

冷轧轧辊表面 PC 值提升要因及对策

聂 鑫, 朱晓斌, 董广超

(内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢冷轧板材厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章主要从轧辊微观表面形貌入手, 通过轧辊磨削、毛化等工序的加工原理和控制手段, 研究其对轧辊表面 PC 值的影响和变化规律。针对最终成型环节, 以 Sarclad 电火花毛化床设备实验数据为基础, 建立粗糙度与 PC 值、毛化次数与 PC 值、毛化间隙和电流等参数与 PC 值的数学模型, 研究其影响规律。最终基于工业化生产实际选择出最优的 PC 值提升对策, 整体工艺及参数调整后提高了轧辊表面 PC 值, 改善了产品表面质量。

关键词: 表面粗糙度 (Ra 值); 峰值密度 (PC 值); 冷轧轧辊; 电火花毛化床 (EDT)

中图分类号: TG335. 12

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438 (2026) 03 - 0017 - 04

Causes and Countermeasures for Increasing PC Value on Surface of Roll for Cold Rolling

Nie Xin, Zhu Xiaobin, Dong Guangchao

(Cold Rolled Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd.,
Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In this paper, it starts with the microscopic surface topography of roll. The effects and change rules of it on PC value on surface of roll are studied through processing principles and control means of such processes as roll grinding and texturing. The mathematical models of roughness and PC value, texturing times and PC value as well as such parameters as texturing gap, current and PC value are established based on the experimental data of Sarclad electro discharge texturing machine for final forming process to study their influencing rules. Finally, the optimal countermeasures for increasing PC value are selected based on actual industrial productions. After the overall process and parameters are adjusted, the PC value on surface of roll is increased and surface quality of product is improved.

Key words: surface roughness (Ra value); peak value density (PC value); roll for cold rolling; electro discharge texturing (EDT) machine

伴随着汽车、家用电器等行业的迅猛发展, 市场对高品质冷轧带钢的需求呈现逐年攀升态势, 同时用户对带钢的表面光洁度及实际使用效能也提出了更为严苛的要求。我厂汽车用冷轧板的核心客户——某汽车制造企业反馈, 我公司供应的该类产品存在表面粗糙度超标、涂装处理后鲜映性不佳^[1]

等问题, 这不仅损害了我公司的产品口碑, 也对后续供货的稳定性造成了不利影响。

1 关键控制工艺

冷轧生产过程中, 轧辊作为轧钢生产直接接触带钢并且给予压力的大型工具, 对带钢表面质量和

粗糙等性能有着直接影响,因此,如何控制好轧辊表面质量,是保证产品表面质量稳定的重要前提条件。

成型性能与涂装性能是评判有涂层及无涂层冷轧板使用效能的关键指标,这两项性能均与带钢表面形貌的特征参数有着紧密的内在关联^[2]。带钢表面形貌的基础特征参数包括粗糙度(Ra 值)与峰值密度(PC 值),不同的粗糙度水平和峰值密度分布,会导致带钢表面平均波峰-波谷高度及波峰数量出现显著差异。较高的粗糙度可形成相互独立的润滑凹槽,对提升带钢的摩擦成型效果具有积极作用;而分布均匀的粗糙度、较高的峰值密度以及无规律的表面形貌,能够有效减少光学条纹的产生、避免橘皮现象出现,从而优化带钢涂装后的光学效果。综上所述,Ra 值与 PC 值是调控带钢使用性能的核心要素。

2 形貌成因分析

轧辊表面形貌为电火花在辊面打出小坑,相邻凹坑之间形成一个个不规则的“山峰”,在轧制过程中这些“山峰”会发生转印,对带钢表面进行挤压后使带钢表面产生对应凹坑。这就是冷轧板带轧制转印过程的微观描述。带钢上的凹坑越密集即峰值密度(PC 值)越大、反之越小;带钢上的凹坑约深即粗糙度(Ra 值)越大、反之越小。

从带钢表面角度出发,其表面峰值密度越多,其

肉眼感官越细腻;后续喷涂过程中与油漆接触面越多、挂漆效果越好,最终板面反应出的漆色均匀、亮丽。反之,板面漆色会暗淡,且易出现局部橘皮^[3]现象,需增加喷涂次数进行覆盖。

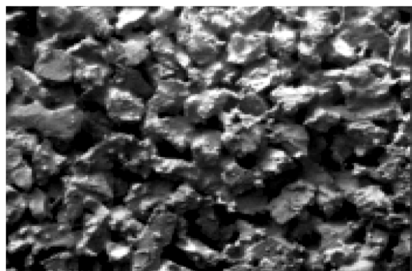
从轧辊表面角度来看,其表面峰值密度越多,对电火花进行打毛过程中对电流、放电时间精确控制要求越高,最终峰尖会越细。在轧制过程中,峰尖极易磨损,导致峰值密度转印效果不佳,无法实现稳定生产。

3 加工工序分析

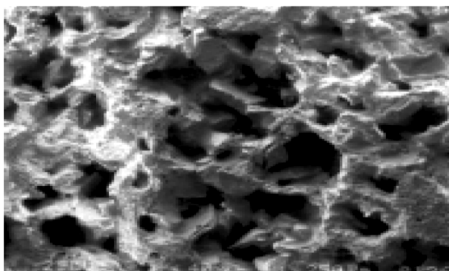
3.1 磨削工序

轧辊的加工流程主要包含磨削与毛化两道核心工序,其中轧辊磨削工序的核心作用是为后续轧辊毛化加工提供合格的基准面。基准面的平整程度直接影响毛化效果,基准面越平整,毛化后轧辊表面形成的麻面坑洼形态就越清晰。

在控制程序层面,需最大限度满足磨削后轧辊表面的光洁度要求。耗材选用上,对磨床所使用的砂轮进行结构改进,通过增大气孔数量、将砂轮颗粒粒度减小至 80[#](如图 1)来优化磨削效果;过程控制上,采用低粗糙度轧辊磨削操作工艺,确保轧辊经磨削处理后,表面粗糙度(Ra 值)控制在 0.4 μm 及以下,且辊面无砂轮尾线等各类表面缺陷。



(a) 优化前



(b) 优化后

图 1 轧辊磨床砂轮微观形貌

3.2 毛化工序

有了光洁的基础面后,进一步对轧辊毛化过程进行研究,我公司轧辊毛化采用电火花毛化技术,其原理如图 2 所示^[1]。

轧辊毛化的原理为毛化床熔池和轧辊表面采用密封贴合的方式形成密闭腔体^[4],该腔体内填充有

绝缘油,且绝缘油中按一定比例混入了高纯度石墨粉。电极在密闭腔体内部向轧辊表面释放电能,放电产生的电弧借助石墨颗粒构成的电桥传递到轧辊表面,促使辊面局部区域因高温发生熔融,最终在轧辊表面形成满足生产需求的麻坑。

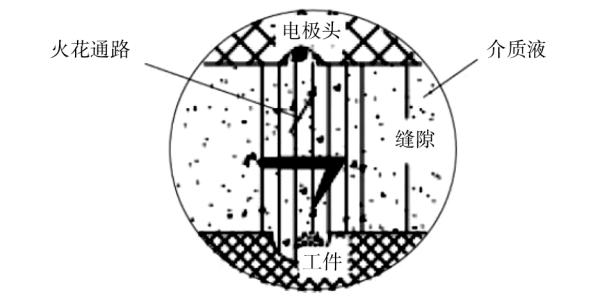


图2 电火花毛化原理图

针对以上分析,对轧辊毛化参数控制进行实验比对:

(1)在耗材和毛化次数等条件不变情况下,对于不同粗糙度(Ra 值)对 PC 值影响,得出轧辊毛化工序 PC 值变化规律,见图3。

根据图3 数据分析可知,在粗糙度(Ra 值)为1.0 μm 时 PC 值可实现最大化,范围为110~160,随粗糙度 Ra 值升高,PC 值呈下降趋势。当粗糙度(Ra 值)低于2.0 μm 时,辊面毛化层较浅且不均匀,无法投入正常生产使用。

(2)在保证材料规格、轧辊表面粗糙度(Ra 值)不变的前提下,通过改变轧辊毛化次数,开展对比实验,探究不同毛化次数对轧辊峰值密度(PC 值)的影响,实验所得到的轧辊毛化 PC 值变化规律如图4 所示。

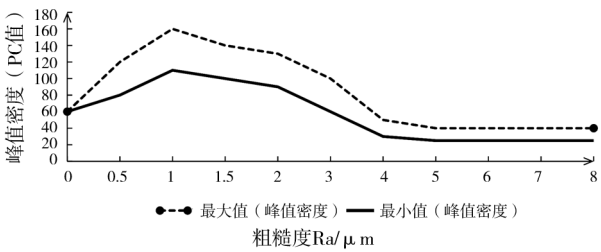


图3 粗糙度 Ra 与 PC 值变化关系

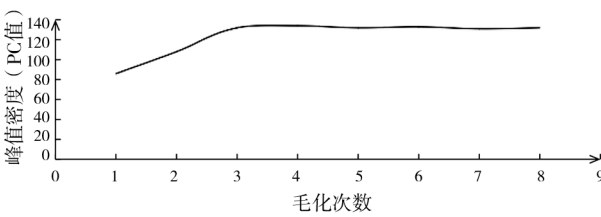


图4 毛化次与 PC 值变化关系

在其他各项变量保持不变的条件下,增加轧辊毛化次数,其峰值密度(PC 值)具有明显的提升作用,但当毛化次数达到3次以后,PC 值便逐渐趋于稳定状态,无法再实现显著的提升效果。鉴于我公司目前仅配备一台毛化床,其承担保障的产线较多,因此难以实现大批量轧辊的多次毛化处理。同时,我们针对毛化参数开展了优化实验,并对实验效果进行了验证,相关验证结果详见表1。

表1 轧辊加工参数优化实验数据表

实验过程	磨削工序 粗糙度 Ra 值/μm	毛化工序 粗糙度 Ra 值/μm	一次毛化 PC 值	二次毛化 PC 值	三次毛化 PC 值	备注
1	0.7	3.0	72	80	82	辊面粗 PC 值接近板面要求,不具备生产条件
2	0.7	2.0				表面粗糙,毛化层均匀性差,实验验证失败
3	0.4	3.0	75	78	82	辊面粗 PC 值接近板面要求,不具备生产条件
4	0.4	2.0	93			肉眼可见辊面毛化层覆盖不均匀,不具备生产条件
5	0.4	2.0	93	110		表面质量及 PC 值满足生产需求
6	0.4	2.0	92	111	134	毛化3次情况下,单支轧辊毛化时间为4小时、一对轧辊需用时8小时以上,无法满足现场生产节奏,且 PC 值远超板面要求,在实验一次后终止实验,保留数据

由表1 可以看出,前期对轧辊磨削工序实施优化后,取得了较为显著的效果。其中,当轧辊表面粗糙度(Ra 值)控制在3.0 μm 时,无法达到高峰值密

度(PC 值)的使用要求;若将粗糙度(Ra 值)调整至2.0 μm,单次毛化处理的覆盖效果不佳,难以满足产品表面质量标准;而经过3 次毛化处理后,不仅加

工周期过长,且处理结果远超产品实际需求,无法投入正常生产运营。相比之下,采用2次毛化处理时,轧辊表面质量及PC值均能符合生产要求,每对轧辊的加工时长控制在4~5 h,在当前小批量生产模

式下,可满足现有生产节奏。因此,确定将轧辊表面粗糙度(Ra值)2.0 μm、毛化次数2次作为最终优化方案,其具体优化参数及轧辊实测数据详见下表2、表3及图5。

表 2 毛化参数优化

实验参数	粗糙度 Ra	粗糙度 Ra	峰值密度	打毛次数	电流 /A	持续时间 /s	关闭时间 /s	放电电压 /V	加工时间 /min
	最小值/μm	最大值/μm	PC 值						
优化前	3.47	3.82	74	1	4.5	10.5	7.2	130	49
优化后	2.3	2.38	111	2	3.3	7.2	5.3	110	53

表 3 参数优化前后轧辊表面参数

序号	粗糙度 Ra 值/μm		峰值密度 PC 值	
	优化前	优化后	优化前	优化后
1	3.10	2.12	76	113
2	3.05	1.98	71	121
3	3.20	2.12	72	85
4	3.19	1.96	83	103
5	2.98	2.02	69	111
6	3.14	2.22	74	112
7	3.28	2.21	78	120
8	2.97	2.12	77	114
9	3.08	1.98	70	122
10	3.10	2.01	73	105
平均值	3.10	2.00	74	111

关键工序的系统性研究,明确了各工序对轧辊表面PC值的影响机制,建立了核心参数与PC值的量化关系,最终形成了适配工业化生产的最优工艺方案,主要结论如下:

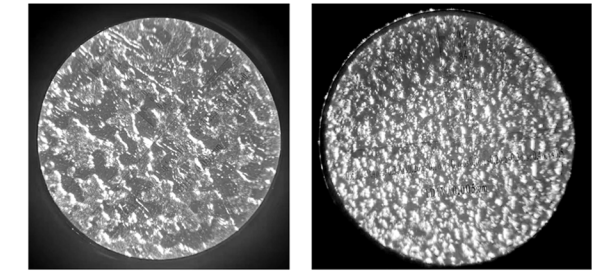
(1)磨削工序是PC值提升的基础保障。通过选用80#细粒度、大孔隙砂轮,采用低粗糙度磨削工艺,可使磨削后轧辊表面Ra≤0.4 μm且无砂轮尾线等缺陷,为毛化工序提供平整均匀的基准面,显著提升后续毛化形貌的规则性。

(2)毛化工序是PC值调控的核心环节。实验证时,毛化粗糙度(Ra值)与PC值呈线性反比关系。在粗糙度(Ra值)1.0 μm时,PC值达到峰值(110~160)。结合生产实用性,确定2.0 μm为最优毛化粗糙度(Ra值);毛化次数与PC值呈正相关关系,3次后趋于稳定。综合生产节奏与PC值要求,确定2次毛化为最优次数。

(3)电参数优化是性能与效率平衡的关键。通过降低毛化电流(从4.5 A降至3.3 A)、放电电压(从130 V降至110 V),调整持续时间(从10.5 s降至7.2 s)与关闭时间(从7.2 s降至5.3 s),在仅延长4 min加工时间的前提下,使轧辊表面PC值从74提升至111,满足高端产品涂装与成型要求。

(4)高PC值轧辊寿命优化需持续推进。现有工艺已解决PC值与表面质量问题,但高PC值轧辊峰尖易磨损的矛盾仍存在,后续可通过负极毛化、石墨合金电极替代或表面镀铬等技术路径,进一步提升轧辊使用寿命,降低生产成本。

本研究通过工艺优化与参数优化,有效解决了汽车板等高端产品表面粗糙、涂装鲜映性差的问题,显著提升了我厂高等级表面质量板带的市场竞争力,为同类冷轧企业的轧辊表面质量控制提供了参考。



(a) 优化前 (b) 优化后

图 5 辊面形貌(15×)

综上所述,优化后轧辊PC值数值大幅优于优化前,且轧辊表面毛化层致密成度及均匀性均有大幅提升。

5 结论

本文通过对冷轧轧辊磨削、电火花毛化(EDT)

为验证焊接结果是否准确,将焊缝金属取样,送检测中心进行拉伸试验。焊缝材料拉伸试验数据见表 5,检验标准为 GB/T 228. 1—2021,环境温度为 21 ℃。屈服强度为 1 117 MPa,介于母材 820 ~ 1 150 MPa;抗拉强度值为 1 305 MPa,大于母材 1 180 MPa,焊缝拉伸结果为非焊缝处断裂。该检测结果证明,调整后焊缝强度大于母材强度,判定焊缝质量合格。在实际生产中,焊缝经过清洗段、炉区、锌锅、平整机、滚涂机和卷取机,下线成功产出成品。

表 5 拉伸实验结果数据

试样号	$R_{(r0.2)}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A_{80}/\%$
1	1 117	1 305	2.0
2	1 123	1 316	2.0

3 结论

(1) 通过采用低焊接电流 17.3 kA,低速度 11.7 m/min 参数组合,可有效减少焊缝表面起皮缺陷,增强焊接熔池稳定性,抑制焊缝组织因快速冷却产生硬化。

(2) 通过采用低焊接速度 11.7 m/min,高压力 20.6 kN 参数组合,可提高焊缝组织塑性,消除焊缝

组织残余应力。

(3) 通过该材质焊接试验,焊缝检测系统参数反馈,焊缝杯突,拉伸试验证明该冷轧高强钢窄搭接焊接工艺焊缝质量合格,成功产出焊接成品。

(4) 综上所述,通过合理匹配焊接电流、焊接速度、焊轮压力等关键焊接参数,可有效改善 1 180 MPa 级冷轧高强钢搭接焊缝质量和良好力学性能,为我厂在同类超高强钢材料的焊接稳定性提供了可靠的技术参考与工艺依据。

(5) 该焊接工艺技术方案在实际生产中表现出良好的操作性与稳定性,为我厂先进高强钢批量化生产提供了可靠的焊接工艺路径,具有重要的工程应用推广价值。

参 考 文 献

[1] GB/T 228. 1—2021. 金属材料拉伸试验第 1 部分:温室实验方法[S]. 北京:中国国际出版社. 高怡斐,董莉,刘涛. 2021.

[2] 刘祥东. 800 MPa 级 TRIP 钢窄搭接焊接工艺研究[J]. 武钢科技. 2014,52(25):25—28.

[3] 赵帅. 提高窄搭接焊机焊接高强钢稳定性的研究[J]. 山西冶金. 2023,46(9):118—122.

(上接第 20 页)

参 考 文 献

[1] 徐筱芩,张玉琴,刘伟云,等. 浅析电火花毛化轧辊表面处理工艺技术[J]. 河南冶金,2011,19(1):34—36.

[2] 王钊,陈荐,何建军,等. 电火花表面强化技术研究与发展概况[J]. 热处理技术与装备,

2008(6):46—50.

[3] 王刚,侯印慧. 电火花打毛机用于轧辊表面处理及其自动控制系统[J]. 技术世界,2007(4):15—17.

[4] 王明黔,郭永强,陈甚超. 两种电火花毛化方式的重要工艺参数和控制方式比较[J]. 冶金设备,2006(S1):55—57.