硅钢退火炉炉辊碳套结瘤分析及对策

赵剑锋

(内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 炉辊碳套是硅钢连退生产线中重要的设备之一,其性能与寿命直接影响成品质量和生产线的连续生产能力。文章对包钢薄板厂硅钢连退生产线上的炉辊碳套在实际生产中所发生结瘤的情况进行分析,总结出炉辊碳套结瘤的原因,并通过加强炉前清洗质量、降低前工序碳含量等措施以减少炉辊碳套结瘤,达到稳定生产的目的。

关键词: 退火炉; 碳套; 结瘤

中图分类号: TG155.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)06-0029-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.06.009

Analysis and Countermeasures for Nodulation of Carbon Sleeve for Annealing Furnace Roller of Silicon Steel

Zhao Jian-feng

(*CSP Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The carbon sleeve of furnace roller is one of the important equipment in the continuous annealing production line of silicon steel, its performance and service life directly affect the quality of finished product and capacity for continuous production of the production line. In this paper, the causes for nodulation of carbon sleeve for furnace roller are summarized through analyzing it in the continuous annealing production line of silicon steel in the practical production of CSP Plant of Baotou Steel. Moreover, it is reduced by such measures as strengthening the cleaning quality in front of the furnace and reducing the carbon content in the previous process so that the purpose of stable production is achieved.

Key words: annealing furnace; carbon sleeve; nodulation

包钢薄板厂硅钢连退生产线可生产中低牌号无取向硅钢。连续退火炉是生产线中的重要设备之一,其作用是使冷轧硅钢板带在高温下进行退火、脱碳和再结晶。退火炉内用于传送和支撑带钢的是炉辊,炉辊由耐高温钢辊芯($Cr_{25}Ni_{32}$)和石墨碳套组成。石墨碳套是炉辊上的关键设备,不仅用量大,而且对硅钢成品板带表面质量有着直接的影响。由于石墨碳套与板带之间的摩擦系数小且耐磨,又具有自润滑性,所以目前仍然广泛用于卧式退火炉及硅钢生产线。正常生产过程中炉辊碳套不会对板带质量产生影响,但由于碳套表面经常会出现结瘤,在高温下带钢极容易出现凹坑缺陷。因凹坑会影响硅钢片的叠装系数,所以是硅钢成品的致命缺陷。炉辊结瘤一旦出现,必须马上处理,进而导致被迫停线进行更换。既影响作业率,停炉降温和起炉升温的过程中还会造成大量的能源浪费。目前国内已经有了

收稿日期: 2017-05-30

作者简介: 赵剑锋(1988-),男,内蒙古呼和浩特市人,助理工程师,现从事硅钢生产线设备维护工作。

中国知网 https://www.cnki.net

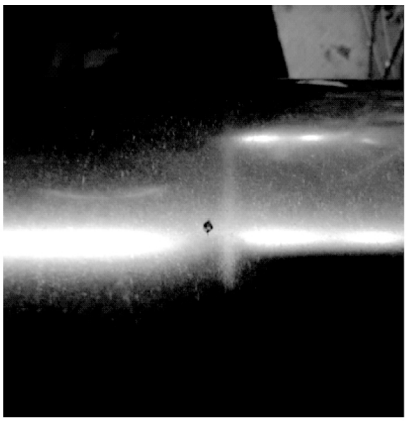
应对炉辊结瘤的方案，但由于各条生产线的工艺差别，方案中的一些内容并不能直接应用。本文针对包钢薄板厂硅钢连退生产线工艺，总结了一些应对炉辊结瘤的对策。

1 炉辊碳套结瘤的形式

炉辊碳套结瘤是炉辊碳套表面生成一种凸起物，在炉内高温状态下，会使带钢产生严重的凹坑缺陷。炉辊碳套结瘤的型式一般有两种，一是粘附型结瘤，二是反应型结瘤[1-2]。

1.1 粘附型结瘤

粘附型结瘤是指由于带钢表面的杂质和炉内灰尘落在辊面上，并受到带钢与炉辊之间的压力挤压，使带钢表面的杂质以及炉内的灰尘黏附在辊面上，随着黏附物的堆积，粘结物逐渐长大，形成结瘤（见图1（a））。这类结瘤物一般容易去除，随着带钢与炉辊之间的速度差产生的摩擦，会自行脱落。



（a）粘附型结瘤



（b）反应型结瘤

图1 结瘤图

1.2 反应型结瘤

反应型结瘤是指带钢表面残留的铁粉、氧化铁皮以及炉辊与带钢摩擦从带钢表面脱落的铁粉，在炉内高温和还原气氛下被还原成铁，再与炉辊碳套表面孔洞内碳套本身的材质发生熔融、扩散和合金化后，形成以铁为主的结瘤物[3]（见图1（b）），并镶嵌在碳套表面的孔洞内。这类结瘤物一般难以去除，需要停炉更换新碳套。

2 炉辊碳套结瘤的原因

从炉辊碳套表面的结瘤物进行分析，无论哪一类的结瘤，都需要经历从形成瘤核再到聚集长大这两个过程，所以结瘤物在形貌上表现为可层层剥离。当形成的结瘤物与辊面发生轻微的熔融、扩散和合金化后，部分结瘤物牢固粘附于碳套表面的间隙和孔洞内，形成结瘤。所以在炉辊碳套表面形成结瘤物有两个必要条件：一是碳套表面存在较大间隙或孔洞；二是进入炉内的钢带表面含有铁粉、氧化铁皮、铁锈以及炉内粉尘等物料来源。

2.1 炉辊碳套表面孔洞的形成

炉辊碳套长期在高温环境下使用，虽然在碳套的生产过程中，为了提高碳套的抗氧化性能、密度和增加碳套的机械强度、导电性能、导热性能以及降低孔隙率都会对碳套进行浸渍处理，且炉内充满了氮氢保护气，但碳套长期在 N_2-H_2，$N_2-H_2-H_2O$ 的弱氧化气氛下仍然会发生脱碳反应[4]。

$$C+H_2O \xrightarrow{\text{高温}} CO\uparrow+H_2\uparrow$$

$$C+2H_2 \xrightarrow{\text{高温}} CH_4\uparrow$$

退火炉内温度越高，脱碳腐蚀越严重，再加上带钢与碳套表面的摩擦，最终导致了碳套表层的腐蚀脱落（见图2）。而这一点也与高温区的碳套腐蚀严重这一现象相吻合。

为了使炉内带钢不被氧化，通常会对炉内通入过量的 H_2，强还原气氛下还可能会把经过抗氧化浸渍处理的碳套孔隙中所填充的氧化物还原，这样就减弱甚至失去了对孔隙的填充效果。碳套的抗氧化能力也随之变差，使得碳套表面原有的孔隙暴露出

中国知网 https://www.cnki.net

来[5]。同时，过量的 H_2 还会加速脱碳反应的进行。



图 2　炉辊碳套腐蚀

停炉时过早停保护气或者过早的(300 ℃以上)开炉门都会使炉内进入空气，使炉辊碳套发生氧化。

2.2　炉内杂质的来源

炉内杂质主要包括铁粉、碳粉、氧化铁、铁锈、粉尘、油脂等。

2.2.1　带钢清洗不干净

硅钢连退线在带钢进入退火炉前需要对带钢表面进行清洗，以去除酸轧轧制后带钢表面残留的乳化液和铁粉等。清洗流程为：碱浸洗→碱刷洗→电解清洗→水刷洗→水浸洗→水漂洗→热风烘干。

酸轧冷硬卷表面残留物一般为 300 ~ 500 mg/m^2，经过清洗后，带钢表面仍有残留物 20 ~ 50 mg /m^2，所以带钢的清洗效果越好，就越能保证炉内气氛清洁，对连续退火炉内清洁生产起到关键的作用。

带钢清洗不干净，带钢表面仍残留较多的铁粉和油污，带入到退火炉内与炉辊摩擦和挤压，油污会烧结为粉尘，部分铁粉会脱离带钢表面，沉积于炉辊和炉壁表面，逐渐积累，形成结瘤，其中高温段最为明显。

2.2.2　调试卷表面的氧化铁

在生产线检修完成起线升温期间，或者工艺过渡时都会使用到调试卷，在炉温未达到通氢温度前，带钢在炉内极易被氧化，产生氧化铁。调试卷重复在生产线上使用，会将氧化铁带入退火炉内，脱落后又粘结在炉辊碳套表面，逐渐积累长大，形成粘附型结瘤。随着炉温的逐级升高，通氢后氧化铁又被还原为铁，与碳套表面孔洞内碳套本身材质发生轻微的熔融、扩散和合金化后，形成反应型结瘤点。

2.2.3　加湿气氛下的脱碳以及轻微氧化

硅钢连续退火炉可分为干、湿两个气氛区。干气氛区主要气氛为，浓度为 50% ~ 100%，H_2 浓度为 0 ~ 50%，湿气氛区主要气氛为 $N_2 - H_2 - H_2O$。脱碳主要发生在湿气氛区，主要靠保护气中的水蒸气进行反应脱碳，脱碳原理为 C 和 H_2O 的反应。

$$C + H_2O \xrightarrow{\text{高温}} CO\uparrow + H_2\uparrow$$

退火炉内的露点一般控制在 -50 ℃ ~45 ℃范围内。在钢带表面的脱碳反应，起决定因素的是 P_{H_2O}/P_{H_2} 分压比，该值越大，即露点越高，脱碳反应速度越快，反应越彻底，脱碳能力越强。但如果分压比太大，即露点太高时，钢带表面容易发生氧化，这不仅影响钢带表面质量，而且形成的 SiO_2 致密氧化膜会进一步阻止脱碳。所以带钢在脱碳的过程中会不可避免地发生氧化。

炉辊碳套的主要材质为石墨，高温湿气氛下也会发生脱碳反应，这也加速了碳套表面的腐蚀。

3　减小炉辊碳套结瘤的措施

3.1　提高带钢清洗质量

防止炉辊碳套表面结瘤，提高带钢的清洗质量是一项重要措施。将清洗段碱浸洗、碱刷洗、电解清洗、水刷洗、水浸洗、水漂洗以及热风烘干各区域的工艺参数控制在工艺规定范围，控制带钢清洗后的反射率不小于 90%，带钢清洗干净，洗后表面残留物小于 25 mg/m^2 单面。减少异物带入炉内，控制酸轧冷硬卷表面的残油、残铁小于 300 mg/m^2 单面。

3.2　减少调试卷的使用

调试卷在反复上线使用的过程中不可避免地会在表面产生氧化铁，在重复使用的过程中氧化铁会被带入炉内，所以防止炉辊结瘤要减少调试卷使用。

(1) 检修完成起线后先将炉温升至 600 ℃，再进行穿带，待炉温到达 700 ℃后再对炉膛进行通氢，这样就减少了调试卷在炉内的运行时间，还可以减少能源消耗。

(2) 保证生产线的连续稳定运行，减少非正常的工艺过渡用调试卷。

3.3　降低前工序碳含量

带钢在连续退火炉内脱碳过程中，在高温加湿的环境中，带钢在脱碳的同时也极易发生氧化，且在高温高湿的环境下炉辊碳套也容易被腐蚀，产生间隙和孔洞。所以，在退火炉脱碳过程中，湿气氛段的炉辊碳套更容易发生结瘤。

中国知网　https://www.cnki.net

如果在带钢进入硅钢连退线之前碳含量就已经达到30×10^{-6}以下，那么在硅钢连退线就无需再进行脱碳环节。这样就可以大幅减少因脱碳过程炉辊碳套结瘤的可能。在硅钢生产全工序中，控制前工序生产过程中的碳含量，避免前工序发生增碳，控制硅钢连退原料碳含量在30×10^{-6}以下，避免在连退生产线上进行加湿脱碳，对减少炉辊碳套结瘤有积极的作用。

3.4 磨炉辊减少换辊次数

在结瘤物形成的初期，尤其是粘附型结瘤往往可以通过在线磨炉辊去除碳套表面结瘤物。在出口质量检查过程发现带钢表面凹坑缺陷，判断其为炉辊碳套结瘤物所致，可及时调整炉辊转速，通过改变带钢与炉辊的相对速度，使辊面与带钢之间产生相对滑动，依靠摩擦力去除辊面结瘤物。

在停线自然降温进行停炉检查的过程中，发现很多结瘤物已经从碳套辊面脱落，少量结瘤物也变得疏松。这是由于炉辊碳套与结瘤物的材质、物理性质和膨胀系数不同所致[6]。因此，可将炉温自然降至600～700 ℃，再用调试卷反复磨辊，依靠摩擦力去除辊面已松动的结瘤物。

4 结论

(1) 硅钢生产过程中，炉辊碳套结瘤对其成品质量的影响较大，且缺陷处理起来较为麻烦，结瘤严重时还需要停线降温更换新碳套，对硅钢连续生产以及能源消耗影响较大。减少炉辊结瘤对稳定生产，降低能耗有积极作用。

(2) 通过提高带钢的清洗质量、减少调试卷的使用、降低前工序碳含量、在线磨炉辊等措施，可有效的降低炉辊结瘤的概率，使炉辊结瘤得到了控制。提高了硅钢生产线的连续生产能力，同时也降低了生产过程中因炉辊结瘤产生的非正常能源消耗。

参 考 文 献

[1] 裴润奇，杨宗翰. 硅钢连续退火炉炉辊结瘤分析[J]. 山西冶金，2015，38(4)：72－74.

[2] 曾曼立，汪炎斌，陈亮，等. 硅钢连续退火炉炉辊炭套蚀损情况分析[J]. 钢铁研究，1988，(4)：88－91.

[3] 苏语诚，尤小勇. 冷轧硅钢用石墨碳套的研制[J]. 江苏冶金，2003，31(3)：22－23.

[4] 徐国涛，张洪雷，王悦，等. 连续退火炉炉底辊的显微结构分析[J]. 武钢技术，2005，43(2)：19－21.

[5] 何明生，薛改凤，骆忠汉，等. 浅析硅钢连续退火炉碳套的性能指标[A]. 第九届中国钢铁年会论文集[C]. 北京：中国金属协会，2013.

[6] 周建明，张贵春. 冷轧连退炉炉辊结瘤原因分析及控制措施[J]. 江西冶金，2016，46(5)：25－28.

中国知网 https://www.cnki.net