

冷却速度对 Φ6.5 ~ 12 mm SCM435 钢盘条组织和冷镢开裂的影响

董庆^{1,3} 孔令波^{1,2} 李世琳^{1,3}

(邢台钢铁有限责任公司 1 技术中心; 2 线材厂, 邢台 054027; 3 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027)

摘要 针对 Φ6.5 ~ 12 mm SCM435 钢盘条冬季热轧时, 出现贝氏体和马氏体而导致冷镢开裂率高的现象, 通过 Gleeble-1500 热模拟试验机测定的奥氏体连续冷却转变曲线和冷却速度 0.5 ~ 30 °C/s 对应的组织形貌的分析, 得出形成铁素体 + 珠光体组织的冷却速度 ≤ 0.5 °C/s; 通过 Φ6.5 ~ 12 mm SCM435 钢盘条的冷却速度和对应的组织发现散卷出保温罩的温度 ≥ 600 °C, 冷却速度为 0.8 ~ 4 °C/s, 其组织除铁素体 + 珠光体外形成部分贝氏体和马氏体。通过调整 Φ6.5 ~ 12 mm SCM435 钢盘条轧制时的吐丝温度和斯太尔摩风冷线 Z1 ~ Z13 段辊道速度, 使其出保温罩时温度 ≤ 550 °C, 钢的奥氏体组织完全转变为铁素体 + 珠光体, 冷镢开裂率由 20% 降至 3% 以下。

关键词 SCM435 钢 盘条 冷镢开裂 CCT 曲线 冷却速度 铁素体 + 珠光体 贝氏体 马氏体

Effect of Cooling Rate on Structure and Cold-Heading Crack of Φ6.5 ~ 12 mm Coil of Steel SCM435

Dong Qing^{1,3}, Kong Lingbo^{1,2} and Li Shilin^{1,3}

(1 Technology Center, 2 Wire Rod Plant, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054027; 3 Hebei Province Engineering and Technology Research Center for Wire Rod, Xingtai 054027)

Abstract According to the phenomenon of occurring bainite and martensite in structure of Φ6.5 ~ 12 mm coil of steel SCM435 rolling in winter season led to higher cracking rate of wire and rod, the analysis on continuous cooling transformation curves of austenite measured by Gleeble-1500 hot simulator and morphology of structure according with cooling rate 0.5 ~ 30 °C/s has been carried out to get the cooling rate for forming structure of ferrite + pearlite being ≤ 0.5 °C/s; by measuring the cooling rate of Φ6.5 ~ 12 mm coil of steel SCM435 and observing the corresponding structure, it is found that the temperature of coil leaving insulation cover is ≥ 600 °C with cooling rate 0.8 ~ 4 °C/s led to the structure of steel being ferrite + pearlite and partial bainite and martensite. With adjusting loop laying temperature and Stelmor Z1 ~ Z3 cooling roller speed in wind cooling line for Φ6.5 ~ 12 mm coil of steel SCM435, the temperature of coil leaving insulation cover is ≤ 550 °C and the austenite structure of steel is transformed completely into ferrite + pearlite, as a result the cold-heading cracking rate of coil decreases from original 20% to less than 3%.

Material Index Steel SCM435, Coil, Cold-Heading Cracking, CCT Curves, Cooling Speed, Ferrite + Pearlite, Bainite, Martensite

SCM435 钢属铬钼系合金冷镢钢, 主要用于制作高端用途标准件, 其热轧态正常组织为铁素体 + 珠光体的组织^[1-2]。邢钢冬季生产的 Φ6.5 ~ 12 mm 的小规格 SCM435 钢盘条, 客户反馈显微组织存在大量的贝氏体和马氏体, 冷镢开裂率极高, 必须完全退火才能使用, 导致生产成本显著增加。因此, 对小规格 SCM435 钢在冬季生产时的控冷工艺、组织形态与 SCM435 钢的奥氏体连续冷却转变 (CCT) 曲线的模拟预测相结合进行了分析和研究, 找到贝氏体和马氏体出现的原因, 制订相应的控制措施。

1 冷却速度对 SCM435 钢组织的影响

1.1 生产工艺

Φ6.5 ~ 12 mm SCM435 钢盘条的轧制工艺流程为: 280 mm × 325 mm 方坯加热 → 开 160 mm × 160 mm 坯 → 热轧坯检验 → 加热 → 高压水除鳞 → 控制轧

制 → 控制冷却 → 集卷 (卷重 2 t) → 打包 → 入库。SCM435 钢化学成分如表 1 所示, 生产工艺参数见表 2。

1.2 生产结果

对 2016 年 12 月 30 日生产的盘条出罩、落筒及上钩时的盘卷温度测量结果见表 3; 从表 3 可以看

表 1 SCM435 钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of steel SCM435 / %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
0.33 ~ 0.38	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.85	≤ 0.025	≤ 0.025	0.9 ~ 1.1	0.15 ~ 0.25

表 2 SCM435 钢盘条的轧制工艺参数
Table 2 Parameters of rolling process for coil of steel SCM435

进精轧机温度 / °C	吐丝温度 / °C	辊道速度 / (m · s ⁻¹)
900 ~ 950	900 ~ 950	0.17

表 3 SCM435 钢盘卷搭接点和非搭接点的温度测量

Table 3 Temperature measured at lap joint and non-lap coil of steel SCM435

规格/ mm	出罩温度/℃		落筒温度/℃		上钩温度/℃	
	搭接 点	非搭 接点	搭接 点	非搭 接点	搭接 点	非搭 接点
12	720	650	680	≤550	621	≤550
12	719	652	678	≤550	618	≤550
12	718	651	683	≤550	617	≤550
8	690	≤550	665	≤550	622	≤550
8	694	≤550	664	≤550	620	≤550
8	689	≤550	659	≤550	621	≤550
6.5	688	≤550	652	≤550	≤550	≤550
6.5	684	≤550	654	≤550	≤550	≤550
6.5	681	≤550	657	≤550	≤550	≤550

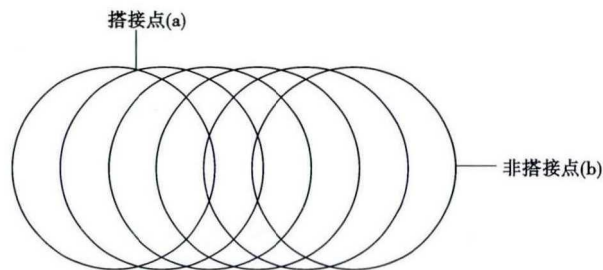


图 1 斯太尔摩风冷线上 SCM435 钢盘条搭接点(a)与非搭接点(b)示意图

Fig. 1 Schematics of lap (a) and non-lap (b) of coil of steel SCM435 at stelmor wind-cooling line

到,出保温罩后散卷温度 ≥ 600 $^{\circ}\text{C}$ 以上(尤其是搭接点甚至达到 700 $^{\circ}\text{C}$,其位置如图 1 所示);另,根据实际辊道速度及辊道长度计算其在保温罩内的冷却速度为 0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,而从出罩后到上钩期间,冷却速度为 $0.8 \sim 2$ $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。 $\Phi 6.5 \sim 12$ mm 盘条金相组织均为 $F + P + B + M$ (图 2)。

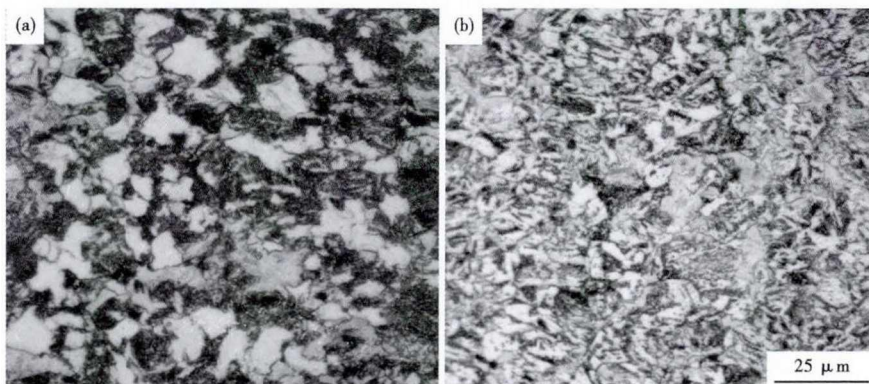


图 2 SCM435 钢 $\Phi 12$ mm (a) 和 $\Phi 6.5$ mm (b) 盘条的组织形貌

Fig. 2 Morphology of structure of steel SCM435 $\Phi 12$ mm (a) and $\Phi 6.5$ mm (b) coil

1.3 不同冷却速度 SCM435 钢组织转变

利用 Gleeble-1500 热模拟试验机对 SCM435 钢的奥氏体连续冷却转变(CCT)曲线进行了测定^[3,4](图 3),并得到对应的金相组织形貌(图 4)。可以看出,SCM435 钢在冷却速度 0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时为铁素体(F) + 珠光体(P)的正常组织;冷却速度在 $0.8 \sim 2$ $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体(B)组织,且随着冷却速度的增加,贝氏体含量逐渐增加;当冷却速度大于 4 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时为铁素体 + 贝氏体 + 马氏体(M)组织,且随着冷却速度的增加,马氏体含量逐渐增加,当冷却速度大于 15 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,完全转变为马氏体组织。

1.4 结果分析

SCM435 钢中的 Cr 和 Mo 是与碳亲和力较强的碳化物形成元素,使得 C 曲线右移,增加过冷奥氏体的稳定性;此外,Cr 和 Mo 元素的加入强烈推迟珠光体转变而对贝氏体转变推迟较少^[5]。

通过对 $\Phi 6.5 \sim 12$ mm 盘条出保温罩后温度监控和显微组织检测并结合 SCM435 钢的 CCT 曲线,出罩后散卷温度 ≥ 600 $^{\circ}\text{C}$ 以上(尤其是搭接点,甚至达到 700 $^{\circ}\text{C}$),冷却速度为 0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,先共析铁素体在非搭接点已析出完毕;而在搭接点尚未转变结

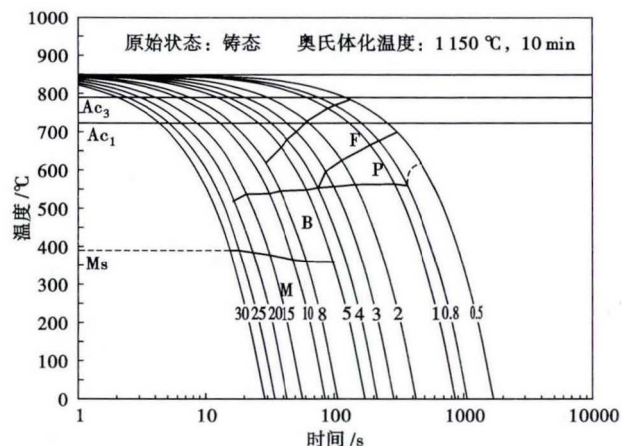


图 3 SCM435 钢奥氏体连续冷却转变(CCT)曲线

Fig. 3 Continuous cooling transformation curves (CCT) of austenite of steel SCM435

束;出保温罩后到上钩期间,冷却速度为 $0.8 \sim 1.5$ $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,非搭接点和部分搭接点(上钩温度 ≤ 550 $^{\circ}\text{C}$ 的盘卷)贝氏体转变结束,组织为 $F + P + B$;而部分搭接点(上钩温度 > 550 $^{\circ}\text{C}$ 盘卷)贝氏体转变尚未结束,上钩后盘条经过风扇风冷区域,急速降温,盘条组织中出现 M,最终组织为 $F + P + B + M$ 。

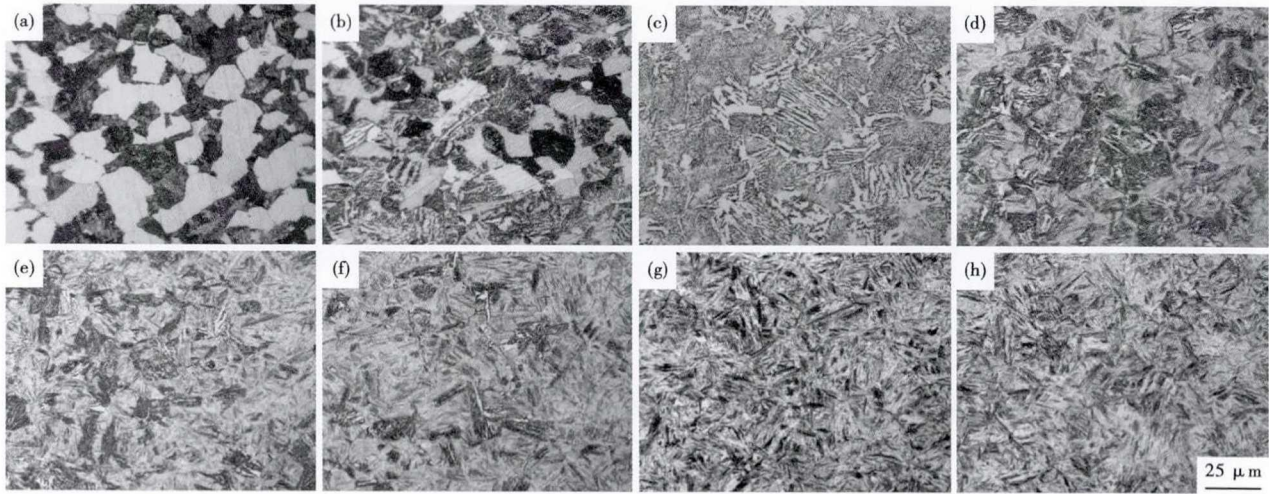


图4 SCM435 钢盘条的组织形貌,冷却速度/ $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$,F(铁素体),P(珠光体),B(贝氏体),M(马氏体):(a)0.5,F+P;(b)0.8,F+P+B;(c)2,F+P+B;(d)5,F+B+M;(e)8,F+B+M;(f)15,B+M;(g)25,M;(h)30,M

Fig.4 Morphology of structure of steel SCM435 coil, cooling speed / $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$; F (ferrite), P (pearlite), B (bainite) and M (martensite): (a) 0.5, F+P; (b) 0.8, F+P+B; (c) 2, F+P+B; (d) 5, F+B+M; (e) 8, F+B+M; (f) 15, B+M; (g) 25, M; (h) 30, M

2 工艺优化

合金冷镢钢Φ6.5~12 mm SCM435 钢盘条贝氏体、马氏体组织产生原因即为散卷在保温罩内冷却速度为0.5 °C/s,出罩温度 $\geq 600^{\circ}\text{C}$,珠光体转变并未结束,冬季气温较低,出罩后盘条的冷却速度为0.8~4 °C/s,达到贝氏体、马氏体组织产生的冷却速度;只有盘条冷却速度 $\leq 0.5^{\circ}\text{C/s}$ 时,才可得到铁素体+珠光体组织。因此,基本确定防止盘条产生贝氏体和马氏体组织的措施主要在于盘条出保温罩的温度控制。通过优化后吐丝温度820~860 °C,斯太尔摩风冷线Z1~Z13段,首段辊道速度0.11 m/s,后每段以0.01 m/s的速度递增,末段Z13辊道速度0.23 m/s;优化后工艺参数、出罩温度及所得盘条金相组织见表4。工艺优化后,盘条在保温罩内冷却速度降至0.4 °C/s,冷镢开裂率由20%降至3%以下。

表4 工艺优化后 SCM435 钢盘卷搭接点和非搭接点温度和组织

Table 4 Temperature and structure of lap joint and non-lap coil of steel SCM435 after process optimization

规格/mm	吐丝温度/ $^{\circ}\text{C}$	出罩温度/ $^{\circ}\text{C}$		组织
		搭接点	非搭接点	
12	859	540	496	铁素体+珠光体
12	850	529	485	
12	842	515	477	
8	860	532	485	
8	852	519	472	
8	844	509	470	
6.5	857	528	479	
6.5	848	516	463	
6.5	843	504	450	

3 结论

(1)热模拟试验测定 SCM435 钢铁素体+珠光体组织的冷却速度为 $\leq 0.5^{\circ}\text{C/s}$ 。现场测定Φ6.5~12 mm SCM435 钢盘条生产过程温度,散卷出保温罩时温度 $\geq 600^{\circ}\text{C}$,奥氏体尚未完全转变为珠光体,冷却速度0.8~4 °C/s,达到贝氏体、马氏体组织产生的冷却速度。

(2)Φ6.5~12 mm SCM435 钢盘条轧制时吐丝温度降至820~860 °C,斯太尔摩风冷线Z1~Z13段,首段辊道速度0.11 m/s,后每段辊道以0.01 m/s的速度递增,末段Z13辊道速度0.23 m/s,出保温罩时温度 $\leq 550^{\circ}\text{C}$,组织完全转变为铁素体+珠光体,冷镢开裂率由20%降至3%以下。

参考文献

- [1] 王建安,马志军,曹树卫,等. SCM435 冷镢钢线材的控冷工艺研究[J]. 金属制品,2007,33(5):37-39.
- [2] 马占福. 控制轧制和轧后控冷对钢材组织及性能影响的研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2004.
- [3] Lin Y C, Chen M S, Zhong J. Prediction of 42CrMo Steel Flow Stress at High Temperature and Strain Rate[J]. Mechanics Research Communications, 2008, 35(3):142-150.
- [4] O'Brien J M, Hosford W F. Spheroidization Cycles for Medium Carbon Steel[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2002, 33(4):1255-1261.
- [5] 宋维锡. 金属学[M]. 北京:冶金工业出版社,1989:372.

董庆(1982-),男,工程师,河北理工大学(本科)毕业,高品质线材产品开发。E-mail:xcyyyj@xtsteel.com

收稿日期:2017-06-08