

• 组织和性能 •

退火温度对 06Cr13 不锈钢冷轧板织构和力学性能的影响

田 华¹ 刘有鹏¹ 薛润东¹ 李显龙¹ 袁 凯¹ 刘 谨¹ 赵志毅¹ 吴潮荣²

(1 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083; 2 广东宝嘉不锈钢实业有限公司, 揭阳 515500)

摘 要 06Cr13 不锈钢(%) : 0.03C, 0.45Si, 0.22Mn, 0.020P, 0.002S, 12.20Cr) 3.5 mm 热轧板经 11 道次冷轧成 0.375 mm 冷轧板。利用 CCT-AV-II 模拟退火实验机研究了 800 ~ 925 °C 退火对 06Cr13 不锈钢冷轧板的织构组分和力学性能的影响。结果表明, 随着退火温度的升高, 深冲性能有利的 {111} 织构组分含量上升, 而不利组分 {001} <110>, {114} <110>, {112} <110>, {112} <111> 和 {110} <110> 含量总和下降; 在 875 °C 退火时, {111} <110> 与 {111} <112> 织构组分含量的差值最大, {111} 织构的均匀性最差; 06Cr13 不锈钢的强度和延伸率在 875 °C 退火后表现出很明显的各向异性。综合分析, 该 06Cr13 不锈钢冷轧板的适合退火温度为 (850 ± 10) °C。

关键词 06Cr13 不锈钢 冷轧板 退火温度 织构 力学性能

Effect of Annealing Temperature on Texture and Mechanical Properties of Stainless Steel 06Cr13 Cold-Rolled Sheet

Tian Hua¹, Liu Youpeng¹, Xue Rundong¹, Li Xianlong¹, Yuan Kai¹, Liu Jin¹,
Zhao Zhiyi¹ and Wu Chaorong²

(1 Materials Science and Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Guangdong Baojia Stainless Steel Industry Co Ltd, Jieyang 515500)

Abstract The 3.5 mm hot-rolled plate of stainless steel 06Cr13 (%) : 0.03C, 0.45Si, 0.22Mn, 0.020P, 0.002S, 12.20Cr) cold-rolls down to 0.375 mm cold-rolled sheet by 11 passes. The effect of 800 ~ 925 °C annealing on texture ingredient and mechanical properties of stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet has been studied by using CCT-AV-II simulation continuous annealing unit. Results show that with increasing annealing temperature the amount of {111} fiber texture being favourable for deep drawability increases, while the sum of amounts of {001} <110>, {114} <111>, {112} <110>, {112} <111> and {110} <110> texture being unfavourable for deep drawability decreases; as annealing at 875 °C, difference between {111} <110> and {111} <112> texture ingredient is largest and the uniformity of {111} fiber texture is poorest; and the obvious anisotropy of strength and elongation of stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet annealed at 875 °C occurs. Based on comprehensive analysis the suitable annealing temperature for stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet is (850 ± 10) °C.

Material Index Stainless Steel 06Cr13, Cold-Rolled Sheet, Annealing Temperature, Texture, Mechanical Properties

06Cr13 不锈钢带主要用作冲压材料, 因此研究它的深冲性能非常重要。研究发现, 材料的深冲性能与再结晶织构密切相关, 但目前对于再结晶织构的产生机理还没有统一的认识^[1], 比较为大家所接受的有定向形核理论和选择生长理论^[2]。主要研究成果有: 通过 {111} 再结晶织构的控制提高材料的深冲性能^[3]; 通过双冷轧退火工艺提高 Ti + Nb 无间隙原子钢中 {111} 纤维织构的强度和均匀性从而提高其深冲性能^[4]; 高强 IF 钢退火后表现为较强的 γ 纤维织构和较弱的 α 纤维织构, 强点集中在 {111} <112> 取向, 且随着退火温度升高, {111} 纤维织构的强度明显增加^[5]; 钢中的代位溶质原子可

以使 {111} <112> 再结晶织构增强^[6]; 铁素体不锈钢随着退火温度的增加, 钢中 {111} 织构组分呈现先增加后减少的趋势^[7]; Nb + Ti 双稳铁素体不锈钢具有较强的 γ 织构归因于“定向形核”和“选择生长”两种机制的共同作用^[8]。

1 实验材料与方法

实验材料为 06Cr13 不锈钢带, 热轧板厚度为 3.5 mm, 经过 11 道次冷轧到 0.375 mm, 总压下量为 3.125 mm。成分见表 1。

将 06Cr13 不锈钢带切割成 70 mm × 220 mm 的试样, 在 CCT-AV-II 模拟连续退火实验机进行退火试验。退火加热速度为 25 °C/s, 分别加热到 800、

825、850、875、900、925 °C 保温 1 min, 然后以 10 °C/s 的冷却速度降温到 200 °C, 取出样品空冷。

利用 ZEISS EVO 18 扫描电子显微镜及其配置的电子背散射衍射 (EBSD) 来分析不同退火温度样品的组织。按照 GB/228.1-2010 国家标准研究退火后试样的力学性能。

2 实验结果与讨论

2.1 不同退火温度下织构密度

图 1 表示不同退火温度下退火样 $\phi_2 = 45^\circ$ 的 ODF (取向分布函数) 截面图, 织构密度最大点的位置由图 1 中箭头标出。从图 1 中可以看出, 800 °C 退火样织构最强点有两个, 其中 $\{114\} \langle 110 \rangle$ 织构强度为 6.56, 属于 α 纤维织构, 主要是在冷轧过程中产生的, 近 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 织构

表 1 实验 06Cr13 不锈钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of tested stainless steel 06Cr13 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.03	0.45	0.22	0.020	0.002	12.20

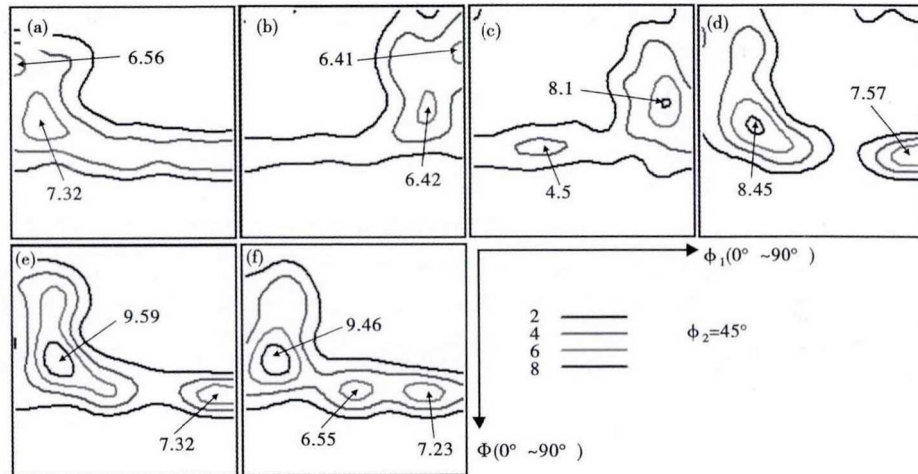


图 1 (a)800 °C; (b)825 °C; (c)850 °C; (d)875 °C; (e)900 °C; (f)925 °C 退火的 06Cr13 不锈钢冷轧板 $\phi_2 = 45^\circ$ ODF 截面图

Fig. 1 $\phi_2 = 45^\circ$ section of ODF of stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet annealed at 800 °C (a), 825 °C (b), 850 °C (c), 875 °C (d), 900 °C (e) and 925 °C (f)

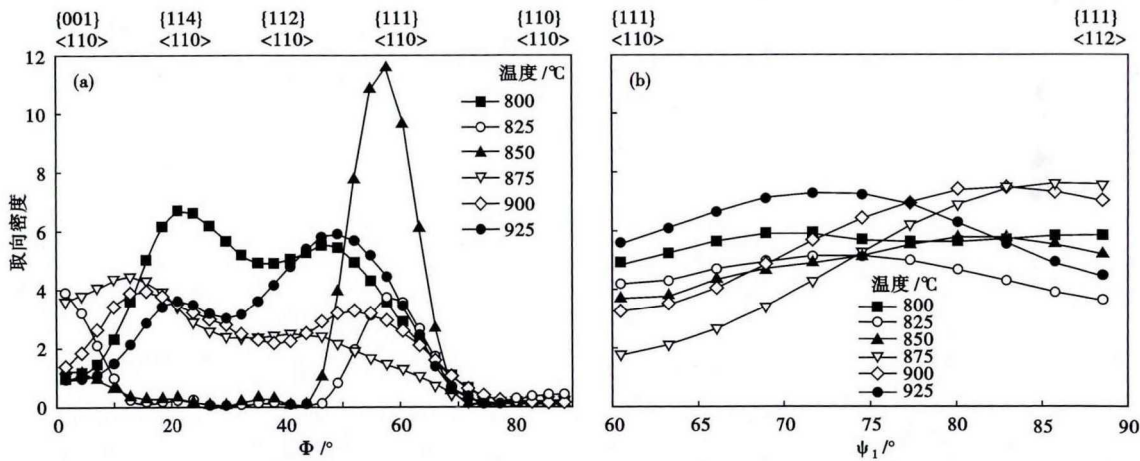


图 2 06Cr13 不锈钢冷轧板 800 ~ 925 °C 温度退火后的取向线分析图: (a) α 取向线; (b) γ 取向线

Fig. 2 Orientation lines of stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet annealed temperature at 800 ~ 925 °C: (a) α orientation lines; and (b) γ orientation lines

强度为 7.32。825 °C 退火试样织构最强点出现在 $\{112\} \langle 111 \rangle$ 织构附近, 其强度为 6.41, 在 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 附近也出现了一个强点, 强度为 6.42, 而且 α 纤维织构消失。850 °C 退火样织构最强点与 825 °C 退火样大致相同, 不同的是最强点的位置稍微偏离 $\{112\} \langle 111 \rangle$, 而且稍有增强, 并且开始出现 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构。875 °C 退火样织构最强点为 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构, 强度为 8.45, 此温度下退火, 晶

粒取向基本处在 γ 取向线附近。900 °C 退火样的晶粒取向和 875 °C 基本一致, 织构最强点同样为 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 织构, 不同点是最强点的强度稍有增加。925 °C 退火样织构最强点也位于 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 附近, 大体上与 900 °C 退火样的织构类型相同, 其区别在于在 γ 纤维织构不仅只有 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 一种, 还出现了 $\{111\} \langle 110 \rangle$ 织构, $\{111\} \langle 110 \rangle$ 织构最强点强度为 6.55。

结构密度分析表明,随着退火温度的增加,结构密度的最大值点逐渐从不利于深冲性能的结构转变为有利于深冲性能的{111}纤维结构。

2.2 不同退火温度下结构取向线

从图 2(a)中可以看出,06Cr13 不锈钢在 800 °C 退火,{114} (110) 结构的强度仍然很强,同时产生了近似于{111} <110> 的结构,825 °C 退火后主要含有{111} <110> 结构,不含{114} 与{112} 结构,850 °C 退火后的所含结构情况与 825 °C 退火后的情况非常相似。875 °C 退火后各种结构强度都不高,只有{114} <110> 结构的强度较高,为 4.5 左右。900、925 °C 退火后的所含结构的情况也相似,只不过 925 °C 退火后各结构的强度要高一些。

图 2(b)是 06Cr13 不锈钢不同温度退火后的取向线分析图,从图 2(b)中可以看出,经不同温度退火后,不锈钢主要含有{111} <110> 结构和{111} <112> 结构,其中 800、825、850 °C 退火后{111} 结构强度较低,875、900 °C 退火后虽然{111} <112> 结构的强度较高,但是{111} <110> 结构组分含量非常低,这使得{111} 结构不够均匀,925 °C 退火后{111} 结构组分强度高,且{111} <110> 与{111} <112> 结构的含量相差不大,{111} 结构更加均匀。

综合 α 取向线和 γ 取向线的结果得出,在 875 °C 退火不利于深冲性能的结构强度较高且有利于深冲性能的{111} <112> 和{111} <110> 结构的强度差最大。

2.3 不同退火温度后结构百分含量

图 3 为{111} 结构与非{111} 结构百分含量随退火温度变化图,图 3 中的非{111} 结构指{001} <110>、{114} <110>、{112} <110>、{110} <110>、{112} <111> 结构的总合。由图 3 中的线性拟合曲线可以知道,随着退火温度的升高,有利于深冲性的{111} 结构含量呈现上升的趋势,而不利于深冲

性的非{111} 结构含量呈现减少的趋势。

良好的深冲性能不仅要求材料含有较多的

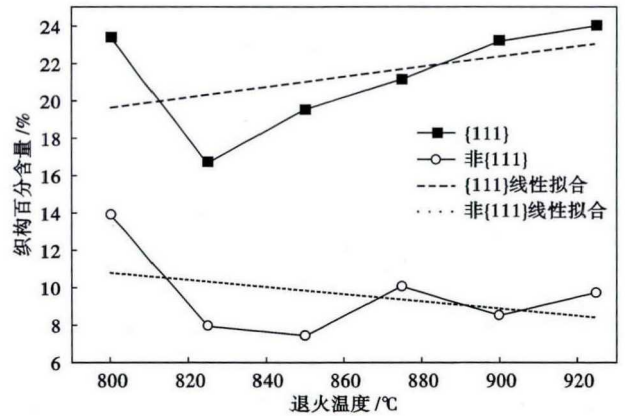


图 3 退火温度对 06Cr13 不锈钢冷轧板{111} 结构与非{111} 结构百分含量的影响

Fig. 3 Effect of annealing temperature on percentage amount of {111} texture and non {111} textures in annealed stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet

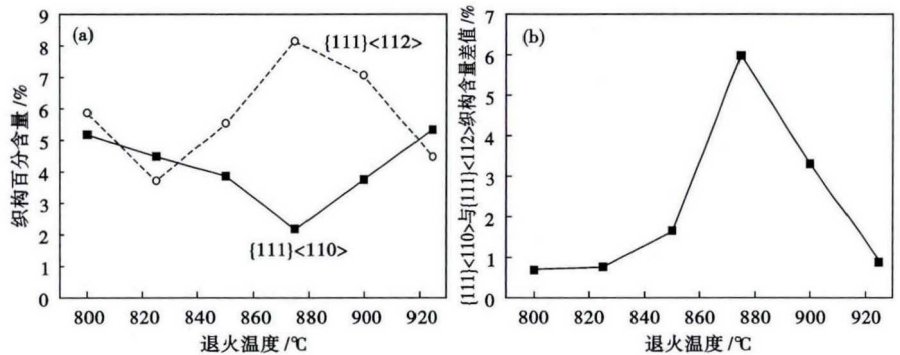


图 4 退火温度对 06Cr13 不锈钢冷轧板{111} <110> 与{111} <112> 结构百分含量(a)和{111} <110> 与{111} <112> 结构百分含量差值(b)的影响

Fig. 4 Effect of annealing temperature on percentage amount of {111} <110> and {111} <112> (a) and difference between {111} <110> and {111} <112> percentage amount (b), annealed stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet

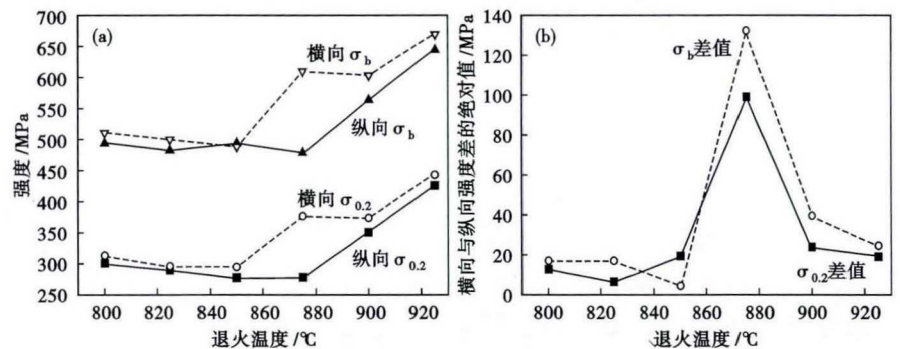


图 5 退火温度对 06Cr13 不锈钢冷轧板纵向和横向强度(a)和纵向与横向强度差绝对值(b)的影响

Fig. 5 Effect of annealing temperature on longitudinal and horizontal strength (a) and absolute value of difference between longitudinal and horizontal strength (b) of annealed stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet

{111} 纤维织构而且还要求 {111} 纤维织构有好的均匀性^[9]。{111} 纤维织构的均匀性体现在 {111} <110>、{111} <112> 两种织构的含量差值大小。图 4(a) 为 {111} <110> 与 {111} <112> 织构百分含量随退火温度变化图, 图 4(b) 为 {111} <110> 与 {111} <112> 织构百分含量差值随退火温度变化图。结合图 4(a,b) 可以知道, 随着退火温度的升高, {111} <110> 与 {111} <112> 两种织构的差值在 875 °C 出现了一个峰

值。这反映出 {111} 织构的均匀性在 875 °C 是最差, 这不利于 06Cr13 不锈钢的深冲性能。

2.4 06Cr13 不锈钢带退火后强度与延伸率

图 5(a) 是 06Cr13 不锈钢带退火后的强度随退火温度变化图, 图 5(b) 是 06Cr13 不锈钢退火后强度差的绝对值随退火温度变化图, 结合图 5(a,b) 可以看出, 随着退火温度的升高, 横向板宽度方向(冷轧)与纵向(冷轧板轧制方向)的屈服强度差和抗拉强度差在 875 °C 异常的大, 在 800 °C 到 850 °C 和 900 °C 到 925 °C 这 2 个温度区间内, 强度差很小。从强度大小上来说, 随着退火温度的升高, 强度大体上呈现出先减后增的趋势, 这是再结晶软化与固溶强化在不同的退火阶段发挥的作用不同所导致的。

图 6(a) 是 06Cr13 不锈钢退火后延伸率随退火温度变化图, 其随退火温度变化趋势基本上是先增后减, 产生这种趋势的原因也是再结晶软化与固溶强化共同作用的结果。

图 6(b) 是 06Cr13 不锈钢退火后延伸率差值随退火温度变化图, 它反映的是延伸率的各向异性随退火温度的变化。从图 6(b) 可以看出, 在 875 °C 横纵 2 个方向延伸率差值异常的大, 而在 800 ~ 850 °C 和 900 ~ 925 °C 两个退火温度区间则差值很小。

综合织构、强度和延伸率的分析结果, 在 875 °C 退火温度下, 06Cr13 不锈钢带的 {111} 纤维织构很不均匀, 强度和延伸率在轧向和宽度方向的差异非常大, 这些都会导致 06Cr13 不锈钢深冲性能不好。

3 结论

(1) 随着退火温度的升高, 对深冲性能有利的 {111} 织构百分含量呈上升趋势, 而不利的 {001} <110>、{114} <110>、{112} <110>、{112}

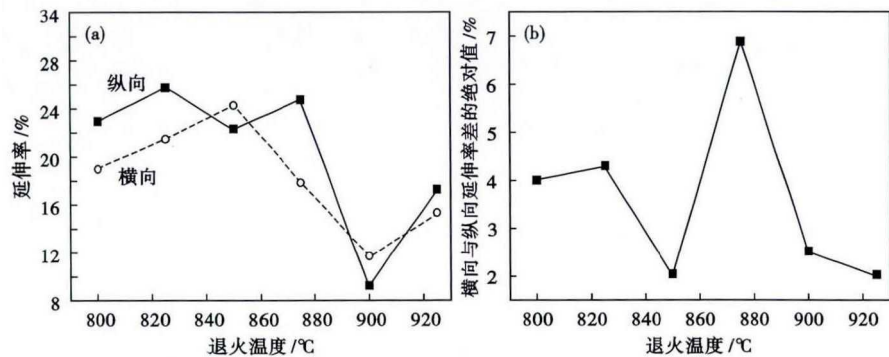


图 6 退火温度对 06Cr13 不锈钢冷轧板横向与纵向延伸率(a)和横向与纵向延伸率差绝对值(b)的影响

Fig. 6 Effect of annealing temperature on longitudinal and horizontal elongation (a) and absolute value of difference between longitudinal and horizontal elongation (b) annealed stainless steel 06Cr13 cold-rolled sheet

<111>、{110} <110> 的总和呈下降趋势。在 875 °C 退火时, {111} <110> 与 {111} <112> 两种织构含量的差值最大, {111} 织构的均匀性最差。

(2) 随着退火温度的升高, 06Cr13 不锈钢的强度和延伸率在 875 °C 退火后表现出很明显的各向异性。

(3) 综合考虑 06Cr13 不锈钢退火后的织构、强度和延伸率 3 个因素, 退火温度范围应该在 (850 ± 10) °C。

广东省产学研重大专项 20130909

参考文献

- [1] 毛卫民. 金属材料的晶体学织构与各向异性[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 毛卫民. 金属的再结晶与晶粒长大[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- [3] Yazawa Y, Ozaki Y, Kato Y, et al. Development of Ferritic Stainless Steel Sheets with Excellent Deep Drawability by {111} Recrystallization Texture Control[J]. J. J. Soc. Mater. Sci., 2003, 24(4): 483-488.
- [4] Saha R, Ray R K, Bhattacharjee D. Attaining Deep Drawability and Non-Earing Properties in Ti + Nb Interstitial-Free Steels Through Double Cold Rolling and Annealing[J]. Scripta Materialia, 2007, 57(3): 257-260.
- [5] 水恒勇, 赵爱民, 汪志刚, 等. 再结晶退火温度对高强 IF 钢组织性能及织构的影响[J]. 轧钢, 2012, 29(2): 8-11.
- [6] 杨平, 李志超, 毛卫民, 等. 钢中 {111} <112> 再结晶织构的形成[J]. 材料热处理学报, 2009, 30(3): 46-52.
- [7] 杜伟, Oliveira, Mariana P, 等. 退火温度对铁素体不锈钢组织结构和深冲性的影响[J]. 宝钢技术, 2013(4): 6-11.
- [8] 颜海涛, 毕洪运, 李鑫, 等. 退火温度对 Nb + Ti 双稳铁素体不锈钢织构的影响[J]. 钢铁, 2009, 44(6): 69-72.
- [9] 毛卫民, 张新明. 晶体材料织构定量分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.

田 华(1991-), 男, 硕士研究生(2017 年北京科技大学), 2014 年青岛科技大学(本科)毕业, 金属材料热处理工艺及组织性能研究。E-mail: tianhua415263@163.com

收稿日期: 2017-06-17