

离心自蔓延高温合成复合钢管组织和性能的研究

狄石磊¹, 王宁², 高平¹

(1. 中国兵器工业集团第五二研究所, 内蒙古 包头 014030;

2. 内蒙古工业大学材料科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010051)

[摘要] 为了研究内衬陶瓷复合钢管过渡层的显微组织和陶瓷层的耐磨损性能, 利用离心自蔓延高温合成反应(SHS)制备了内衬陶瓷复合钢管, 金相显微镜观察内衬陶瓷复合钢管过渡层的显微组织, 在万能摩擦磨损试验机上测试了陶瓷层的耐磨损性能。结果表明: 原位生成金属和钢管之间为冶金结合, 原位生成金属和陶瓷之间为机械结合, 生成的陶瓷具有较高的耐磨损性能。

[关键词] 离心力; 自蔓延; 高温反应; 合成反应; 复合钢管; 组织; 性能; 陶瓷层

[中图分类号] TG174.451; TB333

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)06-0050-03

Study on Microstructures and Properties of Composite Pipe Made by Centrifugal SHS

DI Shi-lei¹, WANG Ning², GAO Ping¹

(1. No. 52 Institute of China Ordnance Industry Group, Baotou 014030, China; 2. Neimenggu

College of Materials Science and Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

[Abstract] In order to study the microstructures of transition and the wear resistance of ceramics, ceramic-lined composite steel pipe was made by centrifugal SHS. The microstructure of transition was observed with crystal phase microscope and the wear resistance of ceramics were tested by universal friction and wear test machine. The results show that it is metallurgical combination between in-situ metal and steel, and it is mechanical integration between in-situ metal and ceramic, the ceramics have higher wear resistance.

[Key words] Centrifugal force; Self spread; High temperature reaction; Synthetic reaction; Composite Pipe; Microstructure; Property; Ceramic coating

0 引言

离心自蔓延高温合成内衬陶瓷复合钢管具有耐高温、耐腐蚀、耐磨损等优异的性能, 其制造工艺简单、安装施工方便、维护修补容易^[1-6], 具有广泛的应用前景, 并已经在矿山、电厂、化工厂等有特殊要求的场所使用, 收到了良好的经济效益。本文分析了在添加各种添加剂时复合钢管的结合情况以及内衬陶瓷的耐磨损性能。

1 试验材料及试验过程

1.1 试验材料

氧化铁粉: 工业氧化铁粉, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 95\%$, 200 目;

铝粉: 氩气封装, $\text{Al} \geq 99.9\%$, 200 目;

SiO_2 粉: $\text{SiO}_2 \geq 99\%$, 325 目;

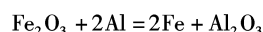
Ni 粉: $\text{Ni} \geq 99\%$, 200 目;

ZrO_2 粉: $\text{ZrO}_2 \geq 99\%$, 325 目;

混合稀土: $\text{Re} \geq 99\%$, 200 目。

1.2 试验过程

铝热化学反应的基本方程为:



其中, 氧化铁和铝粉的质量配比约为 3:1。本试验是在此基础上通过改变铝热剂中氧化铁粉和铝粉质量的比例, 以及添加其它的添加剂来达到改善复合钢管组织和性能的目的, 其成分配方如表 1 所示。

表 1 试验成分配方

Table 1 Ingredient and Recipes

成分	Fe_2O_3	Al	SiO_2	Ni	ZrO_2	Re
质量分数/%	48.25	32.5	8	1	7.5	2.75

将称量好的氧化铁粉放入电阻炉中, 于 400℃ 预热干燥 1h 后取出, 按表 1 配方与其它原料混合均匀, 装入离心机上的钢管中(钢管内径 10cm)。开动离心机(转速为 1000r/min), 待离心机转速稳定, 粉料均匀分布在钢管内壁后, 点燃粉料发生自蔓延铝热反应, 生成复合钢管。

将复合钢管沿直径方向和轴线方向, 切割为小块, 将其内外侧面磨平, 利用高强度胶水将其固定在拉伸棒的端面, 注意保持

[收稿日期] 2007-08-01

[作者简介] 狄石磊(1981-), 男, 江苏连云港人, 硕士, 主要研究方向: 自蔓延高温复合材料。

在同一轴线上,在 SHT4000 微机控制电液伺服万能实验机上测定复合钢管的结合性能,多次测量,取平均值。在 BM-4XC-S 光学显微镜和蔡司 AXIOSKOP-50 正立式金相显微镜下观察复合钢管的显微组织并拍摄照片。在 MM-W1 立式万能摩擦磨损试验机上测定陶瓷的耐磨性能,其磨损时间为每次 10min,每个样品作 4 次磨损试验,每次更换磨损片,施加压力为 100N,转速为 100r/min,逐次测量并称量记录磨损量。

2 复合钢管的组织 and 结合性能

2.1 复合钢管的组织

图 1 为复合陶瓷钢管的整体外观图。从图 1 可以看出,复合钢管由外层的钢管和内层的复合陶瓷组成,钢管和陶瓷之间有明显的过渡层,如图 2a 所示。内衬层由中间的铁过渡层和陶瓷层构成,总厚度约为 3mm,其中铁过渡层的厚度约为 2mm,陶瓷层的厚度为 1mm,在原位自身金属和钢管之间有一层很薄的冶金过渡层。但是从图 1 可以看到内衬层和钢管之间有明显的界面,存在间隙,表明在钢管端口处界面结合得不是很好。这是因为:陶瓷刚开始凝固时,在机械离心力的作用下,钢管的内径与陶瓷的外径相同,两者之间无间隙存在,由于陶瓷的凝固点较高,降温时陶瓷先开始凝固收缩,钢管继续接受 Al_2O_3 散出的热量,同时向外散热。钢管接受热量和散热量之差决定了钢管是否膨胀或收缩及其膨胀和收缩的快慢,由于钢管端口散热较快,钢管和陶瓷的凝固速度不同,产生了拉应力,造成两者之间产生了间隙。但是在复合钢管内部,热量散失较慢,金属铁和钢管结合良好,如图 2b 所示,钢管和原位生成的金属为冶金结合,原位生成的金属和陶瓷之间为机械结合。

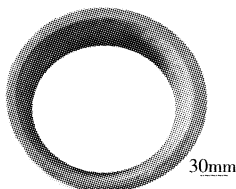


图 1 复合钢管的整体外观图
Figure 1 Photo of composite pipe

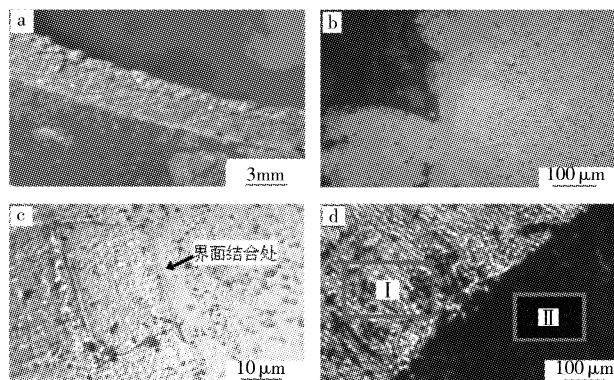


图 2 复合钢管组织

Figure 2 Structure of composite pipe

图 2b、图 2c、图 2d 为复合钢管结合部位的显微组织图。由图可以看出:图 2b 中右侧为钢管,左侧黑色部分为生成的陶瓷,

其中大块的金属为原位生成的金属铁,可以看出铁颗粒和钢管之间为冶金结合,在离心力的作用下,生成的铁颗粒明显地嵌入到钢管的内壁,铝热反应产生的热量使得钢管内壁金属的晶粒明显长大,原位生成的铁和钢管内壁的金属已经结合为整体,如图 2c 所示。图 2d 为生成的陶瓷和原位生成的金属之间的界面,黑色部分为陶瓷,白色部分为金属,可以看出,其结合面光滑,没有明显的过渡层,说明它们之间的结合为简单的机械结合。对其进行能谱分析证明黑色部分主要为陶瓷,白色部分主要为金属铁(夹杂有少量的铝元素),如图 3 所示。

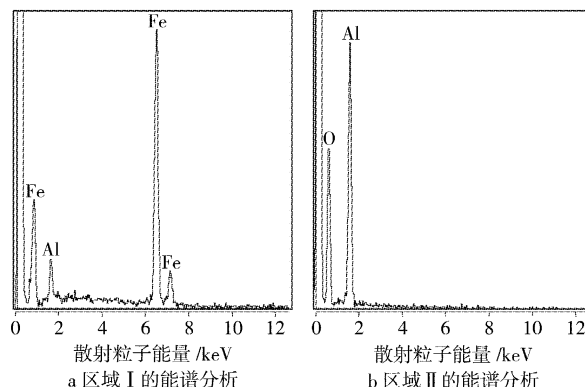


图 3 对图 2d 中 I、II 区域的能谱分析

Figure 3 Energy spectra of figure 2d

2.2 复合钢管的结合性能

截取下来的复合钢管的结合性能测试数值和曲线如表 2 和图 4 所示。由图 4 可以看出,复合层之间的结合性能不是很好,在受力时,不能产生塑性变形,当受到的力大于一定值时,便会发生脆断。观察断面的外貌可知,陶瓷与原位自生的金属分离,原位自生金属和钢管之间的结合良好,这也证明了他们之间为冶金结合,有很高的结合强度。从其测试数值可以得知,陶瓷和原位自生金属的结合强度在 3~4MPa,虽然不是很高,但是由于复合钢管主要应用的并不是其抗拉性能,因而这样的结合强度已经基本可以满足应用要求。同时,结合强度的性能在一定程度上也反应出了他们之间的抗剪切性能。

表 2 复合钢管结合强度

Table 2 Bond Strength of Composite Pipe

性能	K_1	K_2	K_3	平均值
结合强度/MPa	3.5364	3.5988	3.8087	3.6480

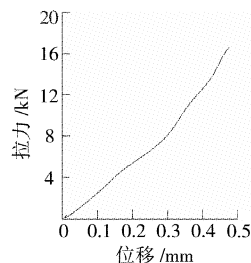


图 4 结合强度测试曲线

Figure 4 Test Curve of Bond Strength

3 陶瓷的耐磨损性能分析

陶瓷的耐磨损性能见图 5,由图可知:试验开始的短时间内

陶瓷的磨损量较大,这是由表面的陶瓷组织松散不致密造成的。随着时间的增加,陶瓷的磨损量趋近于 $40\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 左右,试验中加载的力较大,且试验机转速较高,说明内衬的陶瓷具有较好的耐磨损性能。这是由于:增加 Al 的加入量以后,反应生成陶瓷中的 Al_2O_3 相增加,而 Al_2O_3 是氧化铝陶瓷中的主要耐磨损相,因而耐磨损性能大幅度提高;加入 8% 的 SiO_2 ,可以显著提高陶瓷的致密度,有利于陶瓷耐磨损性能的提高;由于 Ni 增大了陶瓷的黏度,铝热反应产生的热量散失较慢,使 Al_2O_3 晶粒在短时间内吸收热量长大,长大的 Al_2O_3 晶粒挤压处于晶界处的低熔点化合物,形成较大的 Al_2O_3 晶粒镶嵌于低熔点化合物中,低熔点化合物的硬度低于 Al_2O_3 ,由于 Al_2O_3 颗粒较大,并且深埋于具有一定韧性的低熔点化合物中,但是韧性高于 Al_2O_3 ,在磨损时,低熔点化合物磨损较快,露出耐磨损性能较高的 Al_2O_3 ,因而陶瓷的耐磨损性能有一定的提高; ZrO_2 以氧化物硬质颗粒的形式存在陶瓷中,其本身具有很高的硬度,可以显著提高陶瓷的耐磨损性能;稀土具有抑制 Al_2O_3 晶粒长大,细化 Al_2O_3 的作用,使陶瓷耐磨损性能提高较大。综合各种添加剂的作用效果,陶瓷具有优异的耐磨损性能。

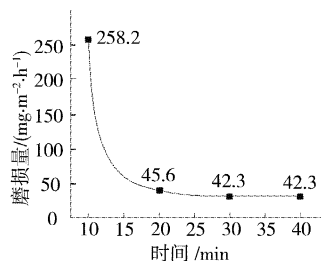


图5 陶瓷磨损曲线

Figure 5 Contrast curves of wear quality

4 结 论

- 1) 复合钢管由外层钢管、中间过渡铁层和内层的陶瓷组成。
- 2) 过渡铁层和钢管之间为冶金结合,陶瓷和过渡铁层之间为机械结合。
- 3) 内衬陶瓷具有较高的耐磨损性能。

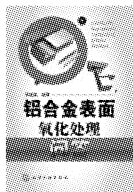
[参 考 文 献]

- [1] Sheng Yin, Liu Mu, Lin Tao, et al. Densitication of ceramic layer of ceramic lined steel pipe made by centrifugac-SHS[A]. Yin S, Lai H Y. Self-propagating High-temperature Synthesis Technology and Materials[C]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1995. 126-129
- [2] 王双喜, 张龙, 李俊寿, 等. 自蔓延高温合成-离心法制备 Al_2O_3 陶瓷内衬复合钢管[J]. 热加工工艺, 1998, (5): 31-33
- [3] 郭伏安, 符寒光. 离心自蔓延高温合成陶瓷内衬复合钢管的研究与应用[J]. 湖南有色金属, 2002, 18(6): 27-29
- [4] Wen Junxi, Sheng Yin, Shi Juguo, et al. Stainless steel lined composite steel pipe prepared by centrifugal-SHS process[J]. Journal of Materials Science, 2000, 35: 45-48
- [5] Tubalov N P, Lebedeva O A, Vereshchagin V I. Porous composite ceramic materials produced by a self-propagating high-temperature synthesis in the Fe_2O_3 - Al_2O_3 -Al system[J]. Refractories and Industrial Ceramics, 2003, 44(5): 343-345
- [6] 赵忠民, 叶明惠, 杜心康, 等. SHS 陶瓷内衬复合管合成及陶瓷致密化技术[J]. 材料科学与工程, 2002, 20(1): 123-125

新书讯

铝合金表面氧化处理问答

郑瑞庭 编著



●大多数铝材在使用之前都要做氧化处理。氧化处理的质量和效率与选用的工艺相关,也与操作者的熟练程度有关。本书针对铝材表面氧化处理工作人员编写而成。

●笔者从事铝的表面处理工作已达 50 年之久,积累了一定的工作经验和生产知识。在此以问答的形式把曾经遇到的问题及解决办法列举出来,愿与同行朋友进行探讨与交流。——作者

978-7-122-01113-8, 2007 年 10 月出版

大 32 开, 平装, 267 页, 20 元

电镀故障精解

谢无极 编著



◆顺利处理电镀故障是电镀技术人员和电镀企业技术水平的标志之一。但是目前不但电镀故障频频发生,而且常常得不到及时有效的处理,更无法进行预防。

◆作者一直从事电镀生产管理、技术开发和业务咨询,成功处理了大量的电镀故障,20 年来积累了数千个电镀故障及处理案例。这本书就是这些实践经验的结晶。

◆书中以简明的形式,对各镀种的故障现象的各种可能的原因进行了分析,提出了对应的处理方法,对电镀生产一线的管理和操作技术人员有所帮助。

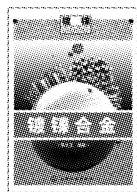
◆在阐述故障产生的原因时,本书注重理论性和实践相结合,这对从事电镀工艺开发人员和电镀研究技术人员进行合理设计和开发都大有裨益。

978-7-122-01011-7, 2007 年 10 月出版

B5 开, 平装, 280 页, 48 元

镀镍合金

陈天玉 编著



◆镀镍合金是获得更多品种、更优性能且节约镍资源的电镀方法之一。本书对各种二元镍合金和三元镍合金的镀液、电镀工艺、镀层性能进行了详细的介绍。

◆是目前关于电镀镍合金唯一的图书。作者陈天玉先生在电镀及表面处理领域工作几十年,有丰富的经验和知识,他的作品《不锈钢表面处理技术》深受读者欢迎。

◆是“镀镍技术丛书”之一。该丛书已经出版的还有:《镀镍工艺基础》(20 元),《光亮镀镍》(30 元)。

978-7-122-00922-7, 2007 年 10 月出版

大 32 开, 平装, 488 页, 38 元

化学工业出版社 网上书店: www.cip.com.cn

地址: 北京市东城区青年湖南街 13 号(100011)

购书咨询: 010-64518888, 64518899

如要出版新著, 请与编辑联系。

电话: 010-64519271 Email: dzlb@cip.com.cn