

# 冷轧压下率和罩式退火升温速度 对微碳深冲钢板织构的影响

吕庆功 黄重国 陈光南

(北京科技大学) (中国科学院)

常军 程兴德 唐历 周家琮

(攀枝花钢铁集团公司)

**摘要** 在四辊冷轧试验机和 Geeble - 1500 试验机上进行了热轧微碳钢板的冷轧和退火试验。用 D/max - RC 衍射仪测量了试样的 1/4 层织构,并用 Roe 软件进行了 ODF 分析。研究表明,所研究的热轧微碳深冲板压下率约为 75 %,退火升温速度为 20 ~ 40 /h 时,试样为 {111} 织构特征;压下率较大 (80 %) 时,退火织构为较弱的 {111} 组分。无论 {111} 织构还是非 {111} 织构都是在形核阶段开始形成,在晶粒长大优先长大,受到定向形核和选择生长双重机制的作用。

**关键词** 微碳钢板 织构 冷轧 退火

## EFFECT OF COLD ROLLING RATIO AND HEATING RATE OF BATCH ANNEALING ON TEXTURES OF MICRO - CARBON STEEL SHEET

L ÜQingong Huang Zhongguo

Chen Guangnan

(University of Science and Technology Beijing) (the Chinese Academy of Sciences)

Chang Jun Cheng Xingde Tang Li Zhou Jiacong

(Panzhuhua Iron & Steel Corp.)

**Synopsis** Experiments of cold rolling and annealing of hot - rolled micro - carbon steel band are conducted on a 4 - high cold - rolling mill and a Geeble - 1500 simulator. Textures are measured on a D/max - RC diffractometer at one fourth layer of the samples, and ODF analysis is carried out by a Roe software. Investigations shows that for the micro - carbon deep - drawing sheet desirable texture of {111} can be achieved at a cold - rolling ratio of about 75 % and a heating rate of 20 ~ 40 /h; while lower cold - rolling ratios (65 %, 70 %) give a main feature of non - {111} texture, a higher ratio (80 %) results in weak texture of {111}. Both {111} and non - {111} textures are formed during nucleation and become stronger in following grain growth, which means the mechanisms are dominated by oriented nucleation and oriented growth.

**Keywords** micro - carbon steel sheet texture cold - rolling annealing

## 1 前言

为保证深冲钢板具有优良的成形性能,钢板中需要形成强的 {111} 织构,这已被大量研究文献所证实<sup>[1,2]</sup>。然而,我们在微碳深冲钢板的试制中,发现冷轧钢板的退火织构有时主要体现为理想的 {111} 组分,有时又主要体现为 111 ND

取向线上织构密度为谷值的非 {111} 织构特征。本文作者已详细分析了这种非 {111} 织构的特征及其对钢板塑性应变比的影响规律,证明这种织构特征虽不同于常规织构但并不等同于劣质<sup>[3]</sup>。本文的目的是研究冷轧压下率和罩式退火升温速度对微碳深冲钢板织构的影响规律,为实际生产中的织构和工艺参数优化提供依据。

联系人:吕庆功,博士,北京市(100083)北京科技大学设计研究院

## 2 试验材料及方法

### 2.1 试验材料

试验所用材料是实际生产中的微碳深冲钢热轧板,其厚度为 3.5 mm,终轧温度  $FT = 900$ ,卷取温度  $CT = 550$ ,化学成分见表 1。

表 1 试验用热轧钢板的化学成分 %

w <sub>B</sub>					
C	Si	Mn	P	S	Als
0.01	0.01	0.23	0.012	0.007	0.04

### 2.2 试验方法

将所取热轧钢板剪成 200 mm × 500 mm 的 4 块试样(500 mm 为轧向),在四辊冷轧试验机上(工作辊径 120 mm)分别轧制至 65%、70%、75% 和 80% 四种压下率。然后将四种压下率的冷轧试样全部剪成 30 × 120 mm 的小试样(120 mm 为轧向),各取 4 块在 Geeble 1 500 热模拟试验机上分别采用 4 种退火工艺进行热处理,退火工艺见图 1 所示。

在冷轧和退火试样上线切割 24 mm × 26 mm 的织构样(26 mm 为轧向),采用 D/max - RC 衍射仪,用 Co - K 辐射,以步长  $\Delta 2\theta = 5$  在各试样 1/4 层面上采集 {110}、{200} 和 {112} 三张不完整极图,由 Roe 系统 ODF 织构分析软件绘制 ODF 截面图。

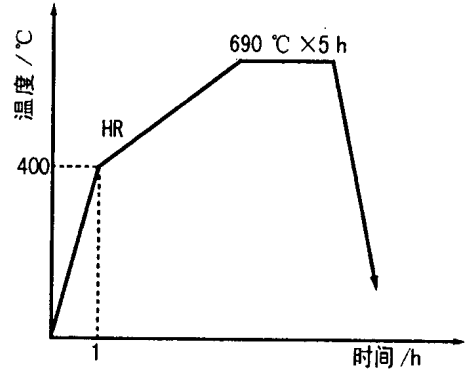


图 1 四种退火工艺的温度 - 时间曲线

比较各退火试样的织构,选取具有好织构和差织构的两个典型试样,对其织构在退火过程中的形成过程进行考察。具体做法是:选取足够数量的冷轧态小试样,采用所选两个试样的退火工艺在 Geeble 热模拟机上进行退火热处理,在退火过程的不同进程断电冷却,断电位置分别为:450、470、490、510、530、550、570、610、650、690。然后,对各试样进行微硬度测量以分析再结晶过程,并对处在再结晶过程中的试样进行织构测量和 ODF 分析。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 压下率对冷轧和退火织构的影响

图 2 所示为不同压下率和升温速度下的冷轧态和退火态试样的恒  $\phi = 45^\circ$  ODF 织构图。

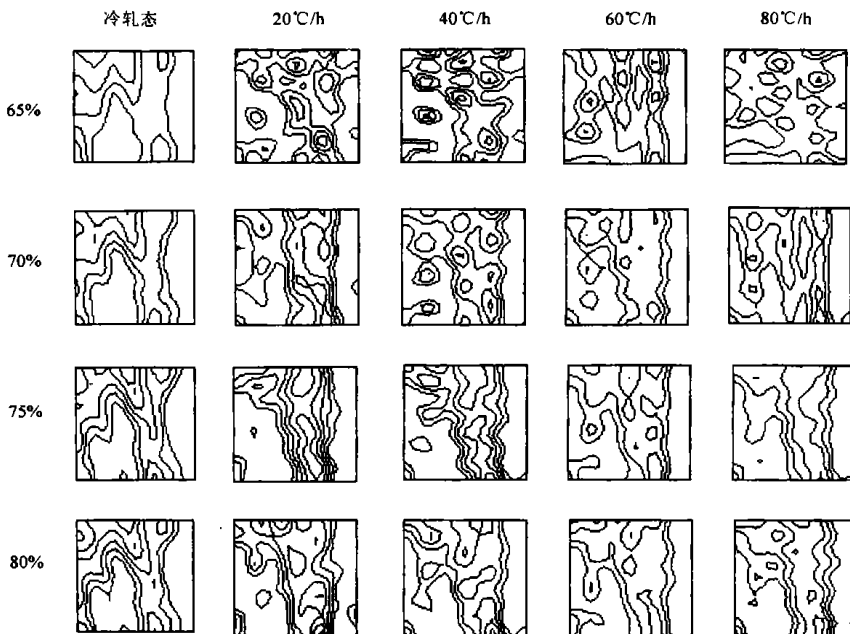


图 2 不同压下率和升温速度下的冷轧态和退火态试样的恒  $\phi = 45^\circ$  ODF 织构图

可以看出,冷轧态织构同时出现了 $\{111\}$ 和非 $\{111\}$ 织构特征,其中非 $\{111\}$ 织构的L取向线<sup>[3]</sup>在恒ODF截面图中显得更为直观(图3)。随着冷轧压下率从65%增大到75%, $\{111\}$ 织构和L取向线织构的取向密度均明显增强;而当压下率从75%增大到80%时,上述两种织构组分并没有增强,而 $\{001\}$ 织构却明显增强。

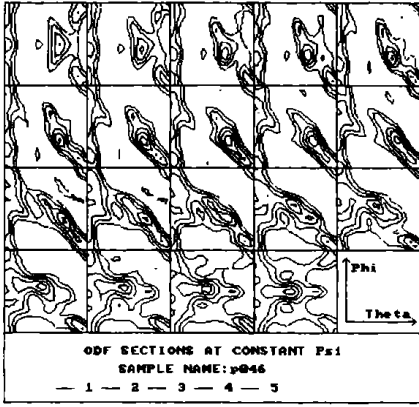


图3 压下率为75%的冷轧态试样的恒ODF截面图

退火织构出现了两种基体组分:一是 $\{111\}$ 织构组分;二是非 $\{111\}$ 织构组分。在20/h和40/h的退火升温速度下,随着冷轧压下率从65%增大到75%,其 $\{111\}$ 织构组分的密度随着增强,这与冷轧织构的变化趋势是完全一致的。不过,在65%和70%的压下率时,退火织构均具有明显的非 $\{111\}$ 织构特征,而在75%压下率时,退火织构体现为非常理想的 $\{111\}$ 织构。当压下率增大到80%时,退火织构虽主要体现为 $\{111\}$ 特征,但其强度明显减弱,这与冷轧织构的变化也具有一定的对应性。在60/h和80/h的升温速度下,退火织构的强度对压下率不敏感。但是,当压下率为65%和70%时,退火织构主要体现为非 $\{111\}$ 织构特征,而当压下率为75%和80%时,退火织构主要体现为 $\{111\}$ 组分。

总的来说,本文研究的微碳深冲钢板在冷轧压下率为约75%时最容易形成理想的 $\{111\}$ 退火织构。当压下率小于75%时,容易形成非 $\{111\}$ 织构特征;当压下率大于75%时,虽然退火织构体现为 $\{111\}$ 组分,但取向密度却有减弱的趋势(当升温速度为20/h和40/h)或者(当升温速度为60/h和80/h)。

### 3.2 升温速度对退火织构的影响

由图2可以看出,当冷轧压下率为65%和80%时,试样的退火织构对升温速度似乎并不太

敏感,只是前者的主要织构特征为非 $\{111\}$ 织构,而后的主要织构特征为较弱的 $\{111\}$ 织构。当压下率为70%时,退火织构在40/h、60/h和80/h三个升温速度下均主要体现为非 $\{111\}$ 织构特征,而当升温速度为20/h时,退火织构出现了明显的 $\{111\}$ 特征,说明慢速升温有利于 $\{111\}$ 织构的形成。当压下率为75%时,慢速升温对 $\{111\}$ 退火织构的有利作用体现得更为明显,在20/h和40/h的升温速度下出现了非常理想的 $\{111\}$ 组分,而在60/h和80/h的较高升温速度下则体现为明显较弱的 $\{111\}$ 织构。

由上述可知,微碳深冲钢板在通常的70%~75%的压下率时,退火采用20~40/h的慢速升温明显有利于理想 $\{111\}$ 织构的形成;当压下率太小(65%)或太大(80%)时,升温速度对退火织构的影响不明显。

### 3.3 $\{111\}$ 退火织构的形成过程

由图2可以看出,试样采用75%的压下率和20/h的升温速度可以获得最理想的 $\{111\}$ 有利织构,所以可用这一工艺条件来考察 $\{111\}$ 退火织构的形成过程。图4所示为相应试样在退火不同进程时的微硬度演变及再结晶过程中的织构变化。

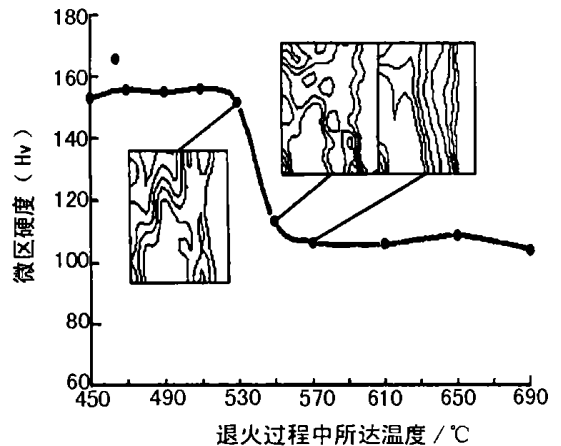


图4 微碳深冲钢板的 $\{111\}$ 退火织构的形成 (ODF为恒 $\phi=45^\circ$ 截面图)

可以看出,试样在520~530℃之间开始再结晶,在550~560℃之间结束再结晶。在530℃时再结晶刚刚开始,试样相对于冷轧织构发生了轻微的变化,即在 $\{111\}$ 取向线上出现新的取向,说明最初晶核取向为 $\{111\}$ 。在550℃时,再结晶尚未完成,退火织构中 $\{111\}$ 组分明显增强,说明具有 $\{111\}$ 取向的晶核已经优先长大。在570℃时,

再结晶刚刚完成, {111} 织构进一步加强, 其它织构组分则明显减弱, 说明 {111} 晶粒在长大过程中吞噬了其它取向的晶粒。从 570 ℃ 织构与图 2 所示的相应试样的全退火织构的比较可以看出, 最终 {111} 织构比再结晶刚刚结束时的 {111} 织构强, 说明在初始再结晶结束后的进一步晶粒长大过程中, 具有 {111} 取向的晶粒优先长大, 从而促使了 {111} 织构的增强。

由上述再结晶过程中的织构演变可知, 微碳深冲钢板中的 {111} 退火织构在形核时就开始形成, 并在晶粒长大过程中优先长大。

### 3.4 非{111}退火织构的形成过程

由图 2 可以看出, 试样采用 70 % 的压下率和 80 ℃/h 的升温速度可以获得很明显的非 {111} 织构, 所以采用这一工艺条件来考察非 {111} 退火织构的形成过程。图 5 所示为相应试样在退火不同进程时的微硬度演变及再结晶过程中的织构变化。

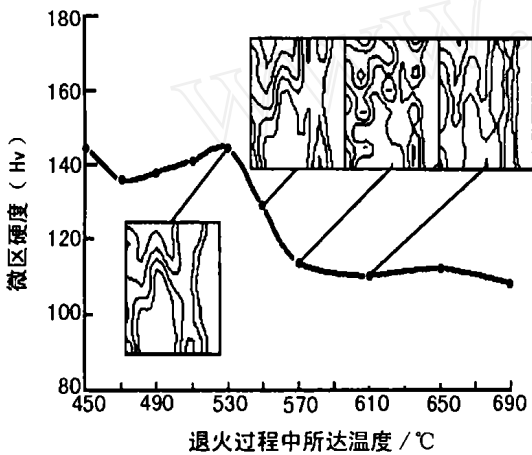


图 5 微碳深冲钢板的非 {111} 退火织构的形成 (ODF 为恒  $\phi 45$  截面图)

可以看出, 试样在约 530 ℃ 开始再结晶, 在约 570 ℃ 结束再结晶。在 530 ℃ 时由于初生晶核所占比例非常小, 所以它引起的织构变化还很不明显; 在 550 ℃ 时, 试样织构发生了较明显的变化, 但体现为非 {111} 织构的加强, 到 570 ℃ 时, 这种非 {111} 织构特征已经非常明显, 610 ℃ 时, 试样的非 {111} 织构特征进一步典型化, 与试样完全退火状态下的织构特征非常接近, 只是比最终退火织构弱, 说明在 610 ℃ 之后试样中发生的晶粒长大过程中具有非 {111} 织构取向的晶粒优先生长, 从而使非 {111} 织构进一步加强。

从上述织构转变过程可以看出, 微碳深冲钢

板的非 {111} 织构同 {111} 织构一样, 也是在再结晶的形核阶段就开始形成, 并在晶粒长大过程中优先长大。

## 4 讨论

众所周知, 冷轧钢板的 {111} 退火织构是在冷轧织构的基础上, 通过定向形核机制或选择生长机制而形成<sup>[4-6]</sup>。在这个过程中, 具有 {111} 取向的冷轧组织易于在晶界或晶内优先形成 {111} 晶核并在随后的生长过程中吞噬其它取向晶粒而优先长大, 最终形成强的 {111} 退火织构。本文研究的微碳深冲钢板, 其 {111} 织构的形成规律与文献所述是完全相符的, 但是非 {111} 织构在本文作者对其进行描述<sup>[3]</sup>之前, 尚没有文献报道过。由于非 {111} 织构在冷轧织构中就已经出现, 所以退火织构中的非 {111} 组分可以溯源于冷轧织构。由于非 {111} 织构在退火过程中的演变规律与 {111} 织构的演变规律非常相似, 所以其形成机制也可以认为遵循于一定的定向形核和选择生长机制。

我们曾对实际生产中所取的冷轧板进行了织构分析, 发现同样具有非 {111} 织构特征。据此可以推断, 这种冷轧织构的形成与冷轧工艺无关, 而是源于热轧板的特殊组织状态。另外, 当冷轧压下率达到 80 % 时, 冷轧织构的 {001} 组分明显增强, 这与通常认同的 {112} 110 或 {223} 110 成为最强织构<sup>[7]</sup>有明显的不同, 这进一步说明这种冷轧织构的形成具有特殊性。关于热轧板组织以及冷轧织构形成的特殊性, 还有待进一步深入研究。

对实际生产中的工艺参数进行分析后表明, 热轧的终轧温度、卷取温度、轧制速度等对最终退火织构并没有明显影响规律, 说明热轧板的某种特殊组织是源于材质, 而不受普通热轧条件的影响。与此同时, 实际生产中的冷轧压下率和退火升温速度对退火织构的影响与本文的试验研究结果有很好的对应性。因此, 尽管冷轧压下率和罩式退火升温速度不是造成非 {111} 退火织构的根本原因, 但却可以作为控制退火织构的重要手段。

## 5 结论

(1) 本文研究的微碳深冲钢板在冷轧压下率约为 75 % 时最容易形成理想的 {111} 退火织构。当压下率小于 75 % 时 (65 %, 70 %), 容易形成非 (下转第 38 页)

## 4 效果分析

通过以上对 16Mnq 抗拉强度不合的原因进行的分析及采取的措施,细化了晶粒,晶粒度由以往的 7.5 级~8.5 级,提高到 8.5 级~9.5 级。

同时,有效的改善了机械性能,2001 年 10 月至今,16Mnq(Q345q)性能合格率达 100%,各项实物指标均有了不同程度的提高,改进前后实物指标平均值的对比如表 3 所示:

表 3 改进前后实物指标平均值对比

	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	Akv/J
改进前	352	519	26	74
改进后	381	547	27	104

## 5 结 语

(1) 考虑到韧性和强度的统一性,碳当量应控

(上接第 35 页)

{111} 织构特征。当压下率大于 75% 时(80%),虽然退火织构体现为{111}组分,但取向密度却比 75% 时减弱(当升温速度为 20 /h 和 40 /h)或不变(当升温速度为 60 /h 和 80 /h)。

(2) 当冷轧压下率为 70%~75% 时,退火采用 20~40 /h 的慢速升温明显有利于{111}织构的形成;当压下率太小(65%)或太大(80%)时,升温速度对退火织构的影响不明显。

(3) 无论最终退火织构是{111}织构还是非{111}织构,它们均是在形核时就开始形成,并在晶粒长大过程中优先长大,受到定向形核和选择生长双重机制的作用。

### 参 考 文 献

1 Sanak Mishra and C Darmann. Role and control of texture in deep -

制在 0.385%~0.42% 的范围内;

(2) Nb 的加入量应控制在 0.015%~0.030% 之间,Al 的加入量应控制在 0.025%~0.040% 之间;

(3) 含 Nb 钢和含 Al 钢加热工艺应区别对待,含 Nb 钢应控制在 1230~1280,含 Al 钢应控制在 1180~1230 ;

(4) 再结晶区与未再结晶区的控轧均应采用较大的道次压下率,同时,未再结晶区的累计压下率应 50%。

### 参 考 文 献

- 1 王廷溥. 板带材生产原理与工艺. 北京:冶金工业出版社,1995
- 2 王有铭,李曼云,韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却. 北京:冶金工业出版社,1995

(收稿日期:2002-03-11)

drawing steels. International Metals Reviews,1982,27(6):307~320

- 2 何崇智,张志军,田德新,刘浩. 武钢微碳深冲钢板的织构特征与成型性. 钢铁,1998;(7):37~40
- 3 吕庆功,陈光南,常军,程兴德,唐历,周家琮. 微碳深冲钢板的非{111}织构特征及其对 $\bar{r}$ 、 $r$ 值的影响. 金属学报,2001,37(6)
- 4 Yasunobu Nagataki and Yoshihiro Hosoia. Origin of the Recrystallization Texture Formation in an Interstitial Free Steel. ISIJ International, 1996,36(4):451~460
- 5 T. Urabe and J.J. Jonas. Modeling Texture Change during the Recrystallization of an IF Steel. ISIJ International, 1994,34(5):435~442
- 6 W. B. Hutchinson. Recrystallisation Textures in Iron Resulting from Nucleation at Grain Boundaries. Acta. Metall. 1989,37(4):1047~1056
- 7 Christian Klinkenberg, Dierk Raabe and Kurt Lucke. Influence of volume fraction and dispersion rate of grain-boundary cementite on the cold-rolling textures of low-carbon steel. Steel Research, 1992,63(6):262~269

(收稿日期:2002-01-14)