

冷喷涂技术及其在油气装备中的应用展望^{*}

祝效华 杨眉 刘清友 黄本生 童华

(西南石油学院)

祝效华等.冷喷涂技术及其在油气装备中的应用展望.天然气工业,2004;24(12):80~81

摘要 随着我国油气资源勘探开发难度的不断加大,复杂地层、深井等特殊环境对油气钻探装备及工具提出了更高的要求。特别是如何进一步提高井下钻具的强度、耐磨性等是当前石油天然气工业所面临的一些关键技术问题。为此,文章介绍了表面改性工程中新兴的冷喷涂技术的原理及研究进展,冷喷涂技术可获得低氧化物含量、低内应力、高硬度、大厚度涂层,且其操作性强,成本低。并结合当前油气资源勘探开发的特点,讨论了冷喷涂技术在油气钻探装备和工具中的应用前景。

主题词 钻井 冷喷涂 油气装备 应用前景

一、冷喷涂技术简介

冷喷涂技术是表面改性研究的一个重要分支。20世纪80年代中期,前苏联科学院在用示踪粒子进行超音速风洞试验时发现,当粒子的速度超过某一临界速度时,示踪粒子对靶材表面的作用从冲蚀转变为加速沉积,由此 Alkimov A P, Papyrin A N 等人在1990年提出了冷喷涂的概念^[6];1995年 Papyrin A N 在美国召开的全美热喷涂年会上与美国学者开始联合发表了相关研究成果;2000年在加拿大召开的国际热喷涂会议上几篇来自俄罗斯、美国、德国和日本的与会议主题“背道而驰”的冷喷涂论文^[5,7,9],引起了国际上的广泛关注,并使冷喷涂技术逐渐成为表面工程的一个研究热点。冷喷涂是基于空气动力学原理的一种喷涂技术^[1,6,8],其原理如图1所示。冷喷涂过程是利用高压气体通过缩放管产生超音速流动,将粉末粒子从轴向送入高速气流中,粒子经加速后,在完全固态下撞击基体,通过较大的

塑性流动变形而沉积于基体表面形成涂层。

喷涂粒子是形成涂层,还是对基体产生喷丸或冲蚀作用,取决于很多因素,其中主要是取决于粒子撞击前的速度^[2]。对于一种材料存在一个临界速度,低于该速度将发生冲蚀作用,超过该速度则形成涂层,速度过高且基体很薄则发生穿透现象。因此,控制喷涂粒子的速度是冷喷涂技术的关键。影响喷涂粒子飞行速度的主要因素包括以下几个方面:超音速喷管的几何形状、工作气体的种类、工作气体的压力和预热温度及粒子的大小与密度等。

冷喷涂技术的气体压力一般为1.5~3.5 MPa;预热温度一般为100~600℃;粒径通常小于40 μm;速度范围为500~1000 m/s;喷涂距离为5~25 mm。工作气体一般为N₂和He,He比N₂的加速效果好,但使用N₂成本低。

冷喷涂技术的主要优点:①适用范围广,能够在不同的基体材料上喷涂金属、合金、塑料和合成材料;②加热温度较低,涂层基本无氧化现象,相变少,能够较好地保留最初粒子的物性,适用于纳米、非晶等对温度敏感材料,Cu、Ti等对氧化敏感材料,碳化物复合材料等对相变敏感材料的喷涂;③涂层基体结合紧密,由于喷涂温度低,涂层对基体的热影响很小,使得涂层与基体间的热应力减少,并且冷喷涂层层间应力较低,且主要是压应力,有利于沉积较厚的

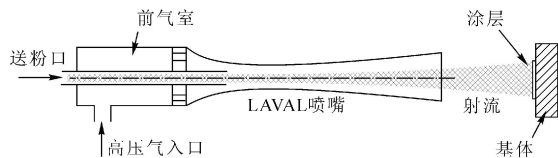


图1 冷喷涂原理示意图

^{*} 本文得到石油科技中青年创新基金项目“纳米技术在牙轮钻头中的应用”和西南石油学院青年教师基金资助课题“纳米材料在牙轮钻头润滑系统中应用研究”的资助。

作者简介: 祝效华,西南石油学院2002级博士研究生;主要从事杆柱力学、井眼轨迹预测与控制理论及其仿真方法等方面的研究工作。地址:(610500)四川成都市西南石油学院博2002级。电话(028)83030203。E-mail:zxhth113@sohu.com

涂层;④提供了高密度、高硬度的冷加工微结构;⑤设备相对简单,喷涂粒子可回收使用。

冷喷涂技术的主要缺点:适用于喷涂的粒子直径范围比较小。

二、冷喷涂技术的研究进展

近年来,国内外的研究者研制了喷涂装置,通过大量喷涂试验研究了涂层组织结构、性能、沉积行为特点,还开展了喷涂装置及工艺参数的优化研究。

俄罗斯、美国、德国、中国、日本等国的科研机构 and 高校得到国家和企业的资助开展了较多的试验研究。研究者们探讨了影响冷喷涂沉积特性的因素:气体的压力、温度、气体的种类、粉末的种类与粒度以及喷枪结构等,得出了两个主要影响因素即气体压力和气体温度对粒子速度的影响规律,粒子速度的大小决定了其沉积特性;2001年 Vlcek J, Huber H 等研究了几种典型材料(Cu、Fe、Ni、Al)的临界速度;文献[4]观察了 Al 基 Cu 涂层的断面组织,发现一般冷喷涂制备的涂层组织较致密、气孔率低;研究者们还研究了涂层性能:冷喷涂涂层的微观硬度高(文献[5]的作者在 Al 基上喷涂 Ti,得到的涂层微观硬度 125 HK 高于 Ti 块材的微观硬度 100 HK)、导电性好(文献[7]的作者通过试验得到 Cu 涂层的电阻率约为 $2.4 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 高于纯铜的 $1.7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)、结合强度较高(文献[10]中测试了 Cu、Fe、Al 涂层的结合强度,涂层的结合强度在 68~82 MPa)、耐磨性较好(文献[1]中测试的 2618Al 基 Ni-Al 青铜耐磨涂层的平均磨损率为 $7.53 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{m}$)。文献[1]通过后热处理使涂层内再结晶从而改善涂层性能。

近一年多来,国内的一些学者开始通过计算机仿真的手段研究涂层的沉积特性、结合程度^[1],并模拟了不同喷管几何形状、不同工作压力和预热温度及不同粒径下的射流流场和喷涂流速,并以此为基础开展了冷喷涂装置的优化设计^[4]。笔者认为对于冷喷涂这样一个新兴技术,在一定物理试验的基础上开展计算机仿真研究将会促进冷喷涂技术的开发和研究进程。

三、应用展望

由文献[2]知,冷喷涂技术可获得低氧化物含量、低内应力、高硬度、高耐磨性,大厚度涂层,可广泛应用于航空航天、石油、化工、汽车、造船等工业。冷喷涂技术在油气装备中尤其具有发展前景。当前油气勘探开发已经进入后期、深部开采阶段,钻遇的

地层越来越复杂,地层硬度越来越高,对机械装备特别是井下工具的强度、耐磨性提出了更高的要求。新兴的冷喷涂技术可应用于诸多油气装备及工具的性能改进中,降低内应力,提高硬度和耐磨性等。例如,可应用于钢齿钻头的齿面强化,牙轮钻头轴承的表面强化,钻头保径部分材料强化,钻杆柱(钻杆、钻铤、稳定器)、套管柱及接头的强化及表面改性,抽油杆接头强化,泥浆泵滑动件耐磨性改进,地面装备旋转部件强化及表面改性,还可以用于油气管道及接头表面改性,以提高耐腐蚀性,以及提高催化裂化提升管热电偶的耐磨性等等。

四、结束语

冷喷涂技术正处于从开发和研究向工业化应用转化阶段,与实际应用尚有距离^[3],尚需要国家、企业单位、高校和研究院所的大力协作,加强理论基础和产业化研究。因此,吸取冷喷涂技术最新的理论研究成果,结合当前石油天然气勘探开发的特点,开展冷喷涂技术在油气装备及工具中的应用研究,必将提升油气装备及工具的性能,从而促进油气勘探开发进程。

参考文献

- 1 李文亚,李长久.冷喷涂特性.中国表面工程,2002;54(1)
- 2 梁秀兵,徐滨士.先进的冷喷涂技术.中国设备工程,2001
- 3 张秋平.冷喷涂技术.飞航导弹,2003;(9)
- 4 王以飞,王晓放等.冷喷涂工艺射流过程的数值模拟研究.表面技术,2003;32(1)
- 5 Karthikeyan J, Kay C M, Lindeman J *et al.* Cold spray processing of titanium powder. Proc of 1st ITSC 2000, 2000
- 6 Alkimov A P, Kosarev V F, Papyrin A N. A method of cold gas dynamic deposition. Dokl Akad Nauk SSSR, 1990;315(5)
- 7 McCune R C, Donlon W T, Popoola O O *et al.* Characterization of copper layers produced by cold gas-dynamic spraying. Proc of 1st ITSC 2000, 2000
- 8 Gilmore D L, Dykhuizen R C, Neiser R A *et al.* Particle velocity and deposition efficiency in the cold spray process. Journal of Thermal Spray Technology, 1999;8(4)
- 9 Kreye H, Stoltenhoff T. Cold spraying — a study of process and coating characteristics. Proc of 1st ITSC 2000, 2000
- 10 Van Steenkiste T H, Smith J R, Teets R E *et al.* Kinetic spray coatings. Surface and Coatings Technology, 1999;111