终冷温度对中碳合金钢组织和性能的影响*

李 钊[1],赵 进[2],赵莉萍[3],陈建华[1]

(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化检验中心,内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章针对包钢2 250 mm热轧产线采用两段式冷却,设定不同的终冷温度对中碳合金钢的显微组织和性能进行了研究。结果显示,随着终冷温度由500 ℃降至100 ℃,试验钢金相组织由"铁素体+珠光体"组织逐渐演变为"铁素体+马氏体"组织,屈服强度与抗拉强度迅速上升,延伸率逐渐下降,当终冷温度达到320 ℃时,试验钢开始发生了马氏体转变。应市场需求,终冷温度设定为320 ℃时,试验钢在保证了力学性能的基础上,满足了客户45°冷弯试验性能合格。

关键词: 终冷温度; 中碳合金钢; 金相组织; 冷弯试
中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)05-0041-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.05.012

Effects of Finish Cooling Temperature on Microstructure and Properties of Medium Carbon Alloy Steel

Li Zhao[1], *Zhao Jin*[2], *Zhao Li-ping*[3], *Chen Jian-hua*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Chemical Inspection Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is studied the microstructure and properties of medium carbon alloy steel by setting different finish cooling temperatures with two-stage cooling of 2 250 mm hot rolling production line of Baotou Steel. The results showed that as the finish cooling temperature was decreased from 500 ℃ to 100 ℃, the metallographic structure of the test steel was gradually evolved from the structure of "ferrite + pearlite" to the structure of "ferrite + martensite", the yield strength and tensile strength were increased rapidly as well as the elongation was gradually decreased. When the finish cooling temperature reached 320 ℃, the test steel began martensite transformation. According to the market demand, when the finish cooling temperature is set to 320 ℃, the performances of test steel were qualified with customer's 45° cold bend test on the basis of ensuring mechanical properties.

* **收稿日期:** 2019-05-21
作者简介: 李 钊(1986-),男,山西省大同市人,硕士,工程师,现从事新产品研发推广工作。

Key words: finish cooling temperature; medium carbon alloy steel; metallographic structure; cold bend test

中碳合金钢因其强韧性好，加工性能优良等综合特点而被广泛应用于制造业的重要零部件[1-3]。然而，表面硬度低，易磨损是导致中碳合金钢使用周期短的主要缺点。业内现有成熟工艺是通过表面改性技术提高中碳合金钢的表面硬度以及耐磨性[4]。但表面改性工艺成本高，工艺繁琐，可操作性差，不适宜于连续生产。本文利用包钢2 250 mm热轧产线的先进设备，采用卷取过程中两段式冷却工艺对同一中碳合金钢设定不同的终冷温度，研究两段式冷却后中碳钢的组织和性能与终冷温度之间的关系，为中碳合金钢在实际生产过程中的控轧控冷以及表面硬度的改善提供了可靠的理论依据。

1 生产工艺流程

包钢中碳合金钢热轧卷板的基本生产工艺流程为：高炉铁水→铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→LF炉外精炼→RH真空处理→板坯连铸→缓冷→板坯加热→高压水除鳞→定宽压力机→E1R1粗轧机轧制→E2R2粗轧机轧制→飞剪→高压水除鳞→F1～F7精轧机轧制→加密型层流冷却→卷取→托盘运输系统→入库→取样、检验→称重、包装。其中加密型层流冷却过程采用两段式冷却模式。

1.1 化学成分

试验钢化学成分见表1。

表1 化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	Ti	B	Al_t
≤0.21	0.35～0.50	≤1.45	≤0.015	≤0.005	≤0.40	≤0.025	≤0.020	0.000 7～0.001 7	≤0.050

1.2 热轧工艺

表2为稀土钢板材厂生产中碳合金试验钢热轧工艺参数。为了保证合金元素的充分固溶，要求保证热轧加热炉预热段、加热段以及均热段的时间，热轧粗轧模式由二级自主选择。加密型层流冷却过程采用两段式冷却模式(如表2所示)，精轧终轧结束后，前段控制冷却速度先形成一部分铁素体与残余奥氏体组织；后段冷却过程中，不限定冷却速度，设定不同的终冷温度，对比试验钢的组织与性能。

表2 分段冷却参数

精轧终轧温度/℃	前段冷速/(℃·s^{-1})	中间温度/℃	空冷时间/s	终冷温度/℃
860±15	45	650	5	500
				435
				320
				100

2 结果分析

2.1 终冷温度对机械性能的影响

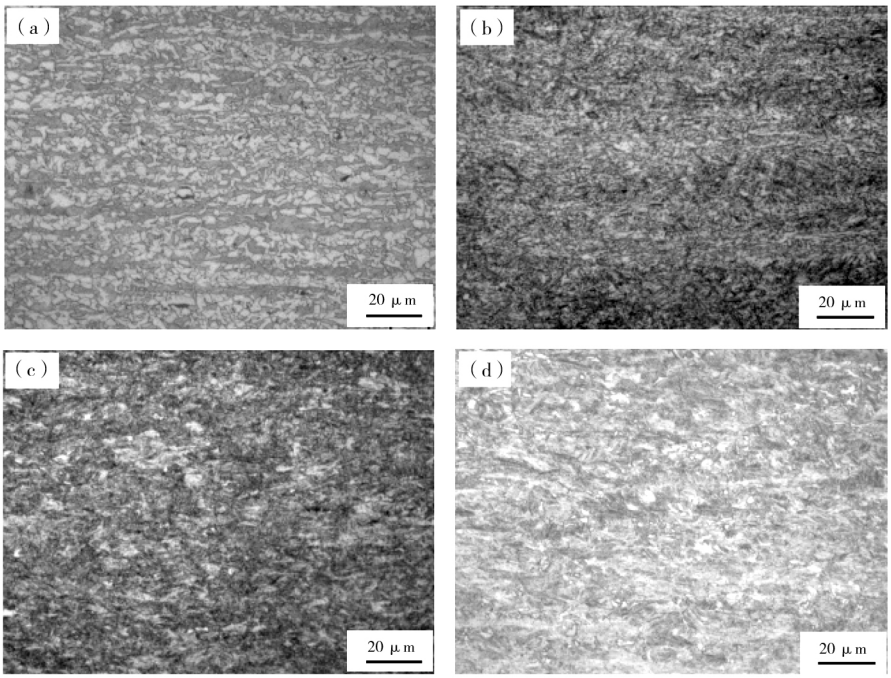
本文采用德国ZWICK拉伸试验机对不同终冷温度下的试样进行机械性能测定。表3为不同终冷温度下的拉伸试验结果，结果显示，随着终冷温度的降低，强度增加，延伸率降低。终冷温度为500 ℃时，拉伸试验屈服强度445 MPa，抗拉强度831 MPa，延伸率20%；终冷温度为435 ℃时，拉伸试验屈服强度692 MPa，抗拉强度867 MPa，延伸率15%；终冷温度320 ℃时，拉伸试验屈服强度970 MPa，抗拉强度1 043 MPa，延伸率12%；终冷温度为100 ℃时，拉伸试验屈服强度1 146 MPa，抗拉强度1 226 MPa，延伸率降至9.5%。

表3 不同终冷温度下的拉伸试验结果

中间温度/℃	终冷温度/℃	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	屈强比	延伸率/A_{50}%
650	500	445	831	0.54	20.0
650	435	692	867	0.80	15.0
650	320	970	1 043	0.93	12.0
650	100	1 146	1 226	0.93	9.5

2.2　终冷温度对组织的影响

钢的金相显微组织是决定其力学性能的重要组成部分，而热轧卷板的显微组织又是通过冷却过程中的中间温度与终冷温度决定的[5-6]。图 1 为不同终冷温度下的试验钢金相显微组织转变产物。中间温度650 ℃时，试验钢显微组织产物为先析出的铁素体和残余奥氏体。终冷温度 500 ℃时，转变产物为铁素体 + 珠光体组织；终冷温度 435 ℃时，转变产物为铁素体 + 贝氏体组织；终冷温度 320 ℃时，开始出现马氏体，组织为三相组织，即铁素体 + 贝氏体 + 少量马氏体组织；终冷温度 100 ℃时，转变产物为铁素体 + 马氏体组织。



(a) 终冷温度 500 ℃；(b) 终冷温度 435 ℃；(c) 终冷温度 320 ℃；(d) 终冷温度 100 ℃

图 1　不同终冷温度下试验钢显微组织转变产物

2.3　终冷温度对中碳合金钢组织和硬度的影响

表 4 为不同终冷温度下中碳合金试验钢硬度与金相组织的关系表，表中结果显示，中间温度 650 ℃，随着终冷温度的降低，硬度均值变大，韧性变差。当终冷温度为 500 ℃时，表面硬度均值 210HB，45°与 90°冷弯均不开裂，韧性良好，但表面硬度差。当终冷温度降低至 100 ℃时，残奥全部转变为马氏体，表面硬度均值达到 426HB，但韧性差，45°与 90°弯曲均不合格。只有当终冷温度达到 320 ℃时，相变开始出现马氏体组织，在提升了表面硬度的同时，保证了中碳合金钢一定的使用韧性，45°弯曲能够合格，90°弯曲试验开裂不合格。

表 4　不同终冷温度下中碳合金试验钢硬度和显微组织关系表

中间温度 /℃	终冷温度 /℃	硬度 HB				冷弯		金相组织
		1	2	3	均值	45°	90°	
650	500	206	210	214	210	合格	合格	铁素体 + 珠光体
650	435	261	261	264	262	合格	合格	铁素体 + 贝氏体
650	320	342	340	357	346	合格	不合格	铁素体 + 贝氏体 + 马氏体
650	100	429	428	420	426	不合格	不合格	铁素体 + 马氏体

3 结论

(1) 在本工艺条件下的中碳合金试验钢，随着终冷温度的降低，硬度增加，韧性变差，显微组织由“铁素体+珠光体”逐渐转变为“铁素体+马氏体”。

(2) 研究发现，本试验钢终冷温度320 ℃时，开始出现马氏体组织转变，终冷温度100 ℃时，试验钢为铁素体与马氏体等双相组织。

(3) 应市场需求，终冷温度设定为320 ℃时，试验钢的显微组织为铁素体+马氏体+贝氏体组织，表面布氏硬度均值346HB，拉伸试验屈服强度970 MPa，抗拉强度1 043 MPa，延伸率12%，在保证能够满足下游工序一定冷弯变形性(45°弯曲合格)的同时，表面硬度达到了标准要求的300HB以上，使该试验钢板具有一定的耐磨性能。

参 考 文 献

[1] 陈希原，沈长安. 38CrMoAl主驱动齿轮低真空变压气体渗氮[J]. 热处理技术与装备，2012，33(3)：30－34.

[2] 陈立奇，颜培庆，姬俊祥. 42CrMo钢零件的气体渗氮[J]. 热处理，2016，31(2)：33－36.

[3] 周贤良，许武波，华小珍，等. 渗氮时间对38CrMoAl钢液相等离子体渗氮层组织及性能影响[J]. 材料热处理学报，2014，35(8)：176－181.

[4] 李坤茂，刘静，杨峰，等. 38CrMoAl和42CrMo合金钢碳氮复合渗工艺[J]. 铸造技术，2017，38(8)：1848－1851.

[5] 鲁修宇，刘静，贾涓，等. 回火温度对高强度低碳贝氏体钢组织和性能的影响[J]. 金属热处理，2012，37(1)：72－76.

[6] 王权，孙婷婷，白雅琼. 冷却速度对超低碳微合金钢组织和性能的影响[J]. 金属热处理，2015，40(2)，148－151.

(上接第32页)

弹率低，粘接性强，强度高，无塌落现象，主沟通铁量由16万t提高到22万t。

经过不断的优化喷涂料的组成成分以及根据现场实际生产情况调整施工工艺参数，目前该喷涂技术已经在7#、8#高炉全面推广使用，喷涂后的7#、8#高炉主沟的最大通铁量已经达到32万t，达到了行业的先进水平。

5 结论

(1) 喷涂料的材质以高铝粉、刚玉和焦粉为主要原料，SiC的加入量在15%～20%之间，配以适量的结合剂和复合添加剂可以显著提高喷涂料的附着率、粘接强度、耐侵蚀性能和热震稳定性。

(2) 喷补料的粒度组成：粒度＞1.25 mm的占45%，0.088～1.25 mm的占28%，0.44～0.88 mm的占6%，0～0.44 mm的占20%。

(3) 采用喷涂技术后，主沟通铁量可由原来的16万t提高到22万t，最高可达32万t，有效降低了生铁成本。

参 考 文 献

[1] 傅燕乐. 高炉操作[M]. 北京：冶金工业出版社，2006.

[2] 张世爵，吴忠发. 武钢高炉炉前技术的革新和发展[J]. 炼铁，2001，(S1)：58.

[3] 武杏荣，曹枫，周磊，等. 高炉出铁沟喷补料试验室研制[J]. 耐火材料，2001，35(3)：172－173.