DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.05.008

混凝土泵车弯管内衬的研制

张　颢[1],孙爱民[1],施懋祥[1],吕振林[2]

(1. 马鞍山市海天重工科技发展有限公司，安徽 马鞍山 243141; 2. 西安理工大学 材料科学与工程学院，陕西 西安 710048)

摘　要:泵车弯管内衬的磨损失效分析表明,低碳 Cr26 高铬铸铁复合弯管内衬的磨损机制主要以微观切削磨损为主,因此为了提高弯管的使用寿命而提高了 Cr26 高铬铸铁的含碳量,从而提高其硬度。冲蚀磨损实验和实际装车运行结果表明,高碳 Cr26 高铬铸铁内衬及复合弯管,冲蚀磨损率和实际使用寿命均高于低碳 Cr26 高铬铸铁,达到了提高混凝土泵车弯管使用寿命的目的。

关键词:混凝土泵车;弯管;内衬

中图分类号: TG135　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)05-0444-03

Preparation of Curved Pipe Liner Used in Concrete Pump Truck

ZHANG Hao[1], SUN Aimin[1], SHI Maoxiang[1], LYU Zhenlin[2]

(1. Ma'anshan City Haitian Heavy industry Technology Development Co., Ltd., Ma'anshan 243141, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The wear failure analysis of curved pipe liner used in concrete pump truck shows that the wear mechanism of low carbon Cr26 high chromium cast iron liner is dominated by micro-cutting wear. Thus the hardness of Cr26 high chromium cast iron can be increased by addition of its carbon content to increase the service life of curved pipe. The results of erosion wear tests and practical running operations showed that erosion wear rate of high carbon Cr26 high chromium cast iron and the service life of composite curved pipe can be higher than that of low carbon Cr26 high chromium cast iron. The purpose of increasing the service life of concrete pump truck curved pipe is achieved.

Key words: concrete pump truck; curved pipe; liner

混凝土泵车是建筑施工中最常用的泵送混凝土设备,将罐车运送来的混凝土通过泵和泵管泵送到浇筑场地。泵管架设在臂架上,并随臂架折叠和伸展,因此泵管上存在数量较多的弯管。由于混凝土的流动性较差,骨料中石子尺寸较大(通常 25 mm,最大可达 40 mm)[1], 因此为了顺利泵送混凝土,泵管内的压力较高,最小为 10 MPa,最大可达 28 MPa(视泵送高度而定)[2]。高压混凝土在泵管内流动,也对泵管内壁造成较大的磨损,尤其是弯管部位的磨损更加严重,通常为直管的 5 倍以上。弯管的过早磨损,将造成泵送混凝土时漏浆或爆管而中断混凝土的浇筑,甚至引起伤亡事故,因此提高泵车弯管的使用寿命，将是提高混凝土泵车使用寿命的关键。为此人们开展了大量的研究工作,包括弯管的磨损机制分析、弯管磨损的数值模拟、弯管的复合及其制备工艺等等[3-8]。为弯管的使用寿命提高以及泵送参数与弯管磨损间的关系提供了技术基础。马鞍山市海天重工科技发展有限公司承接了混凝土泵车双分双层弯管内衬半弯管的生产任务。所谓的双分,就是将弯管沿内外曲率半径的中线剖分开,形成两个半弯管;双层就是内层为高铬铸铁,外层为碳钢管。然后将内层的高铬铸铁半弯管和外层的碳钢半管组合,再沿剖分中线将外层碳钢管焊接起来,就形成了双分双层复合弯管。弯管内层的外半弯管形状如图 1 所示,其存在两个圆弧面,即垂直弯管曲率半径方向一个圆弧面和沿着弯管内径一个圆弧面。由

图 1　弯管内衬半弯管的形状
Fig.1 Liner half-elbow inside curved pipe

收稿日期:2020-03-18

作者简介:张　颢(1990-),安徽安庆人,助理工程师.主要从事金属耐磨材料的技术研发和质量管理工作.
电话:0555-6971188,E-mail:407459073@qq.com

于两个圆弧面的存在，使得铸造及热处理过程中极易产生变形，从而造成产品报废。经过多次的试验，成功解决了铸造和热处理过程中的变形问题，提高了半弯管的成品率[9]，并应用于混凝土泵车的泵管上。尽管高铬铸铁复合弯管的实际使用寿命超过了高锰钢弯管的寿命，但还没有达到预期目标。为此我们对使用后的弯管内衬进行了磨损失效分析，在此基础上对高铬铸铁半弯管的成分和性能进行了调整。

1　高铬铸铁半弯管的磨损失效分析

高铬铸铁半弯管的材质为 Cr26 高铬铸铁，为了使其具有一定的冲击韧性，含碳量选为了 2.6%~3.0%。热处理后的半弯管显微组织为共晶碳化物+马氏体+残余奥氏体+二次碳化物，如图 2 所示。其硬度 56~59 HRC，冲击韧度 3.5~3.7 J/cm^2。使用后的高铬铸铁半弯管宏观磨损形貌如图 3 所示。磨损表面稍有些粗糙，半弯管壁厚随着弯头角度的增大而均匀减薄，在接近弯头中心处厚度最薄，且发生了断裂。半弯管磨损表面的微观形貌如图 4 所示，可以看出，磨损表面存在较长的微观切削痕迹和少量的孔洞。孔洞大部分由于石料的切削造成碳化物的断裂、脱落，或者夹杂物的脱落而形成，少部分由于半弯管中存在的微观缩松等缺陷而形成。因此，在混凝土沿管道流动过程中，混凝土中的石料对管壁产生的切削作用是管道磨损的主要原因，尤其是在

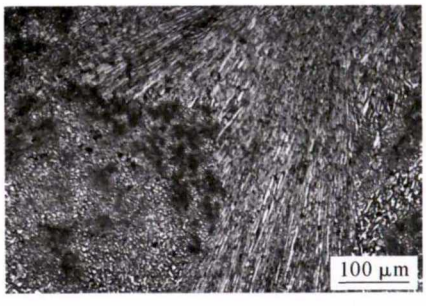


图 2　半弯管显微组织
Fig.2　Microstructure of high chromium cast iron half-elbow

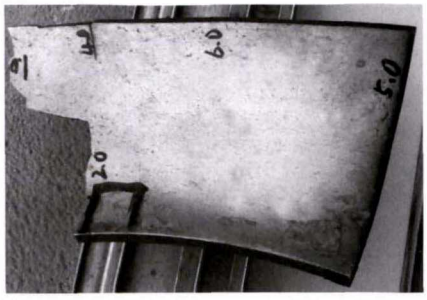


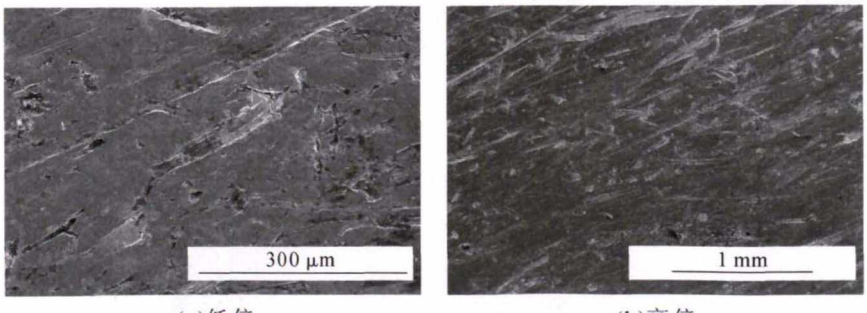
图 3　使用后半弯管的宏观形貌
Fig.3　Macro-morphology of used half-elbow

弯管部分。混凝土的流动方向在弯管部位被迫强制转向，从而对弯管表面产生较大的压力而造成弯管部位的磨损量增大。混凝土弯管冲蚀磨损的数值模拟结果也表明，最大的冲蚀磨损发生在弯管外弯内壁 30~40°处[6]。

2　高铬铸铁半弯管研制

由上述高铬铸铁半弯管的磨损失效分析可知，半弯管的磨损主要由混凝土中石料的显微切削造成。通常来说，材料的显微切削磨损主要与材料的硬度有关[3,9]，因此提高半弯管材料的硬度是提高其使用寿命的主要措施。而提高高铬铸铁材料的硬度，最有效的手段除了热处理以外，就是材料的成分，尤其是含碳量[10]。为此将半弯管高铬铸铁的含碳量由 2.6%~3.0%提高到了 3.5%~3.9%，其它的合金元素含量不变。淬火回火后的高铬铸铁半弯管显微组织如图 5 所示。可以看出，含碳量的提高，Cr26 高铬铸铁中出现了粗大的近似六边形的初生碳化物，故 Cr26 高铬铸铁的显微组织由初生碳化物+共晶碳化物+马氏体+残余奥氏体+二次碳化物组成。由于出现了初生碳化物，高铬铸铁半弯管的硬度得到了提高，为 62~65 HRC，冲击韧度有所降低，为 3.05 J/cm^2。

在钻床改造的旋转搅拌式冲蚀磨损试验机上，以 150~250 μm 石英砂为磨料，水砂比 4:3 为浆料的冲蚀磨损试验结果如表 1 所示。可以看出，随着



(a)低倍　　(b)高倍

图 4　使用后半弯管的微观形貌
Fig.4　Micro-wear morphology of used half elbow

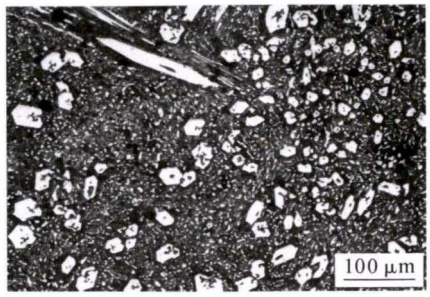


图 5 高碳 Cr26 高铬铸铁显微组织
Fig.5 Microstructure of high carbon high chromium cast iron

表1 含碳量与Cr26高铬铸铁冲蚀磨损率的关系
Tab.1 The relationship of erosive rate and carbon content of high chromium cast iron

材质	失重量 /g	磨损时间 /h	磨损面积 /mm²	磨损速率 /(mg·h⁻¹mm⁻²)
低碳 Cr26	3.259 3	120	200	1.358×10^{-4}
高碳 Cr26	2.936 4	120	200	1.224×10^{-4}

Cr26 高铬铸铁含碳量的提高，其冲蚀磨损量和冲蚀磨损率降低，也即冲蚀磨损耐磨性提高。

在混凝土泵车上实际装机运行结果表明，高碳 Cr26 高铬铸铁复合弯管的使用寿命大大提高，平均泵送混凝土量超过了 6.5 万 t，是高锰钢弯管的 3 倍以上，取得了良好的使用效果，并为用户带来了较好的经济效益。

3 总结

在分析低碳 Cr26 高铬铸铁弯管内衬半弯管的磨损形貌和磨损机制基础上，通过提高 Cr26 高铬铸铁的含碳量提高了其硬度，从而提高了 Cr26 高铬铸铁的冲蚀磨损率和内衬 Cr26 高铬铸铁复合弯管泵送混凝土的实际使用寿命，取得了较好的技术经济效益。

参考文献：

[1] 朱则刚. 混凝土泵车使用与维修技术详解[J]. 重型汽车，2019 (1): 45-47.
[2] 兰聪，刘东，陈景，等. 超高层泵送混凝土技术发展趋势[J]. 商品混凝土，2019，(4): 27-29.
[3] Xie Y, Jiang J, KidusY T, et al. Wear resistance of materials used for slurry transport[J]. Wear, 205, 332-333: 1104-1110.
[4] 李永维. 混凝土泵送系统弯管破损机理研究与改进 [D]. 长安大学，2011.
[5] Carlos A R D, Francisco J S, Ricardo V S, et al. The role of inter-particle collisions on elbow erosion[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2017, 89: 1-22.
[6] Tan Y, Zhang H, Yang D, et al. Numerical simulation of concrete pumping process and investigation of wear mechanism of the piping wall[J]. Tribology International, 2012,46: 137-144.
[7] 许云华，王发展，付永宏，等. 双金属复合弯管的研制和应用[J]. 铸造技术，1999，(1): 3-5.
[8] 郭亚军. 双金属弯管消失模复合铸造工艺研究 [D]. 华中科技大学，2013.
[9] 张颢，孙爱民，施懋祥，等. 弯管衬里的铸造工艺优化. 铸造技术，2018，39(8): 1721-1723.
[10] 陈华辉，邢建东，李卫. 耐磨材料应用手册(第 2 版)[M]. 北京：机械工业出版社，2012.

RX 榕霞®
福建省榕霞石英砂有限责任公司
漳浦县榕霞矿业开发有限公司

公司简介
Company

我公司创办于1976年，是国内较早从事石英砂系列产品生产、销售一体化经营的综合性企业。公司拥有丰富的优质石英砂矿产资源，矿区面积1000多亩，年开采量可达40万吨。公司生产的石英砂产品具有SiO2含量高，含泥量低、角形系数小等特点，是高品位的天然石英砂。

"榕霞"天然石英砂系列产品现广泛应用于国内铸造行业、机械制造行业、全国各水处理行业及玻璃制造、钢铁冶金行业等，质量达到国际先进水平。公司已通过ISO9001、ISO14001管理体系认证，先进的生产工艺及完善的品质保障体系确保了产品质量的长期稳定，专业的销售团队为客户提供优质完善的售后服务。

产品主要理化性能
Sio2 > 98%　角形系数 < 1.3
灼烧减量 < 0.5%　含泥量 < 0.3%
含水量(干砂) < 0.2%　耐温 > 1700℃

地址:福建省晋江市金井　电话:0595-85332410 85332410　传真:0595-85331410　www.rxsgy.com　E-mail:rxsgy@163.com