服强度提高20～50 MPa，抗拉强度提高20 MPa左右。延伸率变化较小。热轧酸洗板性能满足标准要求。

表4 双相钢热轧板和酸洗板力学性能

名称	屈服强度 R_{el}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	延伸率 A/%
热轧板	336～374	602～627	26.0～28.5
酸洗板	350～418	624～642	25.0～28.5
标准要求	330～470	≥580	≥24

2.2 冲击韧性

为保证双相钢DP600能够低温环境下服役，分别在热轧板和酸洗板中部取横向试样，加工成5.0 mm×10.0 mm×55.0 mm的V型缺口半尺寸试样，在N1750冲击试验机进行20 ℃、0 ℃、－20 ℃、－40 ℃、－60 ℃系列冲击试验，热轧板与酸洗板系列冲击韧性如图1所示，从图中可以看出在不同温度下，酸洗板冲击功要比热轧板冲击功值低。在酸洗过程之前要经过拉矫，会对钢板产生一定的加工硬化，组织内有高密度错位和孪晶出现，位错会在孪晶界面塞积以及孪晶带的交截处有可能产生应力集中，从而使塑性变形受阻碍，形成裂纹的核心，因此酸洗板的冲击功要比热轧板的冲击功低。

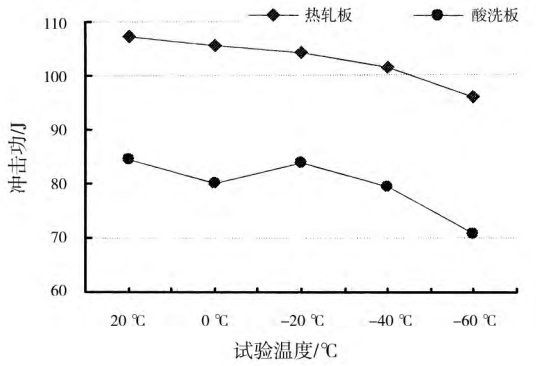
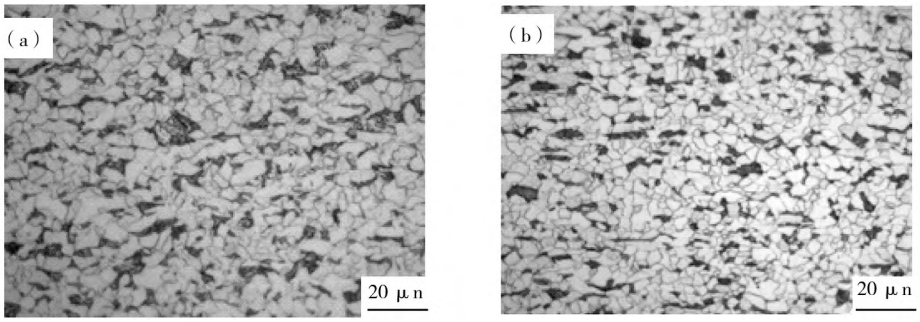


图1 热轧板与酸洗板锡类温度冲击韧性

2.3 组织分析

对双相钢热轧板和热轧酸洗板取样，进行组织分析，如图2所示。其组织为大量的多边形铁素体和少量的马氏体组成，铁素体体积分数较高，晶粒尺寸较为细小。热轧板和热轧酸洗板晶粒度评级为10.5级和12.0级。热轧DP600试验钢控制轧制以后，以较快的冷却速率冷却至铁素体相变区间并保温一定时间，此时有部分奥氏体转变为铁素体组织，随后试验钢快冷到Ms点以下，剩余奥氏体发生马氏体转变，因此室温时DP600试验钢主要得到铁素体＋马氏体组织。马氏体含量决定抗拉强度，铁素体含量决定屈服强度和延伸率。经过酸洗后晶粒明



(a) 热轧板 (b) 酸洗板

图2 双相钢热轧板和酸洗板金相组织

中国知网 https://www.cnki.net

显细化，钢板在酸洗经过拉矫和平整工序，这两个过程中的变形都属于冷变形过程，随着外形的改变，其内部的晶粒形状也大体上发生相应的变化，即都沿着最大主变形的方向被拉长、拉细或压扁，钢板在平整的过程中，钢板表面和平整机工作辊间产生较大的摩擦力，这样就是钢板表面晶粒的剪切变形增加，导致晶粒细小[10]。

3　结论

(1) 成分采用低碳加 Cr 设计，Cr 是强碳化物形成元素，显著提高钢的淬透性，加入 Cr 的双相钢，延长保温时间、降低终轧温度可明显促进铁素体的转变[9]，有利于获得低屈服强度的双相钢。

(2) 双相钢力学性能控制稳定，热轧板的屈服强度 336 ~ 374 MPa，酸洗板的屈服强度 350 ~ 418 MPa，酸洗后提高 20 ~ 50 MPa，热轧板的抗拉强度 602 ~ 627 MPa，酸洗板的抗拉强度 624 ~ 642 MPa，酸洗提高 20 MPa 左右。延伸率变化较小，热轧酸洗板性能满足标准要求。

(3) 酸洗工序前要进行拉矫工序，对钢板产生一定的加工硬化，在 20 ℃、0 ℃、－20 ℃、－40 ℃、－60 ℃不同温度下，进行冲击试验，酸洗板的冲击功要比热轧板的冲击功值低。

(4) 所生产双相钢热轧酸洗板组织为大量的多边形铁素体和少量的马氏体组成，晶粒度等级与热轧板相比更为细小。

参　考　文　献

[1] 赵博，许广兴，贺飞，等. 飞机起落架用超高强度钢应用现状及展望 [J]. 航空材料学报，2017，37(6)：1.

[2] Ayer R，Machmeier P M. Transmission electron microscopy ex－amination of hardening and toughening phenomena in Aermet100 [J]. Metallurgical Transactions A，1993，24(9)：1943.

[3] HUANG S，LI Y，WANG C，et al. Effects of tempering process on properties and microstructure of Aer Met 340 steel [J]. Jinshu Rechuli/Heat Treatment of Metals，2015，40(8)：101.

[4] Groh J R，Kauffung T A，Rhoads M A. Methods for inhibiting corrosion of high strength steel turbine components：US，CA2725932A1 [P]. 2017－08－30.

[5] 刘振宝，杨志勇，雍歧龙，等. 固溶处理对新型马氏体时效不锈钢力学性能的影响 [J]. 钢铁，2007，42(3)：47.

[6] 王利，杨雄飞，陆匠心. 汽车轻量化用高强度钢板的发展 [J]. 钢铁，2006，41(9)：1－8.

[7] 袁国，利成宁，孙丹丹，等. 热轧双相钢的发展现状及高强热轧双相钢的开发 [J]. 中国工程科学，2014，16(2)：39－45.

[8] GB 27999—2014，乘用车燃料消耗量评价方法及指标 [S].

[9] 张大伟，刘雅政，周乐育，等. 工艺参数对 600 MPa 热轧双相钢铁素体转变的影响 [J]. 特殊钢，2011，32(2)：57.

[10] 刘现翠，范建文，谢瑞萍，等. 宝钢 2030 酸洗机组中拉桥机和平整机的延伸率分配 [J]. 北京科技大学学报，2005，27(5)：609－612.

中国知网　https://www.cnki.net