

· 组织和性能 ·

冷轧压下率对 DQ 级深冲带钢组织和性能的影响

程晓杰¹ 刘雅政¹ 武磊¹ 孙有博¹ 田荣斌² 闫波² 张晓燕²

(1 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083; 2 包头钢铁集团公司薄板厂,包头 014010)

摘要 研究了 60%~80% 冷轧压下率对 3.5 mm CSP 热轧板轧制的 1.4~0.7 mm 冷轧深冲带钢力学性能、组织和织构的影响。结果表明,随冷轧压下率由 60% 提高至 80%,冷轧带钢的再结晶开始温度由 560 °C 降至 520 °C,成品带钢组织细化;当冷轧压下率为 74.3% 时,成品 DQ 级带钢的深冲性能最佳。随冷轧压下率提高,成品深冲带钢 Δr 值逐渐减小,这与成品带钢中 $\{112\} < 110 >$ 织构取向函数值 $f(g)$ 升高有关。

关键词 CSP DQ 冷轧压下率 组织 织构 力学性能

Influence of Cold Reduction on Structure and Properties of DQ Level Deep-Drawing Strip Steel

Cheng Xiaojie¹, Liu Yazheng¹, Wu Lei¹, Sun Youbo¹, Tian Rongbin², Yan Bo² and Zhang Xiaoyan²

(1 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Sheet Mill, Baotou Steel (Group) Corp, Baotou 014010)

Abstract Effect of 60%~80% cold reduction on structure, texture and mechanical properties of 1.4~0.7 mm cold rolled deep-drawing strip steel from 3.5 mm CSP (Compact Strip Production) hot rolled plate has been studied. Results show that with increasing cold reduction to 80% from 60%, the beginning recrystallization temperature of cold rolled strip steel decreases to 520 °C from 560 °C and the structure of strip steel products fines, and with 74.3% cold reduction the DQ level deep-drawing performance is optimum. With increasing cold reduction the Δr value of deep-drawing strip steel products gradually decreases, that is relating to enhancement of orientation function $f(g)$ value of $\{112\} < 110 >$ texture in strip steel products.

Material Index CSP, DQ, Cold Reduction, Structure, Texture, Mechanical Properties

冷轧压下率是冷轧深冲带钢性能控制的关键因素,一般认为低碳钢 $[C] \leq 0.08\%$ 的最佳冷轧压下率为 70%,微碳钢 $[C] \leq 0.001\%$ 为 80%,超低碳钢 $[C] \leq 0.008\%$ 为 90% 左右^[1]。本实验以包钢 CSP 流程供原料的不同压下率 DQ 级别冷轧深冲带钢为对象,研究了冷轧压下率对深冲带钢性能、组织和织构的影响。

1 实验材料和方法

实验钢 CSP 热轧的开轧温度为 1 020 °C,终轧 880~900 °C,卷取 540~560 °C。热轧带钢厚度为 3.5 mm,经酸洗后进行 5 道次工业冷轧,冷轧后厚度分别为 1.4、1.0、0.9、0.7 mm,压下量为 (%) 60、71.4、74.3、80。化学成分如表 1 所示。

将不同冷轧压下率的低碳带钢装入同一罩式炉内退火,退火保温温度 680 °C,保温时间 10 h。取

平整后的带钢进行性能和织构检测以及金相组织观察。再结晶实验在箱式电阻炉中进行,升温速度为 40 °C/h,设定温度分别为 300、450、500、520、540、560、580、600、620、640、660、680、750 °C,每到一个设定温度从炉中取出预先放入的试样,并空冷至室温。

将 24 mm × 14 mm 退火试样,在 SIMENS-D5000 型 X 射线衍射仪上检测织构,用 Mo-K α 辐射,以步长 $\Delta\alpha = \Delta\beta = 5^\circ$ 在各试样 1/4 层面上采集 $\{110\}$ 、 $\{200\}$ 和 $\{112\}$ 三张不完整极图,由 ODF 织构分析软件绘制 ODF 截面图。

2 实验结果和分析

2.1 不同冷轧压下率带钢的再结晶过程

再结晶的驱动力来自冷变形组织的形变储能,随冷轧压下率增大,冷硬板中的形变储能增加^[2]。由图 1(a) 可见,冷轧压下率 80% 的带钢,再结晶开始温度在 520 °C 左右,当压下率降低到 60% 时,开始再结晶温度升高到 560 °C。不同压下率的带钢再结晶结束温度在 600~620 °C。

图 1(b,c) 中可见,成品带钢的强度和伸长率随

表 1 实验用深冲钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test deep-drawing strip steel /%

C	Si	Mn	P	S	Al _t	Al _s
0.043	0.021	0.15	0.012	0.004	0.026	0.022

冷轧压下率的变化不明显。图 1(c) 可见,当压下率为 60% 时,带钢的塑性应变比 r_m 值最低为 1.41;当压下率升高到 74.3% 时, r_m 值达到最高值 1.78。随冷轧压下率提高,带钢的 Δr 值逐渐降低,由 0.68 降低到 0.37。加工硬化系数 n 值随冷轧压下率的变化不

大,为 0.201 ~ 0.208。随冷轧压下率的提高,CSP 流程供原料冷轧深冲带钢的成形性能逐渐提高,但在压下率为 74.3% 时出现拐点,当压下率达到 80% 时,带钢的伸长率、 r_m 值开始降低,但此压下率成品带钢的 Δr 值较低,降低了带钢深冲加工时出现凸耳缺陷的

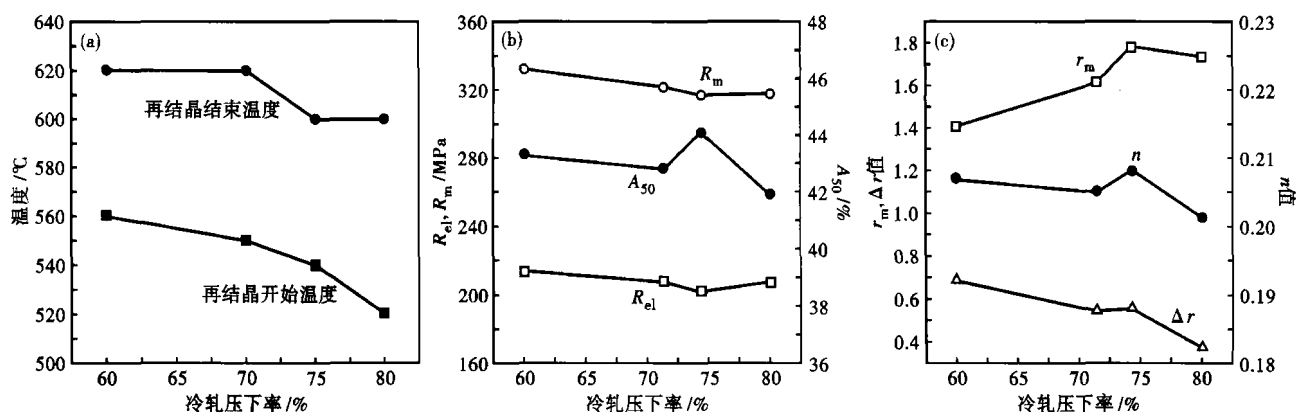


图 1 冷轧压下率对冷硬板再结晶温度(a),成品带钢 R_m 、 R_{el} 、 A_{50} (b)和 r_m 、 Δr 、 n 值(c)的影响

Fig. 1 Effect of cold reduction on recrystallization temperature of cold rolled sheet (a), R_m , R_{el} and A_{50} (b) and r_m , Δr and n value (c) of strip steel products

可能。综合以上结果,最佳冷轧压下率为 74.3%。

2.3 不同冷轧压下率成品带钢的组织

图 2 为 60% 和 74.3% 压下率成品板组织截面图。高的成品带钢 $\{111\}$ 织构的组分含量,可获得高的 r_m 值,提升带钢在冲压加工时的抗减薄能力^[3]。如图 3 所示,CSP 供原料的深冲带钢织构中 α 、 γ 取向线特征明显。冷轧压下率 74.3% 的带钢变形织构 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 的取向函数值高于压下率 60% 的带钢。而 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 织构的强度没有明显变化。在 γ 取向线上,冷轧压下率 74.3% 的带钢相比于压下率 60% 的带钢,有更强的 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 和 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构。但是, $\{111\} \langle 110 \rangle$ 和 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构的取向函数值差也随冷轧压下率的增大而增大。从图 3(b) 中的数据可知, Δr 值随冷轧压下率的增大而减小。 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 织构对塑性应变比的影响是 $\Delta r < 0$,在成品板中保留一定量的 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 织构可以减小深冲带钢的 Δr 值^[4]。图 3 中冷轧压下率 74.3% 带钢的 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 织构的取向函数值明显高于冷轧压下率 60% 的带钢,其 Δr 值相应较小,与该分析较为吻合。由此可以认为,采用相同的退火工艺时,高冷轧压下率的成品板中保留有较强的 $\{112\}$

$\langle 110 \rangle$ 织构,有助于减小 Δr 值。用户对冷轧深冲带钢的性能要求,一方面是高的 r_m 值,以冲压生产复杂件,另一方面是低的 Δr 值,以避免产生制耳缺陷。试验结果表明,冷轧压下率应控制在 r_m 值出现峰值的右侧,对于 CSP 供料的 DQ 级深冲带钢,应控制冷轧压下率在 74.3% 以上,以满足用户对上述两方面的要求。

2.4 不同冷轧压下率成品带钢的金相组织

图 4(a) CSP 热轧带钢的金相组织,图 4(b, c) 分别为冷轧压下率 60% 和 80% 成品带钢的金相组织。随冷轧压下率增大,成品带钢的铁素体晶粒逐

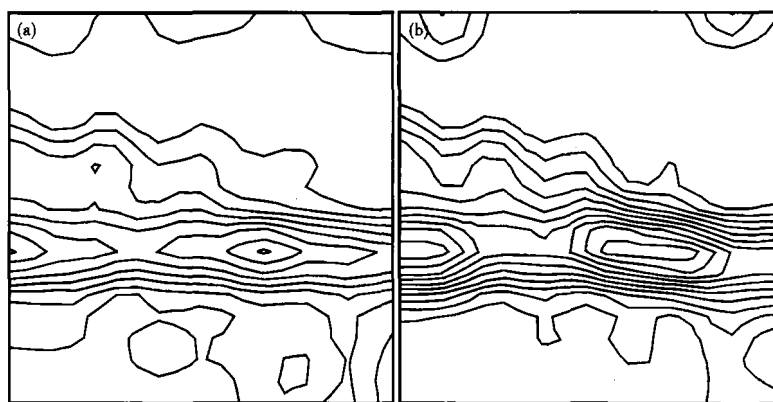


图 2 冷轧压下率 60% (a) 和 74.3% (b) 的带钢退火织构的 $\Phi_2 = 45^\circ$ ODF 截面图

Fig. 2 ODF sections of annealing texture in trip steel with cold reduction 60% (a) and 74.3% (b), $\Phi_2 = 45^\circ$

渐“饼型”化,沿轧制方向尺寸增大,沿板厚方向尺寸减小。冷轧压下率 60% 带钢中晶粒尺寸较大,形状也不规则;冷轧压下率 80% 的带钢中晶粒基本沿轧向伸长。根据 Hall-Petch 公式,随晶粒尺寸减小,材料的屈服强度将提高,但是,图 1(b,c) 中冷轧压下率 74.3% 带钢的屈服强度比压下率 80% 的带钢低,而伸长率则较高。所以,成品带钢性能不只受铁素体晶粒尺寸和形状的影响,还与钢中 Fe_3C 颗粒的尺寸和分布状态有关。

3 讨论

冷轧压下率对深冲带钢性能的影响是多方面的。首先,随冷轧压下率增大引起退火后带钢中 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 织构组分的强度提高,有利于增强深冲带钢的平面各向同性,使成品带钢 Δr 值减小。其次,随冷轧压下率增大,成品带钢中晶粒沿轧向尺寸增大,沿板厚方向尺寸减小,晶粒度提高。第三,随冷轧压下率增大,带钢中的 Fe_3C 颗粒逐渐细化,细化的 Fe_3C 颗粒有利于对成品深冲带钢织构控制, Fe_3C 颗粒较多且呈细小的弥散态分布,会提高成品带钢的屈服强度,降低 n 值和伸长率。综上所述,冷轧压下率对深冲带钢性能的影响是多方面的,包括织构、晶粒尺寸和 Fe_3C 颗粒的尺寸及分布,而各因素影响作用也是复杂的。同时,热轧带钢的状态和退火工艺对成品带钢的性能影响也是重要的,在实际生产中,应当对各生产阶段的工艺参数进行合理的匹配,以实现高品质深冲带钢生产工艺的柔性控制,实现成本、效率和效益的最大化。

4 结论

(1) 随冷轧压下率提高,冷轧带钢的再结晶开始温度逐渐降低,由 560 °C 降低到 520 °C,完成再结晶温度在 600 ~ 620 °C,随冷轧压下率提高,冷轧带钢完成再结晶的时间延长。

(2) 当冷轧压下率为 74.3% 时,成品冷轧带钢的强度最低,伸长率和 r_m 值、 n 值最高,是 CSP 供冷轧原料生产 DQ 级深冲带钢的最佳冷轧压下率。随冷轧压下率的提高,成品带钢 Δr 值逐渐降低,与成

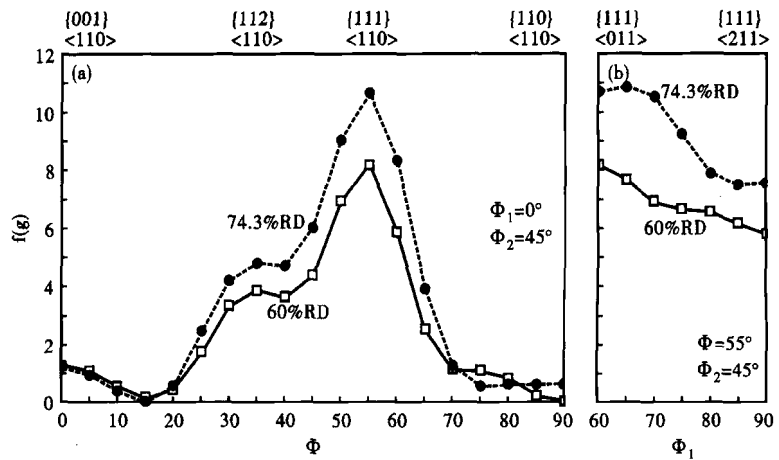


图 3 冷轧压下率 60% 和 74.3% 的带钢退火织构的 α (a) 和 γ (b) 取向线分析
Fig. 3 α (a) and γ (b) orientation line analysis of annealing texture in strip steel with cold reduction 60% and 74.3%

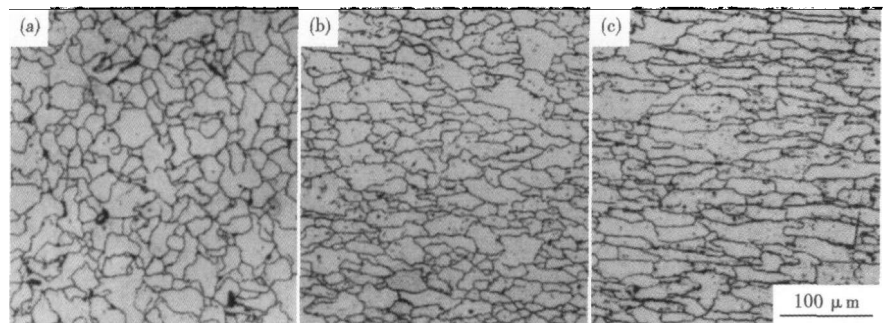


图 4 实验带钢的形貌:(a)CSP 热轧带钢;(b)冷轧压下率 60% 和 (c)80% 的成品带钢
Fig. 4 Structure morphology of test strip steel: (a) CSP hot rolled strip steel; strip steel products with cold reduction 60% (b) and 80% (c)

品带钢中 $\{112\} \langle 110 \rangle$ 织构组分的强度增强有关。

(3) 成品带钢的性能不仅受铁素体晶粒尺寸和形状的影响,而且与钢中 Fe_3C 颗粒的尺寸和分布状态有关。

参考文献

- 1 Fukuda M. The Effect of Carbon Content Against r Value-Cold Reductions Relations in Steel Sheets. Iron Steel Inst Jpn, 1967, 53: 559
- 2 Yasunobu Nagataki, Yoshihiro Hosoya. Origin of the Recrystallization Texture Formation in an Interstitial Free Steel. ISIJ International, 1996, 36(4): 451
- 3 Christian Klinkenberg, Dierk Raabe, Kurt Lücke. 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): 263
- 4 吕庆功, 陈光南, 周家琮, 等. 深冲带钢主要织构对塑性应变比的影响. 钢铁研究, 2000, 28(5): 40

程晓杰(1983-), 男, 博士研究生, CSP 流程生产低碳深冲板的系统化研究。

收稿日期: 2009-07-07