

首钢迁钢高强汽车大梁钢 S610L 的研制与开发

孟宪堂¹ 赵林² 李飞¹ 李瑞恒² 江潇¹ 季晨曦¹

(1. 首钢技术研究院薄板研究所, 北京 100043; 2. 首钢迁钢公司技术质量部, 河北 迁安 064404)

摘要 介绍了首钢迁钢公司高强 S610L 的开发生产情况, 阐述了 S610L 成分、热轧工艺参数设计原理。工业生产试验表明: S610L 不仅具有较高的抗拉强度, 而且具有良好的强韧性和优异冷成型性能。同时介绍了 S610L 在产品开发初期所出现的问题和进行的相关工艺改进措施。目前 S610L 成功用于汽车厂重型载货汽车的承重梁上。

关键词 高强度 工艺改进措施 承重梁

0 前言

首钢在搬迁中进行产品结构调整, 2006 年 12 月份首钢改写了没有卷板生产的历史。2008 年 12 月份, 首钢在产品结构调整中迈出重要一步, 成功试制高强汽车大梁钢 S610L。

高强汽车大梁钢在国内重卡中主要用于承重梁(纵梁), 不仅要求汽车大梁用钢具有更高的强度, 而且还需要良好的塑性和韧性以及优良的冷弯性能, 因此汽车生产厂家对原材料的安全性、加工性都提出了更高要求, 对车架的服役要求更加苛刻。

目前, 一汽、中国重汽、东风汽车和福田汽车等主要重汽生产企业都使用高强汽车大梁钢, 其中材质牌号屈服强度不小于 500MPa 级别高强大梁钢使用较为广泛, 主要用于承重要求较高的车架纵梁。而高强汽车大梁钢是国内重型汽车行业快速发展的产物, 目前还没有统一的国家标准, 当前使用的主要是两种命名规则, 一种是重卡行业普遍提及的按照屈服强度下限命名的牌号, 例如中国重汽 ZQS500L, 一种是按照钢铁行业普遍提及的按照抗拉强度命名的牌号, 例如首钢 S610L。

1 S610L 设计的合金依据

近年来, 随着热轧微合金高超强度钢板的发展, 为提高钢板的冷成型, 控轧控冷中碳的含量应控制在 0.10% 以内。硅、锰有着固溶强化作用, 也可细化晶粒作用; 硅虽有固溶强化作用, 但没有细化晶粒作用。汽车车架用热轧低合金高强度钢板采用稍高的锰 ($\leq 1.8\%$) 和适量的硅。铌、

钒元素在低合金钢中主要起析出强化和细化晶粒作用。铌、钛、钒是强碳氮化物形成元素, 在钢中生成 Nb (CN)、Ti (CN)、V (CN)。铌产生显著的晶粒细化和中等的沉淀强化; 钛随着其含量的增加产生强烈的沉淀强化和中等晶粒细化; 钒产生中等程度的沉淀强化和较弱的晶粒细化。所以含铌、钛、钒钢在提高强度的同时改善韧性, 使脆性转变温度降低。

S610L 研制主要解决高抗拉强度下宽冷弯性能合格率和强度与塑性的良好匹配以及优异的低温韧性等问题。高的抗拉强度使材料对基体由内部缺陷和夹杂产生弯裂更加敏感, 因此, S610L 钢对影响其宽冷弯性能合格率主要因素如钢质的纯净度、夹杂物形貌及含量的控制要求更高。冷弯试验是衡量汽车板在一定条件下的塑性变形性能或者实际冲压性能优劣的一种重要指标。不仅用来衡量钢板塑性和韧性的好坏, 而且还是检验钢板表面质量的一种方法。大量生产实践表明, 冷弯试验的正确结果对汽车车架用热轧低合金高强度钢板冷成形性能有重要影响。硫磷会恶化钢的性能, 因此要将其控制尽可能低, 尤其是硫, 会产生硫化物夹杂, 往往会成为冲压过程中的裂纹源。因此在成分设计中, 一是将硫尽量控制在较低的水平上, 通常在 50×10^{-6} 以下, 二是添加微量的钛改变硫化物形态, 防止硫化物夹杂产生的不良影响。

2 生产试制及工艺参数

2.1 冶炼工艺路线

S610L 冶炼工艺路线为: 铁水预处理—转炉

(出钢渣洗)—LF 精炼处理—板坯浇注—钢坯精整—入库/热装。

2.2 冶炼与连铸

通过喂钙线处理钢水, 变性夹杂以改变钢中 MnS、Al₂O₃ 等非金属夹杂物形态, 使夹杂物充分上浮, 从而减少钢中夹杂物含量, 提高钢板的综合力学性能。

严格控制钢水的过热度, 全程吹 Ar 保护浇铸, 防止二次氧化。严格控制拉坯速度、二冷水参数及板坯的矫直温度。

2.3 热轧工艺

S610L 热轧工艺路线为: 加热炉—高压水粗除

鳞—板坯减宽—粗轧—板卷箱—飞剪—高压水精除鳞—精轧—层流冷却—卷取—打捆—称重—标识—入库/平整和分卷。

S610L 试制在首钢迁钢公司 2250 机组上进行。为准确制定生产线控冷工艺参数, 在试验室采用膨胀法测定了 S610L 钢的过冷奥氏体连续转变 CCT 曲线, S610L 钢的临界点: A_{C1} 为 737℃、A_{C3} 为 887℃、A₃ 为 779℃、A₁ 为 616℃。生产热轧工艺参数制定为终轧温度目标设定 ≤890℃, 卷取温度 ≤650℃。

2.4 S610L 主要技术指标

S610L 主要技术指标见表 1~2。

表 1 S610L 化学成分

成品厚度/mm	C	Si	Mn	P	S	Al _i	Nb	Ti	V
3.0~10.0	≤0.12	≤0.5	≤1.7	≤0.015	≤0.003	0.02~0.06	≤0.09	≤0.22	≤0.12

表 2 S610L 力学性能和工艺性能

成品厚度/mm	R _{eL} /MPa	R _m /MPa	A/%	b=35mm 横向宽冷弯 180° d=a
3.0~10.0	≥500	610~700	18	

注: b 为冷弯试样的宽度, d 为弯心直径, a 为试样厚度。

3 结果分析与讨论

3.1 冶炼化学成分

S610L 实际冶炼化学成分见表 3, 各元素含量完全达到设计要求, 且波动范围很小, 目标命中率达到了 100%。S、P 含量控制在较低水平上, 其中 S 含量达到 50×10^{-6} 以下, 保证钢质的纯净。

表 3 S610L 冶炼化学成分

炉号	C	Si	Mn	P	S	Alt	[O]	[N]
1	0.088	0.16	1.58	0.01	0.0027	0.042	0.0013	0.0041
2	0.072	0.14	1.57	0.009	0.0035	0.038	0.0017	0.0038

3.3 性能各向异性

对 S610L 钢卷进行头、中、尾的力学性能检验表明, 同卷屈服强度小于 20MPa; 在进行横向、45°和纵向拉伸试验中, 屈服强度各向异性波动值小于 30MPa。整卷终轧温度和卷取温度控制与目标值相比, 波动较小, 与目标值偏差不超过 15°在板带板宽方向 1/4 处和 1/2 处的拉伸检验结果很接近; 在相同位置处, 横向强度最高, 延伸率最低, 45°强度最低, 延伸率最高。S610L 力学性能各向异性情况见表 4~5。

3.2 力学性能统计

对 S610L 抗拉强度、屈服强度、延伸率和屈强比等指标进行数理统计, 如图 1 所示。从图中可以发现, 在对 169 炉 S610L 力学性能的大生产统计中, 各向性能指标实物水平基本呈正态分布, 屈服强度标准差为 15MPa, 抗拉强度为 11MPa, 延伸率为 2%, 可见力学性能比较稳定。S610L 力学性能检验合格率达到 97.6%, 这主要是在实际生产采取了严格的化学成分控制和温度控制, 确保了力学性能的稳定。

3.4 宽冷弯检验

冷弯试验是衡量汽车板在一定条件下的塑性变形性能或者实际冲压性能优劣的一种重要指标。不仅用来衡量钢板塑性和韧性的好坏, 而且是检验钢板表面质量的一种方法。大量生产实践表明, 冷弯实验的正确结果对汽车车架用热轧低合金高强度钢板冷成形性能有重要影响。钢板的冷变性能受诸多因素的影响, 如试样的宽度、试样的轧向 (纵向和横向)、弯心直径和钢板表面缺陷等。

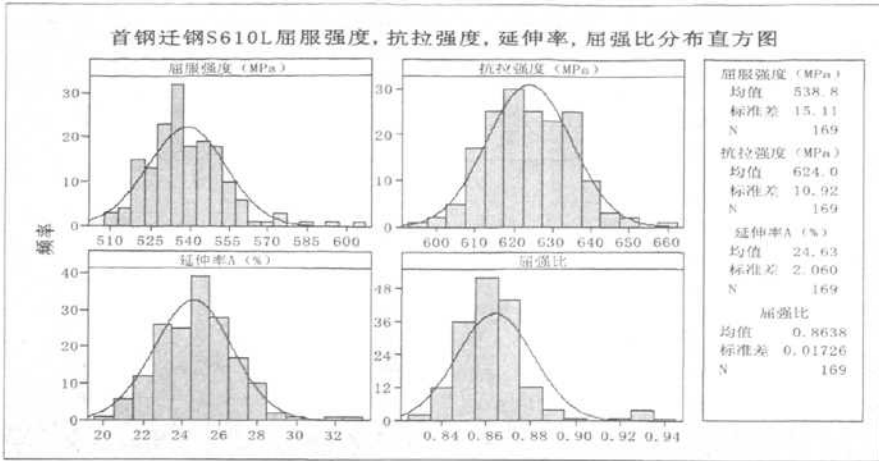


图1 S610L力学性能指标数理统计直方图

当试样宽度一定,试样的弯心直径对钢板的冷弯性能产生明显的影响,弯心直径越小,弯曲部位的变形也就越大,越容易产生裂纹。在委托试验中,对弯心直径 $d = a$, $d = 0.5a$, $d = 0a$ 都进行了检验(见表6),检验结果全部合格,表明S610L符合技术要求,而且可以进行更大程度的塑性变形,具有良好的冷成形性。

表4 S610L拉伸力学性能各向异性检验

整卷取样位置	R_{eL}/Mpa	R_m/Mpa	$A/\%$
头	525	620	27.0
中	535	635	25.5
尾	540	630	24.0

表5 S610L拉伸力学性能各向异性检验

厚度/mm	取样位置	取样方向	R_{eL}/Mpa	R_m/Mpa	$A/\%$
6.0	板宽方向1/4处	横向	535	620	24.0
	板宽方向1/4处	45°	515	610	28.5
	板宽方向1/4处	纵向	520	610	26.5
	板宽方向1/2处	横向	535	625	24.5
	板宽方向1/2处	45°	510	610	28.5
	板宽方向1/2处	纵向	520	610	26.0

表6 S610L宽冷弯检验结果

卷号	厚度/mm	横向宽冷弯		
		$d = 0a$	$d = a$	$d = 0.5a$
0910469912010	8	合格	合格	合格
0830744522020	6	合格	合格	合格

3.5 低温冲击韧性

用户对冲击不作要求,但为了更全面地了解S610L大梁钢韧性指标特别是在低温下韧性情况,

在8mm钢板上取7.5mm×10mm×55mm纵向尺寸试样对S610L进行了常温 and 低温夏比V型缺口冲击试验,试验温度分别为20, 0, -20, -40, -60℃,如图2所示。实验结果表明,S610L具有优异的冲击性能,即使在-60℃的极低温度下,冲击吸收功也达到了120J。

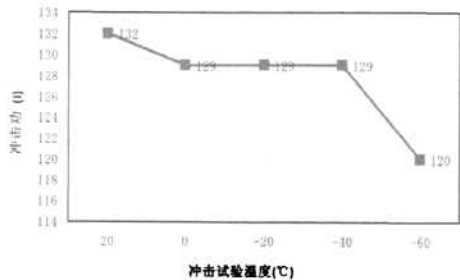


图2 低温冲击试验

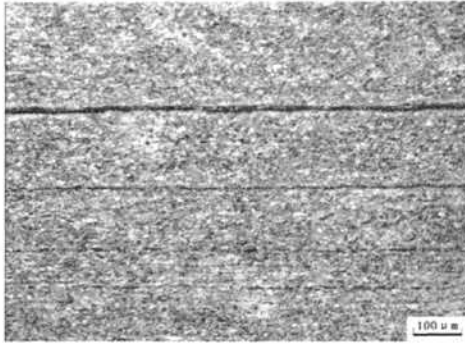
3.6 金相组织与夹杂检验

由于宽冷弯出现的裂纹大部分是由夹杂和带状组织产生的,对此也做了相关检验。一般带状≤2级,夹杂≤2级就可满足要求。S610L的夹杂和带状组织评级结果见表7。

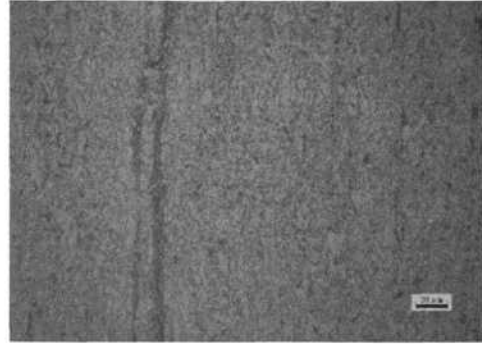
就夹杂和带状情况分别在首钢迁钢公司和首钢技术研究院做了两次分析,见图3。炉号2在技术研究院进行了金相观察,带状评级1.5,夹杂评级0.5;炉号1在首钢迁钢公司进行检测分析,带状评级1.5,夹杂评级1.0。夹杂和带状评级≤2级,可见首钢S610L满足上述条件要求。

表7 S610L的夹杂和带状组织评级结果

非金属夹杂								DS	带状
硫化物 (A)		氧化铝类 (B)		硅酸盐类 (C)		球状氧化物 (D)			
细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系		
0	0	1.0	0	0	0	1.0	0	0	1.5



(a)



(b)

(a) 炉号1, 带状; (b) 炉号2, 中心带状

图3 带状分析组织形貌

4 S610L 工艺改进与应用

2008年12月份,首钢迁钢公司成功研制出S610L,其力学性能等各项指标均满足技术条件要求,但用户在使用过程中反映S610L板材在开平过程中存在翘曲现象,影响用户进行纵切剪板和使用。另外,用户还反映平板纵切后侧弯(镰刀弯)值较大,虽然满足国标要求,但在后道工序中影响中心线对中。

存在上述问题的根本原因是钢板本身的表面应力和内部应力分布不均所致。在调研用户的开平设备后发现,其开平设备电机功率与钢板强度不匹配,开平设备的矫直机组不能很好消除长度方向上的原始板卷曲率。为此采取如下工艺改进措施:

- 1) 保证整卷温度控制的均匀性,减轻应力在长度方向和宽度方向上的不均匀分布。
- 2) 调整工艺制度降低S610L屈服强度。
- 3) 利用矫直机组进行合理的反复弯曲矫直,均匀化残余应力。

经过以上的工艺改进措施后,首钢迁钢公司

S610L 在用户得到了放心使用并且评价很高, S610L板卷开平平直,纵切后侧弯值控制在3mm以内,产品性能稳定。

5 结论

1) 首钢迁钢公司S610L成分设计合理,工艺制度可行,产品性能稳定。

2) 首钢迁钢公司S610L从冶炼纯净度、热轧工艺等进行严格控制,保证了S610L的各项检验结果(宽冷弯、低温冲击韧性、金相分析和力学性能各向异性)满足标准要求。

3) 首钢迁钢公司S610L在使用过程中用户反映良好,剪切过程中板形质量较好,提高了用户生产效率,降低其生产中剪切余料成本。

4) 首钢迁钢公司S610L用于重卡承重梁并进行了复杂路况下的工程使用跟踪,跟踪过程中未发现承重梁出现裂纹和发生弯曲现象。

作者简介:孟宪堂 硕士 工程师 现从事热轧汽车大梁用钢开发工作。