

## SCM435 合金冷镦钢盘条控轧控冷工艺

段贵生<sup>1,2</sup>

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 安阳钢铁有限责任公司技术中心,安阳 455004)

**摘要** 对 150 mm × 150 mm 连铸坯轧制 Φ12 mm SCM435 合金冷镦钢(0.35C,0.98Cr,0.16Mo)盘条的工艺试验表明:采用 1 020 °C 加热,900 °C 轧制,吐丝温度控制在 780 ~ 800 °C,相变前冷却速度控制在 1 °C/s 左右,该钢可以获得均匀的铁素体 + 珠光体组织和良好的冷镦性能。

**关键词** SCM435 冷镦钢 盘条 控轧控冷

## Controlled Rolling and Cooling Process for Wire Rod Coil of Cold Heading Alloy Steel SCM435

Duan Guisheng<sup>1,2</sup>

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Technical Center, Anyang Iron and Steel Co Ltd, Anyang 455004)

**Abstract** The test results of process for Φ12 mm SCM435 alloy steel (0.35C, 0.98Cr, 0.16Mo) coil rolled by 150 mm × 150 mm concasting billet showed that the uniform structure of ferrite + pearlite and excellent cold heading performance of steel were got by heating billet at 1 020 °C, rolling at 900 °C, controlling spinning temperature at 780 ~ 800 °C and cooling rate before phase transformation 1 °C/s.

**Material Index** Cold Heading Steel SCM435, Wire Rod Coil, Controlled Rolling and Cooling

SCM435 属铬钼系合金冷镦钢,主要用于制作 8.8 级以上高强度标准件,其盘条生产一般采用常规轧制工艺,即钢坯加热到 1 100 °C 左右,精轧温度 950 °C 左右,吐丝温度 850 °C 左右,轧后缓冷。这种工艺生产的盘条,显微组织存在大量的贝氏体和马氏体,镦制标准件时开裂率高,用户在完全退火后才能使用,至使生产成本显著增加。

目前国内生产该钢种较为先进的工艺是实现热机轧制技术,即保证精轧温度在 750 ~ 800 °C 的两相区轧制,使先共析铁素体、奥氏体充分变形,积蓄畸变能,从而控制奥氏体相变<sup>[1]</sup>。但是,实践证明该热机轧制会造成轧机电机负荷过大、辊环寿命大幅度降低、设备事故频繁等一系列问题,不利于工业化大生产的顺利进行。因此,安钢通过研究该产品的使用性能及技术特点,结合实际生产工艺装备,开展了 SCM435 合金冷镦钢盘条准热机轧制工艺工业化生产试验,并取得成功。

### 1 试验方法

#### 1.1 试验用原材料

选取安钢第一连轧厂 100 t 转炉生产的 150 mm × 150 mm × 12 000 mm 连铸坯进行 2 种工艺工业化生产对比试验,其化学成分见表 1。

表 1 SCM435 冷镦钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of cold heading steel SCM435 / %

| C    | Si   | Mn  | P     | S     | Cr   | Mo   | Al    |
|------|------|-----|-------|-------|------|------|-------|
| 0.35 | 0.24 | 0.8 | 0.011 | 0.005 | 0.98 | 0.16 | 0.017 |

#### 1.2 试验工艺

轧制按 2 种工艺制度,生产规格为 Φ12 mm 盘条,轧制工艺参数见表 2。工艺 1 为常规生产;工艺 2 既考虑了设备能力的充分利用,又考虑了工业化生产的顺行,采取适当的加热温度,使预精轧入口温

表 2 SCM435 冷镦钢盘条轧制工艺参数

Table 2 Parameters of rolling process for cold heading steel SCM435

| 工艺 | 温度/°C |       |     |       |      |       |     | 预精轧入口<br>尺寸/mm | 终轧速度/<br>(m · s <sup>-1</sup> ) | 入口辊速/<br>(m · min <sup>-1</sup> ) |
|----|-------|-------|-----|-------|------|-------|-----|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|    | 加热段   | 均热段   | 开轧  | 预精轧入口 | 精轧入口 | 减定径入口 | 吐丝  |                |                                 |                                   |
| 1  | 1 070 | 1 070 | 980 | 1 000 | 950  | 870   | 880 | Φ26            | 38                              | 13                                |
| 2  | 1 020 | 1 020 | 900 | 930   | 900  | 800   | 780 | Φ26            | 38                              | 14                                |

度小于或接近非再结晶温度,保证非再结晶区变形量控制在 50% 以上,使钢中积累一定的畸变能,为奥氏体相变做准备。

## 2 试验结果

将 2 种工艺条件下生产的盘条各取 10 个试样(每盘一个),分别进行力学性能、工艺性能、钢材硬度检验,结果见表 3。可以看出,工艺 2 取得良好效果,强度、硬度降低,断面收缩率、延伸率明显提高。

表 3 SCM435 冷镦钢盘条综合性能

Table 3 Comprehensive properties of cold heading steel SCM435

| 工艺 | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | 延伸率/% | 断面收缩率/% | 1/3冷镦合格率/% | 硬度(HRB) |
|----|----------|----------|-------|---------|------------|---------|
| 1  | 430~450  | 680~720  | 20~25 | 38~50   | 80         | 88.8~   |
|    | 440      | 695      | 23    | 46      |            | 103     |
| 2  | 410~430  | 650~690  | 25~30 | 49~59   | 100        | 86~     |
|    | 420      | 660      | 28    | 56      |            | 96.6    |

注:表中分母为平均值。

## 3 分析讨论

### 3.1 加热制度

工艺 2 采取了较低的加热温度,一方面是考虑 SCM435 属中碳调质型冷镦钢,加热温度高易造成

盘条表面脱碳。另一方面是配合控制轧制,为控制相变做准备,特别是轧大规格盘条( $\geq \Phi 12$  mm)不经过精轧机组,提高非再结晶区变形量依靠降低加热温度来实现。

### 3.2 控制轧制

在兼顾设备能力前提下,轧制温度尽可能降低,以增大奥氏体非再结晶区变形量,使  $\gamma$  相充分变形积累大量位错,增加晶格畸变能<sup>[2]</sup>,降低过冷奥氏体稳定性。由于奥氏体过度变形,积累的应变能在转变成珠光体的过程中不能充分释放,因此富碳的珠光体仍有较大的畸变能,处于不稳定状态。根据能量趋低原理,在随后用户进行的球化(软化)退火过程中,渗碳体片会析出、溶断并聚集,转变为粒状珠光体,这种铁素体 + 粒状珠光体组织,硬度低,冷成型性好是制作标准件的理想组织。

工艺 2 精轧、减定径温度较常规轧制分别降低 50 °C 和 80 °C,从而使转变后的珠光体具备了较大变形能,在随后较为缓慢的冷却条件下,2 种不同工艺的盘条,均得到接近平衡组织,但是铁素体含量的差别、异常组织情况体现了 2 种工艺的优劣。图 1 (a)、(b)分别为 2 种工艺轧态组织,可以看出:工艺 1 存在较多贝氏体和马氏体组织,且铁素体量相对

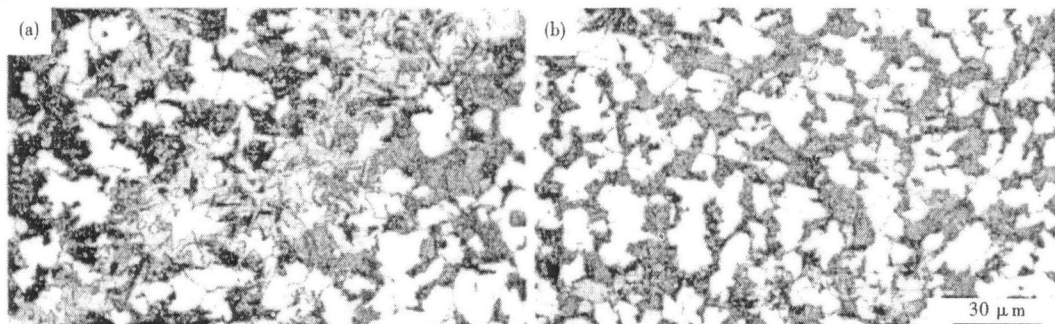


图 1 SCM435 冷镦钢热轧组织:(a) 工艺 1,贝氏体-马氏体 + 少量铁素体;(b) 工艺 2,珠光体 + 铁素体

Fig. 1 Hot rolled structure of cold heading steel SCM435; (a) Process 1, bainite- martensite + minor ferrite; (b) Process 2, pearlite + ferrite

较少,工艺 2 则组织均匀,无异常组织。

### 3.3 控冷制度

由于用户对 SCM435 轧态盘条性能要求不同、热处理工艺制度不同,盘条组织控制目标有较大差异。有的用户要求盘条有较低的强度和硬度,此时控冷只能采取 0.4 °C/s 左右缓慢冷却,得到铁素体 + 珠光体 + 少量贝氏体或马氏体,接近平衡组织,否则强度高不能满足用户要求。

按入口辊道速度 13 ~ 14 m/min(0.4 °C/s)缓慢冷却控制,实际生产中,性能均一性较差。主要是在

盘条出保温罩时搭结点和非搭结点温度分别在 710 °C 和 670 °C 以上,根据 SCM435 CCT 曲线<sup>[3]</sup>,此时搭结点处还未相变,非搭结点处刚开始相变,也就是说,盘条大部分是在集卷后相变的,集卷后里层的冷速缓慢得到近似平衡组织,内层为珠光体 + 铁素体(图 2a),外层冷速快,组织中存在大量贝氏体和马氏体(图 2b)。图 2(b)为工艺 1 同一盘条内外层组织对比,外层存在大量贝氏体和马氏体(内层为珠光体 + 铁素体)。

由于用户在 SCM435 使用前均要进行球化(软

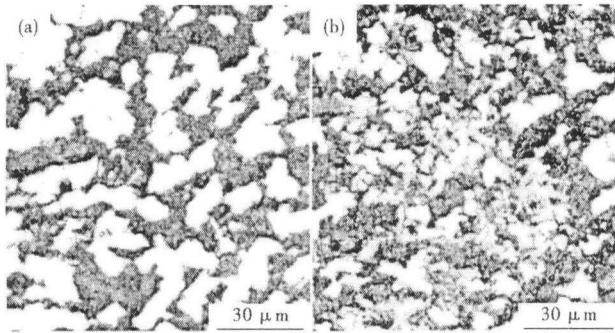


图 2 工艺 1 SCM435 冷镦钢盘条组织:(a) 内层盘条;(b) 外层盘条

Fig. 2 Structure of cold heading steel SCM435 wire rod coil: (a) inter coil; (b) outer coil

化)退火,实践表明:这种珠光体 + 铁素体和大量贝氏体或马氏体共存的组织,退火时,不同组织碳的扩散条件不同,退火后组织均匀性较差,当镦制大变形量标准件时开裂率较高。

表 4 为工艺 1、2 SCM435 盘条采取同一退火制度时,退火后硬度情况。可见工艺 2 退火后 SCM435 硬度均较低,且均匀,工艺 1 次之。图 3(a)、(b)分别为 2 种工艺采用加热 780 °C 保温 3.5 h 软化退火后电镜组织照片。

表 4 不同工艺轧制 SCM435 冷镦钢盘条退火前后硬度  
Table 4 Hardness of cold heading steel SCM435 with different rolling process, before and after annealing

| 工艺   | 规格/mm | 硬度(HRB)       |         |
|------|-------|---------------|---------|
|      |       | 退火前           | 退火后     |
| 1    | Φ12   | 88.8 ~ 103.0  | 73 ~ 86 |
| 2    | Φ12   | 86.0 ~ 96.6   | 80 ~ 84 |
| 进口盘条 | Φ16   | 106.0 ~ 106.9 | 79 ~ 82 |

从以上分析看出,SCM435 轧态组织为铁素体 + 珠光体,是最理想的组织。按照这一组织目标,可对工艺 2 再进一步优化,在保持较低的轧制、吐丝

温度同时,适当加大线环间距,使相变前冷却速度控制在 1 °C/s 左右。实际生产中可考虑,吐丝温度 780 ~ 800 °C,入口段辊速增加到 15 ~ 16 m/min。

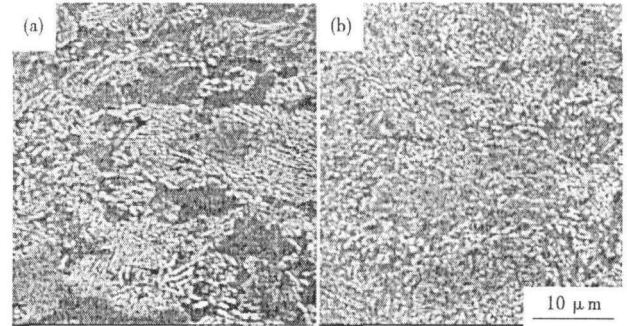


图 3 退火后 SCM435 冷镦钢组织,SEM:(a) 工艺 1;(b) 工艺 2  
Fig. 3 Structure of annealed cold heading steel SCM435, SEM: (a) Process 1; (b) Process 2

#### 4 结语

生产 SCM435 冷镦钢大规格盘条时,控制较低的加热温度是提高非再结晶区变形量,控制相变的首要条件。精轧和减定径温度分别控制在 900 °C 和 800 °C 左右,既适应工业化大生产,又可得到较理想的组织和冷镦性能。

#### 参考文献

- 1 胡孝三,于同仁,梁皖伦. 高强度冷镦钢热轧制工艺模拟试验研究. 钢铁,2003,38(12):49
- 2 李曼云,孙本荣. 钢的控制轧制和控制冷却技术手册. 北京:冶金工业出版社,1990
- 3 林慧国. 钢的奥氏体转变曲线-原理、测试与应用. 北京:机械工业出版社,1988

段贵生(1966-),男,高级工程师,博士研究生,1986 年北京科技大学毕业,从事板带高线产品研发。

收稿日期:2007-07-02

#### · 特殊钢信息 ·

### 开发能源工业用新型钻具

气体钻井技术是一种由气体设备在地面注入气体到井眼内,以气体代替泥浆等钻井液作为循环介质实施钻进的钻井技术。1953 年美国犹他州首次使用空气钻井技术进行钻井。以后,该技术经过半个多世纪的发展,已经发展为纯气体钻井、雾化钻井、泡沫钻井。

气体钻井技术被广泛应用于世界各地油气井(包括煤层气)的钻探和开发上。截止到 2000 年,据美国能源部统计,30% 左右的石油、天然气钻井和完井作业采用了该技术,最深井已钻达 1 900 英尺。空气钻井技术可最大限度提高钻速,实现大幅度降低钻井综合成本。

中国石化已在普光气田应用空气钻井技术前进行了理论上的分析,通过现场试验应用形成了一套比较成熟的空气钻井技术,在普光地区部分井段采用空气钻井技术大幅提高钻井速度,保证钻井安全顺利地进行。

为确保安全、可靠、高效、经济的进行油气勘探开发,必须加快研究高含量 H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub> 气体及高温、高压环境下气体钻井环对钻杆结构完整性的影响研究,加快对现有的钻杆进行改进或开发新型材料,研发适合于气体钻井用新型钻杆。

(熊建新)