

## SCM435 高强冷镦钢热轧过程中的再结晶行为

张永军<sup>1,2</sup> 韩静涛<sup>1</sup> 孔俊其<sup>2</sup> 侯月华<sup>2</sup> 郑永瑞<sup>2</sup> 李 军<sup>2</sup> 甄琴英<sup>2</sup>

(1 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083; 2 邢台钢铁有限责任公司,邢台 054027)

**摘 要** 采用阶梯试样轧制法研究了道次变形量(15%~70%)和温度(850~1 150 ℃)对 SCM435 钢(%: 0.35C, 1.05Cr, 0.22Mo)变形奥氏体再结晶百分比影响,绘制了该钢的再结晶全图。结果表明,随变形温度提高,奥氏体临界变形量降低。在1 150 ℃ 45% 变形量下,SCM435 钢奥氏体可以发生完全再结晶。

**关键词** SCM435 冷镦钢 变形温度 变形量 再结晶

## Recrystallization Behavior of High Strength Cold Heading Steel SCM435 in Hot Rolling Process

Zhang Yongjun<sup>1,2</sup>, Han Jingtao<sup>1</sup>, Kong Junqi<sup>2</sup>, Hou Yuehua<sup>2</sup>, Zheng Yongrui<sup>2</sup>, Li Jun<sup>2</sup> and Zhen Qinying<sup>2</sup>

(1 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Xingtai Iron & Steel Corp Ltd, Xingtai 054027)

**Abstract** The pass reduction (15%~70%) and temperature (850~1 150 ℃) on recrystallization fraction of deforming austenite of steel SCM435 (%: 0.35C, 1.05Cr, 0.22Mo) has been studied by using stepped form stock rolling method, and the recrystallization diagram of the steel is got. Results show that with increasing deformation temperature, the critical strain of austenite of steel decreases. The complete recrystallization of austenite of steel SCM435 occurs at 1 150 ℃ with 45% reduction.

**Material Index** Cold Heading Steel SCM435, Deformation Temperature, Strain, Recrystallization

10.9、12.9 级高强、超高强级别的汽用螺栓用合金冷镦钢以 SCM435 钢种系列为主,属于有特殊要求的高级冷镦钢<sup>[1,2]</sup>。

冷镦钢在完全再结晶区进行轧制,可利用再结晶得到细化晶粒;在未再结晶区轧制,晶内产生大量的变形带(变形量达到一定程度后),最后可以得到比较细小均匀的晶粒;但在部分再结晶区轧制时容易出现混晶组织恶化钢的性能。高温奥氏体状态取决于轧制的工艺参数,所以研究工艺参数对变形奥氏体再结晶的影响规律具有十分重要的意义,可为制定合理的轧制工艺提供理论依据<sup>[2~5]</sup>。本文采用阶梯试样轧制和金相组织分析的方法,来确定 SCM435 钢热变形过程中的奥氏体再结晶规律。采用阶梯形试样,经过轧制后,可以在一个试样上获得所需的不同的变形量<sup>[6]</sup>。

### 1 试验材料及方案

试验 SCM435 钢(表 1)取自邢钢 160 mm × 160 mm 连铸坯,在断面的 1/4 处取样。为了一次轧制即可获得不同程度的压下率,将试验材料加工成 160 mm × 36 mm × (8~36) mm 阶梯形(设计了 7 个台阶),沿轧制方向可依次实现 10%~70% 的压下率。

试验在北京科技大学国家高效轧制工程中心

表 1 SCM435 高强冷镦钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of high strength cold heading steel SCM435 / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.35	0.25	0.73	0.03	0.03	1.05	0.22

Φ350 mm 二辊可逆式轧机上进行。先将阶梯试样加热至 1 150 ℃, 15 min, 然后在 1 150~850 ℃ 的 7 个温度下分别进行轧制, 轧后淬水, 以保留高温组织。在光学显微镜下观察和计算奥氏体晶粒再结晶百分数; 进而绘制再结晶全图。

### 2 试验结果及分析

#### 2.1 奥氏体再结晶组织转变情况

从图 1 可以看出, 随着变形量的增加, 变形奥氏体晶粒拉长, 奥氏体晶界面积增多, 畸变能加大, 奥氏体再结晶形核部位增多, 形核速度加快, 促使变形奥氏体再结晶数量增多, 晶粒尺寸减小。所以, 在较高温度下加大变形量对细化奥氏体晶粒、均匀组织是有利的。

#### 2.2 变形量、变形温度对奥氏体再结晶百分数的影响

图 2 所示为奥氏体再结晶百分数与相对变形量、变形温度的关系曲线图。在同一温度下, 相对变形量对再结晶百分数的影响不是简单的线性关系。

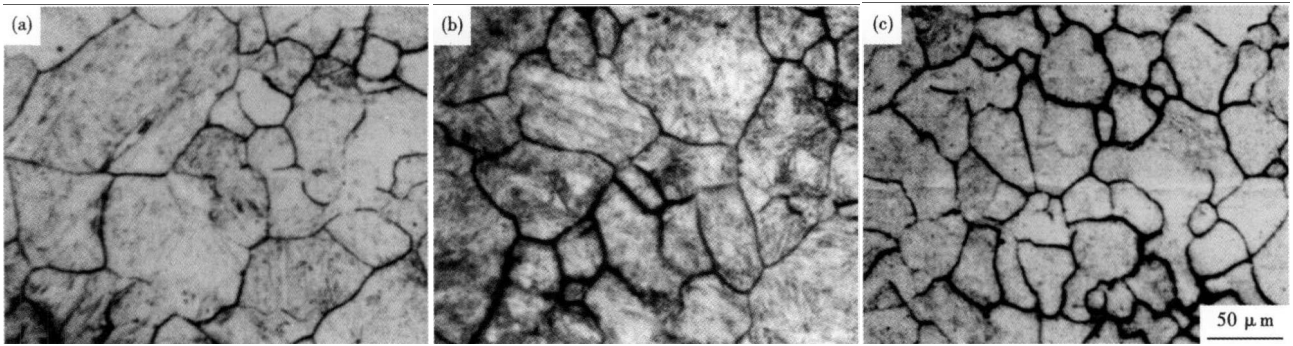


图 1 1 100 °C 轧制 SCM435 钢奥氏体再结晶组织形貌,变形量:(a)23.9%;(b)42.9%;(c)71.5%

Fig. 1 Structure morphology of austenite recrystallization of steel SCM435 rolled at 1 100 °C with strain 23.9% (a), 42.9% (b) and 71.5% (c)

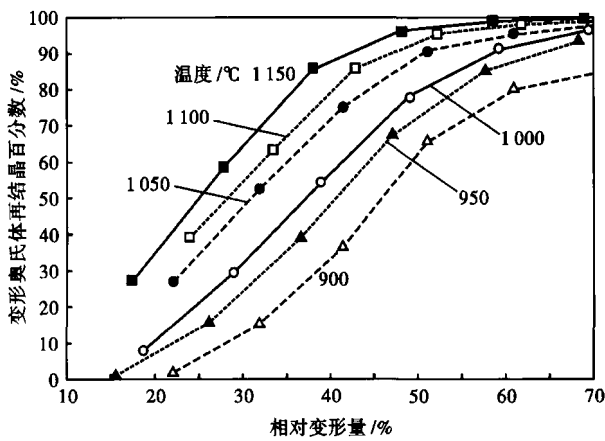


图 2 相对变形量、温度对 SCM435 钢奥氏体再结晶百分数的影响

Fig. 2 Effect of relative strain and temperature on recrystallization fraction of austenite of steel SCM435

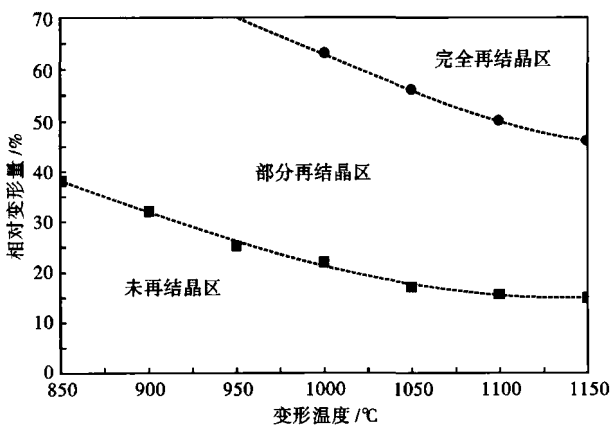


图 3 SCM435 钢变形奥氏体再结晶图

Fig. 3 Recrystallization figure of deforming austenite of steel SCM435

开始时,随着相对变形量的增加,再结晶百分数也快速增大;而在某一变形量之后(40%左右),再结晶百分数增大的速率明显变小,并且趋近于某一定值。在1 150、1 100 °C,再结晶百分数已接近于100%。

在同一个变形量下,轧制温度越高,再结晶率越

高。当变形量较小时,由于畸变能增加不明显,奥氏体再结晶形核的部位不多,温度在起主导作用,所以奥氏体再结晶的数量较少。当变形量较大时,随变形温度的提高再结晶百分数增加较明显。

### 2.3 再结晶全图

图 3 为 SCM435 钢的再结晶全图。由图 3 可知,在不同温度轧制下,发生再结晶的相对变形量不同。轧制温度较高时,进入再结晶区所需要的变形量较小。而在较高轧制温度1 150 °C 时,大约在 45% 的变形量下,就可以发生完全再结晶。

### 3 结论

由试验结果绘制的 SCM435 钢再结晶全图可知,轧制温度和相对变形量(即压下率)是影响奥氏体再结晶百分数的两个主要因素。在变形温度一定时,随变形量的增加,奥氏体再结晶百分数增加;在变形量一定时,随变形温度的提高,奥氏体再结晶百分数增加,在其他条件一定时,随变形温度的提高,奥氏体再结晶的临界变形量降低。

### 参考文献

- 1 叶健松,吴小良,余国松,等. 尼桑汽车冷镦用钢 SCM435 盘条的试制. 浙江冶金,2004(3):16
- 2 范银平,巫保振,李静宇. SCM435 冷镦线材的开发. 金属制品,2008,34(1):26
- 3 王有铭,李曼云,韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却. 第2版. 北京:冶金工业出版社,2009
- 4 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,1998
- 5 小指军夫. 控制轧制与控制冷却. 李伏桃,陈 岗译. 北京:冶金工业出版社,2002
- 6 门学勇. 钢的相变实验及组织分析. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1990

张永军(1969-),男,博士后,副教授,钢铁材料生产技术和质量控制。

收稿日期:2009-08-28