包钢连续退火冷轧SPCC性能优化

张 华[1,2],金自力[1],齐 蒙[2],路 璐[2]

(1. 内蒙古科技大学,内蒙古 包头市 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份稀土钢板材厂,内蒙古 包头市 014010)

摘 要: 包钢连续退火冷轧生产线,在生产冷轧低碳钢SPCC初期,出现屈服强度偏高且屈服平台的问题;文章针对上述问题,通过降低SPCC化学成分中[N]含量,达到了位错钉扎作用的效果。鉴于连续退火与罩式退火的区别,采取带钢热轧卷取温度从650 ℃提高到710 ℃,并对热轧后带钢碳化物与氮化物析出相进行控制,达到了降低屈服强度、消除屈服平台的目的,最终实现了连续退火冷轧用钢SPCC性能优化。

关键词: 连续退火;屈服强度;屈服平台

中图分类号: TG156.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)05-0051-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.05.015

Performance Optimization for Cold Rolled Steel SPCC with Continuous Annealing in Baotou Steel

Zhang Hua[1,2], *Jin Zi-li*[1], *Qi Meng*[2], *Lu Lu*[2]

(1. *Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: At the initial stage of producing cold rolled low carbon steel SPCC with the continuous annealing cold rolling production line of Baotou Steel, there were the problems that the yield strength was higher and the yield platform. In the paper, the effect of dislocation pinning is achieved through reducing the content of [N] in the chemical components of SPCC aiming at the above problems. In view of the differences between continuous annealing and cover annealing, the performance optimization for cold rolled steel SPCC with continuous annealing is finally realized through increasing the hot rolling coiling temperature of strip steel from 650 ℃ to 710 ℃ and controlling the precipitated phases of carbides and nitrides for strip steel after hot rolling to reduce the yield strength and eliminate yield platform.

Key words: continuous annealing; yield strength; yield platform

连续退火机组问世于1936年,直到1972年日本新日铁君津厂建成了世界上第一条软质带钢的连续退火线,它的出现标志着连续退火技术发展进入到一个新的时代[1]。连续退火与罩式炉相比,具备以下优点:产品表面质量好、板形好、性能均匀、缺陷少、生产率高、节省劳动生产力、成品率高等,连续退

收稿日期: 2018-04-13

作者简介: 张 华(1979-),男,内蒙古呼和浩特市人,在读硕士,高级工程师,现从事产品开发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

火技术取代了罩式退火技术，实现冷轧带钢快速、经济和大规模的生产。鉴于目前汽车钢产品生产与发展形势，包钢集团于2013年起组建的新体系，集现代化铁前、炼铁、炼钢、热轧、酸洗、酸轧、冷轧连续退火及镀锌全流程生产线。2016年8月，冷轧连续退火生产线正式投入生产，具备了以连续退火方式生产冷轧产品的条件，为开发生产高附加值冷轧汽车钢奠定了基础。冷轧低碳钢SPCC作为商业用普通冲压材料，为满足部分折弯成形和浅拉伸，需要有一定强度的同时，还需要得到较好的成形塑性，因此其屈服强度一般要求不大于260 MPa。

1 产品现状及问题

包钢连续退火生产线生产冷轧用钢SPCC初期，采用该级别钢种通用的成分设计体系，主要元素控制范围见表1，但产品屈服强度偏高，范围主要集中在270～300 MPa之间，不利于冲压成型，并存在屈服平台现象，冲压成型容易产生橘皮等缺陷，因此无法批量投放市场，基于该两个性能问题，旨在降低冷轧用钢SPCC屈服强度，并消除屈服平台，优化目标为每月SPCC屈服强度≤230 MPa的比例达到90%以上，每月SPCC不出现屈服平台的比例达到90%以上。

表1 冷轧用钢SPCC成分设计(质量分数) %

化学元素	C	Si	Mn	P	S	Alt
控制范围	0.03～0.05	≤0.03	≤0.25	≤0.02	≤0.02	≥0.02

2 优化措施及结果

冷轧板性能由钢的化学成分、热轧轧制条件、冷轧轧制条件以及退火工艺来确定，为了获得良好的带钢成型性，必须优化调整生产过程中的各道生产条件，达到最优控制带钢的析出条件、显微组织和织构的目的。

2.1 影响因素分析

(1) 性能影响因素

钢的成分对连续退火带钢的性能影响起着关键作用，与罩式退火不同，连续退火机组高温均热时间较短，冷却速度较快，因此必须在炼钢时对钢的化学成分作相应调整和控制，为获得满意的再结晶组织和成型特性，须将填隙式溶解元素(碳和氮)以及固溶加强元素(锰、硅和磷)维持在较低含量水平；此外，退火后带钢的组织结构、晶粒度大小等对带钢的性能也起着决定性的作用，这些因素又受到热轧卷取温度、退火均热温度、退火均热时间等因素的影响，平整机延伸率对性能也有一定的优化作用。

(2) 屈服平台的产生

屈服平台主要是由碳氮原子气团(柯氏气团)“钉扎”作用而引起的。这种“钉扎”作用在再加工变形的过程中，使塑性变形首先不易产生，对位错的形成较高的屈服应力，只有当这种初始的应力达到某一数值，位错“钉扎”才开始消除。在单向拉伸试验中只有当塑性变形涉及到整个变形区时，屈服平台才能消除。根据屈服平台产生的机理，消除屈服平台的两种方法：①清除溶质元素，加入固态溶质的元素，例如在低碳钢中加Al或Ti，使C、N与Al或Ti结合成稳定化合物而使溶质组员从固溶体中退出来，这样柯氏气团就无从产生；②增大平整延伸率，使延伸率超过屈服平台部分，使位错摆脱溶质原子气团的作用[1]。

2.2 优化措施

冷轧连续退火SPCC带钢成分设计时，根据罩式退火的SPCC成分进行了优化，且和目前市场上其他钢厂同级别产品控制水平接近，又由于正常生产时，产线速度基本稳定，对退火时间优化不是很好的方式，由此主要从退火均热温度、平整机延伸率、热轧卷取温度、[N]含量控制进一步优化。

2.2.1 提高退火均热温度

退火均热温度对带钢的屈服强度有着较大的影响作用，时效温度影响不明显，一般随着均热温度的升高，带钢的再结晶进行越彻底，屈服强度越低，当超过了一定温度，退火温度的影响减小，说明晶粒完成再结晶，进入了晶粒长大期。试验初期在其他工艺参数一致的前提下，对同一厚度规格带钢，退火温度依次选用720 ℃、740 ℃、760 ℃与780 ℃，带钢厚度选用0.7 mm，对延伸率1.2%的SPCC屈服强度进行统计，从总体趋势看，退火温度大于760 ℃的钢带性能偏低，基本小于240 MPa，退火温度小于760 ℃的钢带屈服强度基本大于260 Mpa，可见提高退火温度可显著降低屈服强度。

2.2.2 优化平整机延伸率

平整延伸率的大小对材料的力学性能有着一定的影响，尤其对冲压用板更为重要。大于临界延伸率时，随着平整延伸率的增加，屈服强度升高，延伸率下降，小于临界平整延伸率，随着平整延伸率的增加，屈服强度降低、延伸率升高、硬度值升高，强度保

中国知网 https://www.cnki.net

持不变。在临界平整延伸率时，屈服应力有最小值，延伸率有较大值。

根据提高退火温度实验带钢的性能情况，后续在提高退火温度的基础上，对厚度为 0.8 ~ 0.99 mm 带钢，分别采用 0.8%、0.9%、1.0%、1.2%、1.3%、1.4% 平整机延伸率进行实验，经性能统计分析可知道，无屈服平台钢带的工艺参数共同点是退火温度大于 800 ℃，延伸率 1.2% ~ 1.4%，屈服平台大于 1% 的钢带共同点是延伸率小于 1.2%。

2.2.3　控制 [N] 元素含量

第一阶段优化后 SPCC 带钢，性能未达到攻关目标，经比较发现产品 [N] 元素含量波动较大，对于 [N] 元素含量超过 60×10^{-6} 的带钢，普遍存在屈服平台，且屈服强度高于 240 MPa，由此后续实验将严格控制 [N] 元素含量，要求控制在 50×10^{-6} 以下，从源头减少氮化物的析出，AlN 析出物数量少，再结晶后的晶粒成长性会变得良好，延伸率也会上升，[N] 含量的控制还会减少对位错的钉扎作用。

2.2.4　优化热轧高温卷取工艺

1959 年 BLICKWEDE 提出了热轧高温卷取连续退火生产冷金原理，采用高温卷取的目的有：(1) 热轧卷的铁素体晶粒长大；(2) 碳化物的聚集而粗大；(3) AlN 的进一步析出与聚集[2]。热轧卷的铁素体晶粒粗大可降低屈服点，对后续晶粒的大小具有遗传性，碳化物粗大化后使碳化物的平均间隔变成再结晶晶粒直径数倍以上，晶界移动的阻力因碳化物而大幅度减少。再结晶晶粒直径继续长大，引起屈服应力下降。同样由于快速加热，在再结晶时，碳溶解速度变缓，固溶碳量少，对深冲有利的 {111} 成分增加，r_m 值得到了提高。高的热轧卷取温度与连续退火匹配，有利于铁素体晶粒的长大，但温度过高，则会产生粗大晶粒，导致材料特性恶化，表面质量也变坏，本次优化将卷取温度由 680 ℃ 提高到 710 ℃。

2.3　实施效果及讨论

第一阶段工艺参数优化后，保持化学成分与其他工艺参数不变，初步采用退火温度 800 ℃，平整机延伸率采用 1.2% ~ 1.4% 陆续生产合同卷，经过近一个周的生产性能统计，所有检验卷中没有屈服平台的比例为 52.59%，屈服强度在 170 ~ 230 MPa 的比例为 62.08%（该范围为目前市场认可性能），详情见表 2 与表 3。

表 2　SPCC 屈服平台情况

Ae（屈服平台）	卷数/卷	重量/t	比例/%
无	98	1230.80	52.59
>0 ~ ≤0.3	33	293.49	12.54
>0.3 ~ ≤0.4	25	245.62	10.49
>0.4 ~ ≤0.5	12	111.96	4.78
>0.5 ~ ≤1.0	10	100.16	4.28
>1.0	34	358.56	15.32

表 3　SPCC 屈服强度情况

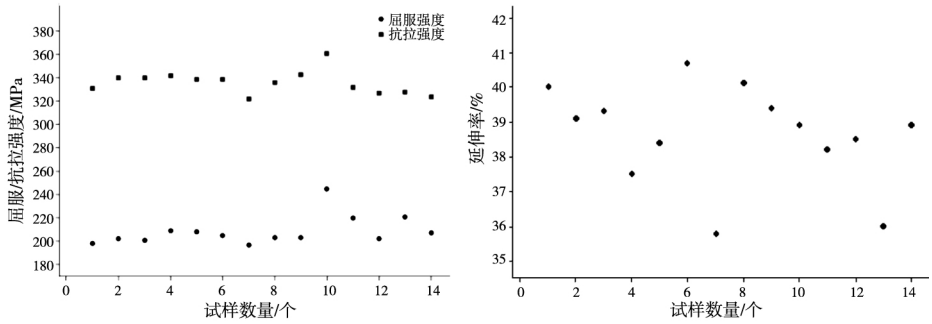
屈服强度/MPa	卷数/卷	重量/t	比例/%
>170 ~ ≤200	30	1230.80	12.50
>200 ~ ≤230	119	293.49	49.58
>230 ~ ≤260	50	245.62	20.83
>260	41	111.96	17.08

从数据中看出，有近一半比例的产品与市场客户的需求存在一定差距，且存在一定问题：一是经过几次实验，产品合格率在逐步提高，但存在不稳定性；二是对于 SPCC 产品，对比其他钢厂及相关文献，实验中的退火温度（>800 ℃）异常，需摸索正确温度的工艺参数。

第二阶段工艺参数优化后，为摸索合适的退火温度，并验证平整机延伸率的适宜性，本次实验在控制 [N] 含量均小于 50×10^{-6}，高卷取温度的情况下，选用 730 ℃，760 ℃，780 ℃ 三个退火温度，及 1.0% ~ 1.4% 的平整机延伸率，代表试样的屈服强度、抗拉强度与延伸率分布如图 1 所示，屈服强度范围为 197 ~ 220 MPa（仅 1 卷 245 MPa），全部带钢均无屈服平台。该工艺条件下，带钢的晶粒度在 7.5 ~ 8.5 之间，较为理想，显微组织如图 2 所示，可以固化此工艺。

攻关工作从 2016 年 10 月份开始进行试验，2016 年 10 月 24 日下发通知固化参数，自 2016 年 11 月开始，SPCC 攻关指标完成情况为，11 月屈服强度≤230 MPa 的比例为 90%，没有屈服平台的比例达 91%；12 月屈服强度≤230 MPa 的比例为 92%，没有屈服平台的比例达 95%；2017 年 1 月屈服强度≤230 MPa 的比例为 98%，没有屈服平台的比例达 97.7%；2017 年 2 月屈服强度≤230 MPa 的比例为 97.2%，没有屈服平台的比例达 97.9%；2017 年 3 月屈服强度≤230 MPa 的比例为 98.5%，没有屈服平台的比例达 99.0%；攻关工作开始后，每个月均完成指标。且通过后期跟踪，进入 2018 年后产品性能控制水平大幅提高。

中国知网　https://www.cnki.net



（a）屈服/抗拉强度分散图　　（b）延伸率分散图

图1　SPCC优化后性能指标

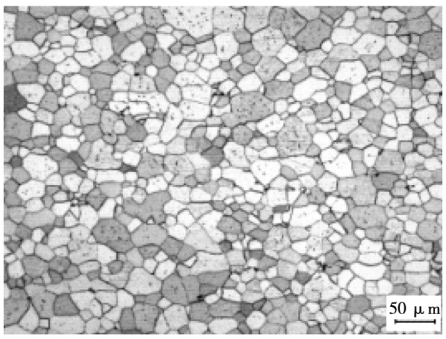


图2　SPCC优化后显微组织

3　结论

（1）针对包钢冷轧用钢SPCC屈服强度偏高问题，通过控制成分[N]含量，并提高热轧卷取温度将屈服强度平均值由260 MPa降低至200 MPa，达到了设计开发需求。

（2）针对屈服平台问题，经过试验分析，设定了退火均热温度760 ℃和平整机延伸率1.2%～1.4%，提高了热轧卷取温度至710 ℃，并对[N]元素含量进行了控制，最终达到了设定的攻关目标，完成对连续退火冷轧用SPCC带钢的性能优化。

参　考　文　献

[1] 李纯山，李刚. 平整带钢屈服平台的消除与延伸率优化[J]. 本钢技术，2008(3)：28－31.

[2] 汤茜，李腾飞，李婷婷，李化龙. 连续退火SPCC冷轧薄板性能的影响因素[J]. 金属热处理，2013，38(9)：60－64.

（上接第27页）

（5）对所测数据无严格要求的监视和测量设备，可以延长周期到规定周期的5倍，最长不超过5年。

（6）对延长检定周期的测量设备，应在周期内至少安排1次抽检。

3　测量数据的风险防控

当发现测量设备不符合预期用途时，如测量设备在测量过程中发生故障，或发现不符合计量要求，现场计量人员应对以往测量结果的有效性进行评价和记录，追溯并评价因这些测量结果而受到不利影响的任何产品、过程的程度，采取相应的控制措施；同时对测量设备按照不合格进行处理，重新进行检定/校准和计量确认。

4　结束语

计量管理要在计量技术、计量水平和计量标准上下功夫，实施精细化管理，还要通过计量分析、计量检测和计量评估，持续完善产品质量与认证体系的薄弱环节，有效地降低风险，提高企业产品质量和持续发展的能力。

参　考　文　献

[1] 国防科工委科技与质量司. 计量管理基础[M]. 北京：原子能出版社，2002.

[2] 孙丽. 计量器具校准结果的确认[J]. 铁道技术监督，2009，37(9)：24－25.

[3] 肖红. 重视监视和测量设备中生产检验共用设备的控制[J]. 计量与测试技术，2013，40(10)：30－31.

[4] 中国计量测试学会. 一级注册计量师基础知识及专业实务[M]. 北京：中国标准出版社，2014.

中国知网 https://www.cnki.net