冷轧粘连缺陷的研究与控制*

李 欢[1,2], 金自力[1], 韩玉龙[2], 班胜利[2], 张 云[3]

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;
2. 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;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司生产部(安全环保部), 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 粘连缺陷是冷轧带卷常见的一种表面质量缺陷, 轻微的粘连会影响外观质量, 严重的粘连将导致带钢无法使用。文章从粘连缺陷产生的特征开始分析, 对比在不同卷取张力和退火过程等工艺状态下, 粘连缺陷的发生机率, 进而判断粘连出现的原因。依据现场实际生产操作情况, 总结出消除冷轧带卷表面粘连的工艺措施。

关键词: 粘连; 冷轧; 退火

中图分类号: TG335.5+5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)05-0049-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.014

Research and Control of Adhesion Defect in Cold Rolling

LI Huan[1,2], *JIN Zi-li*[1], *HAN Yu-long*[2], *BAN Sheng-li*[2], *ZHANG Yun*[3]

(1. *School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
3. *Productive Dept. (Safety and Environmental Protection Dept.) of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: Adhesion defect is a common surface quality defect in cold-rolled coil. Slight adhesion will affect the appearance quality, and severe adhesion will cause strip steel cannot be used. In the paper, it is primarily analyzed the characteristics causing adhesion defects, then reasons for the occurrence of adhesion are judged through the probability of adhesion defects occurrence by comparing different coiling tension and annealing process. According to the actual product situation, summing up the way to eliminate the defect in cold-rolled coil surface.

Key words: adhesion; cold rolling; anneal

近年来, 钢材市场“阴晴不定”, 冷轧产品已进入微利润时代。随着冷轧产品竞争越来越激烈, 如何提升产品品牌形象, 降低产品消耗和浪费, 成为提高企业竞争力的有效手段。由于薄规格带钢及汽车钢等增效产品的比重增加, 粘连缺陷也逐渐成为影响冷轧产品表面质量的主要缺陷之一, 同时由于其危害性较大, 可能在后部工序加工过程中造成撕裂或轧废, 所以重点针对粘连缺陷进行攻关改进。

1 冷轧板表面粘连形态特征

冷轧带钢经罩式炉再结晶退火后可消除冷变形产生的加工硬化和内应力, 但带钢在退火过程中易产生局部粘连。退火粘连的形状有点状、条状和大面积粘合, 粘连较严重时, 手摸有凸起的感觉。退火粘连多分布于带钢的边部或中间, 在平整开卷时常形成粘连条痕(见图 1 及图 2), 轻微的产生褶皱, 严

* 收稿日期: 2017-06-30

作者简介: 李 欢(1989-), 女, 内蒙古包头市人, 在读硕士, 助理工程师, 现从事冷轧产品质量管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

重的粘连，开卷时带钢被撕裂或出现孔洞，甚至无法开卷。

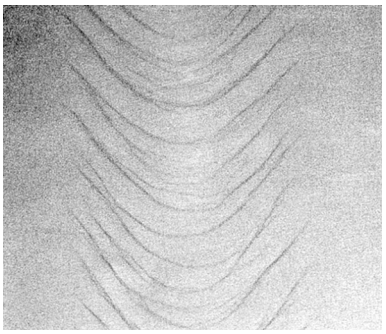


图1 粘连痕缺陷

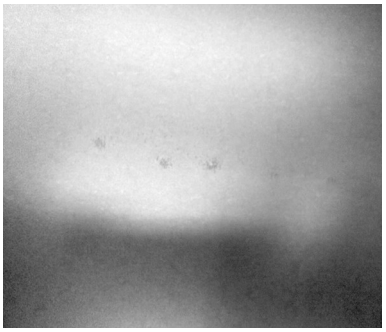


图2 点状粘连缺陷

2 粘连成因分析

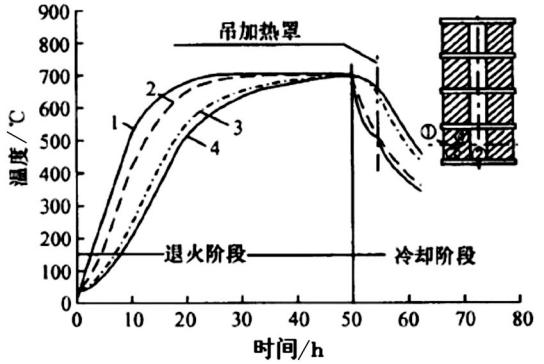
2.1 粘连的形成机理

带钢粘连缺陷是指在退火过程中，钢卷层间在热应力、内应力或存在局部凸起等因素作用下，长时间压合形成类似压力焊接条件的局部焊合，然后在平整过程中撕开后产生的表面质量缺陷[1]。产生粘连缺陷的影响因素较多，包括：带钢的化学成分；酸轧轧制工艺（如：板型控制、表面粗糙度及清洁度、卷取张力等）；罩式炉退火工艺及平整工艺[2]。针对薄板厂冷轧部的实际生产情况，重点对下述几方面进行分析研究。

2.2 冷轧带钢表面粘连的原因

2.2.1 退火工艺的影响

包钢薄板厂冷轧部采用全氢式罩式退火炉，退火过程受计算机自动控制。图3表示在退火某个周期内，带钢不同半径上钢卷的温度随时间变化曲线。从图中可看出在罩式退火工艺中，钢卷内外侧存在温度差异。在加热阶段，由于径向热传导，外侧带钢温度要比内侧带钢温度高，由于热膨胀而使钢卷变松；在冷却时情况则相反。冷却阶段一开始，在较冷的外区和较热的内区中的温差就远远拉大。由于冷缩时钢卷外层收缩到内层上，而极大地提高了卷层间的压力。这种情况维持在高温下长达数小时的压力会导致带钢局部出现类似扩散焊接情况的发生，是形成粘连的主要原因。由于装炉堆垛不符合要求，致使保护气体在炉内循环不好，时炉温不均匀，个别部位热阻滞严重，温差大而产生粘连。需要注意的是；不管什么原因引起的，如果炉内超温严重，就必然引起粘连；冷却速度太快也是导致粘连产生的因素之一。



1－钢卷外侧温度；2－钢卷内侧温度；
3－对应于在冷却阶段中出现最大径向应力的温度；
4－钢卷卷芯温度

图3 钢卷不同半径上温度随时间变化曲线

从退火粘连情况来看，还具有以下特点：①粘连重点集中在卷芯部位；②粘连发生与所装炉台没有明显关系；③粘连在炉台上的装炉位置分布比较均匀，装在最下面的钢卷卷取较好，因宽度方向受挤压易粘连。

2.2.2 带钢表面清洁度和粗糙度的影响

冷轧后带钢表面有残余物质，在退火炉中将会发生一系列的化学反应，残余铁粉在全氢高温还原气氛下将被还原成微细的纯铁颗粒，即 $FeO + H \rightarrow Fe + H_2O$。这一化学反应过程使得紧紧压合在一起的卷层焊合形成粘连。因此，降低表面残余物质，尤其是表面残铁粉的含量能有效地降低粘连的发生。另外，由于乳化液中有杂物，经退火蒸发后残留于钢板与钢板之间，如吹扫不净，也会产生粘连。

由于带钢表面粗糙度对粘连的影响很大，粗糙大的表面会增加钢卷各层之间的原子扩散阻力，可以减缓产生粘连的倾向。自激光毛化设备（见表1）投入使用后，生产的麻面板与之前生产的光面板相比，退火粘连缺陷比例有明显降低。

中国知网 https://www.cnki.net

表 1　毛化工艺要求　　μm

轧辊	粗糙度 R_a
毛化辊	3.5 ~ 4.0
光辊	<0.9

带钢表面清洁度与粗糙度是相互矛盾的因素，过分增加粗糙度就会降低表面清洁度，反而会增加粘连产生的几率，因此应合理的控制轧辊的表面粗糙度，以便使带钢表明粗糙度与清洁度达到最好的匹配。

自 2016 年薄板厂冷轧部脱脂清洗机组投产以来，冷轧平整卷带钢表面清洁度有明显提高，反射率测试由原来的 75% 提高到 85% 。

2.2.3　带钢板形以及卷取的影响

首先应尽可能使热轧原料原始板凸度与冷轧后的板凸度的相一致，这样可以保证冷轧后的带钢板形是平直的，在退火过程中通过有效地减小钢卷层与层之间应力分布不均的程度，有效地避免粘连。热轧钢卷有时会出现凸棱缺陷，这种缺陷的带钢冷轧退火后极易产生粘连，因此应严格控制热轧原料出现凸棱缺陷。

同时，冷轧过程中板形控制不佳，造成局部隆起或产生边浪、中浪，加大了带钢的板凸度分布不均，这使退火中钢卷会产生应力分布不均的现象，容易在层间径向应力较大部位产生粘连; 其次，成品道次卷取张力过大将直接增大钢卷在退火时层间的压应力，会加大粘连的几率; 再次，张力波动，会造成卷取质量不佳出现塔形、错层等，容易在吊运时挤压局部以及堆垛时下层受挤压造成局部压紧粘连。从生产情况来看，表 2 中成品卷取张力控制范围较为合适。

表 2　卷取张力

厚度/mm	卷取张力/($N \cdot mm^{-2}$)
≤1.2	27
>1.2	23

2.2.4　平整开卷的影响

平整开卷时将带钢从带卷上剥开，带钢粘连处在平整开卷时受到的拉应力如超过屈服强度就会产生局部变形，出现粘连条痕。可提高平整机开卷速度，增大瞬时开卷变形量，提高带钢的抗拉强度，减小带钢粘连处的局部变形，减弱粘连条痕等方式，减少粘连缺陷。同时适宜的开卷角度对避免粘连有一定的作用。开卷时，应尽可能使带钢沿钢卷切向打开，通过切向应力使带钢层与层间的附着有所松动。同时平整开卷张力确定应采用以下原则: ①入口带钢张力小于出口带钢张力; ②开卷张力小于轧机卷取张力。

2.2.5　化学成分的影响

理论上来说，钢中非金属元素(主要是 C 元素) 含量增加时，非金属原子会占据更多空位，使铁原子空位扩散的浓度降低，自扩散系数减小，从而使带钢粘连倾向减弱。此外，非金属元素还会使带钢的高温屈服极限增大，带钢卷层间塑性变形减小，有利于减少粘连[3]。

从现场生产经验来看，ST14 钢种冷轧带钢比 SPCC 钢种冷轧带钢更容易出现粘连缺陷(ST14 及 SPCC 钢种化学成分见表 3) 。为了分析带钢化学成分对粘连缺陷的影响，分别用不同 C 含量、Si 含量、Mn 含量的热轧原料进行实验，同时适当改变热轧卷曲温度，但保持热轧其他轧制工艺，以及冷轧工艺不变的情况下，得出结论: 钢质太软，钢种 C、Si 含量少，粘连倾向高[4]。

表 3　化学成分(质量分数)　　%

钢种	C	Si	Mn	P	S	Al_t
SPCC	0.036	0.024	0.11	0.01	0.007	0.031
ST14	0.002	0.004	0.16	0.01	0.003	0.047

3　防止和控制粘连缺陷的技术措施

(1) 正确选择卷取张力，对厚度≤1.2 mm 的带钢，在保证板型及不松卷的前提下，应尽量减少卷取张力。

(2) 因变形速率提高，使带钢的屈服极限增大，故可提高带卷平整时的开卷速度，以减少粘连处的变形，经平整后消除或减轻粘连痕印[5]。

(3) 控制热轧来料的化学成分，保证良好的原料板型及卷形。

(4) 酸轧轧制时，应使用毛化工作辊来减少粘连缺陷的产生，同时要保证轧制时乳化液浓度、空气吹扫压力等各项指标良好，材质较软的带钢，需经脱脂清洗机组进行带钢表面清洁。剪裁后带钢边部质量要满足后序加工要求，避免吊运过程中的磕碰产生，以减少边部粘连。

(5) 退火工艺条件对粘连缺陷的影响主要有两方面: 堆垛方式和退火工艺制度(包括加热温度、保温时间、保温温度、冷却速度等) 。 (下转第 55 页)

中国知网　https://www.cnki.net

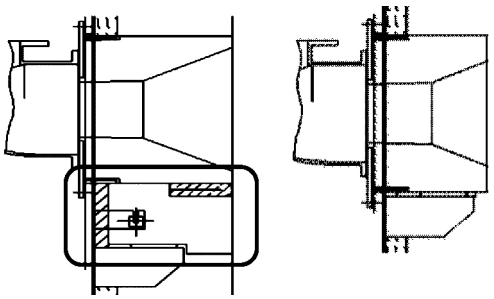


图 5　去掉支撑砖前后对比

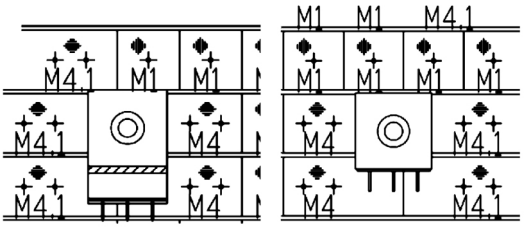


图 6　重新设计后的模块填充对比

5　结束语

综上所述，根据实际情况采用如上方法对减少炉内掉砖产生的事故及缺陷有良好的效果。另外，对于炉内已经调整好的工艺参数要经常校对，降低炉内露点，减少砖体粉化几率，同样也是该实施方案的基本前提。通过全年对部分砖体改善后的使用与观察，作出了以下统计：由于炉内掉砖产生的废次品较往年同期相比减少 76 t。烧嘴使用率达到 92%。炉内掉砖造成的停线时间减少 114 h。

参　考　文　献

[1]　李九龄. 带钢连续热镀锌 [M]. 北京：冶金工业出版社，2010.

[2]　张江涛. 连续热镀锌连续立式退火炉的设计 [J]. 工业技术，2012，(1)：8.

(上接第 51 页)

生产时，要合理安排堆垛摆放位置，将塔形卷、溢出边卷放置于钢垛上部；按照合理的退火制度进行退火，保证退火设备完整、检测仪表准确、热电偶插放到位等，能够随时检测退火温度曲线，确保炉内具有良好的气体循环条件。

4　结束语

通过理论分析和工业试验，确定了影响粘连产生的因素与冶炼时的化学成分，热轧时带钢板型，冷轧轧制时的卷取张力，罩式退火时的工艺控制及平整的开卷张力等方面，都有着密不可分的联系。想要真正彻底消除粘连缺陷，就必须从源头抓起，层层把关，做好各工序的质量把控。经过近一年的生产实践证明，冷轧带钢生产工艺改善效果明显，采用技术措施得当，产品质量稳定提高，各项技术指标达到标准及用户要求，得到了市场的认可。

参　考　文　献

[1]　孟静. 冷轧罩式炉退火带钢表面粘结缺陷影响因素研究 [J]. 热处理技术与装备，2016，37(2)：34.

[2]　黄皆捷，吴彬. 宝钢冷轧板粘结成因分析及消除对策探讨 [J]. 轧钢，1999，16(3)：13－16.

[3]　赵波. 冷轧带钢退火粘结缺陷原因分析及控制措施 [J]. 鞍钢技术，2010，(3)：53－54.

[4]　张向英. 冷轧产品质量缺陷图谱及解析 [M]. 北京：冶金工业出版社，2012.

[5]　王晓宇，耿勇. 冷轧带钢退火粘结缺陷的研究 [J]. 鞍钢技术，2001，(6)：42.

中国知网　https://www.cnki.net