

冷轧 980 MPa 级马氏体钢产品研发

杨源远¹, 张秀飞², 黄 利¹, 刘 野²

- (1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 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)

摘 要: 文章根据冷轧 980 MPa 级马氏体钢技术要求进行了化学成分和生产工艺设计, 并采用中试平台开展了冷轧 980 MPa 级马氏体钢实验室退火工艺研究。研究表明, 采用相同化学成分及轧制工艺生产的冷轧 980 MPa 级马氏体钢通过调整退火缓冷温度得到的产品屈服强度为 750 ~ 940 MPa, 抗拉强度达到 1 020 MPa 以上, 延伸率在 10% 以上, 满足技术要求。明确了缓冷温度对冷轧 980 MPa 级马氏体钢组织性能的影响规律, 结合显微组织及成品机械性能确定该成分体系下均热温度为 800 °C、缓冷冷速为 3 °C/s、快冷冷速为 45 °C/s、快冷温度为 280 °C 时, 最佳缓冷温度为 680 °C。

关键词: 汽车钢; 马氏体; 冷轧; 抗拉强度; 显微组织

中图分类号: TG142. 24

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438 (2022) 06 - 0033 - 04

Research and Development of Cold Rolled 980 MPa Martensitic Steel Product

Yang Yuan - yuan¹, Zhang Xiu - fei², Huang Li¹, Liu Ye²

(1. Technical Center 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)

Abstract: In this paper, the chemical composition and production process are designed according to the technical requirements of cold rolled 980 MPa martensitic steel as well as the study of its annealing process in laboratory is carried out with pilot - scale test platform. The study results showed that the yield strength was 750 ~ 940 MPa, tensile strength reached over 1 020 MPa and elongation was over 10% for the products of cold rolled 980 MPa martensitic steel produced with the same chemical composition and rolling process through adjusting the slow cooling temperature of annealing, which could meet technical requirements. The effect laws of slow cooling temperature on microstructure and properties of cold rolled 980 MPa martensitic steel are clear and definite as well as the soaking temperature is determined to be 800 °C, slow cooling rate is determined to be 3 °C/s, rapid cooling rate is determined to be 45 °C/s and the optimum slow cooling temperature is determined to be 680 °C when rapid cooling temperature is 280 °C with the composition system combining with the microstructure and mechanical properties of finished products.

Key words: automobile steel; martensite; cold rolling; tensile strength; microstructure

汽车用钢市场顺应着能源和环保要求下对汽车车身减重的需要,对于汽车用先进高强钢的需求越来越多^[1]。冷轧马氏体钢板属于超高强度的先进高强汽车钢。冷轧马氏体钢板主要是按照钢板的抗拉强度来进行分级,980 MPa 级别的钢板通常用于汽车安全结构件的制造^[2]。最早生产冷轧马氏体钢的主要是日本和瑞典等一些拥有先进轧制设备及大型连续退火线的钢企^[3-4],国内对于冷轧马氏体钢的研发稍晚。宝钢于 2009 年开始具备部分级别的马氏体钢供货能力,目前已经具备生产 980~1 400 MPa 级的冷轧马氏体钢板的能力^[5]。鞍钢刘志伟^[6]等人采用常规喷气冷却连续退火机组研制出超高强冷轧耐候马氏体钢,并对其显微组织和力学性能进行了研究。

为了顺应汽车钢市场的需要,填补包钢冷轧汽车钢产品的空白,利用中试试验平台开展冷轧 980 MPa 级马氏体钢冶炼、热轧、冷轧及退火生产工艺研究,设计并生产出的冷轧 980 MPa 级马氏体钢满足技术标准要求,为冷轧 980 MPa 级马氏体钢工业化生产奠定理论基础。

1 试验材料及试验方案

1.1 冷轧 980 MPa 级马氏体钢产品技术要求

980 MPa 级冷轧马氏体钢的技术要求见表 1、表 2。

表 1 化学成分要求(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al _t
≤0.20	≤2.2	≤3.0	≤0.02	≤0.025	≥0.01

表 2 力学性能要求

$R_{t0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A_{80}/\%$
700~960	≥980	≥2

1.2 产品化学成分

根据冷轧 980 MPa 级马氏体钢产品的技术要求,设计产品的化学成分体系。冷轧马氏体钢的显微组织类型主要是马氏体,马氏体的含量直接决定了钢板的强度级别^[7]。冷轧马氏体钢板的马氏体组织主要依靠快速淬火获得,因而获得较高的力学性能。因此,设计马氏体钢成分时,考虑添加的合金元素含量不高,合金体系主要以 C-Si-Mn 为基础,再添加少量的 Cr 元素以增加淬透性^[8]。综上因素设计出的马氏体钢成分如表 3 所示。

表 3 钢种成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al _t	Cr
0.13~0.14	0.50~0.55	1.70~1.80	≤0.020	≤0.010	0.038	0.25~0.35

1.3 轧制工艺

1.3.1 生产工艺流程

试验在中试试验平台进行,工艺流程为真空冶炼炉炼钢→热轧机组轧制→酸洗→冷轧机组冷轧→连续退火机组连续退火。

1.3.2 主要工艺参数

利用中试试验平台 550 mm 热轧机组完成热轧试验,热轧原料厚度为 110 mm,经 9 道次轧制,最终目标厚度为 3.5 mm。主要工艺参数见表 4,各道次压下率见表 5。

表 4 主要工艺参数 °C

精轧开轧温度	精轧终轧温度	模拟卷取温度
1 230 ± 10	880 ± 10	580 ± 10

表 5 热轧压下规程

道次	厚度/mm	压下率/%
0	110.0	
1	85.0	23
2	54.0	36
3	32.0	41
4	18.0	44
5	11.5	36
6	8.0	30
7	5.8	28
8	4.3	26
9	3.5	19

热轧完成后对热轧成品进行酸洗,去除表面氧化铁皮,利用实验室冷轧机组进行冷轧,产品目标厚度为 1.0 mm,冷轧总压下率为 71%。

1.4 连续退火工艺

1.4.1 CCT 曲线和奥氏体化曲线模拟计算

为确定冷轧 980 MPa 级马氏体钢的连续退火方案,利用软件计算冷轧 980 MPa 级马氏体钢的 CCT 曲线和奥氏体化曲线,计算得出产品组织转变温度理论值如表 6 所示。

表 6 冷轧 980 MPa 级马氏体钢组织转变温度理论值 $^{\circ}\text{C}$

A_{c1}	A_{c3}	B_s	M_s	M_f
737	815	584	402	292

1.4.2 退火工艺方案

冷轧 980 MPa 级马氏体钢通过连续退火机组生产,采用的连续退火工艺主要包括加热、均热、缓冷、快冷、过时效和终冷等几个工艺过程。其中重要的工艺过程包括均热过程(即奥氏体化)、缓冷过程、快冷过程等。冷轧 980 MPa 级马氏体钢需要经过缓

冷获得铁素体,再经过快冷获得马氏体。均热段设计的温度决定了奥氏体化的程度,快冷设定温度决定了马氏体最终形成量,这些工艺参数的设定对冷轧 980 MPa 级马氏体钢产品的力学性能起着决定性作用。为了明确缓冷温度对冷轧 980 MPa 级马氏体钢组织性能的影响,根据设计的成分体系和组织转变温度模型计算,结合实验室研究设备的技术条件,确定冷轧 980 MPa 级马氏体钢退火工艺方案如图 1、表 7 所示。

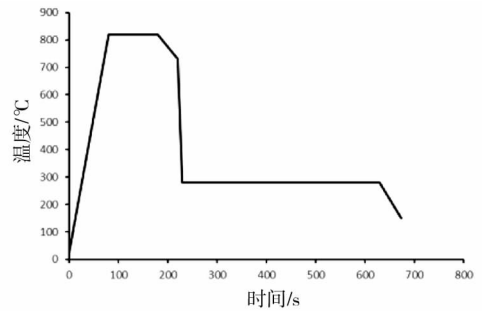


图 1 连续退火冷却曲线

表 7 连续退火工艺参数设计

工艺	加热段	均热段		缓冷段		快冷段		过时效段(保温)		终冷段
	加热速度 $/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1})$	温度 $/^{\circ}\text{C}$	时间 $/\text{s}$	冷却速度 $/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1})$	温度 $/^{\circ}\text{C}$	冷却速度 $/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1})$	温度 $/^{\circ}\text{C}$	温度 $/^{\circ}\text{C}$	时间 $/\text{s}$	温度 $/^{\circ}\text{C}$
工艺 1	10	820	100	3	730	45	280	280	400	150
工艺 2	10	820	100	3	700	45	280	280	400	150
工艺 3	10	820	100	3	680	45	280	280	400	150
工艺 4	10	820	100	3	670	45	280	280	400	150

2 试验结果

2.1 产品的显微组织

图 2 为热轧产品显微组织。

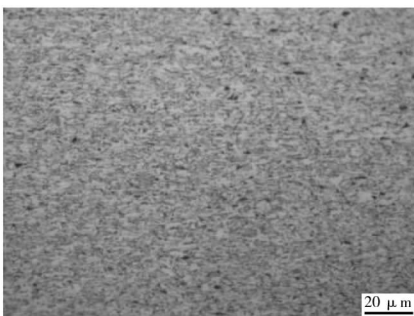


图 2 热轧后显微组织

由图 2 可见,冷轧 980 MPa 级马氏体钢热轧产品的显微组织为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体。

将工艺 1、工艺 2、工艺 3、工艺 4 退火产品取样进行显微组织观察,对应的编号分别为 a、b、c、d,具体见图 3。

由图 3 可见,经过冷轧及连续退火后,冷轧马氏体钢 980MS 的显微组织以马氏体为主,含有少量铁素体。随着缓冷温度的降低,铁素体比例逐渐增大,分布也变得更加均匀。

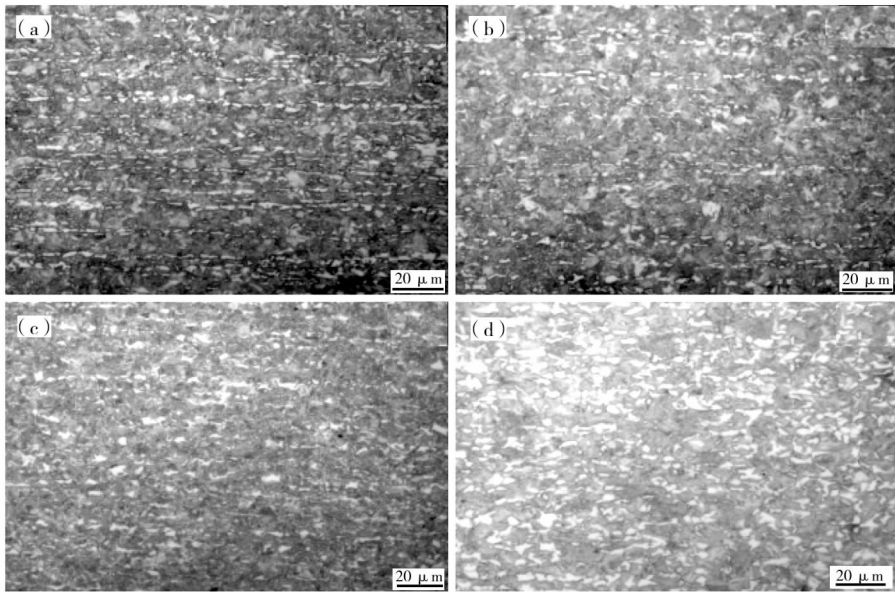


图 3 退火后显微组织

2.2 产品力学性能

冷轧 980 MPa 级马氏体钢产品力学性能如表 8 所示,产品的屈服强度、抗拉强度和延伸率符合要求。

表 8 力学性能要求和实际结果

项目	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A_{80}/\%$
技术要求	700 ~ 960	≥ 980	≥ 2.0
工艺 1	937	1 157	10.5
工艺 2	911	1 152	10.0
工艺 3	871	1 098	11.5
工艺 4	750	1 020	12.5

由表 8 可见,工艺 1—工艺 4 下的产品机械性能均符合标准要求,工艺 1、工艺 2 的产品强度余量较大,伸长率偏低,工艺 4 的产品抗拉强度余量较小,在实际生产过程中存在抗拉强度低于标准的风险。结合显微组织及成品机械性能可确定该成分体系下均热温度为 800 ℃、缓冷冷速为 3 ℃/s、快冷冷速为 45 ℃/s、快冷温度为 280 ℃时,最佳缓冷温度为 680 ℃。

3 结论

(1)以 C 含量为 0.13% ~ 0.14%、Mn 含量为 1.70% ~ 1.80%,同时添加 0.25% ~ 0.35% 的 Cr 元素的成分体系生产出的冷轧 980 MPa 级马氏体钢产

品的力学性能满足产品技术要求。

(2)试验热轧板的显微组织类型为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体。经过冷轧及连续退火后,冷轧马氏体钢 980MS 的显微组织以马氏体为主,含有少量铁素体。

(3)通过调整退火缓冷温度得到的产品屈服强度为 750 ~ 940 MPa 之间、抗拉强度达到 1 020 MPa 以上,延伸率为 10% 以上,满足技术要求。随着缓冷温度的降低,显微组织中铁素体含量逐渐增大,强度呈下降趋势。

(4)通过设置不同的缓冷温度调整 980 MPa 级马氏体钢铁素体含量,结合显微组织及成品机械性能可确定在该成分体系下均热温度为 800 ℃、缓冷冷速为 3 ℃/s、快冷冷速为 45 ℃/s、快冷温度为 280 ℃时,最佳缓冷温度为 680 ℃。

参 考 文 献

- [1] 黄儒荣,唐晓明,管强. 汽车用特钢供需状况调研[J]. 特钢技术,2004,(2):61-66.
- [2] 马鸣图. 汽车用合金结构钢的现状和研究进展[J]. 汽车工艺与材料,2004,(1):1-5.
- [3] 周澍,陈乃录,张伟氏,等. 水在不同温度和流速下冷却能力的测量[J]. 金属热处理,2008,33(6):69-72.

解,人人有责,层层负责,安全管理得以具体化,建立了以 247 个班组级网格为基本管控对象的管理模式。安全管理与生产经营活动深度融合,确保风险分级管控、危险作业监管许可、大型复杂作业安全措施方案到位,确保了各项制度、措施下沉到基层,落到实处。2021 年实现轻伤及以上事故为零的总目标,安全培训、职业健康、三类人员持证等管理目标均全部达标。

4.2 直线管理层安全履职能力显著提高

通过“235”安全管理体系的构建与实施,各专业条线项目负责人基本掌握从“确认管理主体”到“确认标准”“风险预控”“严格履职监督”,直至“验收闭环”的全流程管理方法。形成自觉履行专业技术监管职责,主动解决安全技术问题的自主意识,为安全标准化和企业安全文化建设打下良好基础。

4.3 全员参与安全管理的积极性进一步提高

通过标准化班前会创建工作,全体职工形成在作业前进行安全确认、作业中保持标准化作业、作业后总结通报信息的良好氛围。职工参与安全自主改善的积极性空前高涨,宝山矿业公司年度安全类自主改善项目 120 余项,有利于安全的工艺、设备类自主改善项目超过 400 项,年奖励额度超过 50 万元,正向激励机制激发了职工安全自主改善的热情。全体职工必要的自我保护意识、主动安全防护技能和

自主安全管理水平的显著提高,最大限度地降低了生产安全事故风险,推动了企业安全、健康、和谐发展。

“235”安全管理体系实施一年,宝山矿业公司 2021 年实现了轻伤及以上责任事故为零的目标。

5 结束语

随着“235”安全管理体系的构建与实施,宝山矿业公司 2021 年实现轻伤及以上责任事故为零的目标,全员安全生产责任意识进一步提升,直线管理层安全履职能力进一步增强,安全风险防控及隐患排查治理水平进一步提高,违章违制行为得到有效管控和消减,全员参与安全管理的积极性进一步提高,符合国家安全发展战略,符合公司安全发展现状,能够有效、迅速提高公司安全管理水平,值得肯定与推广。

参 考 文 献

- (上接第 36 页)
- [1] 张继涛. 强化现场管控 夯实安全基础——山东能源淄矿集团唐口煤业公司创建“235”安全管理模式纪实[J]. 当代矿工, 2016, (12): 32-33.
 - [2] 衣冠勇, 李涛. 浅议煤矿“全面安全管理”[J]. 煤矿安全, 2003, 34(6): 49-50.
 - [3] 康永林. 现代汽车板工艺及成形理论与技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
 - [4] 夏立芳. 金属热处理工艺学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2012.
 - [5] 朱晓东, 李伟, 薛鹏. 水温对冷轧马氏体钢板淬火冷却速度和性能的影响[J]. 宝钢技术, 2016, (5): 1-5.
 - [6] 刘志伟, 郭晓洪, 张瑞琦, 等. 超高强度冷轧马氏体钢的组织与性能[J]. 上海金属, 2017, 39(4): 47-50.
 - [7] 孟庆格, 李俊, 徐德超. 过时效处理对冷轧超高强马氏体钢板组织与性能的影响[J]. 金属热处理, 2014, 39(4): 76-80.