# 包钢酸洗钢带板面发黑因素的分析*

刘天放

(内蒙古包钢金属制造有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 文章阐述了包钢拥有一条高水平、现代化的热轧板连续酸洗机组,可生产规格(1.2~8.0) mm×(800~1 680) mm,强度级别为780 MPa的酸洗钢带。钢带酸洗后存在板面发黑问题,热轧到酸洗生产过程中,通过实验室和生产现场试验分析,研究了氧化铁皮以及酸洗工艺等对钢带板面的影响,并做出调整。

**关键词:** 酸洗钢带; 发黑; 氧化铁皮; 改善

**中图分类号:** TG335 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)06-0036-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.06.011

# Analysis on Blackening Factors on Surface of Pickling Steel Belt of Baotou Steel

*Liu Tian-fang*

(*Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

**Abstract:** In this paper, it is expounded that the specification of product produced by the high-level modern continuous pickling line of hot-rolled plate is (1.2~8.0) mm×(800~1 680) mm and the strength is 780 MPa. In the process of hot rolling to pickling, the influences of scale and pickling process on the surface of steel belt are analyzed and studied through laboratory and field experiments so that the problem of blackening on surface of pickling steel belt is improved.

**Key words:** pickling steel belt; blackening; scale; improvement

随着钢铁市场竞争的加剧,对钢材高性能、低成本的要求越来越高,因而以热轧酸洗板为代表的“以热代冷”趋势迅速发展。国内目前酸洗板供不应求,热轧酸洗板在竞争激烈的市场中具有广阔的前景。包钢拥有一条高水平、现代化的热轧板连续酸洗机组,可生产规格(1.2~8.0) mm×(800~1 680) mm,强度级别为780 MPa的酸洗钢带,机组产能为120万t。目前包钢热板酸洗产品存在板面发黑的问题,对此,我们进行了工艺全流程分析研究,影响板面发黑的因素主要有原料化学成分、热轧氧化铁皮、酸洗工艺以及抑制剂等[1-2],本文只分析氧化铁皮、酸洗工艺、抑制剂等的影响。

## 1 酸洗原理和工艺参数简述

### 1.1 酸洗原理

利用酸溶液去除钢铁表面上的氧化铁皮和锈蚀物的方法称为酸洗,是清洁金属表面的一种方法。

(1)化学溶解作用。钢材表面氧化铁皮中各种铁的氧化物与酸发生化学反应,生成溶于水的铁盐而溶解于酸溶液内。

* 收稿日期:2020-05-18

作者简介:刘天放(1991-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事冷轧产品的工艺、质量研究工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 机械剥离作用。浸入到氧化铁皮的空隙和裂缝中的酸会和 α－Fe 或 FeO 反应，所产生的氢气的膨胀压力将氧化物铁皮剥离。

即使在去除氧化铁皮后的铁表面，会因为结晶粒界、非金属介存物、伤痕、异物附着、酸液浓淡分布等因素，形成局部电池，其电极并非是绝对的，而是会经常改变。以化学反应式来表示酸洗如下:

$$Fe_2O_3 + 6HCl \longrightarrow 2FeCl_3 + 3H_2O$$

$$Fe_3O_4 + 8HCl \longrightarrow 2FeCl_3 + FeCl_2 + 4H_2O$$

$$FeO + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_2O$$

与此同时，盐酸与钢带基体发生如下反应:

$$Fe + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_2$$

Fe、FeO 溶解后以亚铁离子 $Fe^{2+}$ 的形式变成亚铁盐，$Fe_2O_3$、$Fe_3O_4$ 溶解后虽变成铁离子 $Fe^{3+}$，但由于氢而被还原成亚铁离子，变成亚铁盐。

### 1.2　酸洗工艺参数

再生酸浓度为 18%，酸液温度控制在 80 ℃左右，酸洗速度稳定在 100 m/min 左右，漂洗水电导率 ≤25 μs/cm。包钢热板酸洗机组为自动化连续生产线，其工艺参数控制非常稳定，在该条件下酸洗表面质量均可达到 FB 等级。

## 2　酸洗抑制剂的影响

### 2.1　酸洗抑制剂的作用机理

酸洗抑制剂是酸洗将金属表面的锈层或氧化铁皮去除时，为了抑制金属因酸造成本身的表面溶解，而在酸液中添加的物质。添加抑制剂，可抑制铁坯的溶解，表面不易变得粗糙或产生孔蚀，氢的产生量减少，而钢带表面粗糙或产生孔蚀对钢带表面光洁度影响较大，会使板面白色度降低。

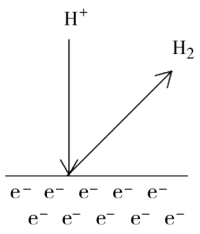
由于抑制剂的分子吸附于钢带表面，形成薄膜，因此可以防止在阴极产生氢; 或是抑制剂与金属面反应，亦或是与溶液中的其他离子反应后的生成物，吸附于钢带表面来防止腐蚀; 抑制剂的成败决定于金属表面，而往溶液中扩散，会让 $H^+$ 离子的活动钝化，导电度下降，犹如在进行电阻作用。

氧化物表层溶解后，开始铁的腐蚀如下:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e \quad (阳极反应)$$

$$2H^+ + 2e \rightarrow H_2 \quad (阴极反应)$$

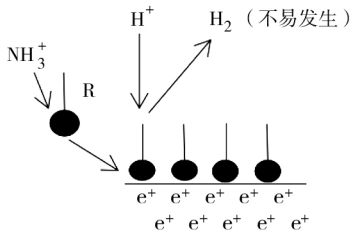
在酸液中铁的表面形成了局部电池，Fe 被溶解，抑制剂中的 $[R-NH_2]$ 变成了 $[R-NH_3]^+$，吸附在局部电池的阴极处，形成了单分子膜，发挥了抑制铁腐蚀的效果，如图 1 所示。




$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$　（阳极反应）

$2H^+ + 2e \rightarrow H_2$　（阴极反应）

（a）未添加抑制剂




$R-NH_2 + H^+ \rightarrow R-NH_3^+$

（b）添加抑制剂

**图 1　局部电池反应对比**

### 2.2　抑制剂对钢带表面白色度的影响

在相同酸洗工艺参数条件下，未添加抑制剂的钢带表面粗糙、灰暗，白色度较低，在使用型号 A 的抑制剂时，钢带白色度值明显高于未添加抑制剂的值，但无法达到实验室效果。通过分析钢种样本，对抑制剂配方进行持续优化，目前使用型号 C 的抑制剂获得了良好的表面质量，白色度值可达到 67。图 2为未添加抑制剂和添加不同抑制剂的实验室白色度值对比，表 1 为添加不同抑制剂现场测试白色度值对比，表中 $L$ 代表白色度值，$L_1$、$L_2$ 分别为钢带上下表面白色度值。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

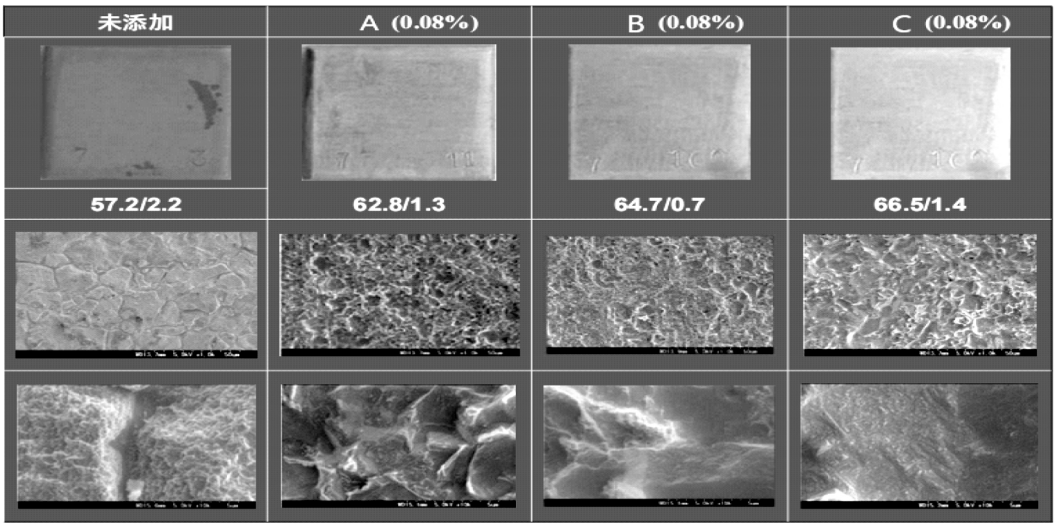



**图2 实验室实验白色度对比**

**表1 现场试验白色度对比**

| 缓释剂 | 钢种 | 厚度/mm | 是否涂油 | $L_1$ | $L_2$ | $\bar{L}_{1,2}$ | $\bar{L}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | QSTE420TM | 2.5 | 否 | 65.76 | 66.52 | 66.140 | 65.8 |
| | QSTE420TM | 2.5 | 否 | 66.17 | 65.65 | 65.910 | |
| | QSTE420TM | 2.5 | 否 | 65.92 | 66.66 | 66.290 | |
| | SPHC | 3.5 | 否 | 67.12 | 66.99 | 67.055 | |
| | SPHC | 4.5 | 否 | 66.09 | 66.87 | 66.480 | |
| | SPHC | 4.0 | 否 | 66.62 | 66.98 | 66.800 | |
| | SPFH590 | 2.5 | 否 | 63.33 | 64.95 | 64.140 | |
| | SPFH540 | 2.0 | 否 | 62.95 | 63.39 | 63.170 | |
| | SPHC | 2.5 | 否 | 66.41 | 66.80 | 66.605 | |
| | QSTE420TM | 3.0 | 否 | 63.70 | 64.53 | 64.115 | |
| | SAPH440 | 2.0 | 否 | 66.38 | 66.17 | 66.275 | |
| | SAPH440 | 2.5 | 否 | 66.11 | 66.69 | 66.400 | |
| | SAPH440 | 3.0 | 否 | 66.93 | 66.07 | 66.500 | |
| C | SPHC | 2.0 | 否 | 67.42 | 67.74 | 67.600 | 67.7 |
| | SPHC | 2.0 | 否 | 66.89 | 67.41 | 67.200 | |
| | SAPH440 | 4.0 | 否 | 66.53 | 66.94 | 66.700 | |
| | SPHC | 4.0 | 否 | 67.02 | 67.69 | 67.400 | |
| | SAPH440 | 3.0 | 否 | 68.37 | 68.45 | 68.400 | |
| | SAPH440 | 2.0 | 否 | 67.34 | 67.25 | 67.300 | |
| | QSTE380TM | 2.5 | 否 | 67.40 | 67.54 | 67.500 | |
| | QSTE380TM | 2.5 | 否 | 63.73 | 64.03 | 63.900 | |
| | SPHC | 2.3 | 否 | 67.71 | 68.19 | 68.000 | |
| | SPHC | 2.3 | 否 | 69.33 | 70.46 | 69.900 | |
| | SPHC | 2.3 | 否 | 70.37 | 70.98 | 70.700 | |

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通过白色度数据对比可看出，添加抑制剂后的钢带白色度比未添加抑制剂的钢带白色度高约 10 个值，使用优化后的 C 型号抑制剂的钢带平均白色度较使用 A 型号抑制剂的钢带白色度增加约 2 个值，同时从肉眼感观上看，酸洗后板面亮白，较前期有大幅提升。

## 3　防锈油的影响

### 3.1　防锈油本身对钢带白色度的影响

防锈油本身是带色的，有红棕色、棕色等，通过静电涂油到钢带表面，导致钢带表面白色度降低，不同的防锈油对白色度的影响也不同。

在相同酸洗工艺参数和使用同一种抑制剂条件下，前期使用 F 型号防锈油，发现涂油后板面发黑较为严重，后将成分进行了调整，更换为 C 型号防锈油，涂油后钢带白色度提高 2.8 个值。表 2 为两种防锈油对钢带表面白色度影响的对比。

表 2　涂油后白色度对比

| 防锈油 | 钢种 | 厚度/mm | 是否涂油 | $L_1$ | $L_2$ | $\bar{L}_{1,2}$ | $\bar{L}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F | QSTE420TM | 2.5 | 是 | 48.23 | 49.41 | 48.820 | 50.0 |
| | QSTE420TM | 2.5 | 是 | 49.12 | 48.95 | 49.035 | |
| | QSTE420TM | 2.5 | 是 | 48.87 | 49.66 | 49.265 | |
| | SPHC | 3.5 | 是 | 51.49 | 52.86 | 52.175 | |
| | SPHC | 4.5 | 是 | 51.90 | 52.29 | 52.095 | |
| | SPHC | 4.0 | 是 | 52.81 | 53.68 | 53.245 | |
| | SPFH590 | 2.5 | 是 | 44.84 | 45.47 | 45.155 | |
| | SPFH540 | 2.0 | 是 | 45.32 | 45.66 | 45.490 | |
| | SPHC | 2.5 | 是 | 52.50 | 53.61 | 53.055 | |
| | QSTE420TM | 3.0 | 是 | 45.56 | 46.08 | 45.820 | |
| | SAPH440 | 2.0 | 是 | 51.37 | 50.66 | 51.015 | |
| | SAPH440 | 2.5 | 是 | 52.73 | 51.97 | 52.350 | |
| | SAPH440 | 3.0 | 是 | 52.21 | 51.68 | 51.945 | |
| C | SPHC | 2.0 | 是 | 53.88 | 54.61 | 54.200 | 52.8 |
| | SPHC | 2.0 | 是 | 53.13 | 54.25 | 53.700 | |
| | SAPH440 | 4.0 | 是 | 51.75 | 52.48 | 52.100 | |
| | SPHC | 4.0 | 是 | 53.48 | 54.63 | 54.100 | |
| | SAPH440 | 3.0 | 是 | 50.32 | 48.32 | 49.300 | |
| | SAPH440 | 2.0 | 是 | 52.67 | 51.05 | 51.900 | |
| | QSTE380TM | 2.5 | 是 | 50.57 | 51.03 | 50.800 | |
| | QSTE380TM | 2.5 | 是 | 51.22 | 53.15 | 52.200 | |
| | SPHC | 2.3 | 是 | 50.54 | 53.81 | 52.200 | |
| | SPHC | 2.3 | 是 | 54.13 | 55.03 | 54.600 | |
| | SPHC | 2.3 | 是 | 55.18 | 56.13 | 55.700 | |

### 3.2　防锈油对钢带表面光的漫反射的影响

防锈油覆盖到钢带表面，影响了光的漫反射，钢带表面本身是凹凸不平的，光被钢带表面反射后向各个方向分散，靠漫反射在人眼内成像，因为钢带表面粗糙度较为均匀，所以漫反射光在各个方向分布也比较均匀，对所有方向的亮度均相等，所以我们看到的钢带表面是均匀较白的，但是涂油后影响了钢带表面粗糙度，其实并非真正影响钢带的粗糙度。因为油是大分子物质，钢带是致密的晶体，原子与原子之间空隙对于油分子来说很小，不可能渗透到钢

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

带里，它只是将钢带表面凹凸不平处进行了填补，表面覆盖油膜后发生镜面反射，部分光没有进入到眼内，所以我们感觉钢带是发黑的，如果将油膜清洗掉并烘干，我们会看到钢带表面较白。钢带表面涂油与未涂油白色度值相差14个值，所以防锈油对白色度影响较大。

## 4 板面粗糙度的影响

钢带表面粗糙度对漫反射有一定的影响，会直接影响感观视觉的判断，钢带表面粗糙度越大板面越暗。我们使用触针法检测粗糙度，检测仪器为触针式轮廓仪，原理是在测量过程中，触针和被检测表面接触，同时触针沿测量方向运动一定距离，并获得该段长度的轮廓数据，最后通过数字处理和计算得到表面粗糙度参数。

据了解，部分钢厂酸洗板表面粗糙度为1.0～1.2 μm，并且整卷粗糙度均匀。对酸洗板粗糙度进行详细的跟踪，对不同规格带钢进行现场检测，收集粗糙度数据，进行对比。某钢厂酸洗板面上表面平均粗糙度为1.181 μm，下表面平均粗糙度为1.343 μm，总平均值为1.26 μm。我厂实测带钢上表面粗糙度平均值1.44 μm，下表面粗糙度平均值为1.48 μm，总平均值为1.46 μm。相比国内某些先进水平钢厂酸洗板面粗糙度，我厂酸洗板面粗糙度高0.2 μm。

通过调整酸洗工艺，减轻酸对钢带基体的腐蚀，来降低钢带表面粗糙度，并且通过实验室试验使用抑制剂来改善钢带表面粗糙度。实验室测得未添加抑制剂的钢带表面粗糙度为1.44 μm，添加抑制剂的钢带表面粗糙度为1.08 μm，但现场实际生产时未达到实验室效果。图3为实验室粗糙度对比。

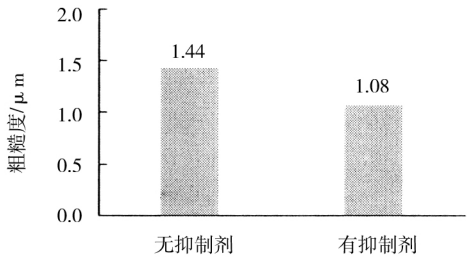



图3 实验室粗糙度对比

## 5 氧化铁皮的影响

钢板表面氧化铁皮难以洗净，导致残留的氧化铁皮呈山水画的形貌，从感观上来看钢带表面整体发黑。从热轧板的表面质量分析，板坯在炉加热时间、粗轧除鳞及卷取温度是影响其产生的主要原因，并针对该原因研究对应方案。

### 5.1 板坯在炉加热时间

板坯加热时间长易产生较厚的氧化铁皮，前期板坯加热时间在230 min左右，目前缩短板坯加热时间，试验时将板坯加热时间缩短至220 min以内，同时在加热酸洗坯料前装宽规格板坯提高酸洗料在加热炉内的行走速度，并且适当降低板坯炉内加热温度，通过控制炉压和炉内气氛等可有效减少氧化铁皮的生成。

### 5.2 粗轧除鳞

粗轧机除鳞系统包括除鳞箱、R1机架除鳞、R2机架除鳞3个用户点，如果生产节奏快会出现3个用户点同时除鳞，导致尾部除鳞水压力低，影响除鳞效果，为保证除鳞水压力，通过减少除鳞道次避开多点除鳞，保证除鳞水压力在18.5 MPa以上，除磷效果有改善，同时在除磷水中加入碱金属碳酸盐等能够有效去除二次氧化铁皮。

### 5.3 卷取温度

卷取温度高在表面易形成难溶的$Fe_3O_4$和$Fe_2O_3$，导致酸洗难以去除。将卷取温度降低10 ℃进行试验，采取高速低温轧制、低温卷取、快速冷却的方法，控制钢带表面形成易酸洗的氧化铁皮。

通过控制热轧氧化铁皮问题，山水画缺陷有了明显改善，钢带表面质量得到了提升，酸洗后实测白色度提高1个值。氧化铁皮改善前后对比见图4。



图4 板面感观对比

## 6 结束语

通过以上分析，认为酸洗参数、抑制剂、防锈油、板面粗糙度、热轧氧化铁皮都是影响酸洗钢带板面

（下转第55页）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 7　Φ232.0 mm × 5.5 mm 气瓶专用管几何尺寸取样结果　　mm

| 样号 | 壁厚 | | | | | | 外径 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_{平均}$ | $S_{max} - S_{min}$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_{平均}$ | $D_{max} - D_{min}$ |
| 1 | 5.82 | 5.96 | 6.41 | 6.65 | 6.21 | 0.83 | 231.8 | 232.7 | 232.6 | 232.9 | 232.50 | 1.1 |
| 2 | 5.68 | 5.91 | 6.49 | 6.71 | 6.20 | 1.03 | 231.5 | 231.9 | 232.7 | 232.9 | 232.25 | 1.4 |
| 3 | 5.69 | 5.85 | 6.51 | 6.83 | 6.22 | 1.14 | 231.6 | 231.4 | 232.1 | 232.5 | 231.90 | 0.9 |
| 4 | 5.77 | 5.93 | 6.23 | 6.61 | 6.14 | 0.84 | 231.4 | 231.8 | 232.2 | 232.5 | 231.98 | 1.1 |
| 5 | 5.72 | 5.96 | 6.48 | 6.79 | 6.24 | 1.07 | 231.7 | 231.9 | 232.4 | 232.6 | 232.15 | 0.9 |
| 6 | 5.84 | 5.96 | 6.57 | 6.88 | 6.31 | 1.04 | 231.4 | 231.6 | 232.2 | 232.4 | 231.90 | 1.0 |
| 7 | 5.71 | 5.89 | 6.39 | 6.74 | 6.18 | 1.03 | 231.6 | 232.1 | 232.7 | 232.8 | 232.30 | 1.2 |
| 8 | 5.67 | 5.94 | 6.75 | 6.37 | 6.18 | 0.70 | 231.3 | 231.7 | 232.0 | 232.4 | 231.85 | 1.1 |
| 9 | 5.64 | 5.79 | 6.63 | 6.79 | 6.21 | 1.15 | 231.5 | 231.8 | 232.2 | 232.4 | 231.98 | 0.9 |
| 10 | 5.74 | 5.89 | 6.56 | 6.80 | 6.25 | 1.06 | 231.7 | 231.9 | 232.6 | 232.6 | 232.20 | 0.9 |

注：壁厚要求：5.50 ~ 6.90 mm；外径要求：229.7 ~ 234.3 mm。

从表 7 中可知，采用 Φ242 mm 系列轧制 Φ232.0 mm × 5.5 mm 气瓶专用管几何尺寸全部满足客户要求，且壁厚、外径均匀度较好。

## 5　结论

(1) 在连轧机孔型设计过程中，总结出按各机架的顶部延伸系数分配法计算轧机的孔型高度，并综合各项经验参数计算其他各段圆弧的孔型计算方法，该方法可行，在今后连轧孔型设计中可借鉴。

(2) Φ242 mm 系列的开发，工艺设计合理，产品质量稳定，成材率高。

(3) 通过对新孔型开发，为今后超原设计要求的新产品提供了更有利的开发思路。

## 参　考　文　献


[1] 王廷溥，齐克敏. 金属塑性加工学 [M]. 北京：冶金工业出版社，2001.

[2] 张桉. 无缝钢管生产技术 [M]. 重庆：重庆大学出版社，1997.

[3] 李国祯. 现代钢管轧制与工具设计原理 [M]. 北京：冶金工业出版社，2006.

[4] 赵志业. 金属塑性变形与轧制理论 [M]. 北京：冶金工业出版社，1980.


(上接第 40 页)

发黑的因素。酸洗工艺参数控制较为稳定，酸洗效果良好；使用抑制剂后可有效提升板面白色度；氧化铁皮控制已见成效，后期仍要继续研究并改进；防锈油问题及板面粗糙度是接下来要研究的重点，随之，酸洗产品表面等级也将得到更高的提升。

## 参　考　文　献


[1] 傅作宝. 冷轧薄钢板生产 [M]. 北京：冶金工艺出版社，2016.

[2] 周从锐，陈小龙，周明科，等. SPHC 热轧带钢酸洗表面发黑原因分析 [J]. 物理测试，2020，(3)：41 – 45.


(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net