

用于油田抽油泵滑动密封的磁性液体研究

孙维民, 金寿日, 李志杰, 董星龙

(沈阳工业大学超微粒子研究室, 辽宁, 沈阳 110023)

摘要:采用直流电弧等离子体法制备了铁、镍、钴及其合金的磁性超微粒子(UFP), 平均粒度小于100nm。利用金属或合金超微粒子, 选择适当的表面活性剂和载液, 制备了高粘度磁性液体密封材料(MF), 常温(25℃)粘度为(2.6~3.8)×10⁵mPa·s, 高温(70℃)粘度为(1.5~2.2)×10⁵mPa·s, 室温下饱和磁化强度为FeMF 403~641G/g, NiMF151~188G/g, Fe-NiFM442~691G/g。使用高粘度磁性液体密封材料和具有补偿磁流体功能的密封器件, 实现了对抽油泵的防泄漏密封, 提高泵效20%左右, 延长了泵的运行周期。

关键词:超微粒子; 磁性液体; 粘度; 滑动密封; 抽油泵

中图分类号:TH136

文献标识码:A

文章编号:1008-5548(2001)05-0036-03

自从1956年Pappell^[1,2]用湿式机械粉碎法制出实用的Fe₃O₄磁性液体以来, 磁性液体及器件的产业化已有30多年的历史。磁性液体已广泛应用于密封技术、传感技术、阻尼技术和精密轴承技术等领域^[3], 全世界每年都有数以万计的磁性液体元器件上市。磁性液体密封是磁性液体的产业化过程中最早出现的技术, 其应用范围从真空密封、气体密封扩展到液体密封。密封介质为液体时, 磁性液体密封的稳定性和持久性(和气体介质比较)明显减小, 因为磁性液体和被密封的液体介质的分界面上, 两种液体彼此溶解或乳化, 磁性液体密封的寿命依赖于两种液体分界面上发生的许多物理现象和化学现象。由于液体密封在实用上的重要性, 国内外都重视研究液体的磁性液体密封技术^[4,5,6]。

抽油泵的磁性液体密封是利用磁场, 在柱塞与泵筒的间隙内形成磁性液体密封环来阻塞油液的一种密封。从密封介质讲是液体密封, 从运动形式讲是往复运动的磁性液体密封^[7]。油井的情况复杂, 对不同的油井, 原油中含水、含沙情况不同, 原油的粘度也不同, 如稀油、稠油、高凝油等。抽油泵工作于井下1000~2000m深处, 液体介质的温度高(约70℃), 而且柱塞的往复运动行程大。这些情况都增

加了应用磁性液体密封的难度。实际上, 磁性液体密封技术应用于油田抽油泵, 难于达到严格不泄漏的密封, 因为柱塞往复运动行程大, 密封间隙很难保持严格不变, 而且磁性液体也有散失。但是通过磁性液体密封, 减少漏失量, 提高泵效是可能的。

磁性液体的一个重要性质是在磁场中能排挤出其中非磁性物体颗粒。由于这种性质, 在抽油泵中采用磁性液体密封技术后, 使泵具有一定的防沙功能。由于油井下面的原油中含有的细沙, 常常出现抽油泵的卡泵现象。磁性液体密封的防沙功能, 有利于防止卡泵现象, 可延长抽油泵的工作周期, 减少检泵次数。

1 磁性金属超微粒子的制备

磁性液体的主要成分是磁性超微粒子、表面活性剂和载液。本文采用了磁性金属超微粒子。用直流电弧等离子体法制备了铁、镍、钴及其合金的磁性超微粒子。超微粒子的形貌和粒度用透射电子显微镜(TEM)分析; 相组成用X射线衍射(XRD)分析; 氧含量用TC-436(LECO LTD)N/O分析仪测定; C及合金中Fe、Ni、Co含量用化学分析法测定; 单个粒子成分用能谱(EDAX)进行分析; 表面结构用X

表1 磁性金属超微粒子的测量数据

金属种类	气氛	平均粒度 /nm	O或C含量/%	饱和磁化强度 /Am ² ·kg ⁻¹
Fe	H ₂ +Ar	28.8	O-6.33	161.4
Fe	CH ₄	11.1	O-0.98 C-15.1	104.6
FeC	H ₂ +Ar	11.0	O-4.94 C-7.8	75.9
FeC	CH ₄	12.4	O-0.58 C-16.4	95.2
Ni	H ₂ +Ar	19.3	O-4.71	44.5
Ni	CH ₄	8.7	O-0.45 C-23	34.0
Fe-11.8Ni	H ₂ +Ar	26.2	O-3.33	181.2
Fe-78Ni	H ₂ +Ar	29.5	O-3.63	102.2
Fe-30Ni	CH ₄	6.5	C-20	55.6
Fe-78.5Ni	CH ₄	7.7	C-9.5	76.4
Co	H ₂ +Ar	16.3	O-0.49	154.1
Co	CH ₄	11.5	O-0.41 C-13	138.0
Fe-45Co	H ₂ +Ar	8.4	O-3.6	163.7
Fe-45Co	CH ₄	11.4	C-12	177.2

光电子谱(XPS)分析;磁化强度用振动样品磁强计(VSM)测量;样品的氧化行为和相变特性用差热分析(DTA)和热重分析(TGA)法进行分析。表1中列出若干磁性超微粒子的测试数据。下面将按粒子种类分述研究所得主要结果。

1.1 Fe和FeC超微粒子

Fe在H₂+Ar气氛中蒸发时产生 α -Fe粒子,而在CH₄中蒸发时生成碳化物和碳固溶体,即Fe₃C、 γ -Fe(C)和 α -Fe(C)超微粒子。FeC在H₂+Ar中蒸发时,生成碳固溶体 γ -Fe(C)粒子和 α -Fe(C)粒子,没有形成碳化物,而在CH₄中蒸发时,和Fe情形一样生成Fe₃C、 γ -Fe(C)和 α -Fe(C)粒子。在CH₄中生成的粒子表面形成碳保护膜,其氧含量远低于H₂+Ar中生成的粒子。在CH₄中生成的粒子的粒度分布窄。在H+Ar气氛中生成的粒子的饱和磁化强度较CH₄中生成的粒子要大。

1.2 Ni超微粒子

CH₄气氛中生成的粒子中不存在Ni-C固溶体和Ni的碳化物。H₂+Ar气氛中生成的Ni粒子表面形成Ni₂O₃膜,而在CH₄气氛中生成的Ni粒子表面包覆着厚度为几埃到几十埃的碳膜防止粒子氧化。在H₂+Ar气氛中生成的Ni粒子的饱和磁化强度比CH₄中的要大。

1.3 Fe-Ni合金超微粒子

(1)H₂+Ar气氛中生成的Fe-Ni合金粒子的成分与母合金成分有所偏离,其原因是母合金在感应炉中熔炼过程中均匀性不够,而且在用电弧蒸发时出现大颗粒溅射。Fe-Ni超微粒子都由马氏体 α (Fe, Ni)和奥氏体 γ (Fe, Ni)组成,随Ni含量增加奥氏体增加。Fe-Ni粒子表面上形成Fe氧化物和Ni氧化物,合金粒子的饱和磁化强度和Ni含量有关,粒子中Ni含量为5.24%(质量分数)时饱和磁化强度最大,达到181.2Am²/kg。

(2)CH₄气氛中生成的Fe-Ni合金粒子全都由 γ (Fe, Ni, C)组成,没有Fe-Ni的碳化物。粒子表面包覆着碳膜,碳含量与Fe含量有关,Fe含量大的粒子的碳含量也大。CH₄气氛中生成的Fe-Ni粒子的饱和磁化强度比H₂+Ar中生成的要小。

1.4 Co超微粒子

CH₄气氛中生成的Co粒子中没有Co的碳化物,和H₂+Ar中生成的粒子比较,CH₄气氛中生成的粒子的粒度小,粒度分布窄,氧含量相接近,饱和磁化强度较小。

1.5 Fe-Co合金超微粒子

(1)在H₂+Ar气氛中生成的Fe-Co合金超微粒子中体心结构和面心结构共存,粒子的氧化程度高于Co但低于Fe粒子,粒子的表面氧化层主要是Fe的氧化物。

(2)在CH₄气氛中蒸发Fe-Co合金时,形成固溶体Fe-Co(C)粒子和碳化物Fe₃C。CH₄的气氛提高了Fe-Co(C)粒子的抗氧化性,粒子的表面结构和H₂+Ar气氛中生成的Fe-Co粒子相似,由Fe的氧化物组成,不存在Co的氧化物。C原子的固溶可提高饱和磁化强度。

2 磁性液体的制备

磁性液体重要特性是饱和磁化强度和粘度,应用目的不同,对磁性液体性能的要求也不同。目前市场上出现的商品磁性液体的饱和磁化强度范围为5~1000G,粘度范围为1~10⁵mPa·s(27℃)^[3],性能范围很广,就是说,根据应用目的,对磁性液体性能的要求差异很大。根据我们现场应用试验,用于油田抽油泵密封技术的磁性液体应是高粘度磁性液体。这种高粘度磁性液体,在常温下实际上是磁性液浆,而在井下60~70℃的温度下具有流动性,理想的磁性液体(magnetic liquid)和磁性浆(magnetic paste)之间没有严格的界限^[1],在许多应用领域,磁性浆更为有效,更易为人们所接受。根据现场试用经验,抽油泵密封技术中使用的高粘度磁性液体的粘度要大于10⁵mPa·s,饱和磁化强度要大于40 π G/g,理论上的根据有待进一步探讨。

表2 高粘度金属磁性液体的性能

样品	UFP质量 分数/%	饱和磁化强度		粘度 /mPa·s	
		/emu·g ⁻¹	/G·g ⁻¹	25℃	70℃
FeMF41	20	32.08,	403	3.4	1.8
FeMF41-1	30	51.00,	641	3.8	2.0
MiMF57-1	20	12.00,	151	3.7	2.1
MiMF57-2	30	15.00,	188	3.8	2.2
Fe-10NiMF33	20	35.19,	442	2.6	1.5
Fe-10NiMF33-1	30	55.00,	691	3.2	1.9

我们利用金属或合金超微粒子,选择适当的表面活性剂和载液,制备了高粘度磁性液体,表2列出了若干例子,其中磁性是室温下测量的。铁以及铁-镍合金磁性液体的饱和磁化强度要大于镍磁性液体。磁性超微粒子的浓度增加时,饱和磁化强度增大,当浓度达到20%时,FeMF、Fe-NiMF的饱和磁化强度超过400G/g,而当浓度达到30%时,则超过

600G/g,表中列举的磁性液体在常温(25℃)下为粘度(2.6~3.8)×10⁵mPa·s的液浆,而在高温(70℃)时粘度下降为(1.5~2.2)×10⁵mPa·s,具有流动性。应当指出,磁性液体应用于高速旋转密封时,要求磁性液体具有低粘度,因为高粘度使磁性液体的温度升高,降低磁性。但磁性液体应用于抽油泵时,抽油泵的速度小,而且井下液体介质的温度基本恒定,因此可以使用高粘度磁性液体。

3 结 论

(1)用直流电弧等离子体法制备了磁性金属及合金超微粒子(UFP),平均粒度小于100nm。饱和磁化强度分别达到:Fe-UFP为161.4Am²/kg, Ni-UFP为44.5Am²/kg, Co-UFP为154.1Am²/kg, Fe-CUFP为95.2Am²/kg, Fe-NiUFP为181.2Am²/kg, Fe-CoUFP为177.2Am²/kg。

(2)用于油田抽油泵间隙密封的磁性液体应是高粘度磁性液体,这种高粘度磁性液体,在常温下实际上是磁性液浆,而在井下60~70℃的温度下具有流动性,磁性液体的粘度要大于10⁵mPa·s,饱和磁化强度要大于40πG/g。本文研制的高粘度磁性液体(MF),常温(25℃)粘度为(2.6~3.8)×10⁵mPa·s,高温(70℃)粘度为(1.5~2.2)×10⁵mPa·s,室温下饱和磁化强度为FeMF 403~641G/g, NiMF 151~188G/g, Fe-NiFM 442~691G/g。

[参考文献]

- [1]Scholten P C. How magnetic can a magntic fluid be [J]. J Magn Magn Mater, 1983, 39:99.
 [2]中腾人. 磁性流体材料的应用[J]. 粉体及粉末冶金, 1994, 41:104.

- [3]Raj K, Moslowitz R. Commercial application of ferrofluids [J]. Magn Magn Mater, 1990, 85:233.
 [4]Kurfess J, Muller K. Sealing liquids with magntic liquids [J]. Magn Magn Mater, 1990, 85:246.
 [5]解奉生. 氨水泵磁流体密封[J]. 润滑与密封, 1996, 3:19.
 [6]马秋成. 磁流体密封水的有关规律研究[J]. 润滑与密封, 1996, 5:35.
 [7]Evsin S I, Sokov N A, Stradomsky Y I, et al. Development of magnetic reciprocating mtion seals [J]. Magn Magn Mater, 1990, 5:253.

Investigation on Magnetic Liquid Used in Sliding Seal of Extraction Oil Pump

SUN Wei-min, JIN Shou-ri,
LI Zhi-jie, DONG Xing-long

(Research Lab of Ultrafine Particles,
Shenyang Polytechnic University, Shenyang 110023, China)

Abstract: Ultrafine Fe, Ni, Co, Fe-Ni and Fe-Co particles were prepared by arc-discharge in a mixture of (H₂+Ar) or the methane atmosphere. The mean particles size was less then 100nm. Magnetic liquid with high-stickness were produced by using the components of ultrafine metal particles, surfactant and foundation liquid. The coefficient of stickiness was in the range (2.6~3.8)×10⁵mPa·s at 25℃ and (1.5~2.2)×10⁵mPa·s at 70℃. The saturation magnetization were FeMF 403~641 G/g, NiMF 151~188G/g, Fe-NiFM 442~691G/g at room temperature. The efficiency of extraction oil pump were increased by 20% through using of high-stickness magnetic liquid.

Key words: ultrafine particles; magnetic liquid; stickiness; sliding seal; extraction oil pump

欢迎订阅

中国粉体技术(双月刊)

海内外人士了解中国粉体技术的窗口

中国粉体技术走向世界的桥梁和纽带

邮发代号:24-155 订阅处:全国各地邮局 定价:5元/期(全年30元)

自办发行地址:济南市济微路106号中国粉体技术杂志社

邮编:250022

电话/传真:0531-7154935