

SCM435 低合金中碳冷镦钢 $\Phi 12$ mm 盘条混晶成因分析与工艺改进

董庆^{1,2} 阮士朋^{1,2} 李敏锐^{2,3}

(1 邢台钢铁有限责任公司技术中心, 邢台 054027; 2 河北省线材工程技术创新中心, 邢台 054027;

3 邢台钢铁有限责任公司质控部, 邢台 054027)

摘要 协议要求 SCM435 钢热轧盘条奥氏体晶粒度 ≥ 7 级以及断面收缩率 $\geq 35\%$ 。试验结果表明, 原始工艺条件下, $\Phi 12$ mm SCM435 钢盘条混晶组织沿着线材的表层分布, 从表面到深度 0.5 mm 区域为混晶区, 奥氏体晶粒度为 4 级(25%) + 7.5 级(75%); 其余心部区域晶粒度 7.5 级。显微组织中马氏体(M)比例高, 断面收缩率低。通过混晶组织产生原因的分析, 采取将精轧温度由 935 $^{\circ}\text{C}$ 降至 850 $^{\circ}\text{C}$ 、吐丝温度由 900 $^{\circ}\text{C}$ 降至 850 $^{\circ}\text{C}$ 等措施, 使 $\Phi 12$ mm SCM435 钢热轧盘条晶粒度由 7.5 级升至 8.5 级, 盘条表层混晶组织消失; 同时降低了显微组织中 M 比例, 断面收缩率均值由 35% 提升到 40%。

关键词 SCM435 钢 混晶 断面收缩率 工艺改进 进精轧温度

Analysis on Cause of Mixed Grain Size of SCM435 Low Alloy Medium Carbon Cold Heading Steel $\Phi 12$ mm Wire Rod and Process Improvement

Dong Qing^{1,2}, Ruan Shipeng^{1,2} and Li Minrui^{2,3}

(1 Technology Center, Xingtai Iron and Steel Corp Ltd, Xingtai 054027;

2 Hebei Province Engineering and Technology Innovation Center for Wire Rod, Xingtai 054027;

3 Department of Quality Control, Xingtai Iron and Steel Corp Ltd, Xingtai 054027)

Abstract According to specification of SCM435 steel hot rolled wire rod, the austenite grain size is ≥ 7 grade and the reduction of area is $\geq 35\%$. The test results show that in the original process the mixed grain size structure of $\Phi 12$ mm SCM435 steel wire is distributed along the surface of the wire rod with depth 0.5 mm, and the austenite grain size rating is 4 (25%) + 7.5 (75%); the rating of austenite grain size at the rest of the core area is 7.5. There is more martensite in the microstructure, and the reduction of area of steel is lower. Through analysis on the causes of mixed grain structure, and decreasing finishing rolling temperature from 935 $^{\circ}\text{C}$ to 850 $^{\circ}\text{C}$, and outgoing temperature decreasing from 900 $^{\circ}\text{C}$ to 850 $^{\circ}\text{C}$ the rating of austenite grain size of $\Phi 12$ mm SCM435 steel hot rolled wire rod increases from 7.5 to 8.5 and the mixed grain structure on surface of wire rod disappeared, the proportion of martensite in the microstructure decreases, and the average reduction of area increases from 35% to 40%.

Material Index SCM435 Steel, Mixed Grain Size, Reduction of Area, Process Improvement, Finishing Rolling Temperature

SCM435 钢作为低合金中碳冷镦钢, 因其具有良好的淬透性及调质后优越的综合力学性能, 主要用于生产 10.9 级及以上高强度紧固件, 应用于汽车、高铁、轨道交通、工程机械、风电等领域^[1]。随着应用日益广泛, 用户对其原材料 SCM435 盘条的产品实物质量要求越来越高, 出厂检测质量指标也越来越多, 如用户要求 SCM435 盘条奥氏体晶粒度 ≥ 7 级并要求热轧盘条的断面收缩率 $\geq 35\%$ 等, 实际生产时很难完全满足。为满足用户要求, 对 $\Phi 12$ mm SCM435 盘条奥氏体晶粒度、组织和力学性能进行了研究。

1 试验材料及方法

试验用材料为工业高速线材生产线生产的 $\Phi 12$ mm SCM435 热轧盘条, 其主要化学成分见表 1

所示。盘条生产工艺流程为: 80 t 转炉冶炼 \rightarrow 80 t LF 精炼 \rightarrow 325 mm \times 280 mm 大方坯连铸 \rightarrow 钢坯检验 \rightarrow 大方坯加热 \rightarrow 开坯 \rightarrow 热轧坯检验 \rightarrow 热轧坯加热 \rightarrow 高压水除鳞 \rightarrow 控制轧制 \rightarrow 控制冷却 \rightarrow 集卷 \rightarrow 打包 \rightarrow 入库, 其中大方坯开坯后热轧坯断面尺寸 160 mm \times 160 mm, 盘条卷重约 2 t。生产工艺参数见表 2 所示。

对轧制后的盘条利用 Leica DM2700M 光学显微镜进行显微组织和奥氏体晶粒度观察, 利用 WDW50 微控电子万能试验机对试验盘条进行力学

表 1 SCM435 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of SCM435 steel / %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	Cu
0.33 ~ 0.38	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.85	≤ 0.025	≤ 0.025	0.90 ~ 1.10	0.15 ~ 0.25	≤ 0.20	≤ 0.20

表2 SCM435 钢轧制工艺参数
Table 2 Rolling process parameter of SCM435 Steel

进精轧机温度/ $^{\circ}\text{C}$	吐丝温度/ $^{\circ}\text{C}$	辊道速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
900 ~ 950	860 ~ 900	0.20 起

性能测试。奥氏体晶粒度检测,根据 GB/T6394-2017 金属平均晶粒度测定方法中的直接淬硬法进行热处理:将试样在 860°C 下保温 60 min,进行水淬;加热在实验室高温箱式电阻炉中进行,热处理后切取试样,经磨制抛光,饱和苦味酸浸蚀后,检验试样的奥氏体晶粒。

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

由 $\Phi 12$ mm SCM435 盘条横截面观察其显微组织和奥氏体晶粒度。热轧态横截面显微组织见图 1(a) 所示,显微组织为 F + P + B + M (F 为铁素体, P 为珠光体, B 为贝氏体, M 为马氏体);奥氏体晶粒度见图 1(b, c),可见,横截面奥氏体晶粒不均匀,从表面到 0.5 mm 区域为混晶区(图 2),晶粒度为 4 级(25%) + 7.5 级(75%),其余心部区域晶粒正常,晶粒度 7.5 级。热轧盘条的抗拉强度均值 956 MPa,断面收缩率均值 35% (范围 25% ~ 45%),断面收缩率不能够全部满足 35% 以上要求。

2.2 混晶原因分析

高合金钢材混晶组织的形成往往由于材料内部弥散质点的不均匀分布,材料各部分晶粒受这些质点阻碍作用长大的程度不同,使晶粒长大不连续造成的^[2]。也有研究表明混晶组织的形成与热变形工艺制度有关^[3]。

根据目前掌握的经验与文献分析,产生混晶组织的主要原因是轧制过程(特别是精轧过程)的温度控制,尤其是对于热轧材近表面存在混晶组织的材料。粗轧和中轧由于轧制温度较高且变形量较大,形成混晶组织的可能性较小。预精轧和精轧过程的温度控制及之后的冷却对轧件组织性能有很大的影响,在轧制过程中工件温度比较高且有一定的变形量,轧件发生动态再结晶。但是轧件与轧辊接触部分的温度比较低,所以这一部分不一定在再结晶区域。满士国^[4]通过对线材的轧制过程特别是预精轧和精轧过程展开分析,对 ML08Al 钢线材混

晶组织的形成机理进行了研究,结果表明,精轧过程中轧件温升较快,轧制过程中轧件温度较高;精轧道次间轧件要进行穿水冷却,精轧温度过高会加大轧件表面与心部的温度梯度,造成轧件内部晶粒组织

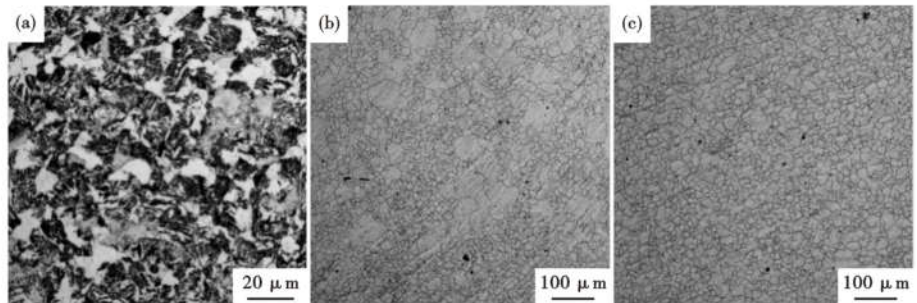


图1 SCM435 钢盘条显微组织和奥氏体晶粒度:(a)热轧态组织;(b)盘条边部奥氏体晶粒;(c)盘条心部奥氏体晶粒

Fig. 1 Microstructure and austenite grain size of SCM435 steel hot-rolled wire rod: (a) hot-rolled microstructure; (b) austenite grain size at edge of wire rod; (c) austenite grain size at core of wire rod

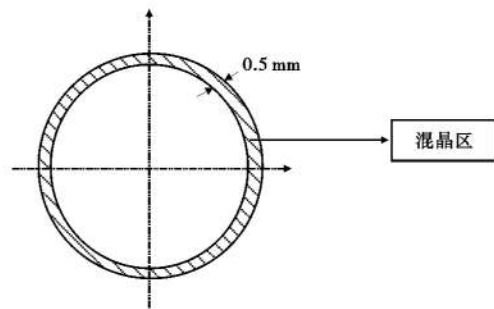


图2 $\Phi 12$ mm 盘条横截面混晶区域示意图

Fig. 2 Schematic diagram of mixed grain area of $\Phi 12$ mm wire rod cross section

不均匀长大;因此,精轧过程中温度控制不合理,断面内各部位晶粒的不均匀长大情况加剧,是形成成品盘条混晶组织的主要原因;合理的控轧控冷是晶粒均匀化的关键。

翁宇庆^[5]也认为低碳钢、低合金钢一般采用控制轧制工艺参数细化变形奥氏体晶粒,经过奥氏体、铁素体和珠光体的转变,形成的铁素体和珠光体均比较细小,从而提高了钢材的强度、韧性和焊接性能。

3 试验验证

3.1 试验方案

根据上述原因分析,降低进精轧温度是改善 SCM435 钢盘条晶粒和组织均匀性的主要措施;另外,在进精轧温度降低的情况下,吐丝温度需适当降低。因此,在其它轧制工艺不变的情况下,基于现有生产工艺,试验降低进精轧、吐丝温度对晶粒度和组织的影响,探讨降低进精轧、吐丝温度的可行性。在邢钢

表 3 改进前后 SCM435 钢盘条轧制工艺参数

Table 3 Rolling technique parameter of SCM435 steel wire rod before and after improvement

工艺	进精轧机温度/℃	吐丝温度/℃
原始工艺	935 ± 15	900 ± 15
试验工艺	850 ± 15	850 ± 15
实际控制	840	845
	845	851
	837	842
	840	844
	845	853
	845	852

表 4 工艺改进前后轧制的 SCM435 钢盘条力学性能

Table 4 Mechanical properties of SCM435 steel wire rod by rolling technique parameter before and after process improvement

工艺	抗拉强度/MPa	断面收缩率/%
原始工艺	880 ~ 1 010(956 均值)	25 ~ 45(35 均值)
试验工艺	830 ~ 960(905 均值)	38 ~ 56(40 均值)

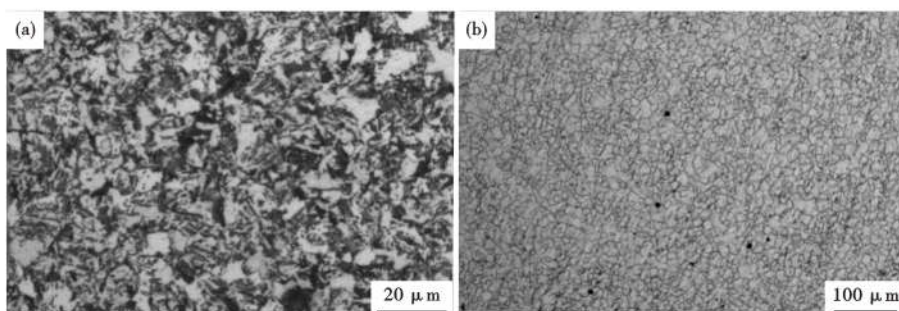


图 3 工艺改进后 SCM435 钢热轧盘条的显微组织(a)和奥氏体晶粒度(b)

Fig. 3 Microstructure(a) and austenite grain size(b) of SCM435 steel hot-rolled wire rod after process improvement

线材厂五车间进行了 $\Phi 12\text{mm}$ SCM435 钢工艺调整试验,现场记录了过程实际控制参数,如表 3 所示。

3.2 试验结果

试验 SCM435 钢盘条热轧态横截面显微组织见图 3(a)所示, F + P + B + 少量 M, 显微组织中 M 比例明显减少, M 组织为硬脆相组织, 其含量的减少有利于盘条塑性和断面收缩率的提高。试验 SCM435 钢盘条奥氏体晶粒度检测结果见图 3(b)所示, 边部与心部奥氏体晶粒度已无明显差异, 晶粒度评级均为 8.5 级, 混晶现象消失。

对试验 SCM435 钢热轧盘条进行力学性能检测并与原始工艺条件下的力学性能进行对比, 结果如表 4 所示。可见在试验工艺条件下, 随着精轧温度和吐丝温度的降低, SCM435 钢热轧盘条的抗拉强度明显降低, 均值由 956 MPa 降低到了 905 MPa, 断面收缩率明显升高, 均值由 35% 提升到 40%, 这与显微组织中 M 比例的降低和奥氏体晶粒度的改善是相对应的。

试验结果表明, 常规轧制工艺条件下, SCM435 钢的变形温度较高, 心部和表面温差较大, 相变后得到的晶粒相对较大且易形成表层混晶组织, 大的晶粒还有利于淬火组织的形成, 显微组织中 M 比例高; 经低温轧制后, 奥氏体晶粒度得到明显改善, 微观组织中马氏体含量大为减少, 铁素体含量增加并均匀分布, 铁素体晶粒尺寸明显变细, 奥氏体晶粒尺寸变小。本次试验工艺状态下, 边部到中心的晶粒度差异性明显减少, 与原始工艺相比, 盘条边部晶粒明显改善。显微组织和晶粒度改善的同时, 也是盘条的抗拉强度降低, 断面收缩率升高。

4 结论

(1) 原始工艺条件下 SCM435 钢盘条存在混晶组织, 其分布特征是: 混晶组织沿着线材的表层分布, 从表面到深度 0.5 mm 区域为混晶区, 晶粒度为 4 级 (25%) + 7.5 级 (75%); 其余心部区域晶粒度 7.5 级。

(2) $\Phi 12\text{mm}$ SCM435 钢盘条轧制时进精轧温度、吐丝温度降至 $(850 \pm 15)^\circ\text{C}$, 盘条表层混晶组织消失, 晶粒度由 7.5 级升至 8.5 级。

(3) 试验工艺条件下, $\Phi 12\text{mm}$ SCM435 钢热轧盘条的显微组织中马氏体比例减少, 抗拉强度降低, 抗拉强度均值由 956 MPa 降低到 905 MPa; 断面收缩率升高, 断面收缩率均值由 35% 提升到 40%。

河北省省级科技计划项目(205676134H)资助

参考文献

- [1] 王利军, 吕彦新, 阮土朋, 等. 初始组织对 SCM435 钢调质处理后力学性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2019, 40(6): 117-122.
- [2] 孙启飞. 34CrNi3Mo 中混晶改善和贝氏体相变 [D]. 北京: 北京科技大学, 2006.
- [3] 杜树昌. 热处理实验 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1994: 8-10.
- [4] 满士国. ML08Al 线材混晶组织形成机理研究 [D]. 赣州: 江西理工大学, 2014.
- [5] 翁宇庆. 超细晶钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003: 17-35.

董 庆 (1982-), 男, 硕士 (2015 年北京科技大学), 高级工程师, 2004 年河北理工大学 (本科) 毕业, 金属材料及加工工艺研究。E-mail: badibt01@sina.com

收稿日期: 2021-07-14