

拉矫参数对带钢氧化皮剥离及酸洗性能的影响

叶东东, 邵素娟, 阴子良, 陈广, 陈建钧

(华东理工大学 机械与动力工程学院, 上海 200237)

摘要:目的 研究破鳞工艺对热轧带钢表面氧化铁皮开裂剥离及酸洗速率的影响。方法 采用自主设计的拉伸矫直试验机对热轧带钢进行破鳞试验,通过调节拉矫机的压下量和张紧力,获取不同拉矫参数下的破鳞试样。利用金相显微镜对不同拉矫参数下的带钢试样的表面和界面形貌进行观察,分析氧化皮的剥落率和破裂情况,比较张紧力和压应力的破鳞作用。采用电位导数首零法对试样进行酸洗速率测定,研究拉矫工艺参数对酸洗速率的影响。结果 氧化皮剥落率随着压下量和张紧力的增大而增大,压下量对氧化皮的剥离作用有较强影响。保持压下量或张紧力不变时,酸洗时间随着延伸率的增大而减小;延伸率相近时,较大的压下量对应延伸率的酸洗时间更短;延伸率达到1.36%左右时,酸洗时间达到饱和最低点值24.3 s不再变化。结论 氧化皮在受压应力作用时主要以剥落为主,酸洗时间迅速减少;受张紧力作用时主要以产生裂纹为主,对酸洗速率的提升作用弱于压下量。拉矫时采用提高压下量的方法更利于提高酸洗速率。

关键词:拉矫;氧化皮;酸洗;压下量;张紧力

中图分类号: TG355.12

文献标识码: A

文章编号: 1001-3660(2015)07-0125-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.07.023

Influence of Descaling Parameters on the Spalling and Pickling Properties of Oxide Scales

YE Dong-dong, SHAO Su-juan, YIN Zi-liang, CHEN Guang, CHEN Jian-jun

(School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

ABSTRACT: Objective To study the effect of descaling parameters on oxide scale spalled and its pickling speed. Methods The hot-rolled strip was descaled by the self-designed descaling and tension leveler by adjusting the screw down amount and the tension, the test samples with different process parameters were analyzed and the surface and the interface morphology of samples were observed by metalloscope to analyze the shell-off ratio and the cracking of the oxide scales and compare the scale breaching effects by tension and by compressive stress. And the method of first zero potential differential value was used to determine the pickling rate to explore the influence of stretch rolling parameters on pickling rate. Results The spalling rate of oxide scale increased with the increase of the amount of screw down and tension, but the former parameter reflected a stronger effect. When the screw down amount and the tension remained, the pickling time decreased with the increase of elongation. When the value of elongation was similar,

收稿日期: 2015-01-30; 修订日期: 2015-04-10

Received: 2015-01-30; Revised: 2015-04-10

基金项目: 国家自然科学基金(51105143, 51375164)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China(51105143, 51375164)

作者简介: 叶东东(1992—), 男, 安徽人, 硕士研究生, 主要研究方向为热轧带钢表面氧化皮剥离机理及其酸洗性能。

Biography: YE Dong-dong(1992—), Male, from Anhui, Master graduated student, Research focus: the law of oxide scale spalled and its performance of pickling.

通讯作者: 陈建钧(1977—), 男, 江苏人, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为金属材料损伤与断裂理论。

Corresponding author: CHEN Jian-jun(1977—), Male, from Jiangsu, Associate professor, Graduate tutor, Research focus: theoretical study on the damage and fracture of metallic materials.

the bigger screw down amount led to less pickling time. When elongation reached about 1.36%, the pickling time was maintained at the lowest saturation valued around 24.3 s. **Conclusion** In conclusion, oxide scale mainly spalled under compressive stress and the pickling time decreased rapidly. Cracking mainly occurred under tension and the effect of tension on increase of pickling rate was weaker than that of compressive stress. It was more beneficial to improve the pickling rate by improving the screw down amount.

KEY WORDS: descaling; oxide scale; pickling; screw down amount; tension

热轧带钢在进行冷轧前必须去除表面的氧化铁皮,氧化皮压入基体会导致冷轧板表面质量下降以及冷轧辊表面损坏^[1]。实际工程中氧化皮的去除常使用机械与化学相结合的方法^[2],即先经拉伸矫直机拉弯使带钢发生一定变形,促使氧化皮产生裂纹和少量剥离;随后通过酸洗中的溶解作用、还原作用以及剥离作用去除剩余的氧化皮。拉矫后,氧化皮与基体的结合强度会显著降低,这有利于酸液侵入氧化皮内部,提升酸洗速率^[3-6]。

国内外学者对拉矫破鳞工艺进行了大量的研究,岩藤秀一等^[7]提出带钢酸洗速率随延伸率的增大而增大,当延伸率达到约1%时大致出现了饱和;刘现翠等^[8]认为当延伸率达到0.4%时,带钢表面的氧化铁皮就已经消除;任涛等^[9]认为延伸率大于8%才能获得最佳的酸洗效果。利用单一的延伸率来指导破鳞过程比较粗糙,研究拉矫破鳞工艺参数对带钢表面氧化皮剥离及酸洗性能的影响,利用最低延伸率饱和值和酸洗时间点指导实际酸洗,有利于节约能耗,提高生产效率。

文中根据自主设计的拉矫破鳞试验机对某钢厂热轧碳钢进行拉矫破鳞,获得不同拉矫参数的带钢试样。利用金相显微镜观察各种拉矫参数下的氧化皮剥离情况与界面形貌,结合电位导数首零法对试样的酸洗时间进行测量,研究拉矫工艺参数对氧化皮剥离行为及酸洗时间的影响关系。

1 实验

获取实际生产线中不同拉矫参数下的热轧带钢试样较为困难,因此根据相应拉伸矫直试验机的工艺参数,自主设计了可用于实验的拉矫破鳞机,用于实现整个拉矫过程^[10],拉矫破鳞机如图1所示。试样选取某热轧厂热轧碳钢,试样尺寸为1800 mm×50 mm×2.5 mm,拉矫前对带钢试样中间标定3段200 mm的直线,便于测量破鳞后的延伸率。

破鳞过程中,与破鳞辊接触面的氧化皮受到压应力,另外一面受到张紧力的作用^[11]。除了破鳞辊引

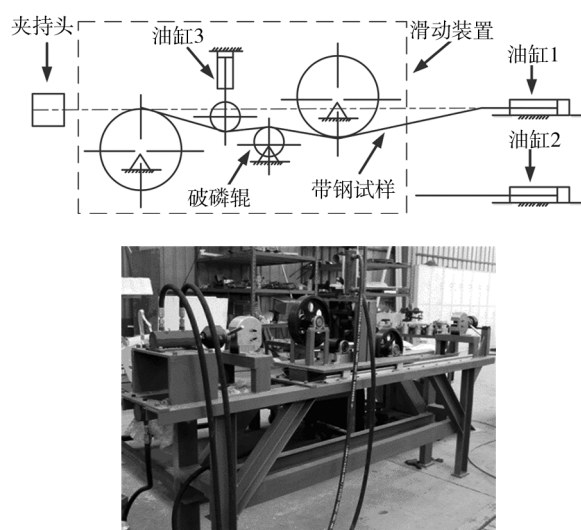


图1 拉矫破鳞机工作示意图

Fig. 1 Sketch diagram of descaling and tension leveler testing machine

起的弯曲应力外,带钢上下表面氧化皮还受到张紧力的作用,所以可通过比较压下量和张紧力的不同破鳞效果,分别考察拉压应力对氧化皮的剥离作用和机理。

拉矫破鳞后会使铁基体裸露出来。对于拉矫后的试样用金相显微镜进行表面观察,并通过调整照片的灰度,利用金相分析软件统计得到不同拉矫参数下的剥落率。将不同拉矫参数下的带钢制成金相试样,观察氧化皮和基体的界面,得到不同拉矫条件下的氧化皮破裂剥离情况,用于分析张紧力和压应力的作用效果。

为了研究拉矫后氧化皮的破碎程度,选取不同拉矫参数的试样进行酸洗试验。从破鳞后带钢中间部分剪取规格为20 mm×50 mm的试样,相同拉矫工艺下取3个试样进行酸洗,为防止裸露的铁基体影响开环电位,酸洗前试样周围用环氧树脂胶进行密封,试验中使用的盐酸质量分数为18%,水浴温度为60℃,试验采用上海振华仪器公司生产的CHI604B电化学工作站。采用电位导数首零法来进行酸洗时间测定^[12-14]。

2 结果与讨论

拉矫破鳞机通过调节张紧力和压下量使氧化铁皮产生裂缝和剥落,带钢实际延伸率由这两个因素决定,根据实际生产参数,选择拉矫时的张紧力范围为9.6~12.8 kN,压下量范围为20~50 mm。对于拉矫前后的带钢表面氧化铁皮形貌变化的分析,选取未拉矫和拉矫的压下量为30 mm,张紧力为9.6 kN下的氧化铁皮,用高清数码相机拍摄表面形貌,结果如图2所示。可以看出未拉矫的带钢表面氧化皮致密完整基本无有破损,拉矫之后有明显的破鳞效果。

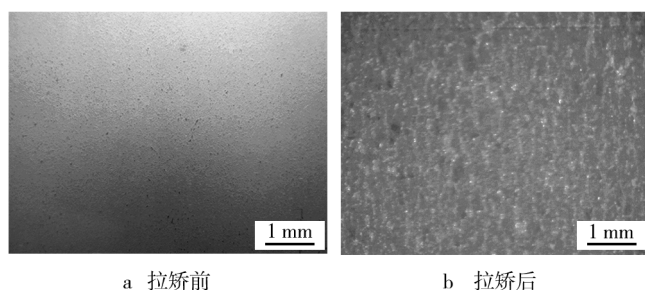


图2 破鳞前后带钢表面形貌

Fig. 2 Oxide scale before and after descaling

2.1 拉矫工艺对带钢氧化皮剥离率的影响

图3是未破鳞带钢表面氧化皮剥离情况的金相照片,圆内黑色斑点为裸露的铁基体(已反色),未经拉矫的完好试样表面剥落率为0.6%。

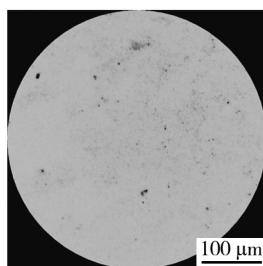


图3 未拉矫试样表面

Fig. 3 Oxide scale before descaling

不施加张紧力条件下,压下量分别为20,30,40 mm时,带钢试样的受压和受拉面的剥离率如图4和图5所示。由图可知随着压下量的增大,氧化皮剥落的比例不断增加,受压面剥落程度明显高于受拉面。

图6为破鳞辊无压下量,张紧力分别为9.6,11.2,12.8 kN时带钢的剥落率情况。

从图6可知,随着张紧力的增大,氧化皮的脱落比例

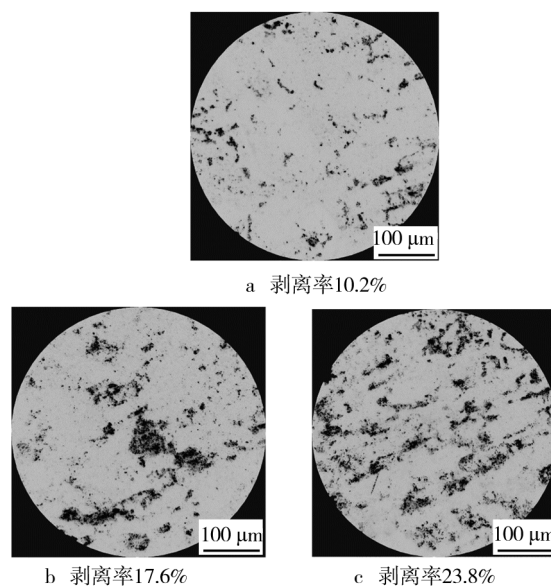


图4 受压面压下量与剥离率的关系

Fig. 4 Relationship between screw down amount and spalling rate at pressure surface

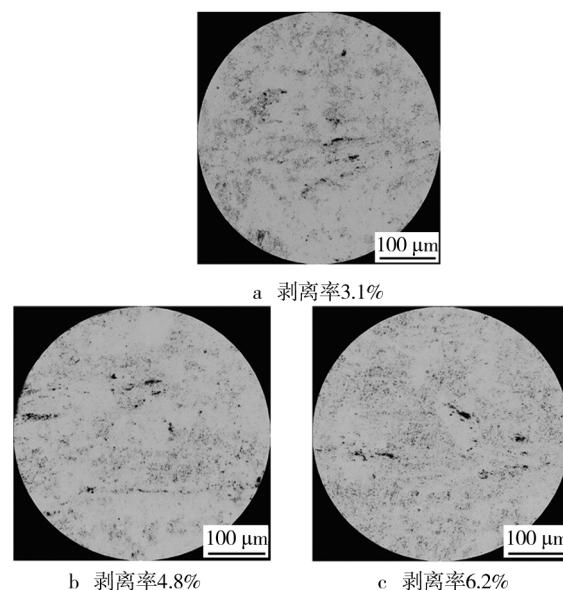


图5 受拉面压下量与剥离率的关系

Fig. 5 Relationship between screw down amount and spalling rate at pressure surface

也不断增大,但是相比于受压面的剥落作用要弱很多。

氧化皮在受到压应力时的破坏形式如图7所示。氧化铁皮在受到压应力时发生破坏的形式主要有两种^[15]。随着压下量的不断增大,氧化皮受到的压应力也不断增大,促进了氧化皮的剥落,导致剥落率不断增加。

氧化皮在受到张紧力时的破坏形式如图8所示。氧化皮在受到张紧力作用时氧化皮内部产生初始裂

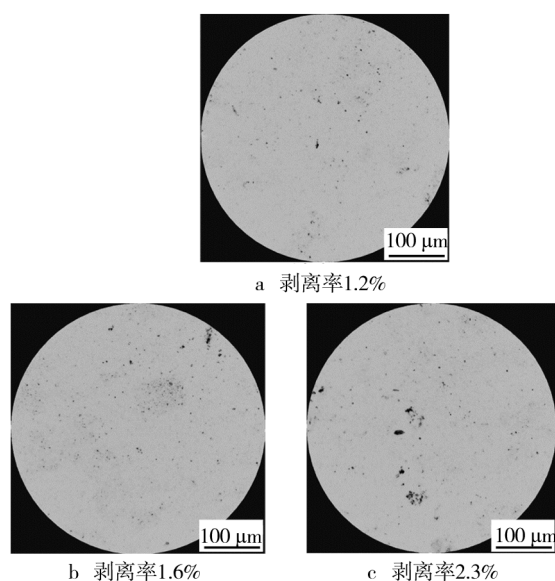


图6 张紧力与剥离率的关系

Fig. 6 Relationship between tension and spalling rate

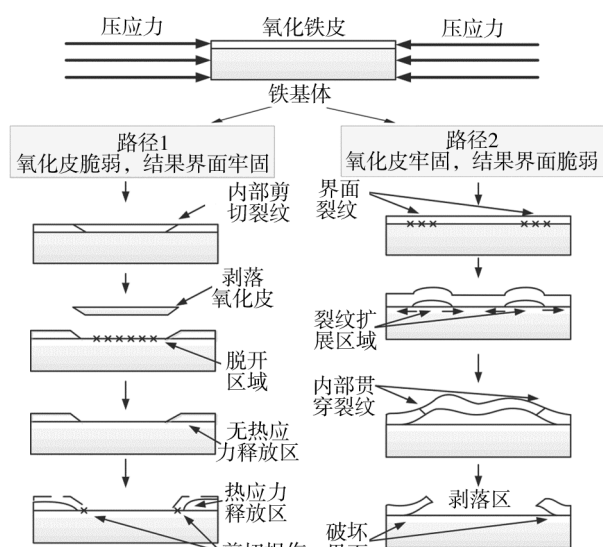


图7 氧化皮在压应力下的破坏形式

Fig. 7 Damage under compressive stress

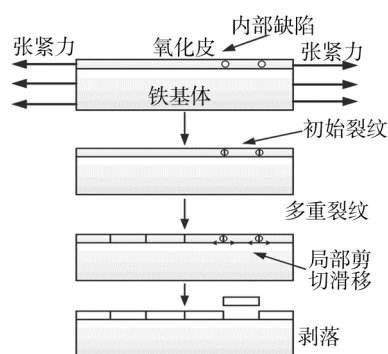


图8 氧化皮在张紧力下的破坏形式

Fig. 8 Damage under tension

纹,随着内部贯穿裂纹的扩展,氧化皮与基体界面会产生剪切滑移,导致剥落的发生^[16]。由于氧化皮存在内部缺陷,受拉时剪切滑移仅仅发生在这些缺陷的周围,导致张紧力增大时剥落率的增大并不明显。

2.2 不同拉矫参数下氧化皮的界面形貌

在金相显微镜(400×)下观察未破鳞的带钢,氧化皮界面如图9所示,可知表面形成的氧化皮致密连续并且均匀。

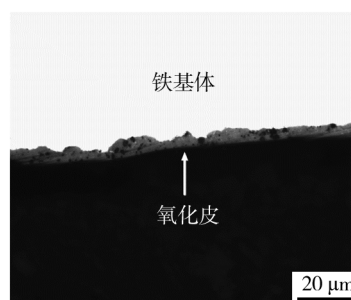


图9 破鳞前带钢氧化皮形貌

Fig. 9 Morphology of oxide scale before descaling

图10分别为破鳞辊无压下量作用下,张紧力为9.6,10.8,12.4 kN时鳞的氧化皮界面,可以看出随着张紧力的增大氧化皮变得松散,但仍然连续且剥落很少。所以,氧化皮在单纯张紧力的作用下主要以产生内部裂纹为主,降低了氧化皮的结合强度,但是对剥落率影响微弱。

图11为压下量是20,30,40 mm时无张紧力作用

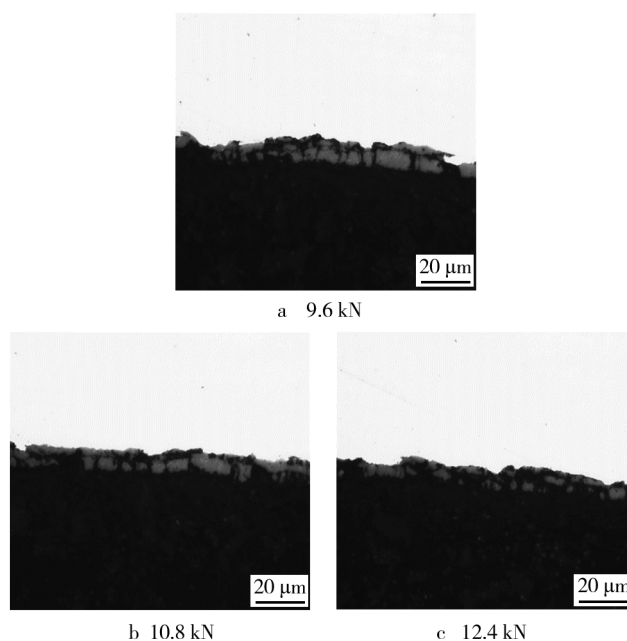


图10 张紧力作用下氧化皮界面

Fig. 10 Oxide interface under tension

时受压面的氧化皮界面,可以看出压应力作用下的氧化皮已经不连续,发生了明显剥落,在压下量的作用下氧化皮主要以产生剥落为主。

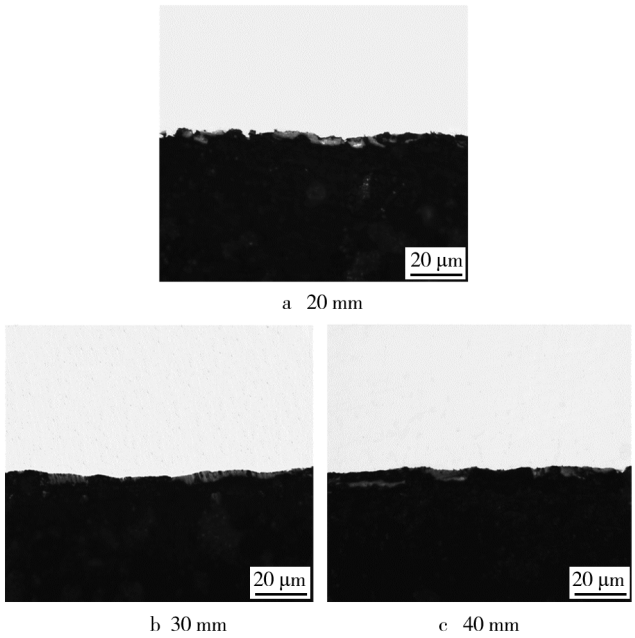


图 11 压下量作用下受压面氧化皮界面

Fig. 11 Oxide interface at pressure surface under effect of screw down amount

2.3 拉矫工艺参数对带钢酸洗时间的影响

不同拉矫参数下的带钢延伸率和酸洗时间结果见表 1,其中张紧力、压下量与延伸率以及酸洗时间的关系如图 12 和图 13 所示。未经拉矫的完好试样酸洗时间为 81.6 s,破鳞前试样酸洗时间较长,拉矫之后酸洗时间显著降低。

表 1 酸洗试验结果
Tab.1 Test result of pickling test

压下量 /mm	延伸率/%			酸洗时间/s		
	9.6 kN	11.2 kN	12.8 kN	9.6 kN	11.2 kN	12.8 kN
20	0.57	0.71	0.83	56.3	49.7	43.3
30	0.82	1.12	1.26	38.6	35.7	31.4
40	1.17	1.36	1.54	27.5	24.3	24.1
50	1.38	1.63	1.80	24.3	24.2	24.2

由表 1 可知,在保持压下量或张紧力不变时,随着延伸率的增大,酸洗时间不断减小,当延伸率达到最低饱和点值 1.36% 时,酸洗时间保持在最低酸洗点 24.3 s 不再变化。

由图 12 可知,延伸率的大小随着张紧力和压下

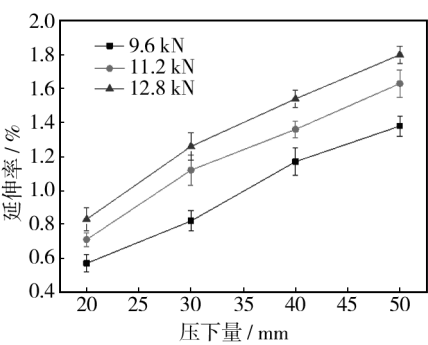


图 12 张紧力、压下量和延伸率的关系

Fig. 12 Relationship between tension, screw down amount and elongation

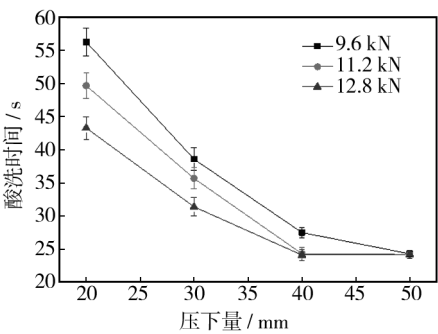


图 13 张紧力、压下量和酸洗时间的关系

Fig. 13 Relationship between tension, screw down amount and pickling time

量的增大不断增大,获取相同的延伸率时可选择的拉矫工艺参数组合不唯一,大致可将这些组合分为两大类:高压下量与小张紧力组合以及小压下量与大张紧力组合。由图 13 可知保持压下量或张紧力之一不变时,增大另一个因素的作用时,酸洗时间不断减少,最终压下量达到 40 mm 时酸洗时间不再变化。由表 1 可知,延伸率相近对应的酸洗时间并不一定相同或者接近。相同甚至略小的延伸率反而对应更短的酸洗时间,因为拉矫采用了高压下量小张紧力组合,导致氧化皮产生了更多的剥落,露出了更多的铁基体,裸露的铁基体使得酸洗时电位迅速变化,快速提升了酸洗速率。

虽然受张紧力时氧化皮产生裂纹和破碎,使得酸液更加容易侵入内部,但是氧化皮发生的剥落很少;而压下量作用时,氧化皮产生的剥落较多;因此,增大压下量对提升酸洗速率的效果非常显著。这充分说明了单纯利用延伸率来表征破磷效果是不恰当的,必须结合破磷工艺参数和氧化皮的应力状态,才能完整揭示带钢表面氧化皮的剥离效果及其对酸洗时间的影响。通过本文的研究,采取高压下量小张紧力的拉矫策略更加有利于提升酸洗速率。

3 结论

1) 带钢表面氧化皮在受压应力作用时,主要以剥落为主,较少产生裂纹,氧化皮的剥落率随着压下量的增大而不断增大。

2) 氧化皮在受到张紧力作用时,以产生内部裂纹为主,氧化皮变得松散,但产生的剥落较少;氧化皮的剥落率随着张紧力的增大也不断增大,但是远没有压下量的剥落作用明显。

3) 带钢在进行拉矫破鳞过程中,延伸率随着张紧力和压下量的增大而增大;在达到相同延伸率时,采用大压下量小张紧力组合时更加有利于降低酸洗时间,当延伸率达到最低饱和值 1.36% 时,此时达到最酸洗时间低点值 24.3 s 时不再发生变化。

参考文献

- [1] 傅作宝. 冷轧薄钢板生产[M]. 北京:冶金工业出版社, 2005.
FU Zuo-bao. Cold-rolled Steel Production[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2005.
- [2] 康阳,王路兵. 首钢 1450 酸轧机组拉伸弯曲矫直机的结构分析及应用[J]. 钢铁研究学报, 2012, 24(1): 120—125.
KANG Yang, WANG Lu-bing. Structural Analysis and Application of Tension Leveller in Shougang[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2012, 24(1): 120—125.
- [3] 李勇华,邵远敬,贺立红,等. 热轧奥氏体不锈钢带钢酸洗工艺机理分析[J]. 钢铁, 2014, 49(10): 58—61.
LI Yong-hua, SHAO Yuan-jing, HE Li-hong, et al. Analysis of Pickling Process Mechanism of Hot-rolled Austenitic Stainless Steel Strip[J]. Iron and Steel, 2014, 49(10): 58—61.
- [4] 张世红,胡玉龙,施岱艳,等. 对苯二酚对 C38 碳钢在盐酸溶液中的缓蚀探究[J]. 表面技术, 2014, 43(6): 100—104.
ZHANG Shi-hong, HU Yu-long, SHI Dai-yan, et al. Study of Corrosion Inhibition on C38 by Hydroquinone in HCl Solution[J]. Surface Technology, 2014, 43(6): 100—104.
- [5] 张涛,王长朋,刘静. X80 管线钢在酸性环境下的氢致开裂行为研究[J]. 表面技术, 2014, 43(6): 48—52.
ZHANG Tao, WANG Chang-peng, LIU Jing. Hydrogen Induced Cracking Behavior of X80 Pipeline Steel in Acidic Environment in China[J]. Surface Technology, 2014, 43(6): 48—52.
- [6] FERNANDO L A. Solution Chemistry of HNO_3/HF Pickle Mixtures[J]. Metallurgical Transactions B, 1990(1): 5—9.
- [7] IWADOH S. Steel and Characteristics of Ferric Compound: an Experimental Study about the Cause of Work Roll Wear on the Cold Reduction of Al-killed CC Steel III[C]//The 106th Iron and Steel Institute of Japan Meeting Programme, 1983.
- [8] 刘现翠,苏兰海. 宝钢 2030 酸洗机组中拉矫机和平整机的延伸率分配[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(5): 609—612.
LIU Xian-cui, SU Lan-hai. Elongation Assignment of Steel Plates between a Tension Leveler and a Skin Pass Mill for the Acid-refined 2030 in Baosteel[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(5): 609—612.
- [9] 任涛. 酸洗线拉伸弯曲矫直机的应用[J]. 鞍钢技术, 2001, (2): 17—21.
REN Tao. Use of Stretching and Bending Leveller in Pickling Line[J]. Aisc Techniques, 2001(2): 17—21.
- [10] 杨子良. 拉矫破鳞试验机及连续带钢酸洗模型的开发[D]. 上海:华东理工大学, 2013.
YANG Zi-liang. Development of Descaling and Tension Leveller Test Machine and Mathematical Model of Pickling on Strip Steel[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2013.
- [11] 王建国,李同庆. 拉矫破鳞机原理的研究[J]. 上海金属, 1999, 21(1): 12—15.
WANG Jian-guo, LI Tong-qing. Research on The Descaling Function of Tension Leveller[J]. Shanghai Metals, 1999, 21(1): 12—15.
- [12] 田永常,方小红,潘秉锁. NH_4HF_2 对铁电沉积过程的影响[J]. 表面技术, 2014, 43(3): 54—58.
TIAN Yong-chang, FANG Xiao-hong, PAN Bing-suo. Effect of NH_4HF_2 on the Cathodic Process of Iron Electrodeposition[J]. Surface Technology, 2014, 43(3): 54—58.
- [13] 陈姝洁,叶纯杰,潘红良. 盐酸酸洗终点电化学判断方法的研究[J]. 电化学, 2008, 14(3): 288—291.
CHEN Shu-jie, YE Chun-jie, PAN Hong-liang. The End-point Determination in Hydrochloric Pickling by Electrochemistry Method[J]. Electrochemistry, 2008, 14(3): 288—291.
- [14] 赵永岗,吕红军. 铝合金导电化学氧化工艺研究[J]. 表面技术, 2013, 43(3): 67—69.
ZHAO Yong-gang, LYU Hong-jun. Study on Corrosion Inhibition Process of Electroless Nickel Coating[J]. Surface Technology, 2013, 43(3): 67—69.
- [15] QI Yu-hong. Spallation Process of Thermally Grown Oxides by In-Situ CCD Monitoring Technique[J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2009, 16(6): 90—94.
- [16] NAGL M M. The Mechanical Failure of Oxide Scales under Tensile or Compressive Load[J]. Journal of Materials Science, 1993, 28(23): 6247—6260.