

冷轧机工作辊镀铬层厚度控制

Thickness Control of Chrome Coating on Work Roll of Cold Rolling Mill

供稿|张勇¹, 张松岩¹, 梅锐东¹, 高身杰¹, 张晓岳² / ZHANG Yong¹, ZHANG Songyan¹, MEI Ruidong¹, GAO Shenjie¹, ZHANG Xiaoyue²

内容导读

为了控制冷轧机工作辊轧制周期内镀铬层脱落, 减少轧机划伤缺陷和非周期换辊, 利用 ABAQUS 软件对冷轧工作辊镀铬层厚度进行有限元分析, 在提高产品反射率和降低划伤方面与镀铬层最小厚度之间探寻最佳平衡点。确定将第 1~2 机架镀铬层厚度由 $(9\pm 1)\mu\text{m}$ 优化为 $(11\pm 1)\mu\text{m}$, 使轧后产品平均反射率提高了 21.56%, 平均划伤辊比例减少了 25.06%, 平均周期辊比例提高了 14.20%, 达到提高产品表面质量、控制工作辊辊耗、提升机组作业率、降低轧制工序成本的目的。

本钢一冷轧于 1995 年投产, 设备整体装备达到 80 年代中期水平。普碳产品的表面清洁度、粗糙度等关键性指标无法向更高标准提升, 不能满足高端用户需要的高质量、高标准的冷轧普碳产品要求。为此, 2010 年在四机架四辊冷连轧机第 1、2 机架应用工作辊镀铬技术^[1-2]。铬是一种微带蓝色的银白色金属, 镀铬层具有很高的硬度, 根据镀液成分和工艺条件不同, 其硬度可在很大范围内变化。镀铬层有较好的耐热性, 在 500℃ 以下, 其光泽性、硬度均无明显变化。镀铬层的摩擦系数小, 在所有的金属中是最低的, 所以具有很好的耐磨性和良好的化学稳定性^[3]。一冷轧轧机第 1、2 机架工作辊表面镀铬层厚度采用当时国内先进冷轧机广泛应用的 $(9\pm 1)\mu\text{m}$ (生产厂对工作辊镀铬层厚度控制幅度为 $\pm 1\mu\text{m}$) 进行控制^[3-4]。

镀铬辊使用现状

镀铬工艺的应用, 在轧辊使用的初、中期带钢

表面反射率确实得到一定提升, 但随着轧制公里数的增加, 带钢表面反射率开始逐渐下降, 并且板面出现与轧制方向平行的松树针状划伤缺陷, 被迫停机换辊, 使工作辊轧制周期缩短^[5-7]。一冷轧轧机第 1、2 机架镀铬工作辊月使用情况见表 1 (反射率取对应机架所有镀铬工作辊换辊前一卷带钢表面反射率的平均值)。

表 1 镀铬工作辊月使用数量

机架	换辊总量	周期辊		划伤辊		反射率/%
		数量	占比/%	数量	占比/%	
1	38	10	26.32	12	31.58	50.58
2	32	12	37.50	10	31.25	53.62
平均			31.91		31.41	52.10

由表 1 可见, 第 1、2 机架工作辊镀铬层划伤比例分别为 31.58%、31.25%, 平均反射率为 52.10%。可见, 镀铬层划伤比例高, 带钢反射率低。

对当月轧机第 1、2 机架, 对轧制周期下机的工作辊镀铬层残余厚度进行检测, 测量结果见表 2。

表2 周期工作辊镀铬层残余厚度

机架	工艺标准 厚度/ μm	实测厚度 均值/ μm	检测 数量	小于标准 厚度数量	不合格率/ %
1	≥ 3.5	2.9	10	6	60.0
2	≥ 4.0	3.8	12	10	83.3

由表2可见,当月第1、2机架下机周期辊的镀

铬层厚度不合格比例分别高达60.0%和83.3%。因此,周期工作辊镀铬层磨损非常严重,使镀铬层表面粗糙度显著升高,变形区聚集的残油、残铁也越来越多,使轧后带钢表面反射率持续下降。继续对当月第1、2机架,镀铬层划伤下机工作辊的轧制长度进行统计,见表3。

表3 镀铬层划伤工作辊轧制长度统计

机架	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	均值	标准
1	322	348	296	362	355	283	330	316	407	371	411	340	345	450
2	481	509	456	523	516	442	488	479	570	537			500	650

工艺技术规程规定:第1、2机架工作辊标准轧制公里数换辊周期分别为450 km和650 km。由表3可见,当月第1、2机架镀铬层划伤下机辊平均轧制公里数为345 km和500 km,分别比周期值小105 km和150 km。

可见,工作辊镀铬层厚度的大小是以上问题的症结所在。镀铬层厚度应控制在一定范围内,太薄易磨损;太厚会降低镀铬层与辊体的结合力,会因疲劳裂纹而破坏。因此,在现有工作辊粗糙度等工艺条件不变的情况下,优化工作辊镀铬层厚度,以提高镀铬层与辊面的附着力,控制镀铬层磨损和划伤,进一步提高带钢表面清洁性,同时,降低辊耗、延长轧制周期,提高轧机作业率^[8-10]。

镀铬层厚度优化

利用ABAQUS软件进行镀铬层厚度优化,对工作辊镀铬层厚度做轧制过程建模和轧制模拟分析。

建立轧制过程模型

通过ABAQUS软件对工作辊镀铬层厚度进行有限元分析,首先要建立轧制过程模型。如图1所示。

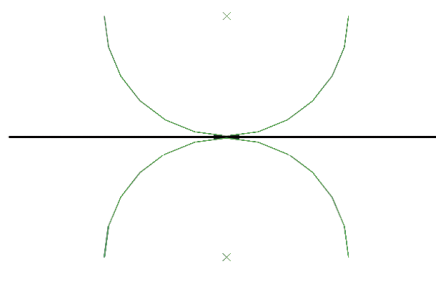


图1 轧制过程模型

为了减少计算难度,对轧制过程模型进行简化处理,将原来的三维模型简化为二维模型。

轧制过程解析

在做有限元分析时,分为辊子下压过程和轧制过程2部分进行,模拟过程选用的带钢由5 mm轧制到2.5 mm。

工作辊压下过程

带钢厚度由5 mm轧制到2.5 mm需要工作辊来提供轧制力,并进行上下位移。模拟过程由初始位置开始,随着工作辊逐渐压下带钢厚度减薄,应力逐渐变大,轧制到2.5 mm时的压下状态模拟,如图2所示,此时,应力最大值为938.7 MPa。

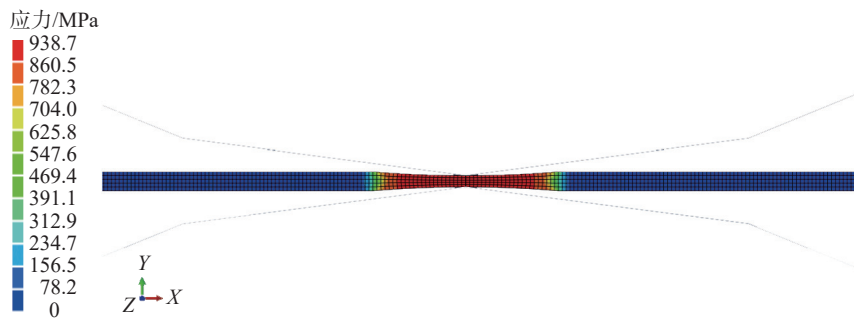


图2 轧制压下到2.5 mm时的应力模拟云图

工作辊连续轧制过程

工作辊压下结束后，带钢开始连续的通过工作辊之间，完成连续轧制过程。模拟过程中带钢位移可以替换为带钢不动，工作辊运动，其连续轧制过程模拟，如图3所示。在整个模拟过程中，由应力分布图示可得出，在工作辊压下最低位置时，应力

达到最大值，实现工作辊连续轧制。

当工作辊压下过程、连续轧制过程模拟完成后，开始进行各机架工作辊镀铬层厚度轧制过程模拟。根据各机架镀铬辊配制情况，模拟过程分为第1~2机架工作辊镀铬、第1~4机架工作辊镀铬2个方案开展。

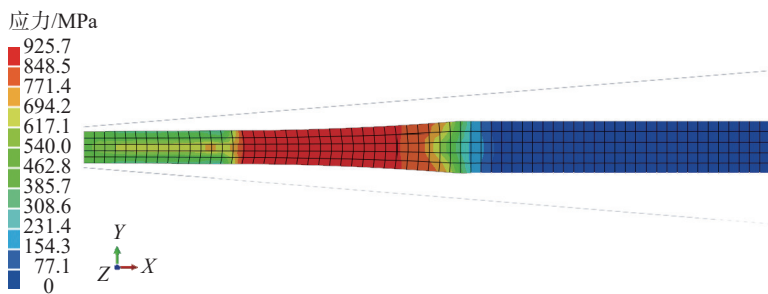


图3 工作辊连续轧制过程的应力模拟云图

第1~2机架工作辊镀铬层厚度轧制过程模拟

镀铬层厚度相对于工作辊的尺寸非常薄，宏观上镀铬层厚度并不影响整个轧制过程，但是在微观上确实存在差异。因此，在局部非常小的区域内可以将工作辊的转动轧制过程简化为平板压下过程。针对镀铬层进行模拟分析，可以将辊子表面和带钢表面简化为无限延伸的平面刚体进行计算。为了方

便计算，设定第1~2机架镀铬层厚度分别为9和11 μm 的工作辊，与假设带钢表面8 μm 的凸起进行接触和非接触的轧制过程模拟。

不同镀铬层厚度的轧制过程模拟

模拟1：第1~2机架镀铬层11 μm 工作辊与带钢上8 μm 凸起的接触压下模拟。工作辊压下8 μm 的过程模拟，如图4所示。

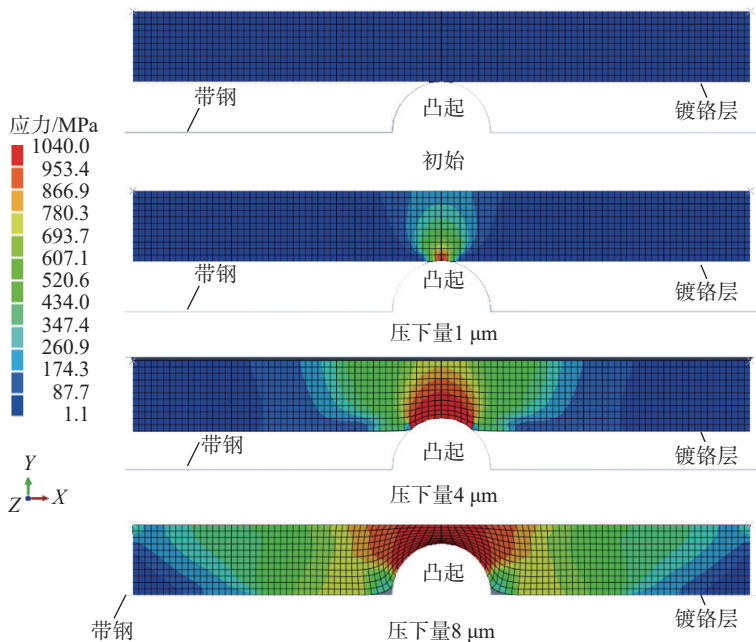


图4 镀铬层11 μm 与8 μm 凸起的接触过程不同压下量时的应力模拟

由图4可见,划分网格区域为镀铬层,镀铬层上表面附着在工作辊上,视为刚性。当工作辊压下 $8\mu\text{m}$ 后,镀铬层与带钢上表面完全接触。

模拟2:第1~2机架镀铬层 $9\mu\text{m}$ 工作辊与带钢上 $8\mu\text{m}$ 凸起的非接触压下模拟。工作辊的压下初始位置与带钢表面凸起距离 $1\mu\text{m}$,当工作辊压下 $8\mu\text{m}$

的过程模拟,如图5所示。

由图5可见,当工作辊压下 $8\mu\text{m}$ 后,镀铬层与带钢的距离为 $2\mu\text{m}$ 。

模拟3:第1~2机架镀铬层 $9\mu\text{m}$ 工作辊与带钢上 $8\mu\text{m}$ 凸起的接触压下模拟。当工作辊压下 $8\mu\text{m}$ 的过程模拟,如图6所示。

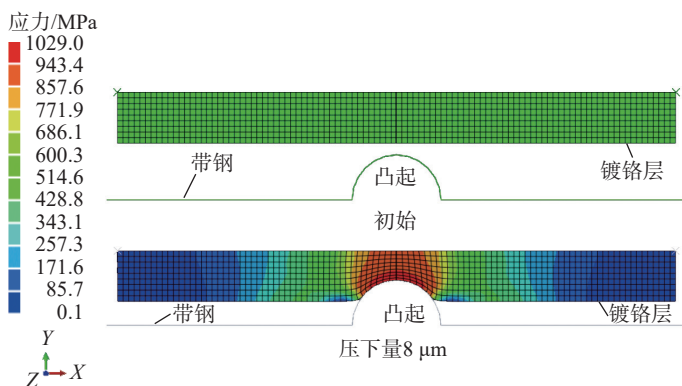


图5 镀铬层 $9\mu\text{m}$ 与 $8\mu\text{m}$ 凸起的非接触过程不同压下量的应力模拟

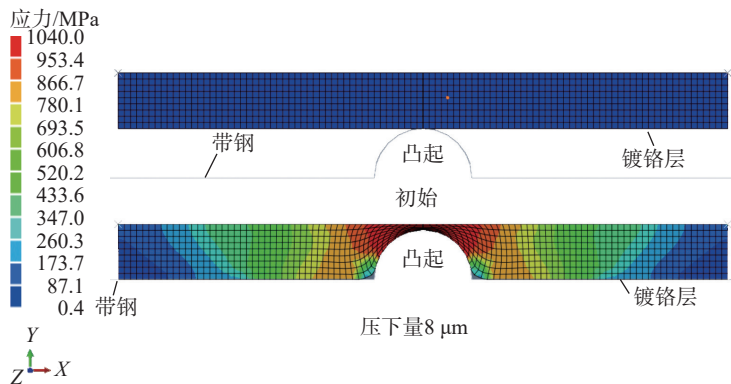


图6 镀铬层 $9\mu\text{m}$ 与 $8\mu\text{m}$ 凸起的接触过程不同压下量的应力模拟

由图6可见,当工作辊压下 $8\mu\text{m}$ 后,镀铬层与带钢完全接触。

➤ 不同镀铬层厚度的轧制模拟分析

针对模拟1、模拟2和模拟3结果,进行镀铬层厚度的轧制模拟分析。见表4。

(1) 模拟1与模拟2结果对比分析。

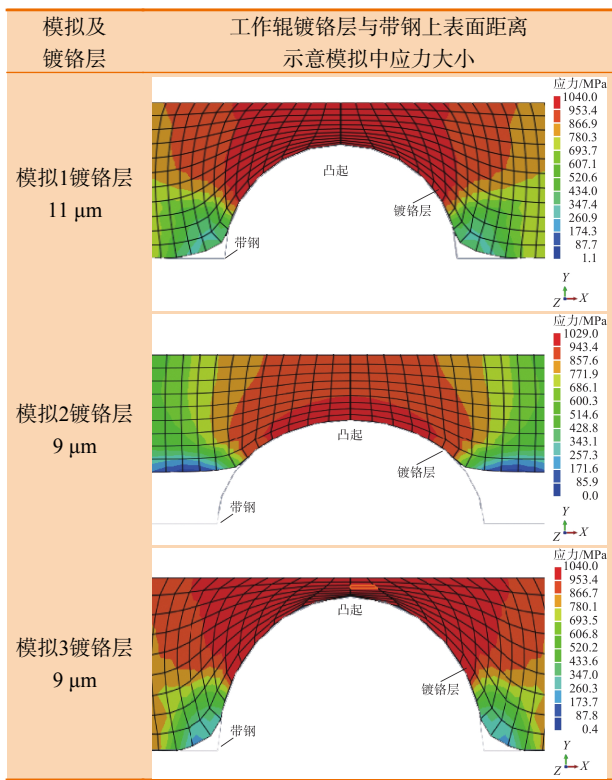
由表4可见,工作辊的压下初始位置相同,镀铬层厚度不同,镀铬层 $11\mu\text{m}$ 在模拟过程中,镀铬层与带钢凸起接触;厚度为 $9\mu\text{m}$ 的模拟过程中,工作辊会先下行 $2\mu\text{m}$,然后才能与凸起接触,在工作辊压下量相同的情况下,模拟1镀铬层最后直接接

触带钢表面,而模拟2则与带钢之间存在 $2\mu\text{m}$ 距离;根据应力情况变化表对比可知,模拟1的应力分布比模拟2要大。因此,工作辊镀铬层厚度 $11\mu\text{m}$ 比 $9\mu\text{m}$ 可以为带钢表面的凸起提供更大的轧制力,对凸起轧平的能力更强,可以获得更好的板面质量。

(2) 模拟1与模拟3结果对比分析。

由于工作辊初始位置不同,均调整为镀铬层与凸起接触的初始状态。当工作辊压下 $8\mu\text{m}$ 后,模拟1比模拟3能保留更厚的镀铬层,在下次经过较高的凸起时,更厚的镀铬层强度更高,更不容易产生划伤,镀铬层更不易脱落,抗磨损能力会更好。

表4 模拟1~3 结果对比



(3) 镀铬层厚度对工作辊的影响。

当工作辊的镀铬层过薄，轧辊表面受到的应力过大，原因是在接近表面的轧辊受到摩擦力大，则磨损严重；当工作辊镀层厚度过厚，镀铬层与辊身结合部位受到的应力过大，并在该处轧辊产生最大应力，则镀铬层容易剥落。所以，工作辊辊身应选择适宜的镀铬层厚度，即镀层厚度不宜太薄，也不宜过厚。

利用 ABAQUS 经过进一步有限元分析发现，在一冷轧机工况条件下，第 1~2 机架工作辊镀铬层厚度控制在 $(11 \pm 1) \mu\text{m}$ 范围最佳。

镀铬层厚度优化后的效果验证

选取 1 个月的生产数据，对第 1~2 机架工作辊镀铬层厚度控制在 $(11 \pm 1) \mu\text{m}$ ，进行现场试验、效果验证。

划伤辊减少、反射率提升

第 1~2 机架工作辊镀铬层厚度执行 $(11 \pm 1) \mu\text{m}$ 后，工作辊月使用情况见表 5。

由表 5 可见，与镀铬层优化前（表 1）对比，平

表5 优化后镀铬工作辊月使用数量

机架	下机总量	周期辊		划伤辊		反射率/%
		数量	占比/%	数量	占比/%	
1	43	20	46.51	3	6.98	71.37
2	35	16	45.71	2	5.71	75.95
平均			46.11		6.35	73.66

均周期辊比例提高了 14.20 个百分点、平均划伤辊比例下降了 25.06 个百分点，轧后平均反射率提高了 21.56 个百分点。

镀铬层厚度满足要求

对当月轧机第 1、2 机架，工作辊镀铬层厚度进行检测，第 1 机架工作辊上机前镀铬层厚度均值 $11 \mu\text{m}$ ，下机后镀铬层厚度均值 $4.5 \mu\text{m}$ ，满足 $\geq 3.5 \mu\text{m}$ 的指标要求；第 2 机架工作辊上机前镀铬层厚度均值 $11.1 \mu\text{m}$ ，下机后镀铬层厚度均值 $4.3 \mu\text{m}$ ，满足 $\geq 4.0 \mu\text{m}$ 的指标要求。使划伤缺陷得到了控制，并有效提高了带钢表面反射率。

结论

(1) 利用 ABAQUS 软件，可实现冷轧工作辊镀铬层厚度有限元分析，在满足轧制工艺和产品表面质量的前提下，确定第 1~2 机架最佳镀铬层厚度控制为 $(11 \pm 1) \mu\text{m}$ 。

(2) 镀铬层厚度优化后，上机新工作辊的镀铬层平均厚度 $\geq 11 \mu\text{m}$ ，下机周期辊的镀铬层平均厚度 $\geq 4.3 \mu\text{m}$ ，均满足控制指标要求。

(3) 轧机工作辊镀铬优化后，镀铬层脱落得到控制，平均周期辊比例提高了 14.20 个百分点、平均划伤辊比例下降了 25.06 个百分点，减少轧机非计划换辊，使酸轧机组作业率提高。

(4) 工作辊镀铬层厚度优化，使轧后平均反射率由 52.10% 提高到 73.66%，满足高端用户对产品表面质量的需求。

(5) 镀铬辊划伤换辊量的减少，使工作辊轧制周期延长，轧辊辊耗也得到了控制，可有效降低轧制工序和磨辊区域的成本。

参考文献

[1] 刘志利，张云涛，李晓明，等. 河钢邯钢 2180 平整机镀铬辊

- 表面色差原因分析. 河北冶金, 2020(6): 72
- [2] 郭渊强, 翁星, 李天科. 镀铬工作辊在酸轧轧机的应用. 冶金与材料, 2020(2): 40
- [3] 潘知韦, 程晓茹, 魏兵, 等. 冷轧辊镀铬层有限元分析. 南方金属, 2010(6): 21
- [4] 张勇, 张松岩, 关立凯, 等. 普碳冷轧带钢表面清洁度再提高. 轧钢, 2017(1): 34
- [5] 张广安, 刘德志, 孙荣生, 等. 镀铬轧辊在鞍钢冷轧厂 2[#]线的应用. 轧钢, 2011(6): 74
- [6] 程刚, 杨冰. 轧机工作辊表面镀铬处理及应用. 有色金属加工, 1994(3): 12
- [7] 柳长福. 轧辊镀铬技术及其应用前景. 武钢技术, 1991(5): 47
- [8] 王志义, 柳长福. 轧辊镀铬新技术在冷轧薄板生产中的应用. 材料保护, 1994(3): 31
- [9] 张建军, 孟昭萍. 冷轧钢板表面粗糙度影响因素分析. 鞍钢技术, 2008(5): 51
- [10] 赵宏杰. 冷轧辊镀铬技术应用. 中国水运(下半月), 2008(7): 134

作者简介: 张勇(1971—), 男, 辽宁省本溪市人。2010年毕业于东北大学金属压力加工专业。主要研究方向: 冷轧轧制工艺优化。曾获2013年国家冶金科学技术奖, 2019年辽宁省科学技术进步奖, 2020年全国钢铁行业职工技术创新成果奖, 2022年首届大国工匠创新成果奖。通信地址: 辽宁省本溪市明山区新胜街15组4号楼1单元2楼3号。E-mail: bxiviv2@163.com。