

武钢微碳深冲钢板的织构特征与成型性*

何崇智 张志军

田德新 刘 浩

(钢铁研究总院)

(武汉钢铁(集团)公司)

摘 要 用三维取向分布函数(ODF)分析技术研究了武钢微碳深冲钢板(03A1)在工业生产各主要工序中的织构特征与演变、力学性能和成型性能。结果表明: 热轧、冷轧与退火织构类型与铝镇静深冲钢板(08A1)相类似, 但冷轧和退火后, 有利织构明显增强; 武钢通过对碳含量在0.01%~0.02%的微碳深冲钢板进行成分设定和选定工艺参数, 可生产出基本成型性能 $\bar{n}=0.193\sim 0.241$ 、 $\bar{r}=1.684\sim 1.939$ 的高品质的深冲钢板, 其技术指标达到和超过了日本SPCEN深冲钢板的水平。

关键词 微碳深冲钢板 织构 成型性

TEXTURE AND FORMABILITY OF LOW-CARBON DEEP DRAWING STEEL SHEET

HE Chongzhi ZHANG Zhijun

TIAN Dexin LIU Hao

(Central Iron and Steel Research Institute) (Wuhan Iron and Steel (Group) Co.)

ABSTRACT The texture and its evolution of low-carbon deep drawing steel sheet at main steps in production such as hot-rolling, cold-rolling and annealing have been investigated by means of ODF. The mechanical properties and formability of steel sheets were measured. Results show that the texture of low-carbon deep drawing steel is similar to that of aluminum-killed steel, but favorable texture components become more strong after rolling and annealing; with optimal chemical composition and processing parameters the low-carbon deep drawing steel with excellent formability of $\bar{n}=0.193\sim 0.241$, $\bar{r}=1.684\sim 1.939$ can be produced, which are better than SPCEN grade made in Japan.

KEY WORDS micro-carbon deep drawing steel sheet, texture, formability

随着汽车工业的高速发展, 如何获得高品质的汽车壳体用深冲薄板具有现实意义。微碳(0.01%~0.02%C)深冲钢板是在低碳铝镇静钢基础上发展起来的。日本冶金工作者研究表明, 将低碳铝镇静钢的碳含量(0.04%~0.06%)降为微碳, 是提高成型性能(n 值和 r 值等)最有效的方法, 从而倍受重视, 并已将微碳深冲钢板投入生产^[1,2]。他们指出, 碳含量降至0.02%以下时, 钢中碳化物间距增大, 有利 γ -111//ND织构形成, 提高 r 值。此外, 还可采用低温卷取, 改善板卷头尾性能波动, 提高成材率等方法。在国内武钢首先研究开发了微碳深冲钢板。按照武钢现行微碳深冲钢板的成分设定、

冶炼与轧制工艺参数选定, 可以生产出成型性达到和超过日本SPCEN深冲钢板的水平。本文就武钢生产的微碳深冲钢板在各主要生产工序中的织构特征、演变规律及其力学性能与成型性能的关系进行了研究。

1 实验方法与结果

试样的化学成分见表1, 表中列入SPCEN钢板和08A1镇静钢的化学成分以供比较。

钢料用80t转炉冶炼, RH真空处理, 经连铸、热连轧急冷到600℃以下卷取, 再经酸洗、冷轧, 而后罩式炉退火、平整处理。热轧开轧温度1100℃, 终轧温度892~910℃, 冷轧压下率72.0%~

* “九五”攻关资助项目

联系人: 何崇智, 教授, 北京(100081)钢铁研究总院金属物理研究室

73.7 % , 在全氢罩式炉中 680~ 700 退火 (表 2)。组织 ODF 分析试样取自热轧、冷轧、退火工序各阶段。试样用化学侵蚀减薄, 用自建的 ODF 实时联机测控系统进行测试。采用 CoK α 辐照测得试样 1/4 层厚处的 (110)、(200)、(112) 三张不完整极图, 以步长 $\Delta\alpha= \Delta\beta= 5^\circ$ 间隔在 $\alpha= 0^\circ \sim 70^\circ$ 范围采集极

图数据, 由应用软件计算和绘制 ODF 恒 Φ 截面图, 结果见图 1。

成品试样的力学性能与成型性按国标 GB 228—87、GB 5027—85、GB 5028—85 进行测试, 并测定了晶粒度与渗碳体级别, 结果见表 3。

表 1 武钢工业生产的微碳 03A1 钢板的化学成分 %

Table 1 Chemical composition of micro-carbon 03A1 deep drawing steel sheet %

钢号	C	Si	Mn	P	S	Als	Cu	N
WG-1	0.02	0.02	0.16	0.010	0.006	0.050	0.03	0.005 0
WG-2	0.03	0.02	0.15	0.012	0.007	0.040	0.05	0.003 4
WG-3	0.02	0.02	0.15	0.017	0.004	0.050	0.03	0.005 5
WG-4	0.03	0.02	0.15	0.017	0.008	0.050	0.03	0.002 0
WG-5	0.02	0.02	0.15	0.015	0.008	0.050	0.03	0.002 5
SPCEN	0.04	0.02	0.23	0.011	0.010	0.053	—	—
08A1	0.04	0.02	0.20	0.012	0.014	0.060	< 0.05	0.004 0

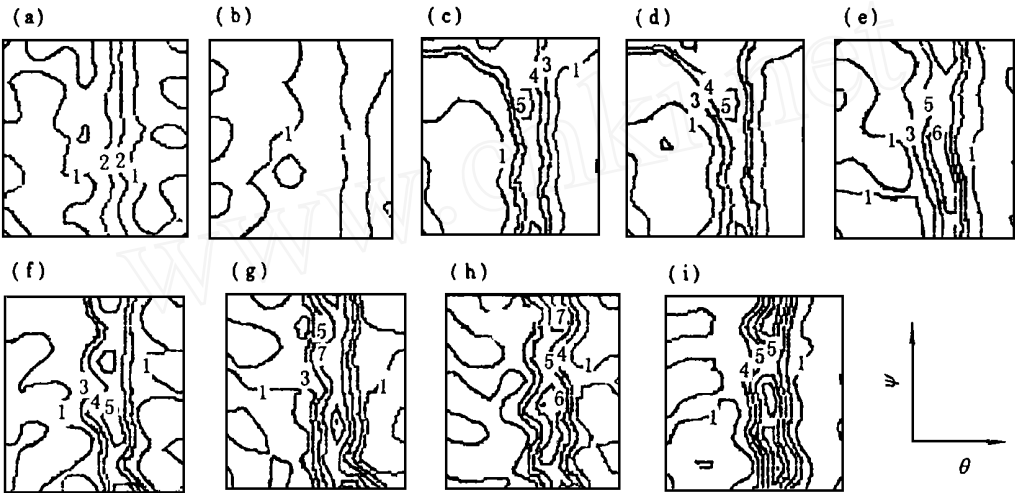


图 1 微碳深冲钢板 $\Phi= 45^\circ$ ODF 截面图

Fig. 1 ODF $\Phi= 45^\circ$ sectional view of micro-carbon deep drawing steel sheet

(a)、(b) 为热轧试样; (c)、(d) 为冷轧试样; (e) ~ (i) 为退火成品试样; (a) W GHR 2; (b) W GHR 3; (c) W GCR 2; (d) W GCR 3; (e) W G-1; (f) W G-2; (g) W G-3; (h) W G-4; (i) W G-5

表 2 武钢工业生产工艺参数

Table 2 Proccss parameters of industrial production

钢号	热轧工艺		冷轧压下率/%	退火工艺		成品板厚/mm
	终轧温度/	卷取温度/		退火温度/	退火时间/h	
WG-1	910	565	73.3	680	24	0.8
WG-2	900	580	72.0	680	26	0.9
WG-3	900	540	73.3	680	24	1.2
WG-4	902	557	73.7	700	45	1.0
WG-5	892	541	73.7	700	47	1.0

表 3 微碳 08A1 深冲钢板成品的力学与成型性能

Table 3 Mechanical and formed properties of micro-carbon 08A1 deep draw ing steel sheet

钢号	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ_s/MPa	$\delta_{10}/\%$	IE/mm	\bar{r}	\bar{n}	Δr	晶粒度/级	渗碳体级别/级
W G-1	190/170	295/290	49/48	10.8	1.751	0.225	0.548	7	1.5
W G-2	188/189	310/310	45/46	11.2	1.684	0.241	0.567	7	2
W G-3	179/188	290/290	46/45	11.8	1.919	0.193	0.633	9	2
W G-4	168/163	280/280	49/49	11.2	1.939	0.212	0.703	6~ 7	2
W G-5	169/177	290/290	48/49	11.2	1.812	0.210	0.583	6~ 7	2
SPCEN	172	290	47.0	—	1.717	0.235	—	6~ 7	0
08A1	170	295	47.0	10.1	1.4~ 1.8	0.20	0.7	7	2.5

2 分析与讨论

为获得优异的深冲性能, 微碳深冲钢板与低碳铝镇静钢类同, 从冶金学观点上均要求: 降低 Fe_3C 、 Al_2O_3 、 SiO_2 夹杂含量, 提高钢的纯净度; 严格控制化学成分, 要求 $\text{S} < 0.010\%$, $\text{P} < 0.015\%$, $\text{Mn} = 0.10\% \sim 0.20\%$, $\text{Si} < 0.03\%$, $\text{Cu} < 0.05\%$, $\text{Al} = 0.04\% \sim 0.06\%$; 碳含量分别为 $0.01\% \sim 0.02\%$ 和 $0.04\% \sim 0.05\%$; 控制第二相 AlN 溶解与析出, 形成有利的 γ - $111/\text{N.D}$ 织构, 以提高 r 值。微碳深冲钢板是在低碳深冲钢板基础上降低碳含量 ($0.01\% \sim 0.02\%$) 发展起来的, 其化学成分控制见表 1。冶炼与工艺处理也类同。

2.1 织构的特征及演变

各主要工序中微碳深冲钢板和低碳铝镇静钢^[3]形成的织构类型与织构度的比较见图 1 和表 4。从中可看出各主要工序, 即热轧、冷轧和退火各阶段的织构的演变, 明显可见降碳的微碳深冲钢板在各工序均有利于 γ - $111/\text{N.D}$ 织构的形成。本试验在热轧工艺中采用高于 A_{r3} 的终轧温度 (表 2), 使热轧板晶粒分布接近无织构状态。(1200 ± 30) 的高温固溶与低的卷取温度使氮、铝元素充分固溶和 AlN 少析出。对于微碳深冲钢板, 由于在高温 γ 区进行热轧, 并经历热变形、回复和再结晶及随后的 γ - α 固态相变, 故晶粒分布形成了无织构状态。冷轧时, 70% 冷轧压下率使织构中 α - $110/\text{R.D}$ 的 $\{112\}$ 110 和 γ - $111/\text{N.D}$ 有较大幅度增长, 为再结晶织构形成提供了前提条件。退火处理后 γ - $111/\text{N.D}$ 织构增强, 而 $\{112\}$ 110 织构减弱。退火处理经历了回复与再结晶过程, 与碳钢相似, 微碳深冲钢板冷轧后基体中存储的晶格畸变各向异性储能存在差异, 即具有 $U_{110} > U_{111} > U_{112} > U_{100}$ 的关系, 且由于冷轧基体的 $\{111\}$ 面织构多于 $\{110\}$ 面织构, 从而有利于 γ - $111/\text{N.D}$ 再结晶织构的形成。定向生核理论认为, 在变形基体内, 一些具有

特殊取向的点阵在再结晶时作为核心生核, 进行再结晶。定向成长理论认为, 形变基体中存在所有取向晶核, 退火时这些晶核几乎同时生长, 其中对基体取向具有最大晶界移动本领的一些合适取向晶核则成长最快, 且吞并其他取向晶粒形成再结晶织构 (图 1 (e) ~ 1 (i))。这说明退火处理中定向生核及定向长大共同起作用。

表 4 各工序阶段织构类型与织构度

Table 4 Texture type and texture degree in each production procedure

工序	低碳铝镇静钢	微碳深冲钢板
热轧态	$\{100\}$ 011 , 2 级, 基本无序	无序
冷轧态	$\{100\}$ 011 , 4 级	
	α - $110/\text{R.D}$, 6 级	α - $110/\text{R.D}$, 5 级
	γ - $111/\text{N.D}$, 2~ 3 级	γ - $111/\text{N.D}$, 4~ 5 级
退火态	γ - $111/\text{N.D}$, 4 级	γ - $111/\text{N.D}$, 6~ 11 级
	形成的取向管道强度分散	形成的取向管道强度集中

2.2 微碳的作用

微碳深冲钢板的生产工艺原则上遵循低碳铝镇静钢的生产工艺规范, 因此降碳起着比较有利的作用。深冲钢板中碳和铁形成 Fe_3C , 碳与锰还具有碳—锰复合作用, 而剩余的碳则在基体中形成固溶碳。因微碳深冲钢板的碳含量低, 故钢中碳化物间距增大, 有利于 γ - $111/\text{N.D}$ 织构的形成, 从而可提高 r 值。同时, 由于钢中锰含量低于 0.20% , 锰除了形成 MnS 起脱硫作用外, 碳—锰复合作用可忽略, 并能满足低碳铝镇静钢对碳、锰含量的限定 ($0.20\% < \text{Mn} + 8\text{C} < 0.47\%$) 要求, 故有利于再结晶中回复过程位错的运动和有利织构的形核。在过去的研究中用电镜观察到固溶碳的存在引起位错缠结, 从而在冷轧过程中造成晶粒转动和微观滑移的困难, 进而影响到有利 γ - $111/\text{N.D}$ 织构的发展。

γ -111 //N.D 织构的织构度随固溶碳含量的增加而减少的现象正说明微碳深冲钢板中碳含量的减少使冷轧织构中 γ -111 //N.D 织构的织构度增大, 从而为退火阶段 γ -111 //N.D 再结晶织构的形成提供有利条件 (图 1 (c) 和图 1 (d))。

2.3 基本成型性

影响基本成型性的主要指标有均匀伸长率(δ)、屈强比(σ_s/σ_b)和 n_r 值。高 δ 值和低 σ_s/σ_b 比值有利于加工塑变成型。 r 值为平面法向塑性应变比, 表示板材深冲时抗减薄能力和板面均匀延展能力, Δr 表示板材塑变时面向各向异性, Δr 值小, 板材成型时产生的制耳就小。 δ 与 σ_s/σ_b 主要与夹杂大小和分布及第二相和固溶元素有关。 r 与 Δr 值主要由多晶板材织构决定, 强的 γ -111 //N.D 纤维织构的形成对提高 r 值和降低 Δr 值有利。硬化指数 n 值表示材料在变形时抵抗继续塑性变形的能力和均匀延伸的能力, 它与材料基体纯净度和晶粒度有关, 故净化基体, 增大晶粒度有利于提高 n 值。由表 4 表明, 按武钢现行的工业生产工艺规范进行生产, 可使微碳深冲钢板获得优异的成型性能, 即高伸长率, 低屈强比, 基本成型性指标 n 值达 0.193~0.241, r 值达 1.684~1.939, 性能远优于武钢 08A1 和日本 SPCE 深冲钢板。获得上述优异性能的关键是采用

RH 真空脱气处理技术, 控制夹杂, 特别是降低碳含量, 并在此基础上采用大的冷轧率和进行充分退火, 使钢的铁素体基体纯净, 晶粒大小适宜 (ASTM 7 级) 以及形成强的 γ -111 //N.D 织构。但就目前的生产状况看, 尚有潜力可控, 可进一步提高钢的纯净度, 如严格控制出钢温度在 1680~1700 和终点碳在 0.04%~0.06%, 防止二次氧化, 减少钢中夹杂物(氧化物和碳化物), 并防止其链状分布等, 以提高 δ 值和降 σ_s 值。

3 结论

(1) 微碳深冲钢板冷轧织构 α 和 γ 纤维织构的形成成为退火再结晶织构 γ -111 //N.D 纤维织构的形成提供了有利条件, 退火阶段可形成织构度达 6~11 级水平, 是获得高 r 值的主要原因。各工序阶段织构演变规律类同深冲钢板, 但有利的冷轧织构和退火织构显著提高。

(2) 按照低碳铝镇静钢生产工艺规范, 将碳含量降低到 0.01%~0.02% 生产微碳深冲钢板, 是提高力学性能和成型性能的关键。

(3) 武钢现行工业生产的微碳深冲钢板技术指标已达到并超过日本 SPCE 深冲钢板的水平, 若更严格控制夹杂物含量, 尚可进一步改善其性能。

参 考 文 献

- 1 Matsudo K. Technology of Continuous Annealed Cold-Rolled Sheet Steel. A M E. 1985.
- 2 Ushioda K, Koyama K, Takahashi M. Metallurgical Investigation for Producing Deep-drawable Continuously Annealed Al-killed Sheet Steels Through Low-temperature Coiling. ISIJ International, 1990, 30 (9): 764.
- 3 何崇智, 张家义. 08A1 镇静钢的 ODF 分析与基本成型性. 钢铁, 1991, 25 (2): 57~59.

(上接第 13 页)

参 考 文 献

- 1 蔡开科. 碳钢凝固的包晶转变与连铸裂纹. 连铸, 1994, (3): 41.
- 2 谯明成. 水平连铸碳素钢管坯中间裂纹研究. 特殊钢, 1992, (5): 17~21.
- 3 王长庆. 连铸坯横向裂纹和偏析带形成原因分析. 特殊钢, 1994, (4): 45~47.
- 4 张业圣, 周 勇. 水平连铸圆管坯中间裂纹的浅析. 湖南冶金, 1993, (3): 27~29.
- 5 The Influence of [S] and Mn/S in Continuous Casting over the Crack Sensibility of Steel. Steel Research, 1993, (6): 293~299.
- 6 周 勇, 谢 晖. 水平连铸坯中间裂纹分析. 湖南冶金, 1994, (5): 16~17.