

Mo 含量对 B+ 级钢金相组织及力学性能的影响

刘海德, 于光才, 孙书来, 张 涛

(中车眉山车辆有限公司, 四川眉山 620032)

摘要: B+级钢 (ZG25MnCrNi) 是铁路货车摇枕、侧架主要用材料, 该钢种未规定Mo含量控制范围, 实际生产中由于废钢中含有一定量的Mo, 常造成该钢种金相组织异常及力学性能不合格。通过研究不同Mo含量对B+级钢金相组织及力学性能的影响, 提出B+级钢中Mo元素的控制范围和金相组织及力学性能不合格的解决方案。

关键词: B+级钢; 金相组织; 力学性能; Mo含量; ZG25MnCrNi

B+级钢是我国铁路行业根据美国AAR的M-201规范提出的一个力学性能介于B级钢和C级钢之间的牌号。目前, 该牌号国内采用的钢种是: ZG25MnCrNi, 化学成分见表1, 力学性能见表2, 该钢种属于低碳低合金铸钢, 是我国铁路货车摇枕、侧架主要采用的材质。本文所提及的B+级钢均指ZG25MnCrNi。从表1可以看出, 该钢种未对Mo含量作要求。

实际生产中, 由于废钢中常常含有Mo, 采用电弧炉熔炼不能有效去除Mo, 造成部分B+级钢热处理后金相组织异常, 力学性能不合格。据了解, 国内多家货车铸钢件生产企业均出现过此类质量问题。B+级钢的热处理工艺为正火热处理, 为达到规定的屈服强度, 出炉后冷却方式为风冷。统计实际生产近千冶炼炉次分析发现, 当B+级钢中Mo含量大于0.05%时, 在风冷的情况下, 显微组织中有粒状贝氏体, 试棒的断后伸长率及冲击吸收功明显下降。Mo含量小于等于0.05%时, 显微组织中基本没有粒状贝氏体。

1 试验材料与方法

本试验选取实际生产中的不同Mo含量的B+级钢基尔试棒, 试棒从每包钢液开始浇注至浇注到25%之间取得, 钢液采用的是碱性电弧炉进行熔炼, 化学成分采用直读光谱仪进行分析, 试验选取用钢化学成分如表3所示。

试棒随铸件一起采用悬挂连续式热处理炉进行正火热处理, 正火保温温度910 °C, 保温时间3 h, 风冷采用的是变频轴流风机, 其热处理工艺方案见表4。

热处理后对不同Mo含量的试棒进行金相组织分析、拉力试验及低温冲击试验^[1]。对金相组织异常的B+级钢进行不同工艺热处理, 然后再进行金相组织分析、拉力试验及低温冲击试验^[2-3]。

表1 B+级钢化学成分

Table 1 Chemical composition of grade B+ steel

w_B /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
0.23 ~ 0.29	0.30 ~ 0.50	0.80 ~ 1.00	≤0.030	≤0.030	0.30 ~ 0.50	0.20 ~ 0.40	≤0.30	0.02 ~ 0.08

表2 B+级钢力学性能

Table 2 Mechanical properties of grade B+ steel

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{0.2}$ /MPa	断后伸长率 $A_{4.52}$ /%	断面收缩率 Z /%	冲击吸收功 KV_2 /J
≥550	≥345	≥24	≥36	≥20(-20 °C)

作者简介:

刘海德(1982-), 男, 工程师, 主要研究方向为铁路货车用铸钢件材料及热处理。E-mail: liuhaide@163.com

中图分类号: TG142.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)

07-0789-04

收稿日期:

2021-03-10 收到初稿,

2021-04-07 收到修订稿。

表3 试验用B+级钢的化学成分
Table 3 Chemical composition of experimental grade B+ steel

类别	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo
1 [#]	0.24	0.39	0.88	0.012	0.009	0.38	0.23	0.18	0.036	0.02
2 [#]	0.23	0.37	0.92	0.019	0.015	0.35	0.24	0.15	0.037	0.06
3 [#]	0.26	0.42	0.95	0.020	0.011	0.35	0.22	0.18	0.035	0.09
4 [#]	0.24	0.35	0.95	0.016	0.012	0.38	0.24	0.14	0.038	0.22

表4 B+级钢试样热处理工艺
Table 4 Heat treatment process of experimental grade B+ steel

试样编号	热处理工艺	冷却方式
1-1	1 [#] 试样一次正火	风冷
2-1	2 [#] 试样一次正火	风冷
3-1	3 [#] 试样一次正火	风冷
3-2	3 [#] 试样一次正火	空冷
3-3	试样3-1第二次正火	风冷
3-4	试样3-1第二次正火	空冷
3-5	试样3-1进行高温回火，回火保温温度530℃，保温时间3h	空冷
4-1	4 [#] 样一次正火	风冷

2 试验结果与分析

2.1 Mo含量对B+级钢金相组织的影响

B+级钢正常金相组织为片状珠光体+块状铁素体，图1为采用吹风进行冷却的不同Mo含量的B+级钢金相组织。含有微量Mo的金相组织为片状珠光体+块状铁素体，未有异常组织（图1a）；当Mo含量达到0.06%时，其金相组织为片状珠光体+块状铁素体+少量灰色异常

组织（图1b）。在500×下灰色组织形态为粒状或长条状组织弥散分布在铁素体基体上，形成众多小岛的复相组织，为粒状贝氏体组织（图1c），随着Mo含量的增加，金相组织中的粒状贝氏体含量逐渐增加（图1d）；当Mo含量达到0.22%时，金相组织为细小珠光体+铁素体+网状分布粒状贝氏体（图1d）。

我们将3[#]试样一次正火后空冷，试样（3-2）金相

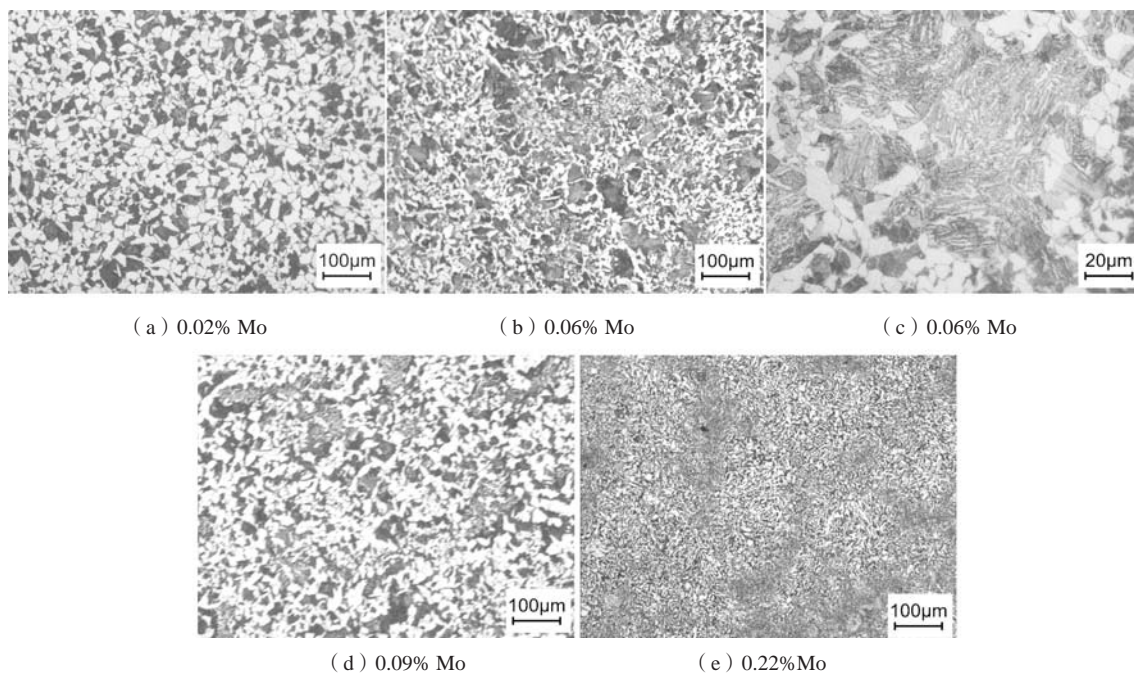


图1 不同Mo含量的B+级钢金相组织

Fig. 1 Microstructure of grade B+ steel with different amounts of Mo

未见异常组织(图2a)。我们对3-1试样进行重新正火热处理,重新正火后采用风冷的试样(3-3)金相组织中铁素体、珠光体明显细化,金相组织中依然有粒状贝氏体(图2b);采用空冷的试样(3-4)金相组织已无粒状贝氏体(图2c)。从上述试验可以看出,冷却速度对B+级钢金相组织有较大影响,降低冷却速度可以避免贝氏体组织的产生,有粒状贝氏体组织的B+级钢也可以通过重新正火热处理后缓慢冷却消除。我们将3-1号试样进行一次高温回火,其金相组织见图2d,经过高温回火,B+级钢贝氏体组织已经转变为针状铁素体+索氏体的混合组织。

Mo元素会造成C曲线右移,其结果就是减小了

过冷度,提高了钢的淬透性。含有一定量Mo的B+级钢,在较快冷却情况下,部分未完成铁素体向珠光体转变的过冷奥氏体在贝氏体转变温度会发生贝氏体转变。从金相组织形貌来看,形成的是粒状贝氏体组织。粒状贝氏体是由大块状或条状铁素体内分布着众多小岛的复相组织,是过冷奥氏体在上贝氏体转变温度区上部的转变产物^[4-5]。

2.2 Mo含量对B+级钢力学性能的影响

不同Mo含量的B+级钢试样力学性能见表5。可以看出,在同样风冷条件下,随着Mo含量的增加,抗拉强度和屈服强度明显增加,断后伸长率和断面收缩率

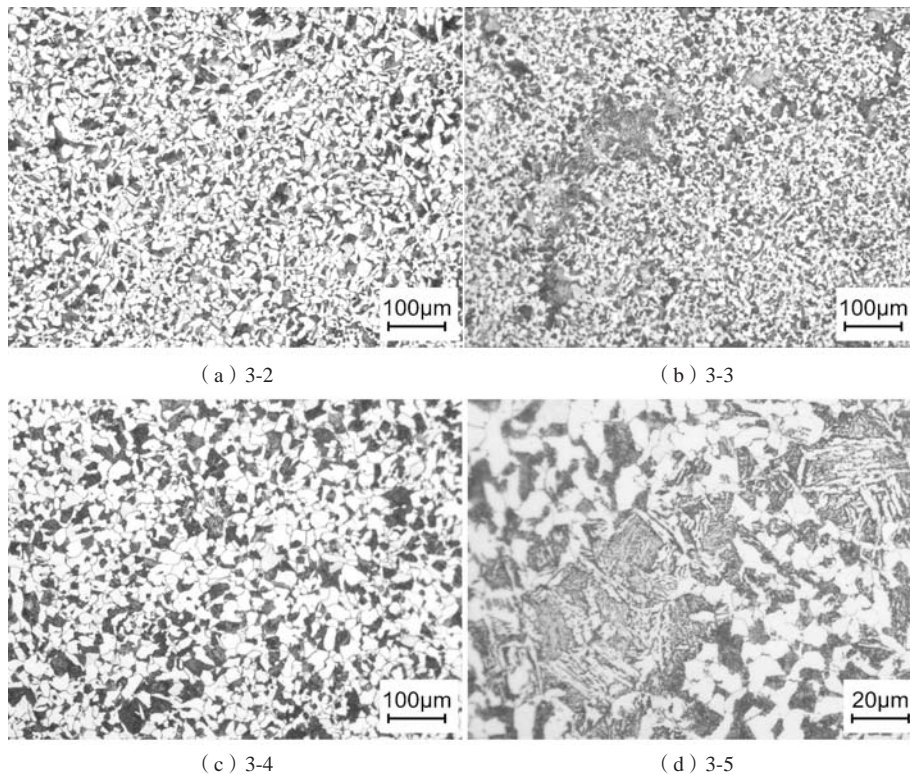


图2 不同热处理工艺情况下的B+级钢金相组织

Fig. 2 Microstructure of grade B+ steel treated by different heat treatment processes

表5 B+级钢试样力学性能
Table 5 Mechanical properties of experimental grade B+ steel

试样编号	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{eL} /MPa	断后伸长率 $A_{4.52}$ /%	断面收缩率 Z /%	冲击吸收功-20 °C KV_2 /J
1-1	606	362	26.0	48	51.0
2-1	658	383	20.0	33	29.0
3-1	677	397	19.0	27	17.0
3-2	629	389	26.0	48	40.0
3-3	649	388	22.5	32	19.5
3-4	619	374	28.0	49	56.5
3-5	632	404	28.0	58	47.5
4-1	752	525	12.0	21	10.0

明显降低, 低温冲击吸收功下降明显。结合金相组织分析得知, 金相组织中的粒状贝氏体组织对力学性能有较大影响, 贝氏体组织含量越多, 其断后伸长率及冲击吸收功下降越明显。含0.06%Mo的B+级钢在风冷的情况下, 断后伸长率和断面收缩率已不合格。

含0.09%Mo的B+级钢试样空冷后, 由于组织中没有贝氏体组织, 力学性能较理想。3-1试样经过第二次正火热处理, 其晶粒度变细, 综合力学性能有较大提升, 但第二次正火热处理在风冷的情况下, 由于仍有粒状贝氏体组织出现, 其断后伸长率指标依然不合格, 低温冲击吸收功也不合格, 第二次正火热处理空冷力学性能较优。

我们对3-1试样进行高温回火热处理, 由于贝氏体组织转变成了针状铁素体+索氏体混合组织, 其断后伸长率和低温冲击吸收功明显提升, 所有力学性能指标

均满足了B+级钢的要求。

3 结论

(1) 含有一定量的Mo的B+级钢在较快冷却速度下, 会发生贝氏体转变, 其金相组织为珠光体+铁素体+粒状贝氏体。随着Mo含量的增加, B+级钢中的粒状贝氏体组织会增多。含0.09%Mo的B+级钢采用空冷可避免粒状贝氏体组织的产生。

(2) B+级钢中的粒状贝氏体组织对力学性能影响较大, 特别是断后伸长率及低温冲击吸收功, 易造成力学性能不合格。重新正火热处理后缓冷可以消除粒状贝氏体组织。

(3) 实际生产中应控制B+级钢中的Mo含量, B+级钢中的Mo含量宜控制在不大于0.05%范围。

参考文献:

- [1] 李燕昭, 王光辉, 杜学山, 等. Mo对炼镁还原罐用奥氏体耐热钢组织及高温抗氧化性能的影响 [J]. 铸造, 2019, 68(11): 1215-1219.
- [2] 曹琨, 赵子文, 祁庆花, 等. 碳当量对合成铸铁力学性能的影响 [J]. 铸造, 2019, 68(11): 1232-1236.
- [3] 刘艳辉, 毛红奎, 刘佩叶, 等. 冷却速度对ZM5镁合金凝固组织与性能的影响 [J]. 铸造, 2017, 66(3): 286-289.
- [4] 席慧智, 谷万里, 高玉芳. 工程材料 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2001: 134-139.
- [5] 《热处理手册》编委会. 热处理手册: 第1卷 [M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2001: 106-114.

Effect of Mo Content on Microstructure and Mechanical Properties of Grade B+ Steel

LIU Hai-de, YU Guang-cai, SUN Shu-lai, ZHANG Tao
(CRRC Meishan Co., Ltd., Meishan 620032, Sichuan, China)

Abstract:

The bolsters and side frames for railway wagons were manufactured mainly using grade B+ steel. However, the control range of Mo content in the grade B+ steel is not specified. Therefore, the actual production using scrap steel with a certain content of Mo often results in abnormal metallographic structure and unqualified mechanical properties. In this work, the influence of Mo content on the metallographic structure and mechanical properties of the steel was studied, and the control range of Mo element in the grade B+ steel and the solution of the unqualified metallographic structure and mechanical properties are proposed.

Key words:

grade B+ steel; metallographic structure; mechanical properties; molybdenum content; ZG25MnCrNi