

SWRCH35KM 冷镦钢热模拟试验分析

吕刚¹, 周乐育², 赵晓敏¹, 杨鲁明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. 北京机电研究所有限公司, 北京 100083)

摘要:采用 Gleeble - 1500 热模拟试验机测试了 SWRCH35KM 试验钢的连续冷却相变规律。通过在线球化热模拟试验, 研究终轧后珠光体球化相变规律。不同冷却速度下均发生了铁素体珠光体转变, 随着冷却速度增加, 铁素体显微组织特征有所变化。冷却速度在 2 °C/s 以下时, SWRCH35KM 试验钢的金相组织为铁素体和珠光体, 随着冷却速度逐渐增加, 金相组织中不断出现针状铁素体并伴随有魏氏体组织, 同时铁素体相比之前更为细化, 其体积分数占比也逐渐降低。利用 SWRCH35KM 试验钢热模拟试验数据, 按照组织相变规律, 为了得到理想的金相组织, 工业生产中将严格控制轧控冷, 尤其是斯太尔摩冷却线的控冷方式, 保证获得细小铁素体和球化珠光体组织。

关键词:免退火; 相变规律; 珠光体在线球化

中图分类号: V249.4

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438(2022)05 - 0085 - 05

Analysis on Thermal Simulation Test of SWRCH35KM Cold Heading Steel

Lv Gang¹, Zhou Le-yu², Zhao Xiao-min¹, Yang Lu-ming¹

- (1. Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;

2. Beijing Research Institute of Mechanical and Electrical Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: The phase transition law of continuous cooling for SWRCH35KM test steel is tested with Gleeble - 1500 thermal simulated test machine. The phase transition law of spheroidization of pearlite after final rolling is studied by the thermal simulation test of online spheroidization. There are transformations of ferrite and pearlite at different cooling rates as well as the characteristics of microstructure for ferrite change with the increase of cooling rates. When the cooling rate is below 2 °C/s, the metallographic structure of SWRCH35KM test steel is ferrite and pearlite. With the cooling rate gradually increases, the acicular ferrite along with Widmanstätten structure appear continuously in the metallographic structure. Meanwhile, the ferrite is more refined than before and its volume fraction is also gradually reduced. Based on the phase transition law of microstructure and with thermal simulation test data of SWRCH35KM test steel, rolling and cooling will be strictly controlled in industrial production in order to obtain ideal metallographic structure, especially the controlled cooling mode of Stelmor cooling line to ensure to obtain fine ferrite and spheroidized pearlite.

Key words: without annealing; phase transition law; on-line spheroidization of pearlite

冷镦钢是工业线材中极其重要的一类钢种,其主要用于紧固件、标准件、螺钉螺栓等的加工生产,受紧固件、标准件等的服役性能要求,冷镦钢必须具有较好的变形能力、光洁的表面质量及优异的深加工性能,这样才能满足标准及用户的要求^[1]。

SWRCH35K 是作为生产 8.8 级紧固件的主要材料之一,常规生产工艺需要对盘条进行退火后再进行后续深加工,退火工序不仅增加用户加工成本,同时还消耗大量能源,因此开发免退火的 SWRCH35KM 冷镦钢盘条从发展趋势上看是符合市场需要的。钢厂通过对盘条组织性能的控制,减少了后续的退火处理,在生产工序方面降低了生产成本,具有较好的经济效益。

本文采用 Gleeble - 1500 热模拟试验机测试了 SWRCH35KM 冷镦钢的组织相变规律;通过在线球化热模拟试验,研究终轧后珠光体球化相变规律,从而为工业试制免退火 SWRCH35KM 提供数据指导。

1 试验材料及方法

试验材料为免退火 SWRCH35KM 中试试验试样,在 Gleeble - 1500 热模拟试验机进行了 SWRCH35KM 冷镦试验钢的组织相变分析,试验方案是将 $\Phi 8 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 试样加热到奥氏体化后,其温度为 $1\ 050\text{ }^{\circ}\text{C}$,随后进行保温,保温时间为 300 s ,然后快速冷却,冷却到相变开始温度 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$,变形 50% ,然后设计 8 种冷却速度,分别为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $10\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 和 $25\text{ }^{\circ}\text{C/s}$,冷却到室温,对不同的冷却速度下的金相组织进行观察。

2 相变规律

2.1 过冷奥氏体连续冷却转变曲线

采用 Gleeble - 1500 热模拟试验机测试了 SWRCH35KM 冷镦试验钢的组织相变规律,工艺示意图见图 1。

根据 SWRCH35KM 冷镦试验钢不同冷却速度下的组织相变点形成 CCT 曲线见图 2。

由图 2 可以看出,在形变诱发下,不同冷却速度下均产生铁素体和珠光体,在冷却速度为 $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 之前,随着试样冷却速度的增加,铁素体开始转变的初始温度变化较小,当超过 $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 后,铁素体开始转变的初始温度有所降低。对于珠光体组织转变相比

铁素体转变,其开始转变温度的变化较为微小,珠光体组织转变终止的温度在 $635\sim 645\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,随着冷却速度的不断增加,其终止转变温度将进一步降低^[2]。

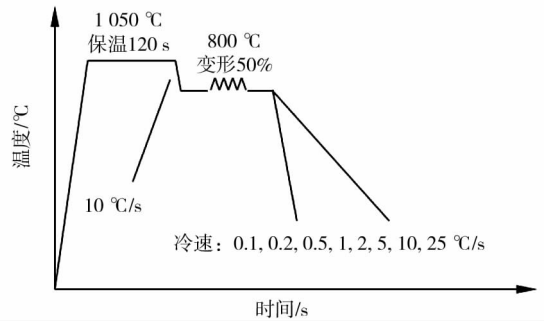


图 1 CCT 热模拟工艺示意图

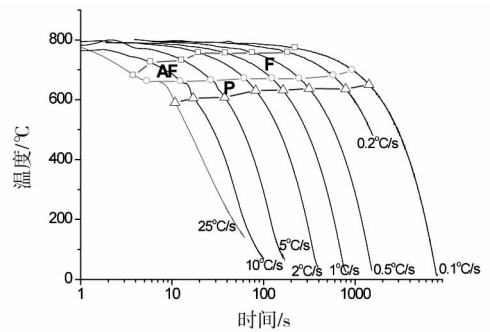


图 2 试验钢 CCT 曲线

2.2 不同冷速下显微组织

针对试验过程中的金相组织,采用光学显微镜进行观察,其冷却速度分别为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$,不同冷却速度下的显微组织见图 3。同时对上述不同冷却速度下的晶粒尺寸、体积分数和形态进行了统计分析,见表 1 和图 4。

SWRCH35KM 冷镦试验钢在冷却过程中均产生了铁素体和珠光体,随着冷却速度的不断增加,铁素体形貌发生了一定变化, $0.1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $1\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 、 $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 这几个冷却速度下,铁素体均呈现多边形,但是当冷却速度大于 $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 时,开始出现魏氏体组织,当冷却速度达到 $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 时出现针状铁素体,随着冷却速度的增加,其晶粒尺寸也在逐渐减小。

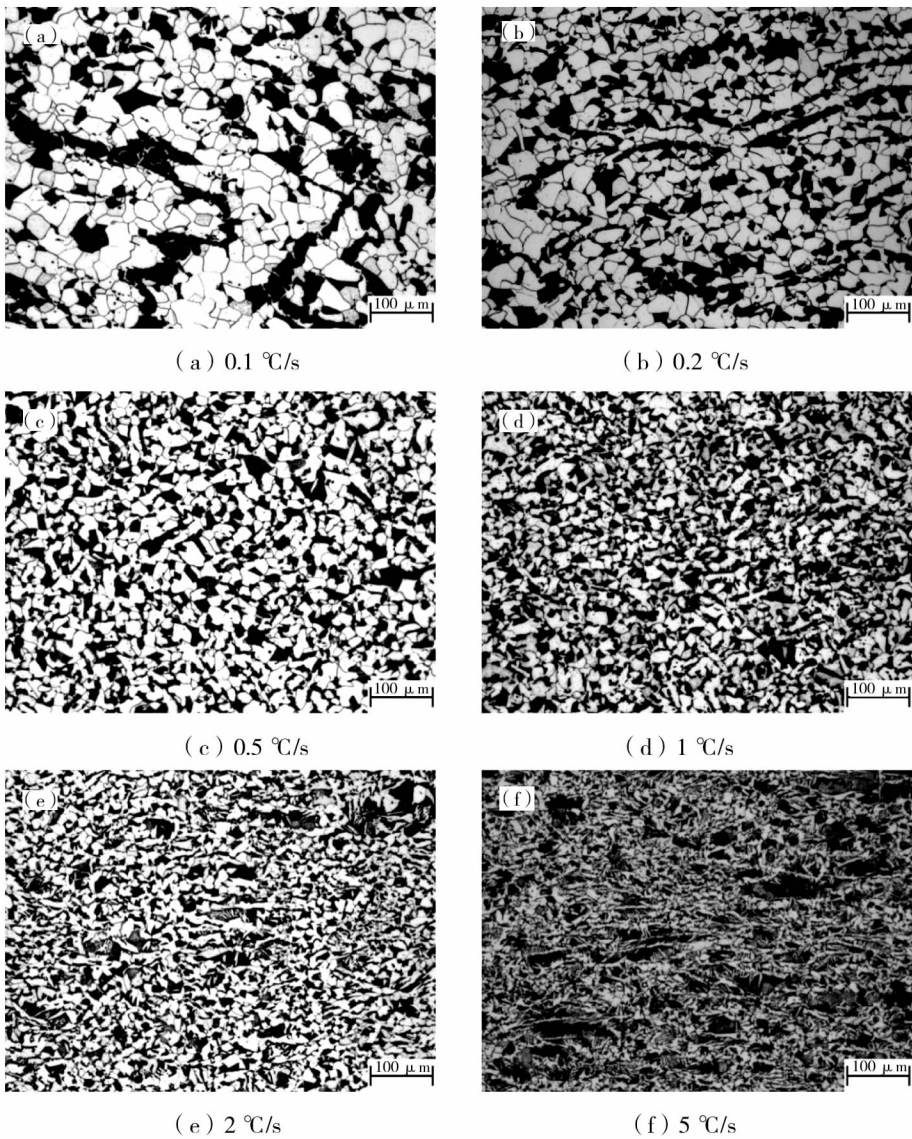


图3 不同冷却速度的显微组织

不同冷却速度的铁素体显微组织特征见表1。

表1 不同冷速的铁素体显微组织特征

冷却速度 $/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$	晶粒尺寸 $/\mu\text{m}$	体积分数 $/\%$	形态
0.1	21.0	67	多边形
0.2	20.7	62	多边形
0.5	19.3	62	多边形
1.0	17.2	60	多边形
2.0	11.9	56	多边形 + 少量魏氏体组织
5.0	9.2	42	多边形 + 少量魏氏体组织 + 针状

对组织中的珠光体形态进行了 SEM 观察,如图4所示。

由图4可知,SWRCH35KM 冷镦试验钢在不同冷却速度下进行组织相变时,其珠光体组织形态为片层状和粒状^[3],随着冷却速度的增加逐步出现球化倾向,见表2。

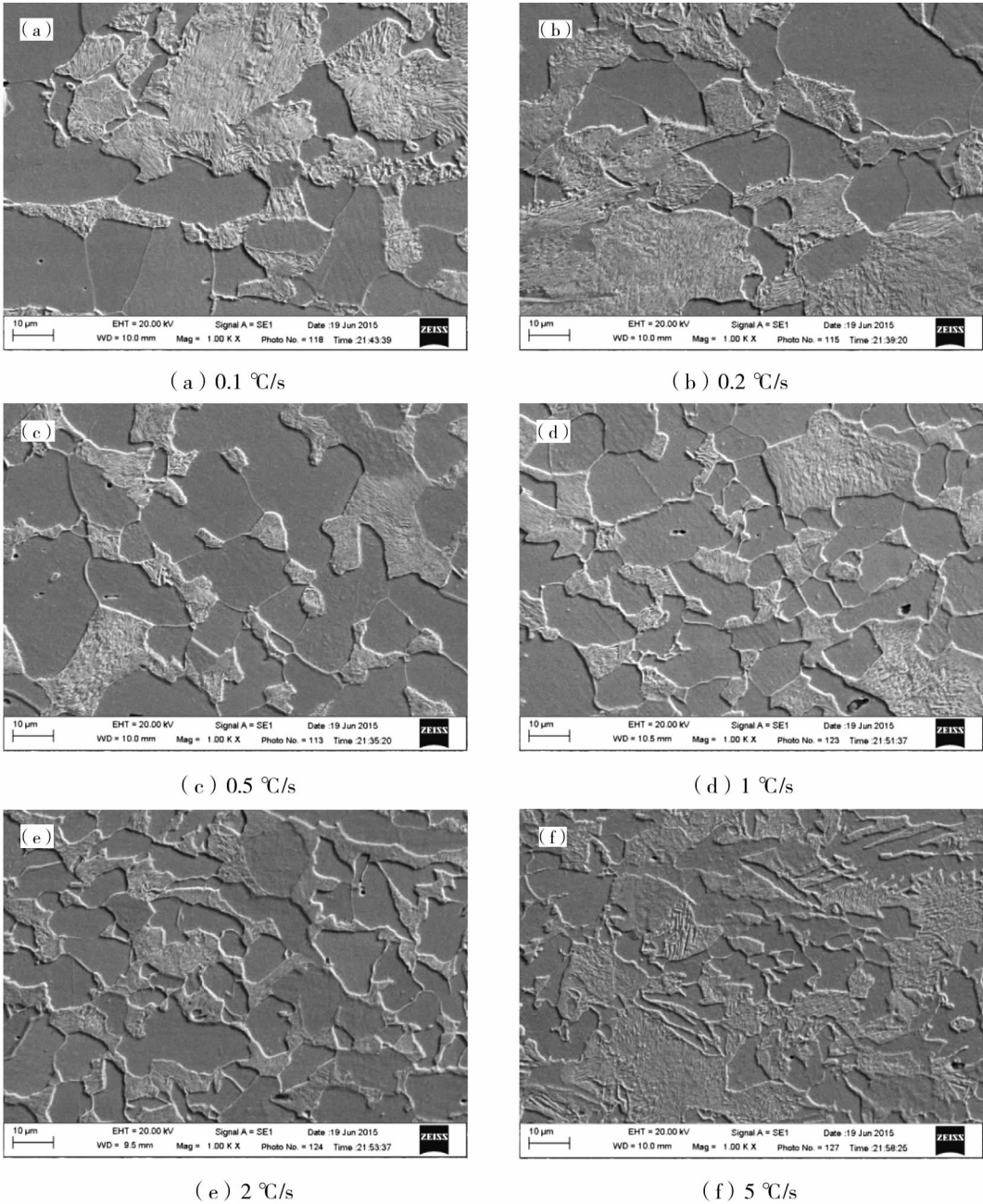


图 4 不同冷却速度下显微组织的 SEM 照片

表 2 不同冷却速度下显微组织特征

冷却速度 $/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$	珠光体形态
0.1	10 ~ 20 μm 的珠光体团区域多为片层状,而在 10 μm 以下区域珠光体发生了较明显的球化。
0.2	在部分细小珠光体团区域观察到珠光体球化特征,而大多数珠光体为片状特征。
0.5	在 5 ~ 10 μm 的细小珠光体区域也仅观察到少量球化珠光体。
1.0	基本观察不到球化珠光体。
2.0	基本观察不到球化珠光体。
5.0	部分珠光体呈现了类似贝氏体的碎化特征。

3 分析讨论

SWRCH35KM 冷锻试验钢冷却转变组织均为铁素体和珠光体,随着冷却速度的不断增加,铁素体均呈现多边形,在冷却速度 2 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 之前,随着试样冷却速度的增加,铁素体开始转变的初始温度变化较小,当超过 2 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 后,铁素体开始转变的初始温度有所降低。珠光体组织转变的终止温度在 635 ~ 645 $^{\circ}\text{C}$ 之间,随着冷却速度的不断增加,其终止转变

温度将进一步降低。当冷却速度大于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,开始出现魏氏体组织;当冷却速度达到 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,出现针状铁素体。

为了实现 SWRCH35KM 冷镢钢的免退火目的,其理想组织为多边形铁素体和尽可能多的球化珠光体组织,为了保证该组织构成的实现,这就要求盘条在轧制控冷时对铁素体和珠光体转变进行针对性控制。工业生产轧制控冷时冷却速度控制在 $0.2\sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。

4 结论

(1)SWRCH35KM 试验钢的金相组织为铁素体和珠光体,随着冷却速度逐渐增加,金相组织中不断出现针状铁素体并伴随有魏氏体组织,同时铁素体相比之前更为细化,其体积分数占比也逐渐降低。

(2)为了实现 SWRCH35KM 冷镢钢的免退火目

的,其理想组织为多边形铁素体和尽可能多的球化珠光体组织,工业生产轧制控冷时冷却速度控制在 $0.2\sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。

参 考 文 献

- [1] 戴宝昌. 重要用途线材制品生产新技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2001.
- [2] 陈国安,杨王明,孙祖庆. 中碳钢过冷奥氏体形变过程中的组织演变[J]. 金属学报,2007,43(1):27-34.
- [3] 惠卫军,田鹏,董翰,等. 形变温度对中碳钢组织转变的影响[J]. 金属学报,2005,41(6):611-616.
- [4] 田鹏,惠卫军,刘荣佩,等. 形变参数对中碳钢组织演变的影响[J]. 材料热处理学报,2005,26(4):69-73.

(上接第84页)

此类堆钢事故一般多发生在入精轧到吐丝区域,分析造成此类堆钢原因主要有开裂堆钢、异物压入、上一根坯尾部掉料、精轧导卫磨损、导槽磨损、自动化控制程序、设备参数设定不匹配、设备机械故障等^[5]。坯料过烧,在轧制过程中断裂造成堆钢;精轧机成品机架出口导卫安装不正或成品机架循环松动,造成头部弯头堆钢;由于轧件“掉肉”充塞导卫、轧辊突然断裂或前几道次导卫严重损坏引起堆钢;切头过短或者未切尾导致坯料在轧制过程中掉落,在后期轧制时异物压入导致的堆钢。同时轧辊间、轧槽处有异物,在轧制过程中刮到坯面也会导致堆钢。铸坯端头切割渣太厚,在1[#]飞剪不能够完全去除,导致切割渣遗留在线材表面上,轧制后期掉落导致堆钢。因此,轧制时要定期检查,更换导槽、轧辊、导卫等,保证轧制的顺畅。

针对三类典型堆钢缺陷形貌进行了详细的分析,确定了堆钢的真正原因,并采取了相应的整改措施,堆钢事故率明显降低,堆钢比率降低至 0.013% ,累计故障时间降低至 35.8 h ,堆钢造成废品率降低至 0.027% 。

2 结论

(1)通过分析,确定了炼钢铸坯质量和轧制导致堆钢事故的主要原因,并对典型形貌进行分类。

(2)分析事故原因并提出改进措施,最终将堆钢比率降低至 0.013% ,累计故障时间降低至 35.8 h ,堆钢造成废品率降低至 0.027% 。

参 考 文 献

- [1] 佐样均,张立峰. 方坯连铸过程中拉速波动对结晶器液面波动影响的研究[J]. 特殊钢,2011,32(3):37-39.
- [2] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.
- [3] 孙向东. 连铸圆坯凝固与铸坯质量的研究[D]. 唐山:河北联合大学,2014.
- [4] 蔡常青,郑原首. 高线堆钢的原因探讨及解决措施[J]. 连铸,2018,43(4):11-13.
- [5] 崔志勇. 高线生产中堆钢问题的分析及处理[J]. 北方钒钛,2009,(1):47-48.