

仪表技术

新型纳米复合陶瓷材料在纯水比例溢流阀上的应用与研究

徐文震

(湖南省重型离合器有限责任公司,永州 425100)

摘要 介绍一种纯水液压比例溢流阀的结构;对其工程材料以及材料表面的加工技术进行研究分析,找出适合比例溢流阀芯和阀套的材料,并确定为新型纳米复合陶瓷材料,并对这种材料进行力学分析。得到影响材料强度和韧性的因素,为改善纯水液压元件的材料性能提供一定的理论依据。

关键词 纯水比例溢流阀 纳米复合陶瓷 表面工程技术 性能分析

中图法分类号 TH137.521; **文献标志码** B

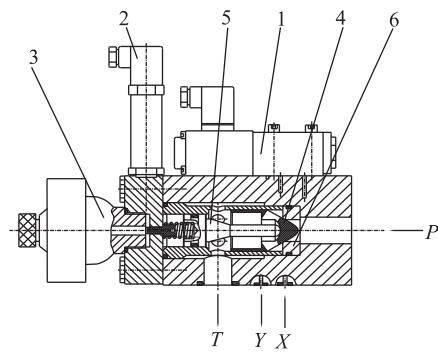
水压传动技术不仅具有液压技术的共性优点,又具有无污染、安全、节省能源、经济性好、动态性能好、系统效率高等突出的特点,符合机械工业进行绿色制造的可持续性发展的方向^[1]。

压力控制是液压技术中一个重要的研究方向,溢流阀作为液压系统中必不可少的压力控制元件,将系统的压力稳定在调定值是其主要作用之一。电液比例溢流阀采用比例电磁铁代替了手动的弹簧力调节组件,弹簧的预压缩量正比于输入电信号,使溢流压力正比于输入电信号,实现对压力的比例控制。由于纯水的黏度小、润滑性差、有气蚀破坏和腐蚀破坏,因此对纯水液压元器件要求比较高。目前,纯水和海水液压传动有很大发展,已制成系列的液压元件。所用材料主要是特种塑料、陶瓷、不锈钢等。要解决的问题主要是优良性能的材料、加工及特种设计,纯水液压元器件在材料上还有很大的发展潜力。

1 纯水液压比例溢流阀的结构和工作原理

纯水液压比例溢流阀的结构如图1所示。工作原理为:先导腔的压力由比例阀1进行调节,蓄能器

3维持先导腔的调定压力,从而调节主阀口的压力。当系统压力超过蓄能器维持的压力时,压力传感器发出信号使比例换向阀换向,先导阀腔压力降低,主阀在外界压力作用下主阀开启使P口与T口接通^[2]。



1—比例换向阀,2—压力传感器,3—蓄能器,

4—阀芯,5—控制杆,6—阀座

图1 纯水液压比例溢流阀的结构

2 纯水液压比例溢流阀对材料的要求

由于比例溢流阀具有良好的静特性和适当的动态特性,以及抗污染性较好、工作可靠、价格低廉,因此在生产中得到广泛应用。但是,比例溢流阀的阀口在液压回路中要经常地打开或关闭来调节进口的压力,因此阀芯受纯水冲击的频率较大,

阀芯的温度较高,阀芯和阀套之间的摩擦较大,在高频率的冲击下产生振动的几率也较大。这样会直接影响纯水比例溢流阀的稳定性。因此比例溢流阀对阀芯和阀套的要求较高。水压阀类元件中阀芯和阀套的材料选择主要考虑气蚀和腐蚀,另外还要从摩擦学的角度出发考虑摩擦副对偶件之间相互的减阻耐磨性等。从目前国内外水压元件的摩擦副选材来看,比较成功的摩擦副配对有:塑料—金属、金属—陶瓷、陶瓷—陶瓷等^[3]。水介质的腐蚀、气蚀对阀的影响较大,解决此问题要从以下两个方面入手:

(1) 合理选材 合理选择适用于纯水介质下的具有抗腐蚀性能的金属和非金属材料。工程陶瓷、纳米复合材料、不锈钢等金属或合金都具有很高的抗腐蚀性能。

(2) 表面处理 在金属表面覆盖一层保护膜,将其与周围的腐蚀环境隔开,常用表面喷涂、电镀等技术。

3 适用工程材料分析及纯水液压比例溢流阀材料的选取

3.1 工程材料分析

纯水液压比例溢流阀各主要零件的材料需要具有良好的自润滑性能、抗腐蚀和抗气蚀性,当前可用于纯水比例溢流阀的工程材料有金属材料、工程塑料、工程陶瓷以及各种复合材料^[4]。

3.1.1 金属材料

金属材料主要含有不锈钢、各种有色金属及其合金,和表面处理技术相互结合,可用于纯水液压元件中的主要承载零件。

3.1.2 工程塑料

工程塑料除了耐蚀耐磨性好外,还具有摩擦系数小、吸振性能好、弹塑性好、抗冲击、自润滑强、抗疲劳强、无毒无污染等。但是也有其缺点,与金属相比,在强度、硬度及抗冲击等方面还有不足,热稳定性差、具有吸水性,不可二次加工。

3.1.3 工程陶瓷

陶瓷材料(主要由Al₂O₃和SiO₂组成)由于硬度高,对高温、水和其他化学介质有抗腐蚀性以及特殊的光学和电学性能,已经得到了广泛应用。陶瓷在室温下几乎没有塑性,因此它具有较高的高温强度,但是陶瓷在受载时不发生弹性变形就在较低的压力下断裂,所以韧性极低或脆性极高。

3.1.4 复合材料

复合材料是一种新兴的工程材料,主要是为克服单一材料的某些弱点,充分发挥材料的综合性能,将一种或几种材料用人工的方法均匀地与另一或几种材料结合而成的一种工程材料。

3.2 材料的表面工程技术^[5]

表面工程是利用物理化学以及机械等工艺方法,使工件表面获得所要求的成分、组织和性能,以提高产品质量的方法均匀地与另一或几种材料结合而成的一种工程材料。表面工程技术有以下几种。

3.2.1 热喷涂

热喷涂就是采用特定的热源将喷涂材料加热熔化或软化,并借助自身动力或外加气流将熔滴加速,以一定的速度喷射到表面经过净化或粗化形成涂层的工艺方法。热喷涂技术使得零件的加工表面获得多种不同的性能,例如:耐磨损、耐腐蚀、耐热、润滑和抗氧化等性能,对基体材料的组织的性能的影响小。其基本过程如图2所示。

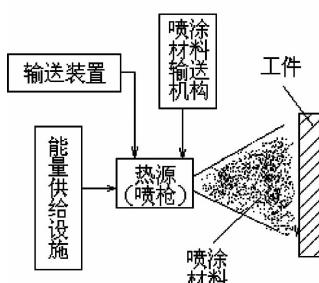


图2 热喷涂基本流程

3.2.2 陶瓷涂层^[6]

陶瓷涂层是以氧化物、碳化物、硅化物、硼化物、氮化物、金属陶瓷和其他无机物原料,用各种方法涂敷在金属等基材表面而使之具有耐热、耐蚀、

耐磨以及某些光、电等特性的一类涂层。

3.2.3 离子注入^[7]

离子注入是将原子离子化后，在电场中获得高能量，强行注入材料表面层，从而改变其表面成分与性能的方法。经离子注入后可大大改善机体的耐磨性、耐蚀性、耐疲劳性和抗氧化性。

此外，还有激光表面改性，气相沉积技术，电镀、化学镀、化学热处理、热浸镀等表面处理。

3.3 纯水比例溢流阀材料的选取

综上所述；阀芯和阀套选择纳米复合陶瓷作为材料。陶瓷具有硬度高、耐磨性、耐高温、化学稳定性好等优点，但是脆性是陶瓷材料难以克服的弱点，通过纳米化，易碎的陶瓷可以具有和塑料一样的韧性，即为纳米陶瓷基复合材料。纳米陶瓷复合材料是纳米材料的重要组成部分，其具有耐高温、硬度高、塑性强、耐腐蚀耐磨损的性能，还拥有高矫顽力、高磁化力、磁矩以及光吸效应，是纯水液压的新型工程材料。

4 纳米复合陶瓷的性能分析

将纳米碳化硅用来补强 Si_3N_4 陶瓷，使力学性能在 Si_3N_4 陶瓷的基础上有了显著改善。国内外研究都表明在陶瓷基体中引入纳米分散进行复合，可使材料的力学性能得到极大改善，其中最突出的作用有三点：第一，大幅度提高断裂强度；第二，显著提高断裂韧性；第三，明显改善耐高温性能。同时，纳米复合也能提高材料的硬度、弹性模量和抗热振、抗高温蠕变等性能。图 3 为不同氧化物陶瓷中引入一定量纳米颗粒复合后，断裂强度、耐高温性能提高。图 4 为纳米 $\text{SiC}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合材料中纳米 SiC 含量对复合陶瓷强度和韧性的影响。图 5 和图 6 是 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}/\text{ZrO}_2$ 三元复合系在 Al_2O_3 (10%) SiC 复合陶瓷中加入不同体积分数的 2.5Y-TZP ($2.5 \text{ mol Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$)，发现 ZrO_2 (2.5Y) 的加入可使 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ 强度和断裂韧性均有所改善。不同系统通过纳米复合后性能的改善，见表 1。可以看出材料的强度和韧性得到很大改善（可提高 2~4 倍），

其耐热温度也有显著提高^[8-10]。

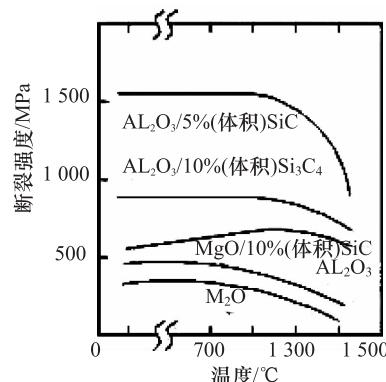


图 3 氧化物基纳米复合陶瓷断裂强度与温度的关系

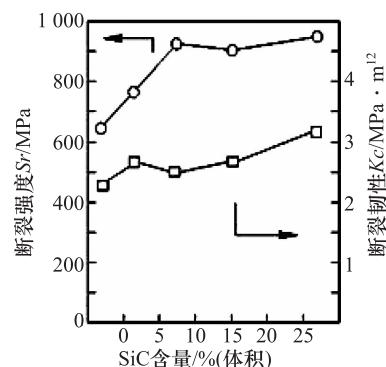


图 4 断裂强度和断裂韧性 K_c 与 SiC 含量的关系 ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ 系统)

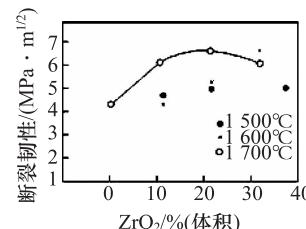


图 5 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}/\text{ZrO}_2$ 中 ZrO_2 含量与断裂韧性的关系

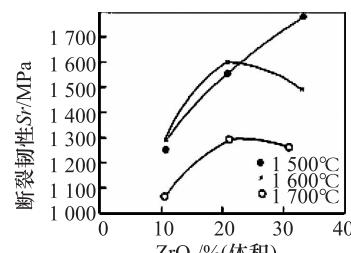


图 6 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}/\text{ZrO}_2$ 中 ZrO_2 含量与断裂强度的关系

表1 纳米级复合陶瓷力学性能的提高

组成系统	断裂韧性 /(MPa · m ^{1/2})	强度/MPa	最高使用 温度/℃
Al ₂ O ₃ /SiC	3.5~4.8	350~1 520	800~1 200
Al ₂ O ₃ /Si ₃ N ₄	3.5~4.7	350~850	800~1 300
MgO/SiC	1.2~4.5	340~700	600~1 400
Si ₃ N ₄ /SiC	4.5~7.5	850~1 400	1 200~1 500

在陶瓷中有许多问题尚待解决,例如,像 Si₃N₄ 和 SiC 这类非氧化物陶瓷,由于烧结助剂的添加,在高温时导致晶界软化而引起慢裂纹扩展,使高温力学性能恶化。而对于像 Al₂O₃、MgO 这类氧化物陶瓷,其强度和韧性较低,高温力学性能和抗热振性也较差。

5 结论

水液压技术作为一种新型现代驱动技术,已成为液压技术创新的重要方向之一。电液比例溢流阀调压系统可进行压力无级、连续调节,并且可通过电气控制使每一级压力快速、平稳转换提高工作质量。对于其材料,随着纳米材料、纳米技术与表面工程的不断地发展,发展成了新型的纳米表面工程技术。通过零件表面自身纳米化及对零件表面涂覆、表面改性或多种表面技术复合处理,改

变固体金属表面的形态、化学成分,组织结构和应力状况,以获得所需表面性能,是纯水比例溢流阀的一种新型表面处理技术的尝试^[11]。

参 考 文 献

- 1 刘 轶. 水压比例溢流阀的研究. 武汉:华中科技大学, 2007; (5):25—26
- 2 任海勇,袁锐波,李红星. 一种纯水比例溢流的发口流道分析及改进. 流体传动与控制,2009;(4):28—29
- 3 弓永军 周 华,杨华勇. 阀芯结构对纯水溢流阀抗汽蚀特性的影响研究. 农业机械学报,2005;8:50—54
- 4 王 东. 应用与水液压元件的新型材料. 现代零部件,2005;(8): 34—36
- 5 徐滨士,刘世参,朱绍华. 表面工程. 北京:机械工业出版社,2000: 102—121
- 6 郭振声,杨明安. 现代表面工程技术. 北京:机械工业出版社, 2007: 207—249, 371—469
- 7 钱苗根,姚寿山,张少宗. 现代表面技术. 北京:机械工业出版社, 1999: 159—163, 211—216, 242—248
- 8 赵恩刚,吴张永,王 强. 陶瓷基复合材料在纯水液压传动中的应用. 流体传动与控制,2007;(6): 1—2
- 9 郑齐辉. SF型复合轴承材料. 北京:设备管理与维修,2007; (11):20—21
- 10 徐滨士,刘世参,朱绍华. 纳米表面工程. 北京:化学工业出版社,2004;1: 86—98
- 11 唐向阳,郑华文,吴张永,等. 纯水液压系统的现状与未来. 液压与气动,2000;(4):5—6

New Nano-composite Ceramic Materials in Water Proportional Relief Valve, and Research on the Application

XU Wen-zhen

(Heavy Clutch Co. Ltd., in Hunan Province, Yongzhou 425100, P. R. China)

[Abstract] A water hydraulic proportional relief valve structure is introduced, its construction materials and surface processing technology are researched and analysed. Suitable proportional relief valve spool and valve cover material are identified, and identified as new nano-composite ceramic materials, and the mechanical analysis of this material. The factors of material strength and toughness in order to improve the material properties of water hydraulic components to provide a theoretical basis are obtained.

[Key words] water proportional relief valve nano-composite ceramics surface engineering technology performance analysis