

新型冷轧(拔)无缝钢管高分子润滑工艺研究

张肇熙 曹建荣

(成都科技大学分析测试中心)

提出了冷轧(拔)无缝钢管高分子润滑工艺。研究了该工艺的PL膜各种特性。介绍了工业实验情况。实验证明,高分子润滑工艺完全满足冷轧(拔)钢管工艺要求,并具有操作简便、环境污染小等优点,完全可以代替传统的磷化-皂化润滑工艺。

关键词 冷轧冷拔钢管 高分子润滑工艺 磷化-皂化工艺 研究

INVESTIGATION ON NEW HIGH-MOLECULAR LUBRICATION PROCESS FOR SEAMLESS STEEL PIPE COLD-ROLLING (DRAWING)

Zhang Zhaoxi Cao Jianrong

(Analysing & Testing Center, Chengdu University of Science & Technology)

The high-molecular lubrication process for seamless steel pipe cold-rolling (drawing) is put forward, and its PL film features and its industrial experiments are described. The experiments show that the process can fully meet the requirements of steel pipe cold-rolling (drawing) with advantages such as convenient operation and less environment pollution and also can substitute for the traditional phosphorizing-saponifying process.

Key words steel pipe cold-rolling (drawing) high-molecular lubrication process phosphorizing-saponifying process investigation

1 前言

无缝钢管在冷轧冷拔之前,要给以钢管表面工艺润滑,以便减少冷变形过程中的摩擦和防止钢管酸洗后锈蚀。通常采用的润滑工艺有镀铜、磷酸盐处理和草酸盐处理。对冷轧冷拔碳素钢和低合金钢无缝管一般采用磷化-皂化的润滑工艺。目前,包括国外发达工业国家在内也是采用磷化-皂化工艺^[1,2,4]。实践证明,磷化-皂化工艺有良好的润滑效果。但是,这一工艺所用设备多,生产线及工艺周期长,原材料和能源消耗大,工艺不易掌握,劳动条件差,环境污

染严重。因此,这种润滑工艺亟待改进。

笔者在深入分析磷化-皂化工艺的基础上,提出了高分子润滑工艺,即用高分子水溶液作载体,把能与钢管表面生成磷化膜的化学剂和具有减摩、抗磨作用的固体润滑剂等涂敷在钢管表面上,使其一次形成复合的固体润滑膜(以下简称PL膜),用以代替传统的磷化-皂化工艺。实验证明,这一设想是可行的。

2 实验内容

2.1 高分子润滑工艺的成膜液和成膜方法
将酸式磷酸盐溶于高分子水溶液中,在

搅拌下加入固体润滑剂、防锈剂和其他添加剂等,混合均匀后即成膜液。

采用浸涂、喷涂、刷涂、淋涂等方式在室温下将成膜液涂敷在钢管的内外表面上,或将钢管在40℃~50℃的成膜液中浸涂,然后将钢管在80℃~100℃温度条件下烘干(也可采用热风或冷风吹干),成膜剂干燥后即可对钢管进行冷轧冷拔。

2.2 PL膜附着力的测定方法

用Q65-07型漆膜粘附力测定仪按国家标准GB-1720-70规定的方法,在室温下测定附于试样表面的PL膜的附着力。试样材质为碳素钢,表面光洁度 ∇_7 。划针压力为2MPa,划圆直径为10.5mm。附着力按规定分为7级,1级最大,7级最小。

2.3 摩擦磨损试验

用Timken试验机在室温下测定PL膜的摩擦系数和磨损值。实验条件为:时间2~5min;负荷0.76~1.26kg;转速分100、150、200、250、400r/min五个速度。试环材质为GCr15钢。试块表面光洁度为 ∇_8 ,PL膜厚约30 μm 。

2.4 试样表面层分析

用扫描电镜测定PL膜在钢管表面形成的磷酸盐形貌,用X-650型电子探针和 $\phi 550$ 型联合光电子能谱仪测定摩擦试验后的磨痕及冷变形后钢管表面形貌和组成。

2.5 冷轧冷拔实验

在工业条件下实机比较两种润滑工艺的效果。高分子润滑工艺为:酸洗→水洗→室温下浸涂或刷涂成膜液(一部分钢管是在40℃~50℃的成膜液中浸涂)→自然干燥→冷拔。磷化-皂化工艺为:酸洗→水洗→磷化→皂化→冷拔。

3 实验结果与讨论

3.1 PL膜的附着力

不同成膜条件下的附着力见表1。由表1

可知,PL膜与金属基体的附着力都很好,与磷化-皂化工艺的磷化膜相同,都达到1级(见图1)。

表1 成膜条件及其与试样金属表面的粘附力

试样编号	成膜条件	附着力等级
1	室温浸涂, 室温成膜	1
2	室温喷涂, 室温成膜	1
3	室温浸涂, 80℃放置15分钟	1
4	室温喷涂, 80℃放置15分钟	1
5	试样预热80℃浸涂, 室温成膜	1
6	试样预热80℃喷涂, 室温成膜	1
7	试样预热80℃浸涂, 80℃放置15分钟	1
8	试样预热80℃喷涂, 80℃放置15分钟	1
9	磷化-皂化工艺成膜	1

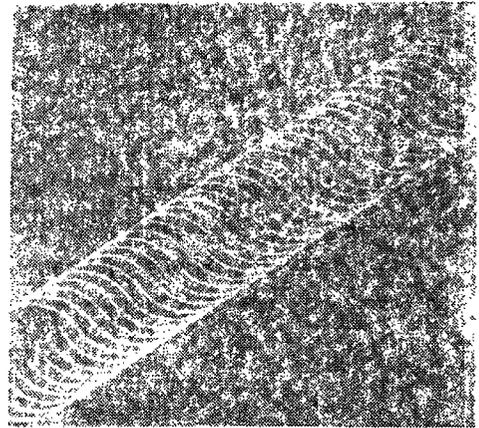


图1 划圈法测定PL膜的附着力

3.2 摩擦磨损试验

由表2可知,PL膜与磷化-皂化膜的摩擦系数差别不大。在高转速下PL膜的耐磨损性与磷化-皂化膜相似。室温浸涂和热浸涂所得PL膜的耐磨性都好。图2、3为PL膜断面的电子显微镜(SEM)照片。从图可以看出,室温浸涂比热浸涂的膜层薄而致密,摩擦系数约在0.20以下。

3.3 PL膜层分析

表2 PL膜的摩擦系数和磨损值

编号 ^③	膜厚(μm)	时 间(min)	转速100r/min		转速150r/min		转速200r/min		转速250r/min		转速400r/min	
			摩擦系数(μ)	磨痕宽(mm)	摩擦系数(μ)	磨痕宽(mm)	摩擦系数(μ)	磨痕宽(mm)	摩擦系数(μ)	磨痕宽(mm)	摩擦系数(μ)	磨痕宽(mm)
1	30	5	0.15~0.17	微穿 ^①	0.16~0.19	未穿 ^②	0.18~0.19	未穿			0.13~0.15	未穿
2	15	5	0.18~0.20	微穿	0.18~0.20	未穿	0.18~0.19	未穿	0.19~0.21	未穿		
3	30	5	0.19~0.20	微穿	0.19~0.20	未穿	0.19~0.20	未穿				
4	30	5	0.17~0.20	未穿	0.17~0.19	未穿	0.17~0.20	未穿	0.17~0.18	未穿		
5	30	5	0.16~0.18	0.54~0.69	0.16~0.18	~0.60	~0.24	—				
6	30	5	0.18~0.19	0.60~0.64	0.17~0.18	微穿	0.18~0.19	未穿	0.15~0.18	未穿		
7	30	5	0.19~0.22	微穿	0.19~0.22	微穿	0.18~0.19	微穿				
8	24	5	0.18~0.24	微穿	0.14~0.19	0.33~0.45	0.14~0.18	0.40~0.68				
9		5	0.17~0.19	微穿	0.18~0.19	微穿	0.18~0.20	2.11~2.56				

注：①微穿，磨痕宽度小于0.05mm，②未穿，只能看见膜上的实验压痕，膜未被磨穿，③各试样的成膜条件与表1对应。

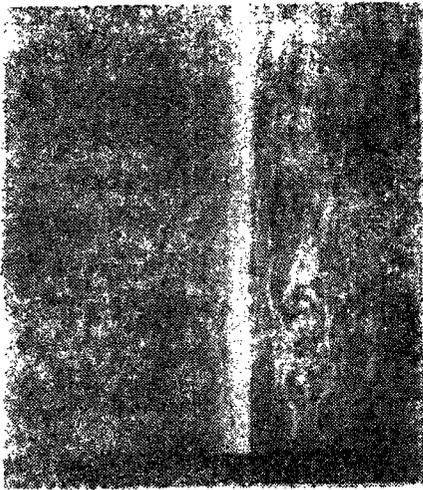


图2 室温浸涂的PL膜层横断面SEM照片 ×2000

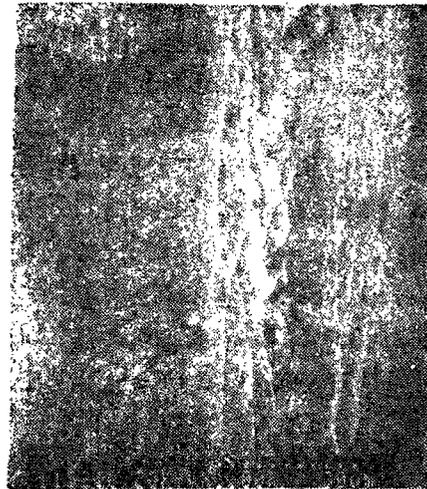


图3 热浸涂的PL膜横断面的SEM照片 ×1000

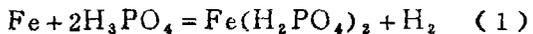
(1) PL膜层分析

从PL膜试块表面的SEM照片(图4)可以看出，在磷酸盐晶体的空隙处嵌有高分子固体润滑剂微粒。PL膜的形成由两个过程组成^[2,3]：

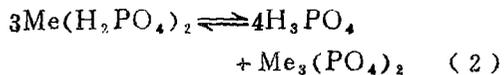
①与金属溶解作用相同的酸浸渍反应；

②金属盐溶液的形成。

在形成磷酸盐的反应中，最初的反应是



转化膜是由于酸式磷酸盐等的水解平衡遭到破坏而形成的，即



(2)式反应生成的磷酸(H₃PO₄)立即按(1)式同钢管表面的Fe发生反应，从而使(2)式反应连续向右方进行，这样就使在金属与溶液界面处的pH值不断上升，溶液

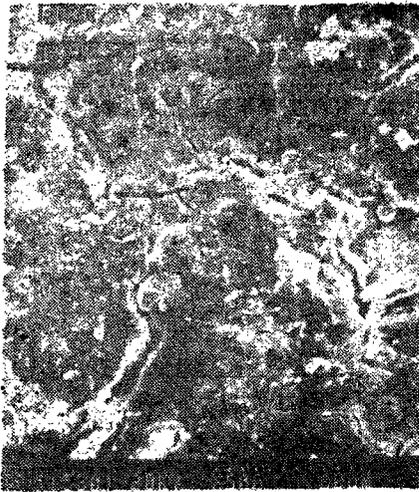


图4 PL膜形貌SEM照片 ×500

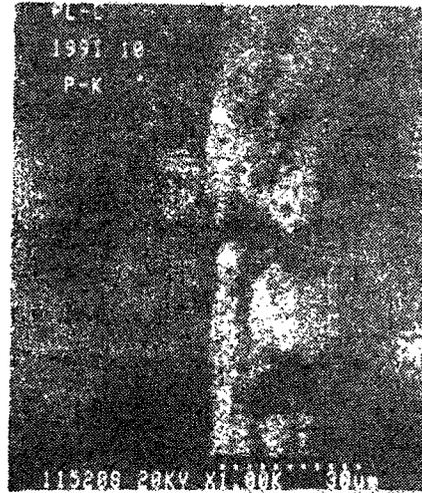


图5 PL膜横断面的波谱面(P定性) 照片 ×1500

中的不溶性磷酸盐浓度不断增加。当超过溶度积时，磷酸盐就迅速而整齐地沉积在金属表面上，形成致密的PL膜层。用扫描电镜测定得知，在1cm²钢管表面上沉积有数十万（喷淋法）至数百万个磷酸盐晶粒（浸渍法），这样多的晶粒仅仅在反应开始后的几秒钟内就形成了。从图5、6标尺所示，这种变化发生在金属基体约10μm深度处，附于金属基体表面的膜层为磷化膜与PL膜的复合润滑膜。从图2可以看到在金属基体表面附

有一层十分饱满的高分子固体润滑剂膜层。图7左边是金属基体，右边是PL膜层。铁元素的波谱线从左到右下降，越到膜层外表面，铁含量越少。从图8波谱面的分析中也可明显看到铁点的分布越到膜层外表越少。而磷和锌元素的含量变化与铁不同，它们一直均匀分布在膜层中，其中锌分布得最均匀（图5、6）。磷、锌元素渗入金属基体，铁元素进入膜层，说明成膜液与金属表面发生了磷化反应。

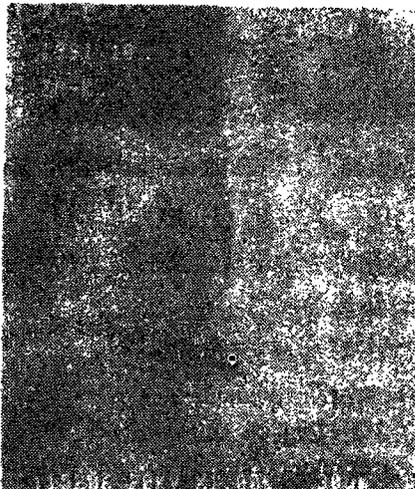


图6 PL膜横断面的波谱面(Zn定性) 照片 ×1000

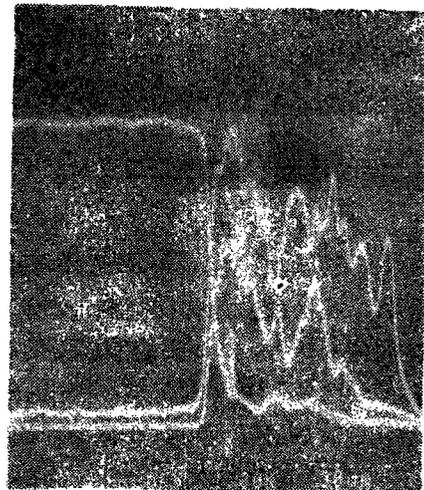


图7 PL膜横断面的波谱线(Fe、P、Zn定性) 照片 ×1000

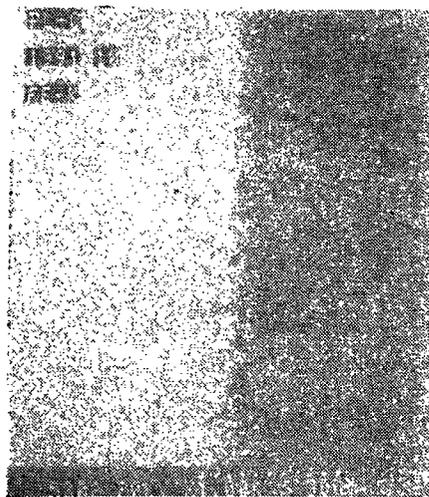


图8 PL膜横断面的波谱面 (Fe定性)
照片 ×1000



图9 摩擦试验后试块上磨痕的SEM
照片 ×500

(2) 磨痕分析

图9、10分别是摩擦磨损试验后试块磨痕的SEM照片和沿摩擦方向前沿堆集的磨削的SEM照片。从图中可以看出,在经过摩擦的表面上仍牢固附着很多高分子固体润滑剂微粒,在磨削中也没有见到金属磨削,这说明PL膜能有效地防止两个金属摩擦面直接接触和有良好的界面润滑效果。图11、

12分别是磨痕中心和边缘的显微电子探针能谱图。由图可以看出,即使在磨痕中心,仍然能见到组成高分子固体润滑剂的元素峰,说明残存在磨痕表面的微粒是高分子固体润滑剂的微粒。

(3) 冷轧冷拔后钢管表面分析

钢管经一次性浸涂高分子润滑剂后,连续给以两次冷拔(中间不再涂润滑剂),再用硫酸铜溶液分别对钢管表面进行腐蚀



图10 沿摩擦方向前沿堆集的磨削的
SEM照片 ×1000

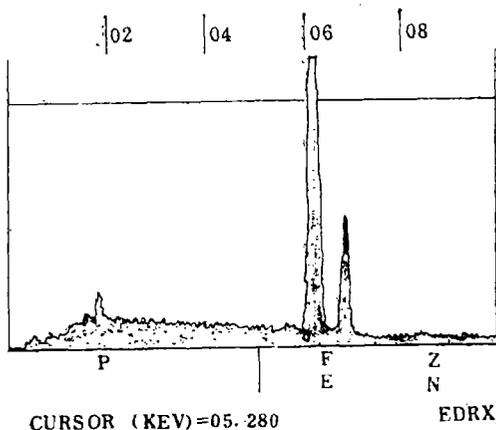


图11 在摩擦试块上磨痕中心的能谱图

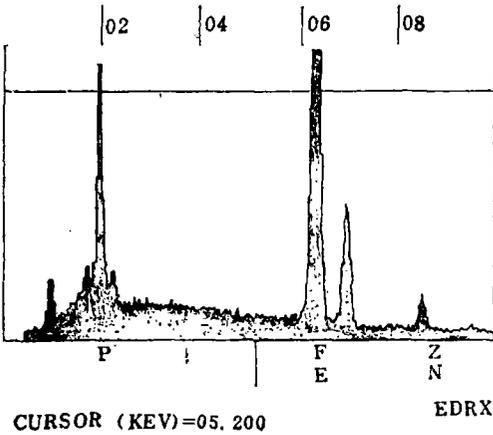


图12 在摩擦试块上磨痕边缘的能谱图

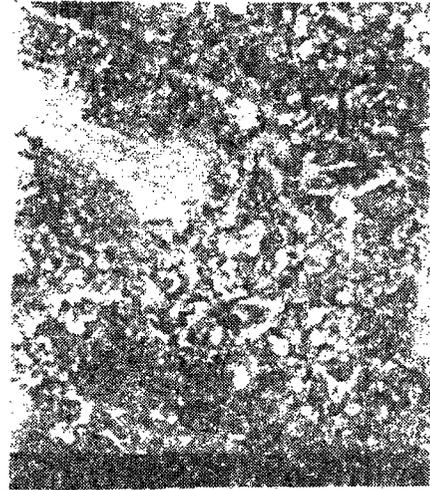


图13 钢管外表面形貌的SEM照片 ×500

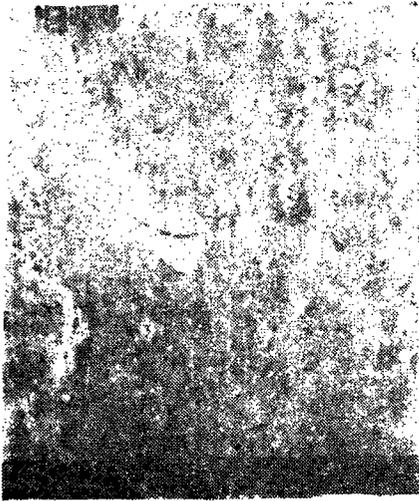


图14 钢管内表面形貌的SEM照片 ×500



图15 钢管外表面形貌的SEM照片 ×500

试验，其显色时间分别为48.7s和38.6s。图13、14为第一道次冷拔后钢管内外表面的SEM照片，图15、16为第二道次冷拔后钢管内外表面的SEM照片。上述结果表明，冷拔后钢管表面仍然附着一层PL复合膜，PL膜具有很好的吸附性和附着力，能够随钢管的延伸变形而延伸。采用同种规格管坯生产同一规格钢管的两种润滑工艺对比见图17。实验证明，不管是加大道次变形量，还是涂敷一次高分子润滑剂连续经三道次冷拔

(其冷拔工艺为： $\phi 76\text{mm} \times 4\text{mm} \rightarrow \phi 67\text{mm} \times 3.7\text{mm} \rightarrow \phi 62\text{mm} \times 3.0\text{mm} \rightarrow \phi 54 \times 2.5\text{mm}$)，所拔制的钢管都符合质量要求。

3.4 冷拔实验

采用高分子润滑工艺代替磷化-皂化工艺已实机生产1200余支、60余t各种规格的钢管(见表3)，并且拔制顺利。表4示出了两种润滑工艺的使用对比情况。从表4可知，高分子润滑工艺操作简便易掌握，满足拔制工艺要求，并且基本无环境污染。高分



图16 钢管内表面形貌的 SEM照片 ×500

子润滑工艺还能满足大变形量拔制和多达三道次连拔的润滑要求。由此可见，高分子润滑工艺在某些方面优于磷化-皂化工艺。

4 结论

高分子润滑工艺的 PL 膜是一种含有高分子润滑剂的复合润滑膜。由于 PL 膜中的磷化膜层、高分子润滑剂、固体润滑剂联合作用，其减摩、抗磨性能不低于磷化-皂化膜，因此可以满足冷轧冷拔碳素及低合金钢管的工艺润滑要求。另外，高分子润滑工艺具有对环境污染轻、工艺周期短、原材料及能源消耗低、成本低等优点，且所用的高分

表3 高分子润滑剂用于不同钢种及规格的冷轧拔实验

名称	钢种	冷拔规格 (mm)	冷轧规格 (mm)	单道次延伸系数 (μ)	连拔总延伸系数 (μ)	支数	备注
结构管	10	$\phi 100 \times 10 \rightarrow \phi 83.5 \times 10$		1.36		21	热轧穿孔坯，螺旋道严重，外径、壁厚偏差大
		$\phi 95 \times 6.5 \rightarrow \phi 76 \times 5$		1.62		15	热轧穿孔坯，实测外径 95.33~95.89mm，壁厚 6.52~7.38mm
		$\phi 76 \times 4 \rightarrow \phi 67 \times 3.7 \rightarrow \phi 62 \times 3 \rightarrow \phi 54.8 \times 2.5$			2.25	5	高分子润滑剂涂敷一次，连续进行三道次拉拔
结构管及锅炉管	20	$\phi 76 \times 4 \rightarrow \phi 66 \times 3.5$		1.32		716	其中有四分之一的钢管连拔成异型钢管
		$\phi 89 \times 6 \rightarrow \phi 76 \times 5.5$		1.28			
		$\phi 76 \times 5.5 \rightarrow \phi 69 \times 4.5$		1.34			
		$\phi 76 \times 4 \rightarrow \phi 65 \times 3.5$		1.34			
		$\phi 63 \times 3.5 \rightarrow \phi 57 \times 3.5$		1.11			
		$\phi 67 \times 5.5 \rightarrow \phi 57 \times 5$		1.30			
		$\phi 78 \times 7.5 \rightarrow \phi 64 \times 7.5$		1.39			
液压管	45	$\phi 146 \times 13 \rightarrow \phi 146 \times 11.5 \rightarrow \phi 146 \times 10.5$			1.22	4	高分子润滑剂涂敷一次，连续进行两道次拉拔
出口管	B级		$\phi 76 \times 4 \rightarrow \phi 46 \times 2.6$	2.55		420	
合金管	40Cr		$\phi 89 \times 9 \rightarrow \phi 57 \times 7$	2.06		67	
			$\phi 89 \times 8 \rightarrow \phi 57 \times 7$	1.85			
	12Cr2MoWVTiB	$\phi 77 \times 5 \rightarrow \phi 71 \times 4.5$		1.20		1	热轧穿孔坯，外径、壁厚偏差大
	10Cr5MoWVTiB	$\phi 75 \times 5 \rightarrow \phi 65 \times 4.2 \rightarrow \phi 57 \times 3.5$			1.87	32	高分子润滑剂涂敷一次，连续进行两道次拉拔

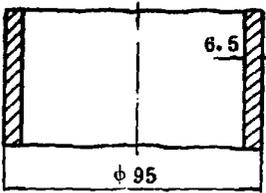
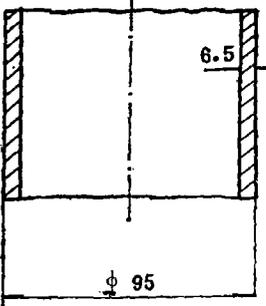
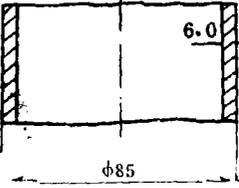
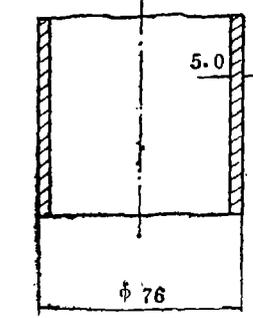
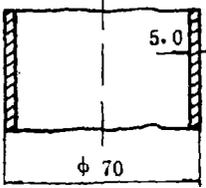
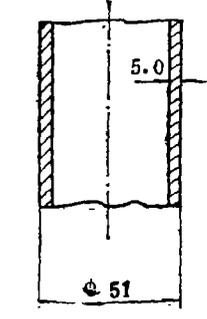
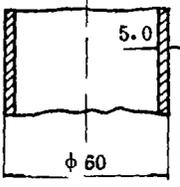
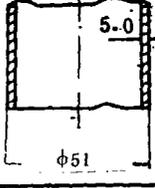
磷化-皂化工艺		高分子润滑工艺			
冷拉拔前		热轧穿孔坯, 实测 外径: 95.33~ 95.89mm 壁厚: 6.52~ 7.38mm	冷拉拔前		热轧穿孔坯, 实测 外径: 95.33~ 95.89mm 壁厚: 6.52~ 7.38mm
第一道次冷拉拔后		延伸系数 $\mu = 1.21$	第一道次冷拉拔后		延伸系数 $\mu = 1.62$
第二道次冷拉拔后		延伸系数 $\mu = 1.46$	第二道次冷拉拔后		延伸系数 $\mu = 1.54$
第三道次冷拉拔后		延伸系数 $\mu = 1.18$			
第四道次冷拉拔后		延伸系数 $\mu = 1.20$			

图17 两种润滑工艺对比

表4 高分子润滑剂与磷化-皂化成膜对比

序号	项目	原 工 艺		高分子润滑工艺	备 注
		磷 化	皂 化		
1	时间 (min)	8~15	25	5~10	浸透倒尽便可
2	温度 (C)	70~80	60~70	40~50	亦可在室温下
3	工人 (名)	1~2	1	1	
4	外表面质量	有水锈, 磷化有时较差, 重新酸洗	有水锈, 皂化有时较差, 重新皂化	可以除去水锈, 保证质量	可以连拔
5	内表面质量	水锈有时较严重, 质量差	水锈严重, 质量差	可以除去水锈, 如果经过干燥, 效果更佳	可以减壁连拔
6	检 验	需要化验室	需要化验室	不需设化验室, 不断补充润滑剂即可	酸洗自测
7	性 质	酸 性	碱 性	酸 性	
8	环 境	污染环境	污染环境	干 净	可以回收利用

减小荒管壁厚不均的研究

张才安 李天贵
(重庆大学) (成都无缝钢管厂)

研究了在自动轧管机上减小荒管壁厚不均的工艺方案。

关键词 壁厚不均 自动轧管 道次

INVESTIGATION ON IMPROVEMENT OF NON-UNIFORM SHELL WALL THICKNESS

Zhang Caian
(Chongqing University)
Li Tianguai
(Chengdu Seamless Steel Tube Plant)

The process schedule to improve non-uniform shell wall thickness on plug mill is investigated.

Key words non-uniform wall thickness plug tube-rolling pass

1 前言

穿孔毛管经自动轧管机轧制后,荒管的横向壁厚不均显著增大,这不仅增大了热轧成品管和冷轧成品管的切头切尾量,而且降低了成品管的壁厚精度,并增大了冷拔工序

的变形量。此外,还将造成能源消耗增加、生产周期延长,机组产量降低。

多年来,虽然从轧管工艺和设备上作了多方努力,使所轧荒管的壁厚不均度有较大的降低,然而,经自动轧管后的荒管壁厚不均度仍然很大。为了提高荒管的壁厚精度,

子润滑剂属于消耗型润滑剂,操作使用过程中基本不作成分调整,无废液排放,完全可以代替传统的磷化-皂化工艺。

5 致谢

在现场应用实验中,得到成都无缝钢管厂金堂分厂和成都无缝钢管厂钢研所都江管材厂、首钢特殊钢公司钢管冷拔厂、成都异型钢管厂、北京华能特种液压缸厂的大力支持;在膜层分析过程中,得到成都科技大学分析测试中心电镜室等单位的协助和支持,

在此一并表示衷心的感谢。

6 参考文献

- 1 张才安. 无缝钢管生产简明教程. 重庆: 重庆大学出版社, 1988
- 2 刘俊哲译. 金属的化学处理. 北京: 化学工业出版社, 1986
- 3 赵玉和译. 摩擦磨损粘着及润滑. 成都: 成都科技大学出版社, 1988
- 4 殷国茂, 刘松泉, 苏家明. 美国无缝钢管生产考察纪实. 钢管, 1991, 1

(收稿日期: 1992-03-02)