

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.03.019

430 铁素体不锈钢钢卷工艺和性能分析

刘洪涛^{1,2}, 吴春京¹, 任学平¹, 李殊霞¹

(1.北京科技大学 材料科学与工程学院, 100083 北京; 2.太原钢铁(集团)有限公司技术中心, 030003 太原)

摘 要: 为改善 430 铁素体不锈钢的性能,主要研究了化学成分、铸坯等轴晶比例、热轧工艺制度、热卷退火工艺对材料组织和性能的影响.通过添加微量铝元素,同时降低过热度浇注,优化电磁搅拌工艺改善铸坯的结构.实验结果表明,通过不同热处理对比试验确定了最佳热处理工艺,热卷退火温度为 950~1 000 ℃,保证了成品材料具有优异的力学性能和工艺性能.
关键词: 化学成分; 热处理制度; 组织; 性能
中图分类号: TG142. 1+4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2015)03-0107-04

Study on processing and properties of 430 ferritic stainless steel coil

LIU Hongtao^{1,2}, WU Chunjing¹, REN Xueping¹, LI Shuxia¹

(1.School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, 100083 Beijing, China;
2. Technology Center of Taiyuan Iron and Steel (Group) Co.Ltd., 030003 Taiyuan, China)

Abstract: For improving properties of 430 ferritic stainless steel coil, effect of chemical composition, equiax crystal ratio of cast slab, hot-rolling processing, annealing of hot coil on microstructures and properties of steel were investigated and analyzed. By adding bit aluminium, decreasing superheat of metal in tundish and strengthen electromagnetic stirring simultaneously, the microstructure of cast slab could be improved. The experimental results show that the optimal heat treatment system could be identified under the contrast test in different heat treatment system; simultaneously, when the annealing temperature is 950~1 000 ℃, the finished steel plate could show be the excellent mechanics and process properties.
Keywords: chemical composition; heat treatment system; microstructure; property

典型的 430 型铁素体不锈钢是当前广泛应用的 的不锈钢牌号之一,主要应用领域包括厨房设备、家电、民用五金、建筑装潢以及汽车工业等行业.但传统的 430 不锈钢的生产工艺和冷成形性能尚存在下列弊端:由于钢的成分特殊,决定了它的热带必须采用罩式退火炉进行退火,通常在 800~850 ℃保温 8~9 h,同时加上加热和冷却时间,在炉内要停留长达 40 h,这种工艺方式,不仅消耗大量能源,而且生产周期漫长,不适用于低成本的高效快速生产节奏^[1].

我国已建成多条铁素体不锈钢的冶炼、热轧、

冷轧生产线.然而对于 430 铁素体不锈钢热卷却仍采用罩式炉退火且冷成形性能不理想,与现代化生产线极其不相称,因此急需研究既可对热轧钢带进行连续退火又使其成品具有良好成型性能和抗皱折性能的 430 铁素体不锈钢,它不仅是一项工艺技术问题,而且关系到钢种结构调整和节约镍资源的国民经济可持续发展问题^[2].

文献[3-4]介绍了通过 2 个轧程和 2 次退火工艺来改善材料的加工性能,减少产品加工皱折,此种工艺明显增加生产周期和生产成本;文献[5]介绍了添加稳定化元素 Nb,并通过热卷连续退火,改变晶粒大小和晶体的织构取向,来提高材料的成形性能,由于 Nb 元素属于贵金属,成本太高,同时对碳和氮的控制要求非常苛刻.文献[6-11]介绍了通过添加稳定化元素 Nb 或 Ti,改变晶粒大小和晶体的织构取向,来提高材料的成形性能,同样材料对碳和氮的控制要求较高.

收稿日期: 2013-07-20.
基金项目: “十一 五”国家科技支撑计划“高品质特殊钢技术开发”基金(2007BAE51B00).
作者简介: 刘洪涛(1968—),男,博士研究生;
吴春京(1961—),男,教授,博士生导师;
任学平(1957—),男,教授,博士生导师.
通信作者: 刘洪涛,liuht@tisco.com.cn.

在对 430 系不锈钢产生上述问题原因进行深入研究的基础上,通过调整成分和优化生产工艺,不添加贵金属 Nb 和 Ti,研究开发了既可采取热卷连续退火工艺又使冷轧退火成品具有良好成形性能的 430 铁素体不锈钢工艺路线,拓宽了 430 的生产工艺路线和为后续制品生产部门提供了方便,极大地提高了铁素体不锈钢的生产效率.

1 试 验

1.1 试验工艺流程

普通工艺流程:预处理铁水→转炉冶炼→精炼→板坯连铸→热连轧轧制→罩式炉退火→热卷酸洗→冷轧→冷轧带钢退火、酸洗→平整、剪切→检验、包装.

试验工艺流程:预处理铁水→转炉冶炼→精炼→板坯连铸→热连轧轧制→热卷连续退火→热卷酸洗→冷轧→冷轧带钢退火、酸洗→平整、剪切→检验、包装.

1.2 试验工艺情况

1.2.1 冶炼

冶炼工艺路线:转炉→精炼→连铸,排在普通工艺生产 430 连浇后部进行试验,连铸中包温度 1 515~1 530 ℃,电磁搅拌 1 000A、2Hz,拉速 0.84~0.88 m/min,水口没有结瘤.铸坯厚度为 200 mm.添加铝元素 0.30%~0.35%.化学成分如表 1 所示.

1.2.2 热轧

热连轧生产规格为 4.0 mm×1 020 mm,铸坯加热温度 1 100 ℃,热轧终轧温度 800 ℃,卷取温度 680 ℃.

表 1 试验料化学成分(质量分数) %

元素	试验工艺	普通工艺
C	0.048	0.040
Si	0.300	0.360
Mn	0.430	0.320
P	0.017	0.016
S	0.002	0.001
Cr	16.290	16.250
Ni	0.100	0.100
Al	0.320	—

1.2.3 适宜的再结晶退火工艺

为确定适宜的再结晶退火工艺,取 430 铁素体不锈钢热带试样分别在 600~1 250 ℃不同温度段加热保温 10 min,水冷热处理,进行硬度测量和显微组织观察.

通过试验室试验内容,确定了不锈钢热卷连续退火工艺要求范围.

1.2.4 冷轧

选取 1#钢卷试样(试验工艺卷)与 2#钢卷试样(普通工艺卷)进行对比试验,2#热卷在罩式炉退火,酸洗速度 35~40 m/min;1#热卷进行在线退火,退火温度 980±10 ℃,酸洗速度 35~40 m/min.从热线生产情况来看,两卷表面质量良好,边部铁鳞清洗干净,色泽较亮,二者相比 1#热卷表面质量更好,酸洗后进行冷轧轧制,轧制规格均为 1.0 mm,冷线退火酸洗表面质量较好,进行了力学性能和工艺性能的对比.

1.3 试验结果

取样进行成品冷轧板组织性能分析,1#试样晶粒度 9 级,2#试样晶粒度 8.5 级,常规力学性能与 n 、 r 分别如表 2、3 所示.

表 2 冷轧板力学性能

退火工艺	规格	屈服强度/MPa		抗拉强度/MPa		延伸率/%		硬度/HV	杯突值(IE 值)/mm
连续退火	1.0	270	280	460	460	49.0	49.0	128/125/127	9.20
罩式炉退火	1.0	275	285	445	460	46.0	44.0	126/127/124	10.44

表 3 冷轧板 r 、 n 值

退火工艺	n 、 r	0°		45°		90°		平均值	Δr
连续退火	n	0.266	0.266	0.254	0.254	0.254	0.254	0.258	—
	r	1.170	1.190	0.840	0.850	1.240	1.210	1.020	0.36
罩式炉退火	n	0.263	0.249	0.260	0.249	0.249	0.253	0.254	—
	r	0.950	0.940	0.860	0.850	1.180	1.190	0.960	0.21

从表 2、3 可以看出,试验卷的冷板成品力学性能与罩式炉退火卷的性能基本相当.试验卷 r 略大于罩式炉退火卷,有利于材料深冲;试验卷 Δr 略高于罩式炉退火卷,用于深冲制品行业时要注

意避免制耳现象.

2 试验分析

众所周知,阻碍 430 不锈钢带采用高温快速

连续退火工艺替代传统的低温长时间罩式炉退火工艺的原因在于:1) 高温快速退火虽然提高了生产效率,但使材料的各向异性明显增加;2) 高温快速退火后的带钢韧性降低,在冷轧过程中易断带;3) 高温快速退火后的带钢具有较高的屈服点和较大的屈服延伸,甚至经冷轧退火后仍然如此;4) 在退火后的除鳞酸洗过程中发生晶间腐蚀,并引起成品钢板上出现针状缺陷^[12-13]。

通过综合考虑上述因素,在对化学成分的调整、连铸坯等轴晶比例的控制、最佳热轧条件的确定等研究工作的基础上,对 430 铁素体不锈钢的高温快速连续退火工艺进行了开发。

2.1 控制合适的 Al 质量分数

为使 430 热轧带可采用连续退火工艺,并使冷轧钢带具有良好的冷成形性能和抗皱折性能,需在钢中加入适量的铝。既可提高铸坯的等轴晶比例,又可与氮形成 AlN,减少固溶体中的氮,两者均有利于提高 $\bar{r}$;此外,Al 还可提高钢的 A_{c1} 温度,缩小 $\alpha + \gamma$ 双相区,可适当提高热带退火温度;AlN 的形成又可成为再结晶核心,有利于钢的再结晶。

钢中的 Al 质量分数控制在 0.30%~0.35%,铸坯结构、高温退火后热轧卷的耐蚀性和韧性、冷板 $\bar{r}$ 、抗皱特性都有显著改善,使得热轧带钢的连续退火成为可能。

2.2 提高连铸坯等轴晶比例

众所周知,随着等轴晶比例的增加,产品抗皱特性得到改善。当抗皱性能达到 B 级以上时,对薄板的使用不会产生影响。因此理论上要求等轴晶比例越高越好,但是铁素体不锈钢柱状晶比较大,非常难以控制。试验时连铸采用低过热度浇注,强化电磁搅拌效果,有效地提高了铸坯的等轴晶比例。图 1 为试验料不锈钢连铸坯低倍组织,可见等轴晶比例达到了 50%~55%。

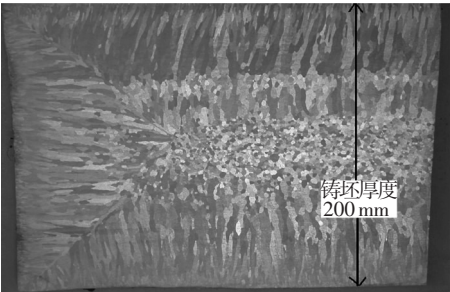


图 1 铸坯的低倍组织

2.3 热轧工艺条件的确定

通过研究表明,当板坯加热温度降低至 1 000~1 100 ℃时,析出的 AlN 将扩散到基体中,由此造

成在大压下量的热轧条件下形成均匀的变形带,沿该变形带发生局部再结晶。当具有这种组织的热轧带钢在 950~1 000 ℃连续退火时,就可获得细等轴晶的完全再结晶组织。

根据上述研究和生产实践表明:最佳的热轧条件为板坯加热温度 1 050~1 100 ℃,粗轧道次压下率 $\geq 35\%$,终轧温度 750~800 ℃。

2.4 热卷适宜的再结晶退火工艺

为确定适宜的再结晶退火工艺,对试验铁素体不锈钢热带试样加热到 700~1 250 ℃之间不同温度段保温 10 min,水冷热处理,进行硬度测量和显微组织观察。图 2 给出了在上述不同退火条件下对 430 热轧带钢硬度测量结果,可以看出,在 700~900 ℃之间,随温度的提高,硬度开始下降,在 900 ℃其硬度值达到最低,约 HB130 左右;在 800~1 000 ℃,硬度值变化不大,在 HB131~145 之间;从 1 000 ℃开始硬度上升较明显,直至 1 250 ℃,钢的硬度达到最高,其 HB 在 200 以上。图 3 给出了在上述不同退火条件下对 430 热轧带钢显微组织观察结果,显示出与图 2 硬度测试结果之间的良好对应性。当退火温度为 700~800 ℃时,已开始再结晶,但仍保留部分热加工组织结构(图 3(a)、图 3(b));当退火温度为 900 ℃时,热带组织基本为等轴晶粒,已基本完成了再结晶(图 3(c));当退火温度为 950~980 ℃时晶粒稍许粗化(图 3(d)、图 3(e));当退火温度为 1 000 ℃以上时,在组织中出现 γ 相,此相沿晶界形成,在冷却过程形成 α' 相,致使钢的硬度上升, γ 相数量在 1 060 ℃最多,1 200 ℃已明显减少(图 3(f)~图 3(i))。上述试验结果和大生产实践表明,当退火温度在 950~1 000 ℃时是适宜的。

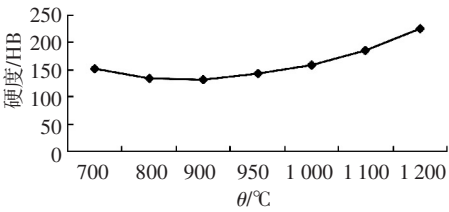


图 2 不同退火温度热轧带钢的硬度

通过 430 铁素体不锈钢热卷连续退火工艺技术开发,使退火时间由罩式炉工艺的 40 h 降至 15 min,成品性能与罩式炉工艺产品相当,如表 2、表 3 所示。

通过试验,达到了预期效果,实现了既可对 430 铁素体不锈钢热轧钢带进行连续退火,又使其成品具有良好成型性能和良好抗皱折性能的效果。

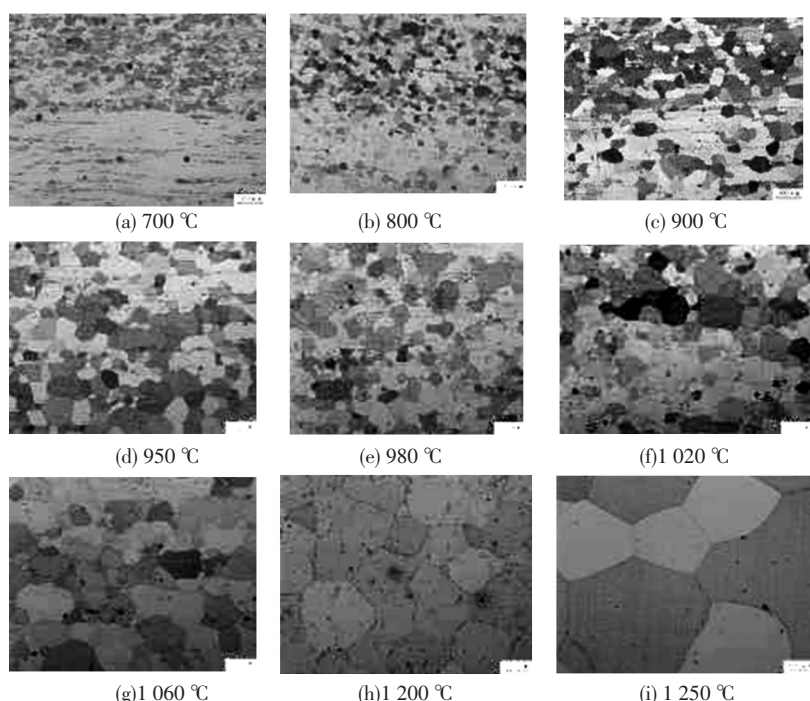


图 3 不同退火温度下的热轧带钢显微组织

3 结 论

1) 430 的试验工艺方案是合理和可行的. 按此工艺生产出的 1.0 mm 的冷带的室温力学性能达到 430 钢原工艺的标准水平, $\bar{r}$ 达 1.0 以上.

2) 不需要增加贵重金属 Nb 和 Ti, 适当添加 Al 质量分数, 通过低过热度浇注, 以及优化电磁搅拌工艺提高了铸坯的等轴晶比例在 50% 以上, 改善了铸坯结构.

3) 含 Al 钢的热卷连续退火可行, 950 ~ 1 000 °C 的退火温度适宜.

参考文献

- [1] ALLEVA L, BUFALINI A, BRASCUGLI G, et al. Direct annealing—a new route in the production of 430 ferritic stainless steel [J]. Steel Times International, 2004, 28(8): 34–36.
- [2] 张孝福. 直接退火—430 铁素体不锈钢生产的新工艺路线 [J]. 不锈钢, 2005(3): 20–21.
- [3] JUNG I, MOLA J, CHAE D, et al. Influence of the cold rolling and annealing sequence on the ridging behaviour of Ti-stabilized 18% Cr ferritic stainless steel [J]. Steel Research International, 2010, 81(12): 1089–1096.
- [4] HUH M Y, ENGLER O. Effect of intermediate annealing on texture, formability and ridging of 17% Cr ferritic stainless steel sheet [J]. Materials Science and Engineering: A, 2001, 308(1/2): 74–87.
- [5] DU Wei, JIANG Laizhu, SUN Quan-she, et al. Effect of hot band annealing process on microstructure, texture

and r-value of ferritic stainless steel [J]. Journal of Iron and Steel Research: International, 2010, 17(7): 58–62.

- [6] DU Wei, JIANG Laizhu, SUN Quanshe, et al. Microstructure, texture and formability of Nb-Ti stabilized high purity of ferritic stainless steel [J]. Journal of Iron and Steel Research: International, 2010, 17(6): 47–52.
- [7] MOLA J, JUNG I, PARK J, et al. Ridging control in transformable ferritic stainless steels [J]. Metallurgical and Materials Transactions: A, 2012, 43(1): 228–244.
- [8] HAMADA J, MATSUMOTO Y, FUDANOKI F, et al. Effect of initial solidified structure on ridging phenomenon and texture in type 430 ferritic stainless steel sheets [J]. ISIJ International, 2003, 43(12): 1989–1998.
- [9] YAZAWA Y, MURAKI M, KATO Y, et al. Effect of chromium content on relationship between r-value and {111} recrystallization texture in ferritic steel [J]. ISIJ International, 2003, 43(10): 1647–1651.
- [10] PARK S H, KIM K Y, LEE Y D, et al. Evolution of microstructure and texture associated with ridging in ferritic stainless steels [J]. ISIJ International, 2002, 42(1): 100–105.
- [11] SHIN H J, AN J K, PARK S H, et al. The effect of texture on ridging of ferritic stainless steel [J]. Acta Materialia, 2003, 51(16): 4693–4706.
- [12] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983.
- [13] 张建平. 在 $(\alpha + \gamma)$ 温度区的热处理工艺对 430 的起皱性及 r 值的影响 [J]. 不锈钢, 2005(4): 22–27.

(编辑 张 红)