冷轧钢带SPCC力学性能优化研究*

李人杰[1],白晓东[2],路 璐[2]

(1. 包头钢铁(集团)有限责任公司办公室,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢金属制造有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章介绍了目前用户对冷轧低碳产品的实际需求,包钢稀土钢板材厂连退生产线对首次试制的SPCC进行工艺优化,降低屈服强度范围,消除屈服平台,提升产品的力学性能水平,使得该产品屈服强度控制在230 MPa以下,满足市场要求。

关键词: 连退生产线; 工艺优化; 屈服平台

中图分类号: TG142.1,TG335.5+6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)03-0047-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.03.012

Study on Optimizing Mechanical Properties of Cold Rolled SPCC Steel Strip

Li Ren-jie[1], *Bai Xiao-dong*[2], *Lu Lu*[2]

(1. *Office of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the actual demand of cold rolled low carbon products for current users is introduced. The process optimization of SPCC for the first trial production with the continuous annealing production line of Rare Earth Steel Plate Plant of Baotou Steel is to reduce the yield strength range, eliminate yield platform and improve mechanical properties of products so that the yield strength is controlled at lower than 230 MPa, which could meet the market requirement.

Key words: continuous annealing production line; process optimization; yield platform

SPCC是一种低碳铝镇静钢,随着各钢厂工艺控制水平的提升,其优良的冲压性能与低廉的价格深受用户的欢迎,连续退火生产的冷轧钢带表面质量及性能均匀性优于采用罩式退火工艺的产品。但连续退火时间较短,保证良好的冲压性能是研究的难点,该性能受炼钢、热轧、酸轧及连退各道工序的影响,如成分或工艺设计不当,则会引起屈服强度上升或出现屈服平台,严重影响产品的使用性能,本文研究重点为通过小批量试制,摸索各工序点的工艺参数,降低产品强度,消除屈服平台,从而获得具有良好冲压性能的产品,满足用户需求。

1 工艺设计及试制方法

1.1 首次试制

1.1.1 化学成分的影响

低碳产品SPCC为铝镇静钢,不添加任何合金

* 收稿日期:2019-08-19
作者简介:李人杰(1988-),男,内蒙古包头市人,硕士,工程师,现从事钢铁生产调研及督察管理工作。

元素，碳、氮是固溶强化元素，对钢的屈服强度影响显著，使强度增加，塑性下降。为使得产品获得良好的力学性能与冲压性能，化学元素中要保证低碳、低锰、且控制氮含量，以避免屈服平台的产生。屈服平台主要是因碳、氮原子气团“钉扎”作用而引起的，退火过程中碳、氮原子通过扩散与位错相互作用，形成柯氏气团，对位错起到钉扎作用[1]。这种“钉扎”作用在再加工变形的过程中，对位错运动形成阻力，只有当外界平整机延伸率达到某一数值，位错“钉扎”才开始消除。针对氮元素对位错的钉扎作用，加入Al元素，形成AlN化合物，该化合物对驱动力较小的晶粒形核具有抑制作用，可促进{111}织构的形成，提高冲压性能[2]，因此应保证一定的铝含量，成分设计见表1。

表1 冷轧钢带SPCC设计成分(质量分数) %

化学元素	C	Si	Mn	P	S	Al_t	N
范围	<0.08	≤0.04	≤0.45	≤0.020	≤0.020	≥0.020	≤0.005 0

1.1.2 工艺的影响

根据文献查阅制定各段工艺参数，设计加热工艺参数时，考虑加热过程中使AlN溶于奥氏体中、保证铸坯加热均匀、不产生致密氧化铁皮等加热缺陷，采用低温加热并保证均热时间大于40 min的工艺。

由于SPCC碳含量较低，根据铁碳相图，为避免钢带在终轧过程中进入两相区出现混晶，采用高的终轧温度。

连续退火过程中发生再结晶的驱动力是冷轧过程中的储存能，增大冷轧压下率，使得钢带具有较大的变形量，随后连续退火过程中再结晶驱动力增加，有利于变形钢带发生再结晶，因此冷轧压下率要求大于70%。采用高的连续退火温度，主要是消除冷轧变形后的加工硬化，消除内应力，使成品得到均匀的再结晶组织，最终获得理想的深冲性能，退火温度700~780 ℃。

各段工艺参数设计如表2所示。

表2 冷轧钢带SPCC工艺设计

工艺	出炉温度/℃	热轧FDT/℃	热轧卷取/℃	退火温度/℃	平整机延伸率/%
方案1	<1 250	>860	650	<780	1.0

1.1.3 检测结果

首次试制后，经统计力学性能分布见图1，屈服强度210~300 MPa(平均值260 MPa)，抗拉强度集中在320~380 MPa(平均值340 MPa)，延伸率≥35.0%(平均值39.0%)，按方案1生产的钢带力学性能合格率较低，屈服强度偏高，且存在屈服平台(如图2所示)，当SPCC存在屈服平台时，如该产品用于冲压件，碳、氮原子与位错之间相互作用产生的柯氏气团会随着变形量的增大而破坏，冲压件表面开始出现明显的滑移线，严重影响力学性能的稳定性。因此为解决该问题，分别对产品的退火温度、卷取温度进行调整，优化产品的力学性能。

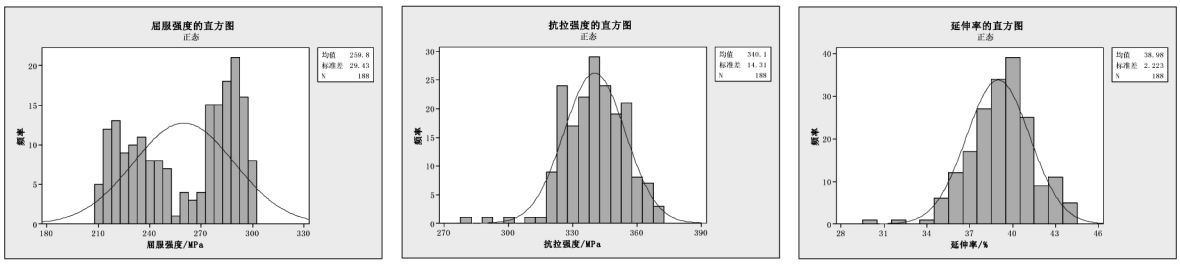


图1 按方案1试制钢带的力学性能

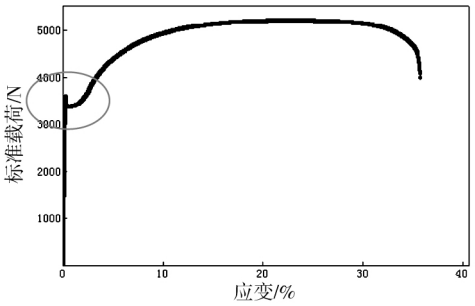


图 2　按方案 1 生产的 SPCC 拉伸应变曲线

1.2　工艺优化

根据首次试制的结果，采用两个方案对产品进行优化，方案 2 在方案 1 的基础上，提高退火温度，退火温度由小于 780 ℃，提升至 800 ℃以上，其他工艺与方案 1 一致；方案 3 在方案 1 的基础上提高热轧卷取温度，卷取温度由 650 ℃提升至 680 ℃，其他工艺与方案 1 一致，如表 3 所示。

表 3　冷轧钢带 SPCC 工艺设计

工艺	出炉温度/℃	热轧 FDT/℃	热轧卷取/℃	退火温度/℃	平整机延伸率/%
方案 2	<1 250	>860	650	>800	1.0
方案 3	<1 250	>860	680	<780	1.0

表 4　冷轧钢带 SPCC 不同工艺下的力学性能

工艺	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	屈服平台
方案 2	205 ~ 268	316 ~ 354	35.0 ~ 49.0	有
方案 3	180 ~ 226	301 ~ 374	39.5 ~ 48.5	无

2　结果分析

从表 4 的检验结果中看出方案 2 在方案 1 的基础上，仅提升退火温度，其他工艺不变，屈服强度有一定的降低，但依然整体偏高，且存在屈服平台。由霍尔 - 佩奇公式($\sigma_s = \sigma_0 + K_d - 1/2$) 可以看出，材料的屈服强度与晶粒直径大小有重要的关系，方案 1 中退火温度升高，促进了再结晶晶粒的长大，产品强度有小幅降低。

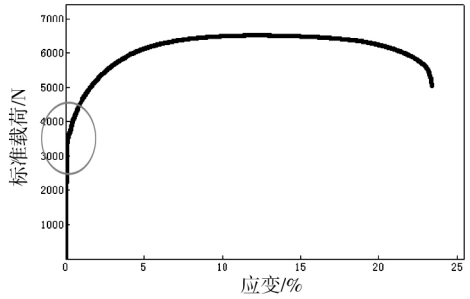


图 3　按方案 3 生产的 SPCC 拉伸应变曲线

方案 3 在方案 1 的基础上，仅提升卷取温度，其他工艺不变，检验结果中屈服强度显著降低，且屈服平台消除(如图 3 所示) 。方案 3 是通过提升卷取温度控制间隙原子的含量以及 AlN 在热轧过程中的析出形态，由于连续退火工艺中加热速度快、退火时间短，再结晶过程会先于 AlN 的析出，而间隙固溶元素会对再结晶过程中织构的发展产生不利影响[3]，因此要求 N 元素在热轧过程中完全以化合态粗大析出物形式析出，减弱了间隙原子对位错的钉扎作用，消除屈服平台，从而提高其深冲性能。卷取温度提升，有利于晶粒正常长大，有效降低产品强度。

3　结论

(1) 本文通过提升退火温度，对产品强度降低有一定作用，但降幅有限。

(2) 通过采用提升卷取温度的方式，可有效降低产品强度，且消除屈服平台。

参　考　文　献

[1] 孙中华. SPCC 薄板冷轧及连续退火工艺研究[J] . 河北冶金，2013，(2) : 4 - 5.

[2] 齐建群. 冷轧板 SPCC 的工艺优化与性能分析[J] . 金属世界，2008，(4) : 34 - 35.

[3] 王岩，赵爱民，陈银莉，等. 卷取温度对低碳钢组织性能及 AlN 析出行为的影响[J] . 北京科技大学学报，2010，(6) : 748 - 749.