

## 济钢冷轧生产中热划伤现象的研究

李洪翠, 张 虎

(济南钢铁股份有限公司 冷轧板厂, 山东 济南250101)

摘要: 热划伤是冷轧生产中一个比较棘手的产品表面质量问题, 通过对济钢冷轧板厂生产初期遇到的热划伤现象出现规律的分析 and 轧制润滑机理的研究, 认为热划伤主要是轧制过程中冷却和润滑不良产生的。经过一系列改进轧制试验, 结果表明, 优化轧制参数、提高轧辊加工质量、改进乳化液参数、改进轧制油配方等是解决热划伤缺陷的有效措施。

关键词: 冷轧; 热划伤; 乳化液; 润滑

中图分类号: TG335.12 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620 (2007) 06-0052-03

## Research of Heat-scratches in Cold Rolling Process of Jinan Steel

LI Hong-cui, ZHANG Hu

(The Cold Rolling Plant of Jinan Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: Heat-scratches defect is a troublesome surface quality question in cold rolling process. Based on the analysis of heat-scratches phenomenon in early production of Jinan steel cold rolling plant and the research of rolling lubrication principle, the author believes that the lacking of cooling and lubrication is the main reason of heat-scratches. After many times of rolling practice alteration, we found that optimization of rolling condition parameters, improvement of roll surface quality and upswing of water soluble oil solution system and roll oil are effective methods in resolving heat-scratches.

Key words: cold rolling; heat-scratches; water soluble oil solution; lubrication

## 1 前言

热划伤和打滑是冷轧生产中经常遇到的技术性难题, 产生机理复杂, 影响因素较多, 严重影响冷轧板厂的产量和产品质量。济钢冷轧板厂生产初期遇到热划伤现象, 通过厂技术人员的研究探索, 最终较完善地提出处理方案, 成功解决了热划伤问题。对热划伤的产生机理进行分析, 以期为解决类似问题提供一定的参考和借鉴。

## 2 济钢冷轧板厂的热划伤现象

## 2.1 济钢冷轧板厂简介

济钢冷轧板厂于2005年12月建成投产, 采用德国SMS-Demag公司提供的四辊双机架可逆式轧机。该轧机目前在国内属第1套, 世界第4套。主要参数如下: 原料规格(1.5~5.0) mm×(950~1 650) mm; 产品规格(0.3~2.5) mm×(900~1 600) mm; 轧机最大轧制力22 000 kN; 最大轧速1 350 m/min; 乳化液系统供液泵流量6 000 L/min×2, ; 乳液箱150 m<sup>3</sup>; 酸洗机组为连续浅槽紊流盐酸酸洗, 最大速度140 m/min; 退火炉为单垛全氢罩式, 堆垛高度5 300 mm, 堆垛最大净重140 t; 平整机组为四辊单机架, 最大速度800 m/min。

## 2.2 热划伤现象

2006年4月，济钢冷轧板厂轧机机组进入试生产阶段，初期产品主要为SPCC钢种的冷硬卷，供济钢鲍德彩板厂及其他镀锌彩涂用户。从5月下旬开始，客户反映冷硬卷产品表面普遍存在条状划痕缺陷，影响镀锌效果。经走访用户和轧制过程中停机检查，发现带钢表面确实存在条状划痕，沿轧制方向呈不规则分布，宽度一般如发丝粗细，也有几个毫米宽的，个别严重者有明显手感，直接影响镀锌效果。

对于该种缺陷如何造成，是否是机械设备刮伤，一开始无法确定。但该种缺陷严重影响带钢表面质量，造成产品质量等级下降和用户质量异议，用户对是否签订单普遍持观望态度，该问题已成为亟待解决的技术难题。在对生产现场各种轧制工艺参数不断进行调整的同时，搜集查阅各种资料，进行理论分析和探讨。首先将该种缺陷定义为不同于机械划伤的热划伤。

## 2.3 热划伤出现的规律

根据对热划伤现象的观察和分析，通过归纳整理，热划伤主要在如下情况出现：1) 总压下率超过某一范围。较厚规格时热划伤程度较轻微；薄规格则易出现严重划伤。一般来说，轧制总压下率 $>75\%$ 时，情况较严重； $<70\%$ 时，热划伤现象不明显。2) 轧制速度较快时。观察第1道次2#机架出口速度发现，在总压下率为70%左右、速度超过600 m/min时，或当总压下率 $>75\%$ 、速度超过500 m/min时，热划伤比较明显；轧制速度越快，热划伤越严重。3) 钢卷下表面热划伤更为明显。

# 3 热划伤形成原因分析

## 3.1 轧制润滑机理

采用润滑轧制是冷轧工艺不同于热轧过程的重要工艺特点之一。金属加工过程中，根据润滑机理的不同，金属塑性变形区的润滑状态可分为流体润滑、混合润滑和边界润滑[1]：1) 流体润滑表现为两接触表面完全被润滑油膜隔开，即油膜厚度远大于接触表面粗糙度，摩擦力来自于润滑剂分子运动的内摩擦，摩擦系数较低。2) 混合润滑也称为部分流体润滑，当润滑剂黏度或速度降低时，润滑油膜变薄，则两表面微凸体相互接触，载荷部分由润滑剂油膜承担，部分由接触中的表面微凸体承担。摩擦学特征由润滑剂流变学和微凸体相互作用共同决定。3) 边界润滑发生在非常接近以至微凸体之间发生明显接触的金属表面。此润滑状态下，流体动压作用和润滑剂整体流变性能几乎无影响，摩擦学特征决定于薄层边界润滑剂与金属表面之间的相互作用。

在冷轧轧制过程中，轧制变形区通常处于混合润滑或边界润滑状态，根据混合润滑变形区接触面积和膜厚的计算公式和实验结果，随压下率的增加，变形区实际接触面积增大，膜厚比可减小至0.1以下，润滑状态由混合润滑向边界润滑过渡。随轧速提高，压下率增大，轧机在高速稳定运行时，轧制变形区通常为边界润滑状态。

## 3.2 热划伤产生机理

通过对国内其他冷轧厂的调研考察，发现热划伤现象较普遍存在，而且由于划痕表现程度的差异，也有机械设备划伤被误认为热划伤的案例。

目前对热划伤产生机理较普遍的解释是：轧制过程是通过轧辊与轧件的摩擦力将轧件拖至辊缝之间，使其产生平面压缩变形过程。当辊件间轧制变形区内因变形功过大，产生大量的热能，导致油膜厚度变薄或局部破裂，轧辊与带钢直接接触，产生热划伤。换言之，热划伤是冷却和润滑效果不良产生的。反之，当变形区内油膜厚度过大，摩擦系数降低至一定程度时，则易产生打滑现象[2]。

冷轧过程中，随着轧制速度和压下率增加，轧制变形区通常为边界润滑状态，润滑条件比较苛刻，普通的油膜分子无法承受高温高压的轧制条件，润滑主要由润滑添加剂提供。这也较好地解释了济钢冷轧厂热划伤通常发生在大压下率、高轧速的情况。

# 4 改进试验

结合生产实际和工艺润滑理论,将产生热划伤的主要因素分为三个方面。1)轧制条件:压下率、轧制速度;2)轧辊参数:工作辊粗糙度;3)乳化液系统:乳化液的浓度、皂化值、温度、喷射流量等。对上述工艺参数分别进行调整和优化,观察轧制效果。

#### 4.1 轧制条件的技术改进

放松轧制条件,减少对润滑性能的要求。2006年6月份,制定措施限制压下率和轧制速度。总压下率 $>70\%$ 时,控制第1道次2#机架出口速度 $\leq 600$  m/min; $>75\%$ 时,速度 $\leq 450$  m/min。同时,控制2#机架压下率不超过 $36\%$ ,人工进行干预。由于降低轧制速度,控制压下率,直接减少了摩擦变形热,降低了变形区内对润滑性能的要求,热划伤明显减轻。但对轧机产量影响较大,对原料选择影响也很大,原料成本增加。可以作为临时或应急措施,不宜作为长期措施。

#### 4.2 轧辊参数的技术改进

降低工作辊粗糙度,提高轧辊加工质量。前期粗糙度为 $0.8\sim 1.0$   $\mu\text{m}$ ,2006年5月份,对装配粗糙度 $0.5\sim 0.6$   $\mu\text{m}$ 之间的工作辊进行试轧。另外改进轧辊磨削工艺,提高轧辊加工质量,减少轧辊表面的细微划痕、走刀印等缺陷。这样,润滑剂分子与轧辊表面微凸体之间的作用力下降,润滑的均匀性改善,可改善轧制变形区的润滑条件,对减少热划伤有一定作用。但实际生产中发现,工作辊粗糙度较低时,易发生与热划伤相反的轧制缺陷——打滑。而且随轧制长度的增加,轧辊粗糙度会逐渐降低,轧辊粗糙度初始值低降低了轧辊每个周期的使用寿命。

#### 4.3 乳化液系统的技术改进

通过改变轧制条件和轧辊参数,改善轧制变形区内润滑条件,减少对润滑性能要求,使热划伤得到有效控制,但效果不够稳定,而且副作用较大。乳化液系统是轧机系统工艺润滑的重要组成部分,工作原理为:轧制油和水按照一定比例,在乳液箱内通过机械搅拌形成乳化液,送往轧机。轧制过程中,乳化液在带钢和辊缝间产生的高温高压下破乳,实现油水分离。轧制油铺展在带钢和轧辊表面,起到润滑作用,水则流散或蒸发来冷却轧辊和带钢。乳化液被汇聚到收集槽后,打回乳液箱,循环使用。

为改善热划伤,从前面的理论分析可知,应提高乳化液系统的冷却和润滑能力。因此应从乳化液的有效浓度、温度、流量和轧制油成分方面着手,分别验证效果。

**4.3.1 有效浓度的技术改进** 初期乳化液有效浓度在 $3.0\%\sim 4.0\%$ 之间,热划伤比较明显。做了如下改进:总压下率 $>70\%$ 时,保证有效浓度在 $4.6\%\sim 5.0\%$ 左右; $<70\%$ 时,控制在 $4.0\%$ 以上;同时控制杂油泄漏,保证皂化值在 $150$  mgKOH/g以上。乳化液浓度增加,进入辊缝的有效油量增加,润滑效果增加,但浓度提高,冷轧能力下降,轧后带钢表面残油增加,影响带钢的退火清洁性,轧制油消耗也增加;浓度过高还会使轧辊打滑。因此,提升乳化液浓度必须综合考虑润滑和冷却、带钢清洁性等多方面的影响。

**4.3.2 乳化液温度的技术改进** 根据轧制油的特性,乳化液温度通常设定在 $48\sim 58$   $^{\circ}\text{C}$ ,温度过低易滋生细菌。温度升高时,油滴粒径增大,润滑性能提高,轧制过程中铁粉生成量降低,轧后带钢表面清洁度增加。但温度过高会降低乳化液的冷却性能,对抑制热划伤也不利。降低温度会增加冷却效果,但润滑效果会降低。必须综合平衡润滑和冷轧的影响。前期乳化液温度根据轧制油厂家的推荐设定在 $55$   $^{\circ}\text{C}$ 左右,在不改变其它参数的条件下,对乳化液温度进行调整,最高到 $58$   $^{\circ}\text{C}$ ,最低到 $50$   $^{\circ}\text{C}$ ,甚至 $45$   $^{\circ}\text{C}$ 。温度提高,润滑效果增加,但到 $57、58$   $^{\circ}\text{C}$ 时,轧制后带钢的温度明显增加,冷却效果明显下降,卷取机等设备的工作条件恶化,润滑要求提高。温度降低过多,虽然冷轧条件改善,但会出现热划伤,润滑能力下降。综合考虑,乳化液温度控制在 $53\sim 55$   $^{\circ}\text{C}$ 。

**4.3.3 流量及压力的技术改进** 乳化液系统设计流量为 $6\ 000$  L/min $\times 2$ ,受管道限制,实际流量低于设计值,供1#轧机流量通常在 $4\ 700$  L/min左右,2#轧机流量在 $4\ 500$  L/min左右。改进将1#轧机流量提升至 $5\ 000$  L/min,最大 $5\ 500$  L/min,2#轧机流量提至 $4\ 800$  L/min左右。流量及压力增加,冷轧能力增加,进入辊缝的油量也增加,热划伤现象得到明显改善,但轧后带钢表面乳化液残留较以前严重,乳化液喷溅增加,且机架内输液管道经常发生破裂,带钢表面的残留乳化液不易吹扫干净。

#### 4.4 乳化液配方的改进

**4.4.1 改进前后的轧制油分析** 自2006年6月份开始,采用了改良配方后的轧制油。轧制油为透明深琥珀

色，配方改进前后皂化值分别为166、180 mgKOH/g，酸值分别为11.2、13.0 mgKOH/g。

轧制油为混合物，由基础油和添加剂组成，其中基础油包括合成脂、动物油和矿物油，添加剂包括乳化剂、油性剂、极压剂和防锈剂等[3]。根据轧制油组分与控制指标的关系，可得出以下结论：1) 皂化值的提高，证明基础油中合成脂的含量增加。合成脂是轧制油的基础部分，在金属表面覆盖成膜，直接影响轧制油润滑能力。因此，提高皂化值，可有效提高混合润滑状态下的润滑性能。2) 酸值的提高，说明氯系极压剂含量提高。极压剂在轧制过程中吸附在带钢摩擦面上，反应形成具有层状结晶构造的薄膜，在边界润滑状态下发挥作用，达到抗磨和极压效果[4]。因此，增加酸值，明显提高边界润滑状态下的润滑性能。3) 采用高皂化值的轧制油，可有效降低乳化液浓度，增加乳化液的冷却性能，同样有利于消除热划伤。

4.4.2 方案实施及效果评价 2006年7月，通过对乳化液系统进行排槽重新配制，全部使用新轧制油，同时对乳化液指标进行了调整。变化情况见表1。

表1 轧制油改进配方前后乳化液参数对比

项目	改进前	改进后
浓度/%	3.5~5.0	3.0~4.0
皂化值/(mgKOH·g <sup>-1</sup> )	>135	>150
pH值	5.5~7	5~7
电导率/(μs·cm <sup>-1</sup> )	<300	<300
温度/℃	~57	~55

轧制油更换后，对轧制效果进行了跟踪，通过对带钢和工作辊表面的检查，热划伤缺陷基本消失。通过对客户的走访交流，用户反映产品质量较以前有明显提升，热划伤几乎完全消失，偶尔出现轻微的热划伤，但对后道工序影响甚微，未再有热划伤质量异议，同时退火后的钢卷表面质量没有明显变化。

实践证明，改进轧制配方的解决方案，提高了乳化液的润滑性能，对消除热划伤现象起到了明显作用，是解决热划伤问题的有效措施。

## 5 结 语

热划伤是各冷轧厂在生产中都会遇到的问题，如何兼顾热划伤和打滑，提高带钢表面质量，是解决该问题的难点。借鉴济钢冷轧板厂解决热划伤的经验教训，提出以下几点建议：

1) 对于较轻微热划伤，采用放松轧制条件的方法，包括适当减少总压下率，降低轧制速度，修正各道次压下规程等，可有效消除。2) 提高轧辊加工质量对避免热划伤，提高带钢表面质量是重要的。3) 在设备和电气条件允许时，采用增大乳化液流量的办法，对消除热划伤有显著作用。4) 在以上措施不凑效的情况下，可考虑改进轧制油配方来控制热划伤缺陷。

### 参考文献：

- [1] 孙建林. 轧制工艺润滑原理技术与应用[M]. 北京：冶金工业出版社，2004：51.
- [2] 白振华，吴安民，王俊飞，等. 热滑伤判断条件及其影响因素[J]. 钢铁研究学报，2006，18：20-23.
- [3] 徐耀寰. 轧制油 Quakerol N428DPD及其在宝钢的应用[J]. 轧钢，1997，2：48-50.
- [4] 张文豪，王冬，赵月峰. 板带轧制油的组成及性能要求[J]. 润滑与密封，2005，3：185-186.
- [5] 戴学诚，工艺润滑对轧后带钢清洁度的影响[J]. 钢铁，2000，5：36-39.