

首钢锅炉和压力容器用 Q245R、Q345R 板卷的试制和生产

刘阳春¹ 孙茂林² 武军宽³ 徐 彬³ 亢小敏³

(1. 首钢技术研究院薄板研究所, 北京 100043; 2. 首钢迁安钢铁有限责任公司硅钢部, 河北 迁安 064404;
3. 首钢迁安钢铁有限责任公司技术质量部, 河北 迁安 064404)

摘 要 介绍了首钢迁钢公司通过合理的化学成分设计和控轧控冷技术的应用, 开发出锅炉和压力容器用 Q245R、Q345R 板卷的情况, 分析了批量生产的 Q245R、Q345R 钢的化学成分、力学性能和冶金质量。

关键词 关键词 锅炉和压力容器用钢 Q245R Q345R

1 概述

Q245R、Q345R 是 GB713-2008《锅炉和压力容器用钢板》中的 2 个钢号, 是我国最常用的锅炉和压力容器用钢, 广泛应用于石油、化工、电站、锅炉等行业, 制造各类中低压锅炉和压力容器。

GB713-2008《锅炉和压力容器用钢板》于 2008 年 9 月开始执行。该标准系将 GB 6654-1996《锅炉用钢板》和 GB713-1997《压力容器用钢板》合并修订而成, 而 Q245R 系由 20g、20R 合并而成, Q345R 则由 16MnR 和 16Mng、19Mng 合并而成。

锅炉和压力容器用钢板历来由中厚板轧机轧制^[1-4]。但是中厚板轧机轧制薄钢板 ($\leq 18\text{mm}$) 时保证薄钢板的板形和尺寸比较困难, 同时轧制薄钢板时其产能也将大大降低, 因此一般中厚板厂对薄规格钢板进行限制性生产。然而热连轧机则专用于轧制薄规格钢卷, 开平矫直后钢板具有尺寸精度高、板形质量好、成材率高、生产成本低等优点。在目前的经济形势下, 钢材使用部门为了降低生产成本, 追求利益最大化, 越来越重视开平板的使用。因此在热连轧机上轧制薄规格钢卷, 开平矫直后以代替部分中厚板轧机的产品就具有重要的经济意义。

首钢迁安钢铁有限责任公司 (简称首钢迁钢公司) 2160 热连轧宽带钢生产线于 2006 年 12 月正式建成投产, 可用于生产 1.5~19mm 厚、750~2130mm 宽、钢卷最大重量达 38 t 的热轧带钢, 具备开发生产 Q245R、Q345R 钢板卷的有利条件。2008 年 11 月中旬, 首钢迁钢公司通过 Q245R、Q345R 认证审核, 随后取得国家颁发的生产许可

证, 并于 2008 年 12 月开始批量生产 Q245R、Q345R 钢, 板卷厚度为 6~18mm, 宽度为 2000mm 左右, 至 2010 年 4 月共轧制 Q245R 钢合格板卷 14700 t, Q345R 钢合格板卷 25400t, 为首钢创造了可观的经济效益。

2 化学成分设计

锅炉及压力容器的质量是保证安全运行的关键因素。Q245R、Q345R 作为锅炉和压力容器用钢, 首先, 应具备足够的强度以便在经过各种冷热加工和多次热处理后钢材仍应保证强度性能不低于标准规定的下限值; 其次, 要具有良好的塑性和韧性以防止锅炉和压力容器脆断; 第三, 应具有优良的成形性能和焊接性能以满足锅炉和压力容器各种部件制造工艺的需要。

2.1 Q245R、Q345R 钢与 Q235B、Q345B 钢的比较

Q245R、Q345R 钢属于专用钢, 而 Q235B、Q345B 钢则为普通产品, 比较它们的化学成分和力学性能差异, 有助于 Q245R、Q345R 钢内控成分设计及轧制工艺制定。

Q245R、Q345R 钢化学成分要求及其与 Q235B、Q345B 钢的对比见表 1。

从表 1 可以看出, Q245R 与 Q235B、Q345R 与 Q345B 钢的 C、Si 含量相当, 但是 Q245R、Q345R 钢 Mn 含量均有下限要求, 上限分别低于 Q235B、Q345B 钢, S、P 含量大幅降低, 增加了铝含量要求, 因此冶炼时对钢的纯净度要求比 Q235B、Q345B 钢严格很多。

Q245R、Q345R 钢力学性能要求及其与 Q235B、Q345B 钢的对比见表 2。

表1 Q245R、Q345R钢与Q235B、Q345B钢化学成分的对比

国标	钢种	C	Si	Mn	P	S	Al ₁
GB/T 700-2006	Q235B	≤0.20	≤0.35	≤1.40	≤0.045	≤0.045	-
GB713-2008	Q245R	≤0.20	≤0.35	0.50~1.00	≤0.025	≤0.015	≥0.020
GB/T 1591-2008	Q345B	≤0.20	≤0.50	≤1.70	≤0.035	≤0.035	-
GB713-2008	Q345R	≤0.20	≤0.55	1.20~1.60	≤0.025	≤0.015	≥0.020

注：1) Q245R、Q345R钢中可以添加微量Nb、V、Ti元素，上述三个元素总和应分别不大于0.050%和0.10%。

2) Q235B钢中不添加微量Nb、V、Ti元素。Q345B钢中可以添加微量Nb、V、Ti元素，上述三个元素添加量各不大于0.07%、0.15%和0.20%。

表2 Q245R、Q345R钢与Q235B、Q345B钢力学性能的对比

国标	钢号	厚度/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	冲击试验温度/℃	冲击功/J	冷弯 $b=2a, 180^\circ$
GB/T 700-2006	Q235B	≤16	≥235	370~500	≥26	20	≥27	$d=1.5a$
GB713-2008	Q245R	3~16	≥245	400~520	≥25	0	≥31	$d=1.5a$
GB/T 1591-94	Q345B	≤16	≥345	470~630	≥20	20	≥34	$d=2a$
GB713-2008	Q345R	3~16	≥345	510~640	≥21	0	≥34	$d=2a$

从表2可以看出，Q245R与Q235B钢的最小屈服强度相当，Q345R与Q345B钢的最小屈服强度相同，但是Q245R最低抗拉强度比Q235B高30MPa，Q345R比Q345B高40MPa；Q235B、Q345B要求20℃时纵向冲击功分别不小于27J、34J，而Q245R、Q345R则要求0℃时横向冲击功分别不小于31J、34J，因此Q245R、Q345R钢强度要求更高，冲击性能要求更严。

2.2 Q245R、Q345R钢的化学成分设计

Q245R、Q345R钢化学成分设计的依据是GB713-2008及用户的实际使用要求，原则是在保证Q245R、Q345R钢具有优良的力学性能、冲击性能、焊接性能和冶金质量的基础上，考虑钢材原料条件和实际工艺，尽可能降低钢材的生产成本，因此成分设计需要考虑众多因素，以保证首钢迁钢公司锅炉和压力容器用Q245R、Q345R钢有最优化的成分体系。

由表1~2可见，Q245R、Q345R钢的化学成

分分别接近Q235B、Q345B钢，但其杂质元素含量要求更低，力学性能要求更严，因而可以考虑在Q235B、Q345B钢化学成分基础上，制定Q245R、Q345R钢的化学成分和工艺，如此在实际生产中冶炼Q245R钢时可以与Q235B钢连浇，冶炼Q345R钢时可以与Q345B钢连浇，方便冶炼操作，降低冶炼成本。

综合考虑，设计Q245R、Q345R钢的化学成分时采用中碳、高锰的成分体系，即Q245R、Q345R钢的碳含量控制采用中碳成分，Q245R钢锰含量控制在标准规范中限，Q345R钢则控制在标准规范上限。为提高钢的塑韧性，改善钢的冷加工性能和焊接性能，限制钢中的硅含量，严格控制钢中的硫、磷含量。为固定钢中的氮和保证深脱氧效果，钢中添加一定数量的铝。为增大轧制工艺窗口，提高Q345R钢的力学性能，可在Q345R钢中添加适量的铌、钒、钛微合金元素。

设计的Q245R、Q345R钢的化学成分见表3。

表3 设计的Q245R钢和Q345R钢的化学成分

钢种	成分	C	Si	Mn	P	S	Al ₁
Q245R	国标	≤0.20	≤0.35	0.50~1.00	≤0.025	≤0.015	≥0.020
	判定	0.12~0.19	0.15~0.25	0.55~0.80	≤0.020	≤0.012	0.020~0.050
Q345R	国标	≤0.20	≤0.55	1.20~1.60	≤0.025	≤0.015	≥0.020
	判定	0.13~0.18	0.20~0.40	1.30~1.50	≤0.020	≤0.012	0.020~0.050

注：Q345R钢中添加微量Nb、V、Ti元素。

3 Q245R、Q345R钢的工艺控制

3.1 冶炼控制

考虑到Q245R钢的化学成分和力学性能要求

相对简单，因此设立了2条冶炼工艺流程供生产现场灵活选择：

1) CAS-OB/吹氩站工艺路线：铁水预处理—转炉炼钢—CAS/吹氩站精炼处理—板坯浇注—

钢坯精整—入库。

2) LF 炉工艺路线: 铁水预处理—转炉炼钢—LF 炉精炼处理—板坯浇注—钢坯精整—入库。

但是 Q345R 钢的冶金质量和力学性能要求

较高, 因此冶炼 Q345R 钢时只采用 LF 炉工艺路线。

Q245R、Q345R 钢的冶炼工艺流程见图 1。

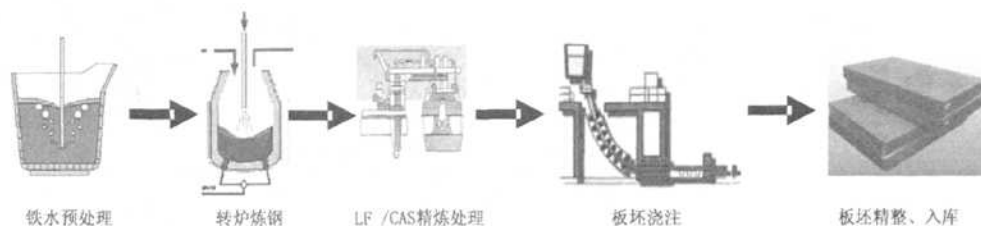


图 1 Q245R、Q345R 钢的冶炼工艺流程

首钢迁钢公司 2160 生产线现有 3 座 210t 顶底复吹转炉, 全部采用副枪自动化炼钢技术, 碳、温双命中率可达 90% 以上, 可以保证钢液终点成分和温度符合出钢要求。进入 210t 转炉铁水由 2 座 2650m³ 高炉提供, 均经过 3 座单吹颗粒镁脱硫扒渣设施脱硫处理, 脱硫目标值 ≤ 0.010%。

CAS - OB/吹氩站精炼处理过程中注意钢水温降以保证钢液有足够的镇静时间。温度、成分调整完成后每炉喂 SiCa 线, 喂线结束后进行软吹氩操作。

210t 双工位旋转电极臂式 LF 钢包精炼炉精炼处理时间 45 ~ 55min。底吹氩气搅拌时控制底吹氩气流量, 尽量减少钢水裸露。造渣料使用合成渣、白灰、铝矾土、萤石, 渣面加入铝粒、硅铁粉和电石脱氧, 尽早形成白渣, 并保持炉内还原性气氛。

2 台双流板坯连铸机连铸 Q245R 和 Q345R 钢板坯时采用全保护浇铸。使用低碳中包覆盖剂, 保证钢液面不裸露。严防大包下渣。结晶器液面自动控制, 液面波动在 ± 3mm。Q245R 钢使用中碳钢保护渣, Q345R 使用中碳合金钢保护渣。板坯宽度为 900 ~ 2150mm, 厚度为 230mm, 长度为 8000 ~ 10500mm。

3.2 轧制控制

迁钢 2160 生产线热轧工艺流程 (见图 2) 为:

步进梁式加热炉—板坯高压水除鳞箱—压力调宽机—粗轧高压水除鳞箱—二辊可逆式粗轧机—粗轧高压水除鳞箱—带立辊的四辊可逆式粗轧机—热板卷箱—曲柄式切头飞剪—精轧高压水除鳞箱—六机架精轧连轧机组 (前三架为连续可调凸度 CVC 轧机, 后三架为平辊轧机)—层流冷却装置—地下卧式热卷曲机—入库。

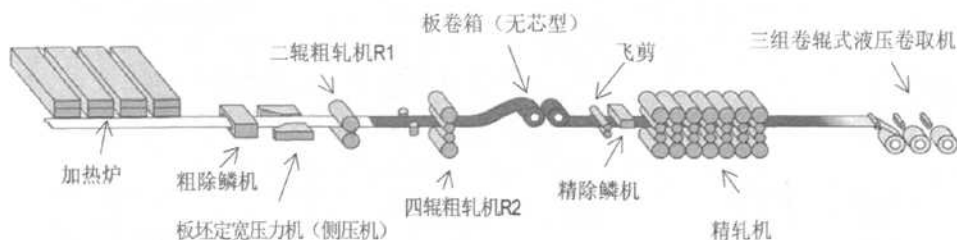


图 2 迁钢 2160 生产线热轧工艺流程图

热轧产品的开发要保证钢板的板形、表面质量、尺寸公差、各项力学性能指标以及产品的组织形态, 这需要通过轧机设备和轧制工艺保证。迁钢 2160 生产线粗轧机由 R1、R2 组成。粗轧机 R2 附设立辊轧机, 配设短行程和 AWC 功能, 以提高

带钢宽度精度。粗轧机 R2 还采用液压微调技术, 以提高带坯厚度精度, 提高操作稳定性和防止镰刀弯。

精轧机采用 CVC^{PLUS} 板形控制, 并设置工作辊弯辊轴向抽动和平直度控制系统, 设置全液液压

下系统,以满足板型和厚度控制的需要,实现自由轧制。

设置完整的高压水除鳞系统,保证带钢的表面质量。高效节能型层流冷却装置可灵活控制,适应多品种钢的生产。

热轧工序中的关键因素是合理的温度制度和轧制制度。热轧温度制度制定主要考虑以下因素:板坯加热后的出炉温度;精轧入口温度;终轧温度;卷曲温度。要求板坯加热后的出炉温度适当,既能保证轧制的顺利进行,又要避免使轧制前板坯晶粒过分粗化。粗轧机组轧制要在奥氏体再结晶的温度区域进行。精轧机组轧制应使钢卷具有高的强韧性,并考虑轧机和电机的允许条件。精轧机末机架的出口温度必须大于 Q245R 钢和 Q345R 钢的 A_{r3} 点温度。通过增加精轧轧制道次压缩比,特别是通过控制末机架 F6 压下率,来达到细化晶粒的目

的。卷取温度的高低对应着钢带终轧后的冷却速度。卷取温度不能过高,避免大的珠光体组织产生而有损钢的韧性,同时又要保证性能。

根据上述考虑,制订了 Q245R 钢和 Q345R 钢加热温度制度和轧钢温度制度。对 Q245R 钢和 Q345R 钢,加热温度控制在 1180 ~ 1280℃,终轧温度控制在 820 ~ 880℃,卷取温度控制在 580 ~ 680℃。轧制过程中保证 1 次高压水粗除鳞、2 次粗轧除鳞和 1 次精轧除鳞效果,除掉轧制过程中形成的氧化铁皮。

4 Q245R、Q345R 板卷的实物质量

4.1 化学成分

进入批量生产阶段后,2008 年 12 月—2010 年 4 月共冶炼 Q245R 钢 114 炉, Q345R 钢 200 炉,表 4 为其化学成分范围和均值。

表 4 114 炉 Q245R、200 炉 Q345R 钢的化学成分范围和均值

牌 号	C	Si	Mn	P	S	Al _i	Nb、V、Ti
Q245R	0.14 ~ 0.18	0.18 ~ 0.23	0.60 ~ 0.68	0.007 ~ 0.022	0.002 ~ 0.015	0.022 ~ 0.049	-
	0.16	0.20	0.65	0.011	0.007	0.038	
Q345R	0.14 ~ 0.19	0.28 ~ 0.41	1.37 ~ 1.53	0.007 ~ 0.016	0.001 ~ 0.010	0.026 ~ 0.050	钢中含有微量 Nb
	0.16	0.35	1.45	0.011	0.004	0.039	或微量 V、Ti

从表 4 可以看出, Q245R、Q345R 钢的 C、Si、Mn、P、S 等元素的平均含量变化范围都在判定标准以内,均达到内控成分要求。S 和 P 的控制非常严格,特别是 S 含量很低。各元素控制非常稳定,

标准偏差很小。

4.2 力学性能

表 5 是 567 卷 Q245R、1374 卷 Q345R 钢的一检力学性能统计。

表 5 567 卷 Q245R、1374 卷 Q345R 钢的一检力学性能统计

钢号	钢板厚度/ mm	测试钢 卷数量/卷	屈服 强度/MPa	抗拉强度/ MPa	延伸率/ %	冲击试样 尺寸/mm	0℃V 型横向 冲击功/J	冷弯 $b = 2a$ 180°
Q245R	6 ~ 8	165	295 ~ 385	405 ~ 505	25.5 ~ 41	12 × 5 × 55	30 ~ 109	$d = 1.5a$
			335	470	32.5		64	合格
	10	138	290 ~ 400	425 ~ 505	22.5 ~ 39.5	10 × 7.5 × 55	46 ~ 194	
Q345R	12 ~ 18	264	330	470	31.5	10 × 10 × 55	80	
			260 ~ 415	415 ~ 565	20.0 ~ 37.0		46 ~ 386	
	6 ~ 8	380	350 ~ 550	510 ~ 625	15.0 ~ 36.5	10 × 5 × 55	31 ~ 121	$d = 2a$
Q345R	>8 ~ <12	287	420	565	28.5	10 × 7.5 × 55	71	合格
			365 ~ 515	530 ~ 650	18.5 ~ 40.5		57 ~ 226	
	12 ~ 18	707	345 ~ 530	515 ~ 635	17.0 ~ 32.5	10 × 10 × 55	62 ~ 293	
			425	570	26.0		164	

由表 5 可见,首钢迁钢公司生产的 Q245R、Q345R 钢板卷的力学性能优良。

表 6 是 Q245R、Q345R 钢的系列冲击试验结果,从中可以看出,即使 Q245R 钢中未添加任何

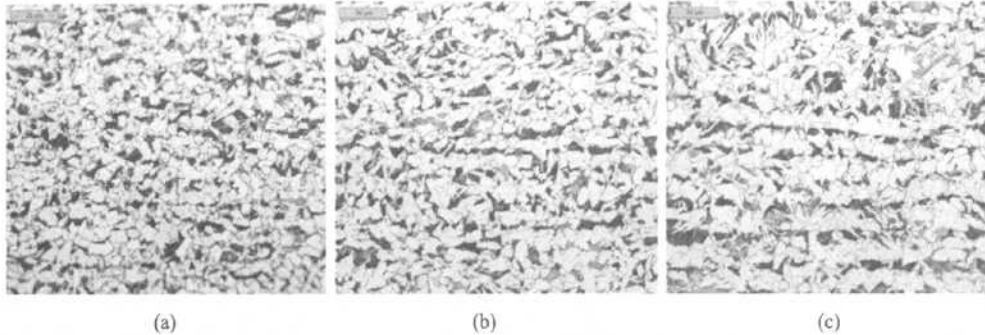
微合金元素,也可以保证 -40°C 下的冲击性能,但不能保证 -60°C 下的冲击性能。Q345R钢在 -60°C 的冲击功平均值可达90J,远高于标准要求(31J),可以保证 -60°C 下的冲击性能。

4.3 冶金质量

对部分Q245R、Q345R钢板卷取样进行金相检验,检验结果表明首钢迁钢公司生产的Q245R、Q345R钢板卷的夹杂物级别一般不超过1.0级,冶金质量优良。平均晶粒度为10~12级,显微组织一般为细小铁素体+少量珠光体,也有部分钢卷还含有少量贝氏体,如图3所示。

表6 Q245R、Q345R钢的系列冲击试验结果

钢种	规格/mm	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	冲击吸收功 A_{kv}/J			
			1	2	3	平均值
Q245R	12	20	157	157	145	153
		0	154	152	134	147
		-20	143	138	117	133
		-40	114	59	41	71
		-60	11	5.5	6.2	8
Q345R	16	20	184	163	184	177
		0	183	182	195	187
		-20	155	168	169	164
		-40	149	142	143	145
		-60	90	115	65	90



注:钢板厚度为14mm。
(a) 边部; (b) 1/4厚度处; (c) 1/2厚度处
图3 Q345R钢的显微组织(500 \times)

5 结语

首钢迁钢公司采用中碳高锰、低磷硫的化学成分设计,充分发挥2160热连轧机控轧控冷工艺的作用,开发出符合GB713-2008《锅炉和压力容器用钢板》要求的Q245R和Q345R钢板卷。这些板卷钢质纯净,具有优良的综合力学性能,批量生产以来很好地满足了用户需求。

参考文献

[1] 韩孝永. 压力容器用16MnR钢国内生产概述. 江苏冶金,

2004, 32(3): 5-7

- [2] 许方泉, 王茂葵, 隗勇, 等. 16MnR钢板生产工艺的调整与改进. 山东冶金, 2007, 29(专刊): 42-44
- [3] 刘佩明, 崔风平. 20g(Ti)锅炉板生产工艺研究. 山东冶金, 2001, 23(93): 44-46
- [4] 侯石峰. 20锅炉钢板试验研究. 钢铁研究, 1988(4): 27-32

作者简介: 刘阳春 博士 高级工程师 现从事薄板产品开发工作。