不同锰铬含量对贝氏体钢组织转变的影响*

李智丽，寇沙沙，白雅琼

（内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 文章利用全自动相变仪对不同锰铬含量的贝氏体钢组织转变进行了试验研究，对比分析了不同锰铬元素含量对贝氏体钢过冷奥氏体相变点的影响，并研究了不同转变温度对贝氏体钢组织转变的影响，试验结果表明贝氏体钢组织转变的最佳温度为330 ℃，为贝氏体钢生产工艺开发提供了理论依据。

关键词： 贝氏体钢；相变点；组织转变

中图分类号： TG142.1 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2021)01－0073－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.021

Effects of Different Contents of Mn and Cr on Microstructure Transformation of Bainite Steel

Li Zhi－li, Kou Sha－sha, Bai Ya－qiong

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the experimental study on microstructure transformation of bainite steel with different contents of Mn and Cr using full automatic transformation measuring apparatus is introduced. The effects of different contents of Mn and Cr on transformation point of undercooled austenite are compared and analyzed as well as the effects of different transformation temperatures on microstructure transformation of bainite steel are also studied. The experimental results showed that the optimum temperature of microstructure transformation for bainite steel was 330 ℃, which provides theoretical basis for developing production process of bainite steel.

Key words: bainite steel; transformation point; microstructure transformation

贝氏体钢是一类高强度、高韧性、多用途的新型钢种，是近几十年来社会需求和现代冶金技术发展的必然结果[1]。本文针对贝氏体钢轨开展了实验室热模拟试验研究，对比分析了合金元素、冷却速度、转变温度对贝氏体钢轨组织转变的影响，为贝氏体钢轨生产工艺的制定提供了理论依据。

1 试验材料及方法

贝氏体钢轨试验钢的化学成分见表1。利用Formastor－F全自动相变仪对贝氏体钢轨进行热模拟试验。试样尺寸为Φ3 mm×10 mm，试样一端开Φ2 mm×2 mm的小孔见图1。利用蔡司DMI光学显微镜对热模拟试样进行显微组织观察。

* 收稿日期：2020－08－13

基金项目：国家重点研发计划项目(2017YFB0304504)。

作者简介：李智丽(1971－)，女，辽宁省盘锦市人，硕士，正高级工程师，从事金属材料热处理及物理检测工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1 贝氏体钢轨试验钢的化学成分(质量分数) %

编号	C	Si + Mn	Ni + Mo + Cr	P,S
1#	0.22	3.50	2.00	≤0.01
2#	0.22	3.30	1.70	≤0.01

注:试验钢2#的合金元素比1#的Mn含量降低0.2%、Cr含量降低0.3%,其它合金元素含量基本相同。

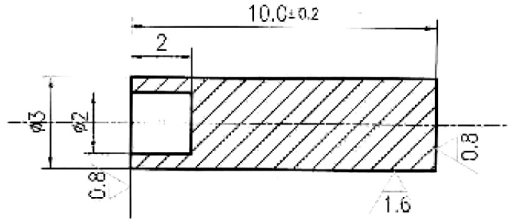


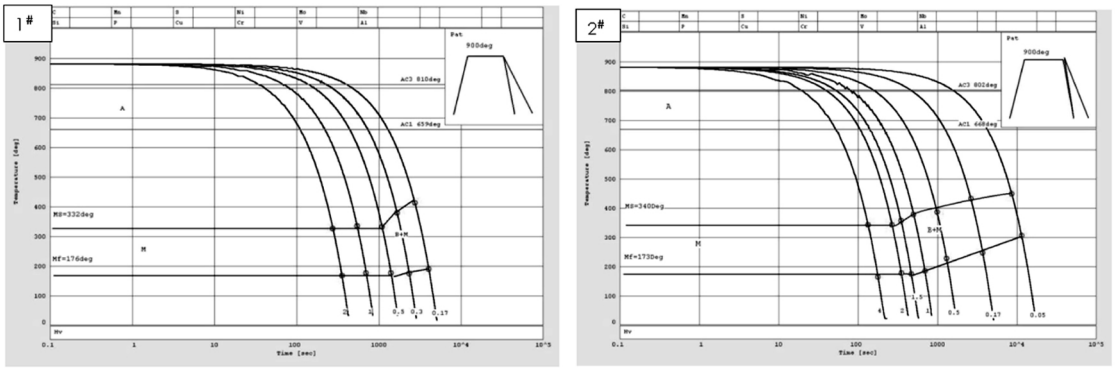
图1 贝氏体试验钢的试样形状尺寸(mm)

2 贝氏体钢轨热模拟试验研究

2.1 贝氏体钢轨的连续冷却转变试验研究

将1#和2#试样以200 ℃/h的速度加热到900 ℃,分别测得奥氏体化温度为820 ℃和815 ℃,然后分别将试样以10 ℃/s的速度加热到奥氏体化温度保温10 min进行连续冷却模拟试验,分别以4 ℃/s、2 ℃/s、1.5 ℃/s、1 ℃/s、0.5 ℃/s、0.17 ℃/s、0.05 ℃/s冷却速度冷却到室温,获得不同冷速下的热膨胀曲线,并绘制CCT曲线,如图2(a、b)所示。

对比分析1#和2#贝氏体钢轨试验钢在不同冷速下的相变温度及显微组织,见表2。分析相同冷速下的贝氏体开始转变温度,冷速为0.5 ℃/s时1# Bs=332 ℃、2# Bs=386 ℃,1#试样Bs降低了54 ℃;冷速为0.17 ℃/s时1#试样Bs=412 ℃、2# Bs=432 ℃,1#试样Bs降低了20 ℃;相同冷速下的马氏体开始转变温度,冷速为2 ℃/s时1#试样Ms=332 ℃、2#试样Ms=340 ℃。1#和2#试样比对分析表明,Mn含量提高0.2%、Cr含量0.3%可使贝氏体的开始转变温度降低20~54 ℃,马氏体开始温度也降低约8 ℃。



(a) 1# (b) 2#

图2 不同锰铬含量贝氏体钢轨试验钢的CCT曲线

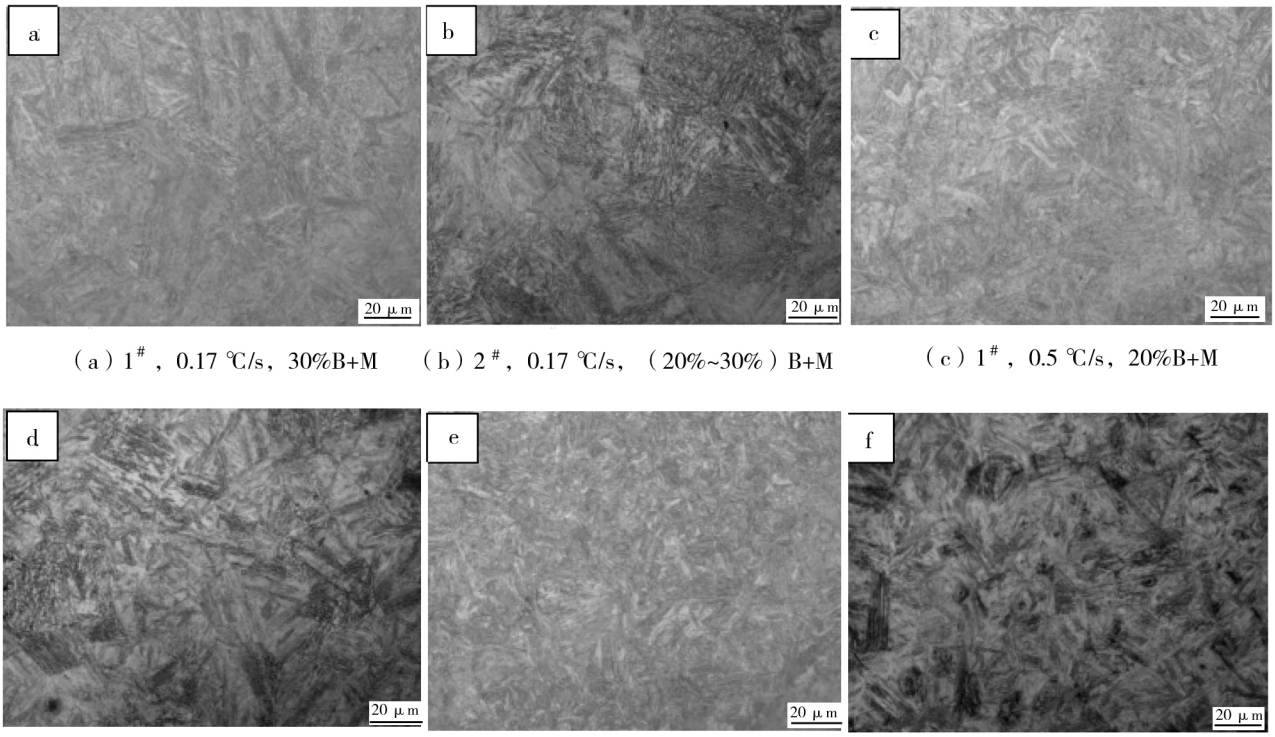
表2 不同冷速下的相变温度、时间及显微组织

冷速/(℃·s⁻¹)	贝氏体转变开始温度/℃		马氏体转变开始温度/℃		马氏体转变结束温度/℃		转变时间/s		显微组织	
	1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#
2.00			332	342	167	173	79	82	M	M
1.00		377	335		176	185	161	192	(20%~30%) B+M	90% M+B
0.50	332	386			176	228	314	314	(20%~30%) B+M	(15%~20%) B+M
0.17	412	432			189	246	1 310	1 094	30% B+M	(20%~30%) B+M

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

从表 2 的试验结果可知，随着冷速从 0.17 ℃/s 提高到 0.5 ℃/s，1#试样的贝氏体开始转变温度从 412 ℃降低至 332 ℃，2#试样的贝氏体转变开始转变温度从 432 ℃降低至 386 ℃，随着冷速进一步提高至 1 ℃/s，2#试样的贝氏体开始转变温度进一步降低至 377 ℃。

对不同冷速下的热模拟试验试样进行显微组织分析，如图 3 所示。图 3(a、c、e) 所示是 1#试样，图 3(b、d、f) 所示是 2#试样，随着冷速的提高，贝氏体开始转变温度下降，1#试样和 2#试样的显微组织结构和各相比例也随之发生变化，表现为贝氏体开始转变温度越低，得到的显微组织越细。从组织中的贝氏体含量分析，冷却速度越慢，组织中的贝氏体含量越高，也验证了贝氏体转变的半扩散型机制学说[2]。



(a) 1#, 0.17 ℃/s, 30%B+M　(b) 2#, 0.17 ℃/s, (20%~30%) B+M　(c) 1#, 0.5 ℃/s, 20%B+M

(d) 2#, 0.5 ℃/s, (15%~20%) B+M　(e) 1#, 1 ℃/s, (20%~30%) B+M　(f) 2#, 1 ℃/s, 90%M+B

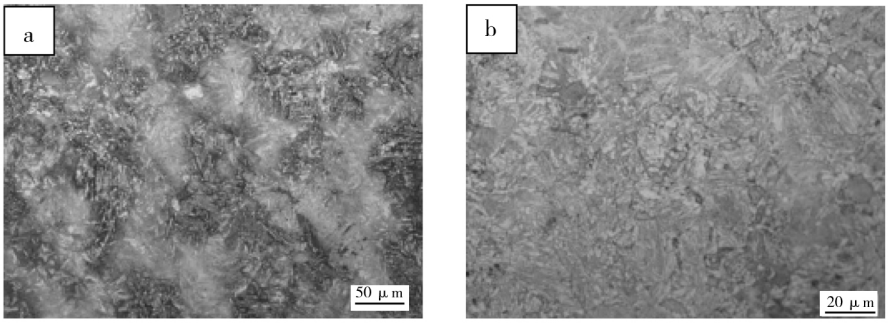
图 3　不同冷速连冷转变的显微组织

显微组织对比分析可以看出 1#试样在各冷速下的显微组织相对 2#明显细化，且贝氏体含量略高。合金元素 Mn、Cr 能够降低 Bs 点、提高贝氏体的淬透性[1]，1#试样比 2#试样的贝氏体开始转变温度降低了 20～54 ℃，较低的贝氏体转变温度使以扩散型控制的贝氏体转变的扩散距离缩小，因此所获得的贝氏体显微组织变细。同时，1#试样在 0.5 ℃/s冷速时贝氏体开始转变温度为 332 ℃，与马氏体开始转变温度非常接近，使得显微组织中贝氏体和马氏体转变次第发生，分布均匀，也进一步提高了贝氏体马氏体复合组织的均匀性。

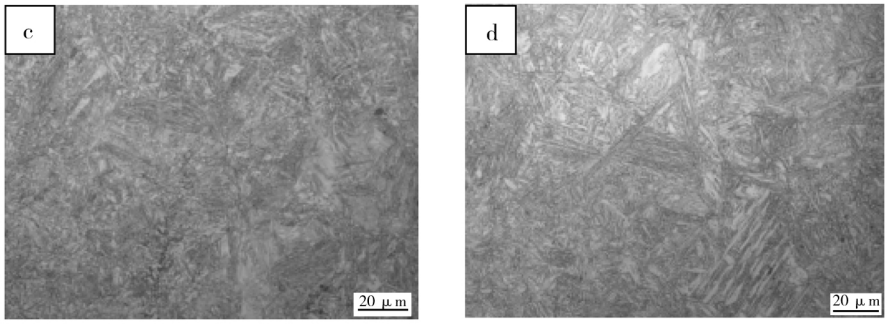
2.2　贝氏体钢轨等温冷却转变的热模拟试验研究

在连续冷却转变热模拟试验研究的基础上，为进一步研究贝氏体转变规律，选取 1#试样，在贝氏体转变温度区间内设计了等温转变试验方案[2-3]。将 1#试样以 10 ℃/s 的速度加热到奥氏体化温度 900 ℃保温 10 min，以 0.3 ℃/s 速度冷却到 770 ℃，之后以 3 ℃/S 的冷速分别冷却到 390 ℃、360 ℃、330 ℃、300 ℃等温 30 min，之后空冷到室温。对比分析了 1#试样在不同转变温度下，贝氏体、马氏体转变的组织形貌和相含量，见图 4(a—d)。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



（a）390 ℃，（20%~30%）B+M　　（b）360 ℃，（40%~50%）B+M



（c）330 ℃，（60%~70%）B+M　　（d）300 ℃，（20%~30%）B+M

图4　1#试样不同温度等温转变的显微组织

图4(a—d)中深灰黑色的部位为贝氏体组织，浅黄色部位是马氏体组织。试样经不同温度等温转变，显微组织为贝氏体+马氏体组织，但无论是显微组织形貌还是贝氏体和马氏体两相的含量都有着明显的差异。随着等温转变温度的降低，贝氏体转变量先增加后减少，390 ℃等温转变时贝氏体含量20% ~ 30%，360 ℃等温转变时贝氏体含量40% ~50%，330 ℃等温转变时贝氏体含量60% ~70%，300 ℃等温转变时贝氏体含量20% ~30%，在330 ℃等温转变时贝氏体含量达到了最高值，表明330 ℃等温时贝氏体转变的孕育期最短，有利于促进贝氏体转变，能够获得较高的贝氏体转变量，同时该温度转变的显微组织细小均匀，如图4(c)所示；390 ℃等温转变贝氏体孕育期长、贝氏体转变量少，且显微组织中贝氏体和马氏体两相的显微组织形貌有明显差异，如图4(a)所示；360 ℃等温转变贝氏体组织有粗化现象，如图4(b)所示；300℃等温转变已经进入马氏体区，本模拟试验设计等温转变时间为0.5 h，由于该钢种成分设计，奥氏体较为稳定，因此仍有部分奥氏体在后续空冷过程中发生贝氏体转变，如图4(d)所示。

3　结论

(1) 合金元素Mn、Cr能够降低Bs点、增加0.2%Mn含量、0.3%Cr含量可使贝氏体的开始转变温度降低20 ~ 54 ℃，马氏体开始温度也降低约8 ℃，对合理选用贝氏体钢种提供理论依据。

(2) 等温转变温度控制在330 ℃有利于促进贝氏体转变，该温度下转变的贝氏体显微组织细小均匀，同时贝氏体转变量较高。

参　考　文　献

[1] 贺信莱. 高性能低碳贝氏体钢[M]. 北京: 冶金工业出版社，2008.

[2] 杨颖，侯华兴. 一种高性能超低碳钢CCT曲线及组织的研究[J]. 鞍钢技术，2008，(4)：27 -30.

[3] 陈朝阳，周清跃. 试验用贝氏体钢轨钢连续冷却曲线的测定及组织特征[J]. 铁道学报，2005，27(3)：35 -39.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net