

# Development of Q390DZ35 High Strength and High Resistance Layered Tear Steel Plate

Sa Yu, Shaopu Xu, Zhongbo Li, Tao Zhang, Zhenglei Tang

Hanye Iron and Steel Co. Ltd., Nanyang Henan  
Email: 946876225@qq.com

Received: May 30<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jun. 13<sup>th</sup>, 2019; published: Jun. 20<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

The production process of Q390DZ35 high strength and thick drawing with oxygen top-bottom combined blowing converter, LF furnace refining, slab continuous casting and TMCP is introduced. Through rational design of chemical composition and formulation of smelting, continuous casting and rolling processes suitable for our plant, Q390DZ35 high strength Z-directional steel was successfully developed by combining microalloying with TMCP technology. The product quality meets the requirements of GB/T1591-2018.

## Keywords

High Strength and Thick Drawing Steel, Development Process, Physical Properties

---

# Q390DZ35高强高抗层状撕裂钢板研制开发

于 飒, 许少普, 李忠波, 张 涛, 唐郑磊

南阳汉冶钢铁有限责任公司, 河南 南阳  
Email: 946876225@qq.com

收稿日期: 2019年5月30日; 录用日期: 2019年6月13日; 发布日期: 2019年6月20日

---

## 摘 要

介绍了采用氧气顶底复吹转炉及LF精炼和VD工艺, 利用连铸板坯浇注, 轧钢环节采用HY-TMCP工艺生产Q390DZ35高强高抗层状撕裂钢板。通过对化学成分模拟计算, 制定适合本公司的冶炼、连铸、轧制工艺, 利用微合金化和HY-TMCP技术, 成功开发了Q390DZ35高强Z向钢, 产品质量满足GB/T1591-2018及GB/T5313-2014要求。

## 关键词

高强厚拉钢, 研制工艺, 实物性能

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

南阳汉冶 3800 mm 宽厚板生产线于 2008 年 5 月顺利竣工投产, 为开发高附加值产品奠定了平台。随着经济的快速发展, 高强钢板等级不断提高, 为此, 公司开始研制 TMCP 交货的 Q390DZ35 高强钢板, 重点解决中厚板抗层状撕裂性能及焊接质量, 为大型承重结构的工程项目进一步应用提供坚实质量保证。实物钢板用于国家特殊用途项目及建筑重点工程, 产品质量稳定, 深受用户好评。

## 2. 主要设备及参数

120 t 转炉, 出钢量 90 t; 120 t LF 钢包精炼炉; R9.5 直弧型板坯连铸机, 断面尺寸 250~350 mm × 1650~2500 mm 带液面自动控制; 3800 mm 四辊可逆式粗精轧机; 高密度 ACC 层流冷却系统。

## 3. 技术要求

Q390DZ35 钢板化学成分和力学性能要求见表 1 和表 2。

Table 1. Chemical composition of Q390D Z35 steel

表 1. Q390DZ35 钢化学成分%

材质	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Als
Q390DZ35	≤0.16	≤0.50	≤1.55	≤0.015	≤0.003	0.015~0.030	0.02~0.04	0.01~0.02	≥0.015

由表 1 可见, Q390DZ35 对碳含量进行限制, 降低了 S、P 含量, 塑韧性及焊接性能进一步提高。

Table 2. Mechanical properties of Q390DZ35 steel plate

表 2. Q390DZ35 钢板力学性能

钢号	厚度/mm	Rel/MPa	Rm /MPa	A/%	-20℃纵向 AKI/J	180℃冷弯	屈强比	ψZ/%
Q390DZ35	>6~16	390	490~650	≥21	≥34	d = 2a	< 0.85	≥35
	>16~40	380	490~650	≥21	≥34	d = 3a	< 0.85	≥35
	>40~63	360	490~650	≥20	≥34	d = 3a	< 0.85	≥35
	>63~80	340	490~650	≥20	≥34	d = 3a	< 0.85	≥35

## 4. 化学成分设计

Q390DZ35 不仅要求高强度高塑韧性匹配, 同时要求良好的抗层状撕裂性能即厚拉性能。根据公司的生产的产品质量总结分析, 进行研发设计成分。

1) 成分设计是保证性能的基础, 结合化学成分中 C、Si、Mn、Al 等基础元素对于改善钢种强度和影响钢种塑韧性的综合作用, 以及 P、S 对于合金高强度类钢种的危害作用, 为充分发挥固溶强化与细晶强化的双重效果, 在不降低塑韧性的前提下, 确保钢板的各项性能指标均达到并高于标准的要求, 同时

确保生产成本最为经济。

2) 钢水中的杂质成分, 包括 S、P 及各类氧化物夹杂等易在钢水的凝固过程中产生严重的偏析, 对特厚板面的机械性能和冶金质量均会产生较大的影响。较好的内部质量获得, 并确保符合一级探伤标准, 洁净钢的冶炼是根本, 主要从两个方面来确保, 一是钢水中非金属夹杂物的总级别必须在 4.0 以内, 二是严格控制钢水中五大有害元素的含量。

3) 采用 Nb、V、Ti 复合微合金化

进行 Nb、V、Ti 微合金化处理, 利用细晶强化和沉淀强化的作用[1]进一步降低 TMCP 交货 Q390DZ35 钢板的碳含量, 碳含量降低后可以降低碳对贝氏体韧性的影响, 实现 TMCP 钢板的组织要求。Nb、V、Ti 是强碳氮化合物形成元素, Nb 可以提高再结晶终轧温度, 为钢板的粗轧环节细化晶粒提高韧性奠定基础。同时 Ti 与 N 的亲合力极强, 形成 TiN 颗粒[2], 在连铸钢坯加热过程中抑制因加热温度高晶粒长大的趋势。

## 5. 冶炼工艺设计

### 5.1. 原料

为了保证钢水纯净度, 铁水  $w[S] \leq 0.010\%$ ,  $w[P] \leq 0.14\%$ , 废钢加入量必须  $\leq 10 t$ , 温度  $\geq 1250^\circ C$ , 为了满足高拉碳操作, 避免钢水过氧化, 铁水按 90~105 t/炉装入。

### 5.2. 终点控制

转炉出钢过程中必须全程吹氩, 吹氩原则遵循“先强后弱”的原则, 通过采用低硫铁水、优质低硫废钢、降低辅料带入硫、铁水预脱硫后提高扒渣率等措施控制转炉回硫。转炉终点出钢  $C > 0.06\%$ 、 $w[P] \leq 0.01\%$ 、 $w[S] \leq 0.010\%$ , 同时控制好出钢温度, 降低钢水氧化性。

### 5.3. 脱氧合金化

为防止钢水经过精炼, 导致 C 含量增高, 采用低硅铁水进行双渣法冶炼, 倒渣过程实施大渣量除渣, 脱碳期保持炉渣高碱度。通过选用低磷合金、微碳锰铁、控制出钢口形状、炉后挡渣出钢、出钢过程严格控制下渣等措施防止回磷。

### 5.4. LF 炉精炼 + VD 炉

精炼严格按照大渣量工艺标准进行造渣, 杜绝渣稀现象发生; 造渣料以石灰、氧化铝球为主, 脱氧剂以铝粒、硅铁粉为主, 电石加入量根据碳含量适当加入, 确保白渣保持时间  $\geq 15 min$ 。LF 炉外精炼具有微调成分、氩气搅拌、泡沫渣埋弧加热、还原气氛白渣等, VD 到站  $1668^\circ C$ , 预抽 5 min 至真空, 保压 20 min 破空, 软吹 5 min 后  $1586^\circ C$  离站, 定氢 0.79 ppm 符合标准; 要求在 67 Pa 的真空度下, 保压时间  $\geq 20 min$ , 同时要求保压过程钢水翻腾效果良好; VD 离站温度:  $1570^\circ C \sim 1575^\circ C$ 。

### 5.5. 连铸工艺要求

采取 300 断面连铸机生产, 连铸典拉按照 0.80 m/min (对应钢水过热度控制在  $5^\circ C \sim 20^\circ C$ ) 控制, 采用合理的二冷制度。

## 6. 轧制工艺设计

### 6.1. 加热工艺

合理的钢坯加热制度即可以保证合金第二相粒子在加热过程中充分固溶, 又能保证奥氏体晶粒不发

生粗化, 钢坯的 Nb 元素完全固溶温度为 1150℃。在不同加热温度下的奥氏体晶粒变化图中可以看到, 加热温度从 1100℃提高至 1180℃时, 原始奥氏体晶粒尺寸仍然处于 60 μm 以下[3]; 当加热温度提高至 1250℃时, 原始奥氏体晶粒开始出现合并和不均匀长大, 晶粒尺寸达到 100 μm, 发生粗化。遵循钢坯充分加热原则, 选取合金充分固溶的平衡温度以上 30℃~50℃作为均热温度, 因此钢坯加热温度选定为 1170℃~1210℃, 加热时间按照 1 min/mm 进行计算。

## 6.2. 轧制工艺

采用 HY-TMCP 两阶段控温轧制工艺, 一阶段再结晶区轧制, 使钢板在高温阶段充分发生再结晶, 进行奥氏体晶粒细化[4]。为实现钢坯心部晶粒组织的充分碎化和缺陷的最大限度焊合, 必须保证轧制变形能够有效的传递到特厚钢板心部。对特厚钢板的轧制道次分配努力使钢坯心部组织在轧制过程中得到充分的变形。轧制过程中道次压下率依次增加, 获得一道次压下率为 17%的变形, 之后为保证板形则压下率逐渐降低。轧制时严格控制轧制力及轧制扭矩, 保证轧制力在 8600 吨以上, 轧制扭矩在 3200 KNm 以上, 同时加强弯辊力调节, 调控板形。

未再结晶区轧制阶段, 保持轧制变形量, 可以获得充分压扁的变形奥氏体, 积累形变和位错, 创造更多的形核位置, 促进相变后获得细小的相变组织。提高纵轧阶段压下率, 特别是转钢后纵轧阶段压下率, 对心部韧性改善效果显著。

## 6.3. 控冷工艺

在二阶段控轧结束后, 通过驰豫控制, 也就是通过变形奥氏体位错回复以及微合金元素的不断析出这一物理冶金过程, 影响中温区各组织的转变, 利用准多变形铁素体和针状铁素体等相得先期转变, 影响最终转变的组织类型, 造成有效的晶粒细化。新一代钢中加入 Nb、Ti、B 等微量元素, 他们在变形驰豫过程中会形成各种形式的应变诱导析出相, 他们对位错亚结构的钉扎作用大大增强了位错胞状结构的稳定性, 这是驰豫工艺实现组织超细化的主要因素之一。驰豫工艺(RPC)细化中温转变组织的第二个重要机制是, 驰豫过程中, 晶内大量变形位错重组, 形成有一定取向差的亚结构, 在位错胞状取向差增加时, 他们限制后续相变只能在一个胞的小范围内进行, 这些亚结构发生在驰豫阶段, 在进一步冷却相变时, 它们起到细化原始晶粒的作用[5]。

综上: 主要工艺参数为, 加热温度 1200℃~1240℃、开轧温度 ≤ 1050℃、终轧温度 ≤ 860℃、终冷温度 ≤ 660℃。

## 7. 试制结果及分析

汉冶在厚板生产线进行了合同生产, 连铸坯厚度为 300 mm, TMCP 交货试验 30 批, 成品钢板厚度为 30 mm、40 mm、50 mm、60 mm、80 mm 各 6 批, 各项性能指标满足 GB/T1591-2008 标准要求, 一次性试验成功。利用 1000 倍金相显微镜(德国卡尔蔡司 Axio Imager Aim)对试样组织进行检测, 其组织、机械性能见表 3 和表 4。检测过程中使用的主要设备包含光谱仪(德国斯派克 LAB-LAFFC01A)、万能材料试验机(山东时代 WE1000)、冲击试验机(深圳新三思 JB-300)等, 详见图 1。

Table 3. Metallographic structure of Q390Z35 steel plate

表 3. Q390Z35 钢板金相组织

厚度/mm	组织	晶粒度	夹杂物
30	F+P	10~10.5	≤1.5
40	F+P	10~10.5	≤1.5

Continued

50	F+P	9.5~10	≤1.5
60	F+P	9.0~9.5	≤1.5
80	F+P	8.5~9.5	≤1.5

**Table 4.** Mechanical properties of Q390DZ35 steel plate**表 4.** Q390DZ35 钢板力学性能

厚度/mm	项目	Rel/MPa	Rm/MPa	$\delta_5/\%$	冷弯	-20℃冲击	Rel/Rm	Z/%
30	范围	420~480	540~610	25~28	合格	250~290	0.77~0.82	45~63
	平均	445	562	27	合格	265	0.79	52
40	范围	410~477	533~600	24~28	合格	246~288	0.77~0.82	43~60
	平均	432	550	26	合格	259	0.79	49
50	范围	402~469	528~590	24~27	合格	233~280	0.77~0.82	40~59
	平均	425	544	25	合格	245	0.78	45
60	范围	398~463	525~588	23~27	合格	212~254	0.77~0.82	38~55
	平均	419	539	24	合格	223	0.78	42
80	范围	390~459	520~583	22~27	合格	198~223	0.75~0.82	36~52
	平均	405	530	24	合格	205	0.76	39

由表 3 和表 4 可知, 通过低夹杂物控制及 Nb、V、Ti 微合金复合和 HY-TMCP 控轧工艺及 PRC 驰豫工艺相结合, 达到细晶强化和析出强化的目的, 机械性能和 Z 向性能全部合格, 各项指标均有较大富余。

**Figure 1.** Detection device**图 1.** 检测设备

## 8. 结论

实践证明, Q390DZ35 采用洁净钢冶炼, 保证低倍质量情况下, 合理匹配微合金的使用量, 采用汉冶特色的 HY-TMCP 工艺及 PRC 驰豫工艺, 生产 Q390DZ35, 钢板晶粒细小、组织均匀, 具有良好的综合性能。

## 参考文献

- [1] 戴为志. 建筑钢结构焊接工程层状撕裂的产生机理及防止[J]. 焊接技术应用与研究, 2007, 36(8): 27-30.
- [2] 史永吉, 王辉, 方兴, 等. 钢材层状撕裂及抗层状撕裂焊接接头的设计[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(6): 69-74.
- [3] 唐复平, 常桂华, 栗红, 等. 超低碳钢中夹杂物的研究[J]. 钢铁, 2007, 42(1): 20-22.
- [4] 王有铭, 李曼云, 韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 105.
- [5] 刘中柱, 蔡开科. 纯净钢生产技术[J]. 钢铁, 2000, 35(2): 64-69.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2373-1478，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[meng@hanspub.org](mailto:meng@hanspub.org)