

微碳深冲钢板的非 {111} 织构特征 及其对 \bar{r} , Δr 值的影响 *

吕庆功^{1,2)} 陈光南¹⁾ 常军²⁾ 程兴德²⁾ 唐历²⁾ 周家琮²⁾

1) 中国科学院力学研究所, 北京 100080

2) 攀枝花钢铁(集团)公司, 攀枝花 617000

摘要 在生产试制的 St15 微碳深冲钢板中, 选择 \bar{r} 变化、 Δr 一定和 \bar{r} 一定、 Δr 变化的两组试样, 对其进行织构测量及 ODF 分析, 进而对织构特征进行了描述, 并分析了主要织构对 \bar{r} , Δr 值的影响特点. 结果表明: 试制的这批 St15 微碳深冲钢板没有出现理想的 $\gamma \langle 111 \rangle // ND$ 取向线织构, 而是主要体现为 γ' 取向线 ($\psi=0-90^\circ$, $\theta=19^\circ$, $\phi=45^\circ$) 和围绕 $\gamma \langle 111 \rangle // ND$ 取向线从 $\psi=0^\circ$, $\theta=54.7^\circ$, $\phi=62.7^\circ$ 螺旋旋转到 $\psi=90^\circ$, $\theta=40^\circ$, $\phi=45^\circ$ 的 L 取向线. 其中, L 取向线主要影响 \bar{r} 值, 织构越强 \bar{r} 值越大, 但对 Δr 值不利. γ' 取向线主要影响 Δr 值, 织构越强 Δr 值越小, 但对 \bar{r} 值不利. 强的 L 取向线织构配以较强的 γ' 取向线织构可以获得良好的 \bar{r} , Δr 值.

关键词 微碳深冲钢板, 织构, 塑性应变比

中图法分类号 TG142.1

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2001)06-0567-04

THE CHARACTERISTICS OF NON-{111} TEXTURES IN MICRO-CARBON DEEP DRAWING STEEL SHEETS AND THEIR INFLUENCE ON THE \bar{r} AND Δr VALUES

LÜ Qinggong^{1,2)}, CHEN Guangnan¹⁾, CHANG Jun²⁾, Cheng Xingde²⁾, TANG Li²⁾, ZHOU Jiacong²⁾

1) Institute of Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

2) Panzhihua Iron & Steel (Group) Corporation., Panzhihua 617000

Correspondent: LÜ Qinggong, Tel: (0812) 3339720(O), E-mail: qglv@sohu.com

Manuscript received 2000-04-26, in revised form 2001-02-12

ABSTRACT From St15 micro-carbon deep drawing steel sheets, two sets of samples with \bar{r} variant and Δr constant, and \bar{r} constant and Δr variant, were selected to carry out texture measurement and ODF analysis. A description of the texture characteristics and an investigation on the effect of the main textures on the \bar{r} and Δr values were given. The results show that in the tested steel sheets no desired $\gamma \langle 111 \rangle // ND$ orientation line appears but γ' orientation line located at $\psi=0-90^\circ$, $\theta=19^\circ$ and $\phi=45^\circ$, and L orientation line located around $\gamma \langle 111 \rangle // ND$ orientation line which spirally rotates from $\psi=0^\circ$, $\theta=54.7^\circ$ and $\phi=62.7^\circ$ to $\psi=90^\circ$, $\theta=40^\circ$ and $\phi=45^\circ$ occur. Among them, the L orientation line has a main influence on the \bar{r} value and the stronger the texture density, the higher the \bar{r} value is, but is somewhat detrimental to the Δr value; at the same time, the γ' orientation line has a major effect on the Δr value in an opposite way, but is somewhat deteriorative to the \bar{r} value. A strong L orientation line superposed by a relatively strong γ' orientation line may produce fine \bar{r} and Δr values.

KEY WORDS micro-carbon deep drawing steel sheet, texture, plastic strain ratio

80 年代, 日本冶金工作者将低碳铝镇静钢的碳含量 (0.04% — 0.06%C) 降为微碳 (0.01% — 0.02%C) 以提高其成形性能, 为低碳铝镇静钢开辟了新的发展空间^[1,2]. 微碳深冲钢板在成分上没有加任何合金元素, 所以仍属铝

镇静钢, 但由于该钢种的含碳量低, 钢质纯净, 国内武钢的 03Al 板通过“三高一低”的热轧工艺制度, 提高冷轧压下率 (>70%), 并配以合理的退火工艺, 最终成品板的伸长率高达 47% 以上, \bar{r} 值大于 1.86, 其深冲性能优于 08Al 的 ZF 级^[3], 所以是可大量普及的深冲冷轧钢板之一. 我国宝钢、武钢和攀钢分别于 1992, 1993 和 1998 年开始试制微碳深冲板, 但目前尚处于试生产阶段, 还不能

收到初稿日期: 2000-04-26, 收到修改稿日期: 2001-02-12

作者简介: 吕庆功, 男, 1971 年生, 博士后

完全替代 St14 和 08Al^[4].

\bar{r} , Δr 值是冷轧深冲钢板的重要成形性指标. 为了获得较大的 \bar{r} 值和较小的 Δr 值, 通常希望钢板中具有强的 $\{111\}$ 织构, 该织构是深冲钢板获得优良成形性能的最主要的有利织构, 这已在诸多文献中得以证实^[5,6]. 然而, 在试制的一批微碳深冲钢板中, 全部体现为无 $\{111\}$ 织构特征, 但仍然出现了 $\bar{r}=1.85$, $\Delta r=0.64$ 的良好性能. 本文对试制的这批微碳深冲钢板的织构特征进行了描述, 并分析了主要织构对 \bar{r} , Δr 值的影响特点.

1 实验方法

在生产试制的 50 多个冷轧微碳深冲成品钢板中, 选取了 Δr 一定, \bar{r} 递增和 \bar{r} 一定, Δr 递增的两组试样, 其 \bar{r} , Δr 值见表 1.

表 1 两组试样的 \bar{r} , Δr 值

Table 1 The \bar{r} and Δr values of the two groups of samples

Group No.	Sample No.	r_0	r_{45}	r_{90}	\bar{r}	Δr
Group 1 (Δr constant, \bar{r} variant)	1	1.72	1.26	2.06	1.57	0.63
	2	1.85	1.31	2.05	1.63	0.64
	3	1.88	1.42	2.24	1.74	0.64
	4	2.04	1.53	2.31	1.85	0.64
Group 2 (\bar{r} constant, Δr variant)	5	1.75	1.47	2.20	1.72	0.50
	6	1.78	1.46	2.20	1.72	0.54
	7	1.88	1.42	2.24	1.74	0.64
	8	1.80	1.41	2.37	1.75	0.67
	9	1.86	1.38	2.39	1.75	0.74
	10	2.05	1.35	2.20	1.74	0.78
	11	2.03	1.32	2.31	1.75	0.85

采用 D/max-RC X 射线衍射仪, 用 $\text{CuK}\alpha$ 辐射, 以步长 $\Delta\alpha = \Delta\rho = 5^\circ$ 在各试样的 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, 并定量计算了织构的散布宽度取 10° 时的体积分数.

2 实验结果与分析

2.1 非 $\{111\}$ 织构特征描述

检测的所有试样均体现了类似的织构特征. 图 1 所示为 1, 4, 5, 11 号试样的恒 Ψ ($\Psi=0^\circ, 5^\circ \dots 90^\circ$) ODF 截面图.

由图 1 可以看出, 织构分布中没有出现理想 $\gamma(111) // \text{ND}$ 取向线 ($\Psi=0^\circ - 90^\circ, \theta=54.7^\circ, \phi=45^\circ$), 而是主要体现为 ($\Psi=0^\circ - 90^\circ, \theta=19^\circ, \phi=45^\circ$), ($\Psi=0^\circ - 90^\circ, \theta=75^\circ, \phi=15^\circ$), ($\Psi=0^\circ - 90^\circ, \theta=75^\circ, \phi=75^\circ$) 三条直取向线和围绕 $\gamma(111) // \text{ND}$ 取向线的两条螺旋取向线. 这两条螺旋取向线分别从 ($\Psi=0^\circ, \theta=54.7^\circ, \phi=62.7^\circ$) 和 ($\Psi=0^\circ, \theta=54.7^\circ, \phi=27.3^\circ$) 围绕 $\gamma(111) // \text{ND}$ 取向线沿逆时针方向螺旋旋转到 ($\Psi=90^\circ, \theta=40^\circ, \phi=45^\circ$) 和 ($\Psi=90^\circ, \theta=70^\circ, \phi=45^\circ$). 根据织构指数 $(hkl)[uvw]$ 与原角 Ψ, θ, ϕ 的关系^[7], 经计算表明, 上述三条直取向线均代表 $\{114\}$ 织构, 而两条螺旋取向线均代表从 $\{221\}$

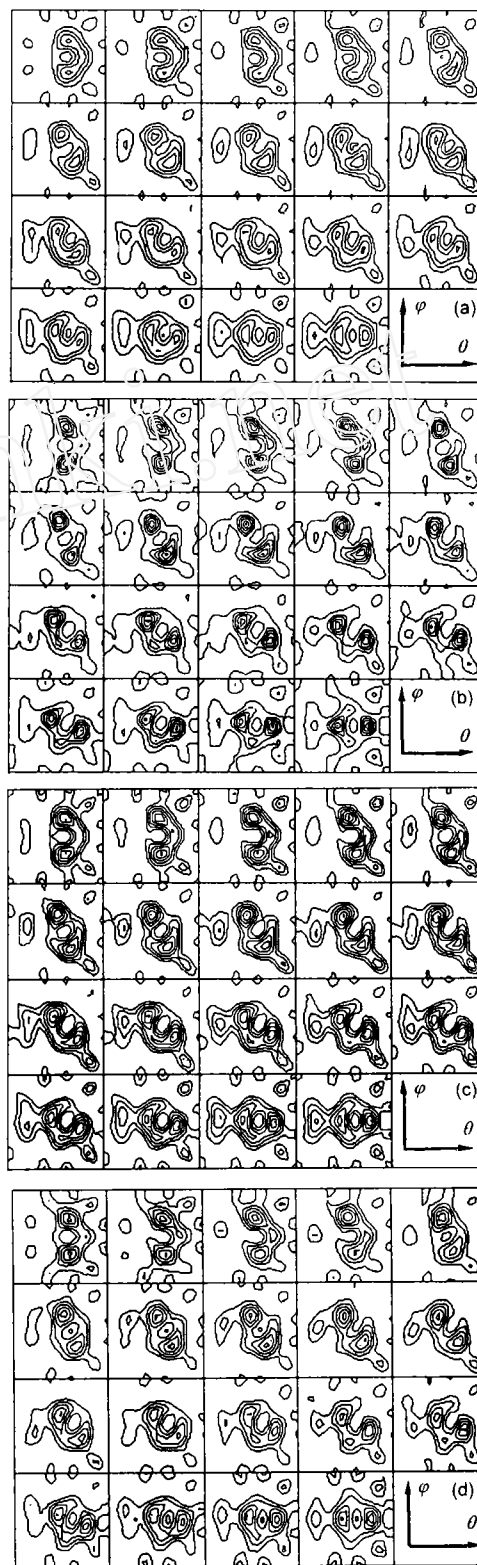


图 1 试样的恒 Ψ ($\Psi=0^\circ, 5^\circ \dots 90^\circ$) ODF 截面图

Fig.1 The constant Ψ ($\Psi=0^\circ, 5^\circ \dots 90^\circ$) ODF sections of samples showing the difference of textures in different samples

(a) sample No.1 (b) sample No.4
(c) sample No.5 (d) sample No.11

$\langle 110 \rangle$ 到 $\{335\}\langle 110 \rangle$ 的织构群. 由图中取向密度分布可看出, 螺旋取向线织构是上述织构的最主要特征. 由于这一织构特征与通常的深冲钢板织构相差很大, 所以本文作者对同批试样的 1/2 层织构进行了测量, 并抽样在东北大学和北京有色研究总院进行了织构测量, 测量结果相互类似, 说明本文所述的非 {111} 织构特征不是由测量偏差造成的, 而是钢板本身的织构特征确属异常. 而且, 这一织构特征到目前为止尚没有见文献报道过. 为了叙述方便, 本文定义上述三条直取向线为 γ' 取向线, 定义螺旋取向线为 L 取向线.

2.2 非 {111} 织构对钢板 \bar{r} , Δr 值的影响

由图 1 中的 No.1 和 No.4 试样的 ODF 截面图比较可知, No.4 试样的 L 取向线织构密度明显强于 No.1 试样, 这是二者的最主要差别, 说明 L 取向线织构密度增强有利于 \bar{r} 值的增大, 而且其对钢板 \bar{r} 值的影响具有主导作用. 由 No.5 和 No.11 试样的 ODF 截面图比较可以看出, No.5 试样的 L 取向线织构密度略强于 No.11 试样, 而 γ' 取向线织构尤其是 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 组分明显强于 No.11 试样, 说明 γ' 取向线织构尤其是 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 组分对于减小钢板的 Δr 值有重要作用. 而且, 由于 No.5 与 No.11 试样的 \bar{r} 值相当, 说明 γ' 取向线织构对 \bar{r} 值有不利影响.

为进一步说明上述影响趋势, 以 $\{114\}\langle 110 \rangle$ ($\psi=90^\circ$, $\theta=19^\circ$, $\phi=45^\circ$) 表征 γ' 取向线, 以 $\{221\}\langle 110 \rangle$ ($\psi=90^\circ$, $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$) 表征 L 取向线, 取散布宽度 10° , 计算了各试样中 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 和 $\{221\}\langle 110 \rangle$ 织构的体积分数, 其与 \bar{r} , Δr 值的对应关系见图 2.

由图 2 可以看出, 表征 L 取向线的 $\{221\}\langle 110 \rangle$ 织构与 \bar{r} 值有较强的对应关系, \bar{r} 值随着 $\{221\}\langle 110 \rangle$ 织构的增强而有明显的增大趋势; 而表征 γ' 取向线的 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 织构则与 Δr 值有较强的对应关系, Δr 值随着 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 织构的增强而有明显的减小趋势. 这与上述根据图 1 中 ODF 截面图分析的织构对 \bar{r} , Δr 值的影响特点是一致的.

然而, 由图 2b 可以看出, No.1 试样的 $\{221\}\langle 110 \rangle$ 强于 No.2 试样, 但其值却小于 No.2 试样, 所以有必要对 No.1 试样的 ODF 截面图与 No.2 试样的 ODF 截面图 (图 3) 进行比较. 由比较可以直观地看出, 两试样的 ODF 截面图特征很相近, γ' 取向线织构强度相当, 但 No.2 试样的 L 取向线织构略强且较集中. 这一特征在 $\{221\}\langle 110 \rangle$ 位置也有类似的体现, 而且这一直观特征与上述 L 取向线对 \bar{r} 值的影响趋势完全一致. 由此不难判断, 织构的散布宽度取 10° 时体积分数的计算有时会带来较大的偏差 (因为这一指标并不能体现织构分布的密集度), 所以图 2 所示的织构体积分数与 \bar{r} , Δr 值的对应关系可以用来观察总的趋势, 但若用于具体的两两比

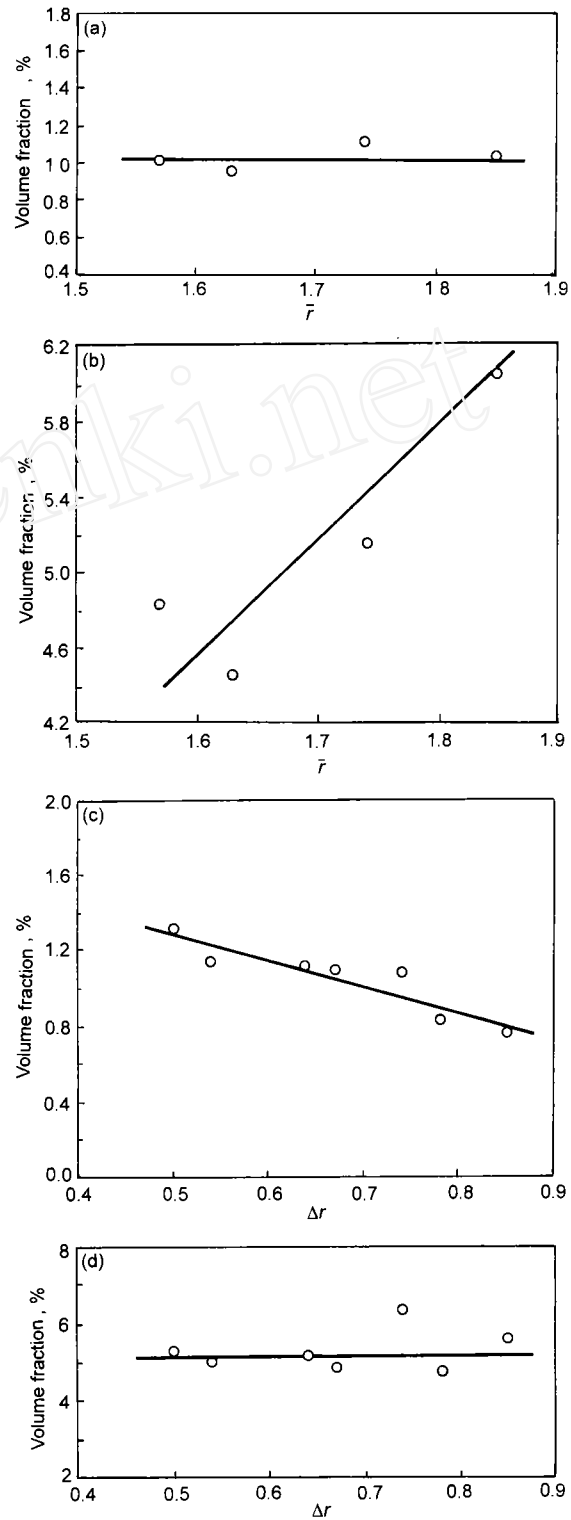


图 2 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 和 $\{221\}\langle 110 \rangle$ 织构的体积分数与 \bar{r} , Δr 值的对应关系

Fig.2 Relationship of the \bar{r} , Δr -value and the volume fraction of $\{114\}\langle 110 \rangle$, $\{221\}\langle 110 \rangle$, scattering width $d(g)=10^\circ$

(a) volume fraction with texture $\{114\}\langle 110 \rangle$ vs \bar{r}

(b) volume fraction with texture $\{221\}\langle 110 \rangle$ vs \bar{r}

(c) volume fraction with texture $\{114\}\langle 110 \rangle$ vs Δr

(d) volume fraction with texture $\{221\}\langle 110 \rangle$ vs Δr

较就不是很恰当的。

3 讨论

由于微碳深冲钢板仍属于低碳铝镇静钢的范畴, 所以其常规的织构特征及形成机制已为冶金工作者所熟知。然而, 在试制该钢种时, 虽然采用常规的热轧“三高一低”、冷轧大压下以及罩式退火工艺, 但却普遍出现了非常规的非 $\{111\}$ 织构特征。这一奇异织构特征的客观实在性已在多次重复实测中得以证实, 而且由于它在攀钢的普遍存在性, 所以其出现必然与攀钢独特的资源 (V, Ti) 或工艺条件有关, 其形成机制还有待进一步深入研究。本文的目的在于揭示这种独特织构特征的客观存在, 并分析它对塑性应变比指标 (\bar{r} , Δr) 的影响特点。

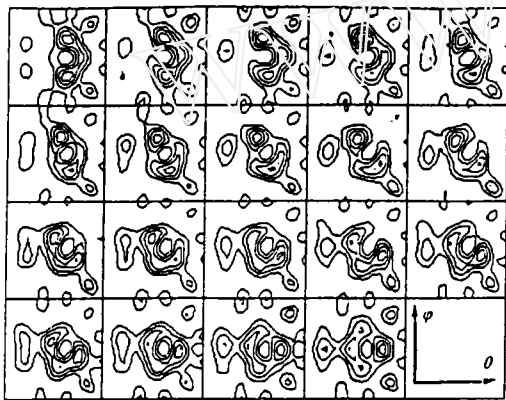


图3 No.2 试样的 ODF 截面图

Fig.3 The ODF sections of sample No.2 for comparison with sample No.1

由于 L 取向线在理想 $\gamma\langle 111 \rangle \parallel ND$ 取向线周围, 所以它对 \bar{r} 值的影响特点应当与 γ 取向线的影响类似, 即织构密度越强 \bar{r} 值越大。另外, 已有文献研究表明^[8], γ 取向线周围的非 $\{111\}$ 织构组分是造成深冲钢板 Δr 值较大的重要原因。因此, 当 L 取向线作为深冲钢板的主要织构时, 必然导致 Δr 值较大, 这也是试制的这批微碳深冲钢板 Δr 值普遍偏大的主要原因。 γ' 取向线织构以 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 为主要代表, 它位于 $\{001\}\langle 110 \rangle$ 和 $\{112\}\langle 110 \rangle$ 之间。这个位置的织构对 \bar{r} , Δr 值的影响特点可以从 $\{001\}\langle 110 \rangle$, $\{112\}\langle 110 \rangle$ 和 $\{111\}\langle 110 \rangle$ 织构对 \bar{r} , Δr 值的影响特点作出推论。用变形模型模拟的具有这三种织构的单织构铁板的 \bar{r} 分别为 0.5, 2.07, 2.62; Δr 值分别为 -1, -2.69, 0.01^[9,10]。可以看出, $\{001\}\langle 110 \rangle$ 和 $\{112\}\langle 110 \rangle$ 织构均导致 Δr 为负值, 而且随着 $\{111\}\langle 110 \rangle$ 沿 $\alpha(110) \parallel RD$ 取向线经 $\{112\}\langle 110 \rangle$ 到 $\{001\}\langle 110 \rangle$, 这些织构导致的 \bar{r} 值越来越小。由于 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 介于 $\{112\}\langle 110 \rangle$ 和 $\{001\}\langle 110 \rangle$ 之间, 所以不难推断 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 织构会导致负 Δr 值和较小的 \bar{r}

值。因此, 以 $\{114\}\langle 110 \rangle$ 织构为主的 γ' 取向线有利于 Δr 值的减小。与此同时对 \bar{r} 值会有不利影响。

尽管人们对深冲钢板织构的形成特点已做了大量的研究工作, 而且已在实际生产中进行了广泛的应用, 但由于织构形成机理的复杂性, 有些现象尚不能完全从理论上得以解释, 对织构的形成也还没有达到完全控制的水平。本文研究的微碳深冲钢板采用典型的热轧、冷轧和退火工艺, 但在特定的生产工艺条件下却出现了远离常规的非 $\{111\}$ 织构特征, 这正体现了一种尚没有充分认识的现象和机制。本文作者希望通过此文给业界以两点启示: (1) 深冲钢板织构的基本形成特点不一定千篇一律, 非常规织构特征即使在采用典型工艺的情况下也是可能出现的, 其相应形成机理值得业界关注并研究。(2) 在本文所述的织构特征下, 强的 L 取向线配以较强的 γ' 取向线同样可以获得优良的 \bar{r} , Δr 值 (No.4 试样), 说明这种织构特征的奇异性并不能与劣质性划等号, 只是与常规的 $\{111\}$ 织构不同而已。

4 结论

(1) 在采用典型生产工艺的情况下, 试制的一批微碳深冲钢板中出现了无 $\gamma(111) \parallel ND$ 取向线织构, 而以 L 和 γ' 取向线为主的非常规织构特征。

(2) L 取向线主要影响 \bar{r} 值, 织构密度越强, \bar{r} 值越大, 但对 Δr 值不利; γ' 取向线主要影响 Δr 值, 织构越强 Δr 值越小, 但对 \bar{r} 值不利; 强的 L 取向线织构和较强的 γ' 取向线织构搭配, 仍可获得优良的 \bar{r} , Δr 值。

在织构测量及 ODF 数据处理中, 得到了检测中心易礼均高级工程师和方淑芳高级工程师的大力支持, 作者对此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Matsudo K. *AIME*, 1985; 3
- [2] Ushioda K, Koyama K, Takahashi M. *ISIJ Int*, 1990; 30: 764
- [3] Tian D X, Feng P H, Liu H. *Res Iron Steel*, 1997; (6): 23 (田德新, 凤佩华, 刘 慧. 钢铁研究, 1997; (6): 23)
- [4] Wang X J, Ru Z, Ma Y W. *Iron Steel*, 1998; 33: 68 (王先进, 茹 铮, 马衍伟. 钢铁, 1998; 33: 68)
- [5] He C Z, Zhang Z J, Tian D X, Liu H. *Iron Steel*, 1998; (7): 37 (何崇智, 张志军, 田德新, 刘 浩. 钢铁, 1998; (7): 37)
- [6] Sanak Mishra, Darmann C. *Int. Met. Rev.*, 1982; 27: 307
- [7] Mao W M, Zhang X M. *Quantitative Analyze on Textures of Crystalloid Materials*. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1993: 61 (毛卫民, 张新明著. 晶体材料织构定量分析, 北京: 冶金工业出版社, 1993: 61)
- [8] Kestens L, Houbaert Y. *Proc ICOTOM-12*, 1999: 910
- [9] Daniel D, Jonas J J. *Metall Trans*, 1990; 21A: 331
- [10] Lequeu PH, Jonas J J. *Metall Trans*, 1988; 19A: 105