



# 800 MPa 调质高强钢宽厚板的开发

罗毅<sup>1</sup>, 鲍海燕<sup>2</sup>

(1 武汉钢铁(集团)公司研究院, 湖北 武汉 430080; 2 武汉钢铁集团鄂城钢铁有限责任公司, 湖北 鄂州 436002)

**摘要:**介绍了 800 MPa 调质高强钢宽厚板的开发情况, 采用 C-Mn-Cr-Mo 及微合金化的成分设计, 结合热轧 + 调质工艺生产了厚 60 mm、宽 3 800 mm、成品单重约 20 t 的钢板, 钢板质量满足交货要求, 钢板组织为回火马氏体和贝氏体, 在原奥氏体晶粒内部呈不同方向的板条束排列, 将原奥氏体晶粒分割成若干区域, 从而保证了钢板具有高强度和高韧性的匹配。

**关键词:** 800 MPa 级高强钢; 宽厚板; 调质; 组织

**中图分类号:** TG335.5<sup>1</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4620(2017)05-0019-02

随着能源、化工、机械等领域的迅速发展, 高强度结构钢市场需求日益增大, 而且为了满足上述行业中工程结构自重降低, 装载能力提高的发展趋势, 抗拉强度在 800 MPa 的钢板用量越来越多。以工程机械用钢为例, 800 MPa 级高强钢在挖掘机、推土机、各类起重设备及煤矿液压支架等机械装备中逐渐得到应用, 并且钢板朝着厚规格和大单重的方向发展<sup>[1]</sup>。为了满足以上需求, 结合现有设备能力, 武钢成功开发并生产了 800 MPa 级调质高强钢宽厚板。本研究分析武钢生产的厚 60 mm、宽 3 800 mm、成品单重约 20 t 钢板的成分设计、淬火和回火工艺, 分析该钢种的组织及性能情况。

## 1 成分设计

800 MPa 级调质高强钢的成分如表 1 所示。

表 1 800 MPa 级调质高强钢成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Nb+V+Ti	Cr+Mo	B
<0.15	0.20 ~ 0.50	1.20 ~ 2.00	≤0.020	≤0.010	0.08 ~ 0.15	≤0.80	≤0.003

C 的加入在钢中一方面起固溶强化作用, 另一方面对于调质钢, C 是用于提高淬透性强化钢材最经济的元素, 但如果 C 含量过高, 则将降低钢的塑韧性, 特别是损害钢的焊接性。因此, 将 C 含量设计在 0.15% 以内。

Mn 能够降低  $\gamma \rightarrow \alpha$  相变温度, 而  $\gamma \rightarrow \alpha$  相变温度的降低对铁素体晶粒尺寸有细化作用。另外, Mn 还是较强的固溶强化的元素, 常被作为低合金高强度钢中的主要合金元素而被广泛应用, 故选 Mn 作为主要强化元素之一, 其含量在 1.2% ~ 2.0%。

Cr、Mo 的加入通过固溶强化有利于强度的提高, 提高钢的淬透性, 同时钢中加入微量的 B, Mo-B

复合使钢的连续冷却转变曲线右移, 显著提高钢的淬透性, 故加入适量的 Mo、Cr 和 B。其中 Cr+Mo 含量不超过 0.80%, 使钢板在淬火时, 在整个厚度范围内均能淬透。

Nb、V、Ti 复合微合金化处理有利于改善钢的强韧性, 其中 Nb 在控轧过程中, 通过抑制再结晶和阻止晶粒长大, 细化奥氏体晶粒尺寸; V 具有较高的析出强化作用, 用来提高钢的强度; Ti 通过细小的 Ti (CN) 粒子在焊接过程中能显著阻止热影响区晶粒长大, 从而达到改善焊接性能。因此, 设计 Nb+V+Ti 含量范围为 0.08% ~ 0.15%。

## 2 工艺流程设计

800 MPa 级调质高强钢生产工艺流程: 铁水脱硫 → 转炉冶炼 → LF 精炼 → RH 精炼 → 板坯连铸机连铸 → 铸坯加热 → 轧制 → 淬火 → 回火 → 检验 → 入库。

铸坯加热过程中, 为了 Nb、V、Ti 微合金化元素能充分固溶, 发挥析出强化作用, 同时又不至于促使奥氏体晶粒过分长大, 将加热温度设定在 1 200 ~ 1 250 °C, 轧制生产了厚 60 mm、宽 3 800 mm、成品单重约 20 t 的钢板。其轧制和调质的主要生产控制技术要点如下:

### 2.1 钢坯轧制技术

武钢宽厚板产线生产 800 MPa 级高强钢板时, 采用两阶段轧制, 第一阶段轧制温度 1 050 ~ 1 150 °C, 采用高温大压下技术以促进基体充分再结晶; 为了保证得到尺寸合适、大小均匀的晶粒, 第二阶段轧制温度在 860 ~ 950 °C 之间。轧后进入 ACC 冷却, 在便于矫直的前提下, 浇水给以降低钢板温度, 随后进行矫直, 确保钢板的不平度不高于 5 mm/1 000 mm。

### 2.2 钢板调质工艺技术

轧制后的钢板进行调质处理才能获得良好的综合性能。由于钢中含有较多的 Nb、V 及 Ti 等强碳化物形成元素, 其奥氏体晶粒粗化温度较高, 可选择较

收稿日期: 2017-07-20

作者简介: 罗毅, 男, 1981 年生, 2009 年毕业于上海大学冶金工程专业, 博士。现为武汉钢铁(集团)公司研究院高级工程师, 从事结构钢产品的开发研究。

高的淬火温度,从而加速 Mn、Cr 等合金元素和碳化物重新溶入奥氏体,增大奥氏体中含碳量和合金元素含量,提高过冷奥氏体的稳定性,淬火后全厚度钢板均能够淬透。基于大生产经验,确定钢板的淬火温度为 930 ℃,冷却介质为水。

回火工艺主要目的是均匀组织、提高钢板的综合力学性能,并且消除淬火过程中产生的应力,根据如图 1 所示的试验结果,淬火态试样在 500~600 ℃回火,随回火温度的升高,钢板强度降低,塑性提高;钢板在 550 ℃回火,有较好的强韧性匹配。因此,对热轧后淬火的钢板进行热处理的回火温度选择 550 ℃。

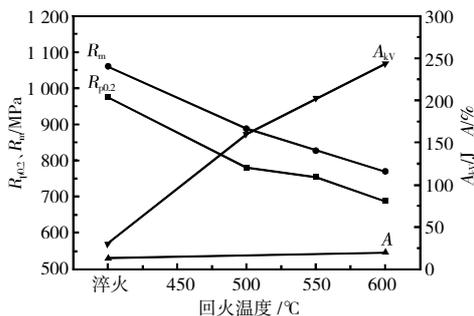


图 1 实验室调质处理后钢板性能

### 3 钢板的力学性能和组织

从 10 块 60 mm 厚钢板的板厚 1/4 处取横向拉伸试样和纵向冲击试样测试力学性能,钢板的屈服强度在 730~750 MPa,抗拉强度在 820~840 MPa,伸长率均在 17%~18%, $-20$  ℃冲击功都高于 220 J,同时还在钢板的心部取样进行冲击试验,心部冲击功约 180 J,稍低于板厚 1/4 处的冲击功,高于 GB/T

16270—2009 标准的性能要求。

60 mm 厚钢板板厚 1/4 处和心部的金相组织如图 2 所示,从金相组织来看,两个部位的组织没有明显区别,均为回火马氏体和贝氏体组织,只是心部由于淬火时冷却稍慢,晶粒稍大于板厚 1/4 处。原奥氏体晶界明显,在原奥氏体晶粒内部不同方向的板条束交错排列,将原奥氏体晶粒分割成若干区域,从而保证了钢板的具有高强度和高韧性的匹配。

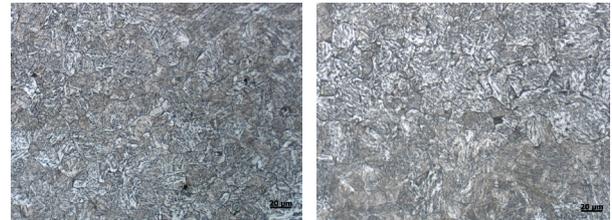


图 2 60 mm 厚钢板金相组织

### 4 结论

4.1 按照调质高强钢的成分设计理念,武钢开发了 800 MPa 级调质高强钢,生产的厚 60 mm、宽 3 800 mm、成品单重约 20 t 钢板板形和性能都满足生产交货要求。

4.2 钢板的组织为回火马氏体和贝氏体,其不同方向的板条束交错排列,将原奥氏体晶粒分割成若干区域,从而保证了钢板具有较好的强韧性匹配。

#### 参考文献:

- [1] 罗毅.800 MPa 级低合金高强钢板的开发生产[J].钢铁研究,2013,41(Z2):63-65.
- [2] 康健,王昭东,王国栋,等.低成本工程机械用 Q690E 级高强钢的热处理工艺与工业化[J].钢铁 2011,46(6):86-90.

## Development of 800 MPa Grade Quenched and Tempered Wide and Heavy Steel Plate

LUO Yi<sup>1</sup>, BAO Haiyan<sup>2</sup>

(1 Research and Development Center of Wuhan Iron and Steel (Group) Company, Wuhan 430080, China;

2 Echeng Iron and Steel Co., Ltd., Wuhan Iron and Steel Group, Ezhou 436002, China)

**Abstract:** The article introduces development of 800 MPa grade quenched and tempered wide and heavy steel plate. The steel plates with thickness of 60 mm, width of 3 800 mm, and weight of about 20 tons are designed by C-Mn-Cr-Mo and micro-alloyed such as Nb, V, Ti, etc., and produced by hot rolling and quenched and tempered processing. Their qualities satisfy the requirements of the delivery, and their microstructure was the tempered martensite and bainite observed by the optical microscope. The results show that original austenite grains are divided into martensite and bainite packets with different direction, thus ensuring the high strength and high toughness of the steel plate.

**Key words:** 800 MPa grade high-strength steel; wide and heavy plate; quenched and tempered; microstructure

(上接第 18 页)

## Pickling Technology of 400 Series Hot Rolled Ferritic Stainless Steel

LI Feng

(Shandong Taishan Iron and Steel Group Co., Ltd., Laiwu 271100, China)

**Abstract:** For the continuous pickling technology of the 400 series hot rolled ferritic stainless steel, the characteristics and composition of oxide coating on steel strip surface, elongation of scale breaker, the current and abrasives of shot blaster and influence of pickling process control on the surface quality of finished white rolls were analyzed. By means of the equipment improvement and production process optimization, the method of severe descale, moderate shot blasting and mild pickling is put forward. It can effectively remove the oxide coating on the surface of steel strip. The grade I products rate of the white rolls can be reached more than 98%.

**Key words:** ferritic stainless steel; pickling; oxide coating; scale breaker; shot blaster