

隔膜泵阀件耐酸腐蚀性能研究

■ 刘鑫，金鑫，齐永丰

一、概述

隔膜泵是固液两相介质输送的关键设备，近年来随着用户要求不断提高，对隔膜泵的使用性能也提出了更高要求。阀件是隔膜泵设备上的关键件也是易损件，对隔膜泵的稳定运行及性能提高起着至关重要的作用。造成隔膜泵阀件损坏的原因十分复杂，涉及因素也很多，但普遍认为腐蚀是造成阀件早期损坏失效的主要因素之一。由于输送的介质常具有腐蚀性，同时阀件在工作中要承受介质的冲刷作用，因此在腐蚀和冲刷的双重作用下，很大程度上增加了阀件破损失效的可能性。

阀件的腐蚀属于典型的冲刷腐蚀，普遍认为在阀件受到冲刷腐蚀时，冲刷能加速传质过程，促进腐蚀产物脱离材料表面，并能促进氧化物到达材料表面加速腐蚀反应。同时冲刷在液固、气固相中的力学作用也将产生磨损破坏，若金属自身未能及时修复钝化则可能会构成腐蚀原电池进一步加速腐蚀破坏。而腐蚀能溶解掉材料表面的加工硬化层，软化材料外层，降低金属的疲劳强度，进一步加剧冲刷的破坏效

果，如在材料缺陷等处所出现的局部腐蚀，会造成微湍流的形成。同时，腐蚀也会弱化材料的相界面，如晶界、相界，使材料中耐磨的硬化相裸露，也进一步促进了冲刷破坏。综上可知，对阀件的冲刷腐蚀研究要精确测定研究冲刷和腐蚀在交互作用中各自起到的作用。这对隔膜泵阀件冲刷腐蚀防护措施的开发、减小冲刷腐蚀对隔膜泵阀件使用产生的破坏具有重大意义。

本文着重研究隔膜泵阀件冲刷腐蚀破坏中，腐蚀作用对阀件的影响。目前对一般介质中阀件的破坏机理研究较多，但随着隔膜泵应用领域的逐渐扩大，隔膜泵输送酸性介质更加广泛，因此研究隔膜泵阀件在酸性介质中的腐蚀破坏机理就显得十分重要。为提高阀件在酸性介质中的使用寿命，掌握阀件腐蚀破坏的机理，对隔膜泵用阀件进行了耐酸腐蚀试验。本研究采用酸浸法，对隔膜泵阀件进行腐蚀，研究在pH为5左右的弱酸性环境下，阀件硬度、金相、失重的变化。

二、研究方法及内容

阀件材质为20CrMnTi，锻造后经渗碳淬火处理，阀杆表面、

55°锥面硬度 $\geq 55\text{HRC}$ 。在阀件上不同位置截取试样3块，取样位置如图1所示。根据用户现场信息，配制模拟现场使用工况的腐蚀液。将稀盐酸配制成pH=5的酸液约3.5L，再加入50g的NaCl溶解其中。在浸泡腐蚀前测量2#和3#试样的尺寸，由于1#试样形状不规则，因此未做测量。称量3个试样的重量。测定3个试样的淬硬层深度和淬火面的表面硬度。记录以上数据用来与腐蚀后的结果进行对比，观察腐蚀变化。

按照国家标准浸泡腐蚀试验一般进行7天以上，因此为了观察随着腐蚀时间对阀件腐蚀的影响，将1#试样腐蚀45天，3#试样腐蚀30天，2#试样腐蚀15天。浸泡腐蚀过程中注意观察腐蚀液的变化，防止腐蚀液变质。

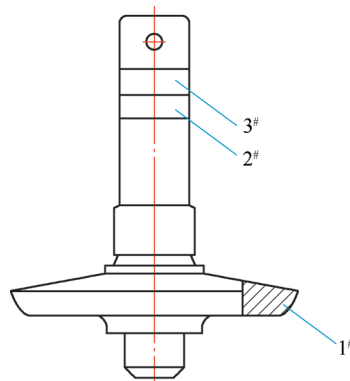


图1 试样取样位置示意

三、试验数据分析

将试样取出后，比较表面硬度、外形尺寸、金相组织、淬硬层深度、失重的变化。

1. 腐蚀形貌

经过浸泡后，用配制的清洗液及蒸馏水清洗试样表面，以方便观察腐蚀现象。3个试样都出现不同程度的腐蚀，从图2中可看出1[#]试样腐蚀最为严重，表面出现大量无法去除的腐蚀产物，且出现较多点蚀坑（1[#]试样表面的3个“大圆坑”为测量硬度时留下的痕迹，与腐蚀无关）。2[#]试样浸泡时间最短，因此腐蚀情况最轻，基本看不见腐蚀现象。虽然3个试样截面都出现了不同程度腐蚀，但是在淬火面上并没有出现明显的腐蚀现象。

将1[#]和3[#]试样的腐蚀截面进行抛光，在光学显微镜下观察腐蚀坑的形貌并测量腐蚀坑的尺寸，如图3所示，图中深色区域为蚀坑。蚀坑呈不规则的圆形，3[#]试样腐蚀坑最大直径约为0.4mm，1[#]试样腐蚀坑直径约为0.7mm。由于腐蚀液中含有Cl⁻离子，因此易出现点蚀现象。

2. 金相组织及淬硬层

测量3个试样在腐蚀前后的渗碳层及淬硬层深度，如表1所示。淬硬层和渗碳层的厚度按照国家标准^[1]中金相法测量。

从表1可明显看出，腐蚀时间最长的1[#]试样淬硬层减少最多，其次是3[#]试样。2[#]试样经过15天的腐蚀淬硬层厚度没有明显变化。说明如20CrMnTi这种低碳低合金钢在一定热处理条件

下，试样在酸液浸泡腐蚀开始阶段可以具有良好的耐蚀性，腐蚀现象并不严重。

图4为3个试样的显微组织金相图像。从图中可以明显看出淬硬层为针状马氏体。渗碳层为渗碳体、珠光体。3个试样的最表层都是淬硬层，再往里为渗碳层。这表明表面淬火时并没有将渗碳层完全淬硬。

3. 外形尺寸变化

腐蚀前后分别用游标卡尺测量2[#]和3[#]试样的直径和厚度尺寸，每个尺寸测量3次结果取平均值，用来对比评价。由于1[#]试样为不规则形状，无法进行有

效测量，故该项指标不对1[#]试样考察。测量结果如表2所示。

从表2中可以看到2[#]试样酸浸腐蚀前后，在试样的直径方向尺寸没有变化。然而在厚度方向2[#]试样在腐蚀后厚度减小了0.05mm。这说明2[#]试样在浸泡腐蚀15天后仅在厚度方向发生了明显腐蚀，在直径方向即使发生了腐蚀也不明显。对于3[#]试样在浸泡腐蚀30天后，在直径方向尺寸减小了0.06mm，在厚度方向上减小了0.16mm。这说明浸泡腐蚀30天后，3[#]试样在两个方向上都发生了明显腐蚀现象。

对比这两个试样在厚度方向腐蚀前后尺寸变化的测量结果可

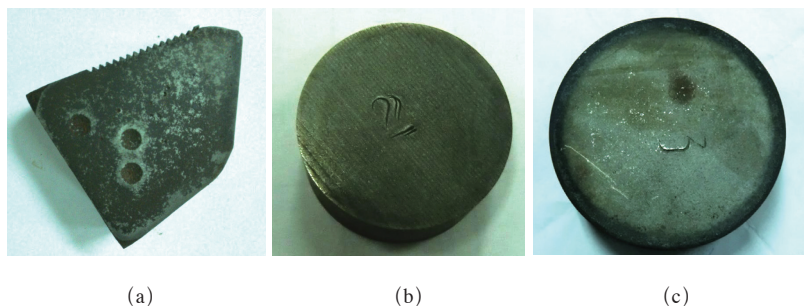


图2 试样腐蚀后宏观形貌

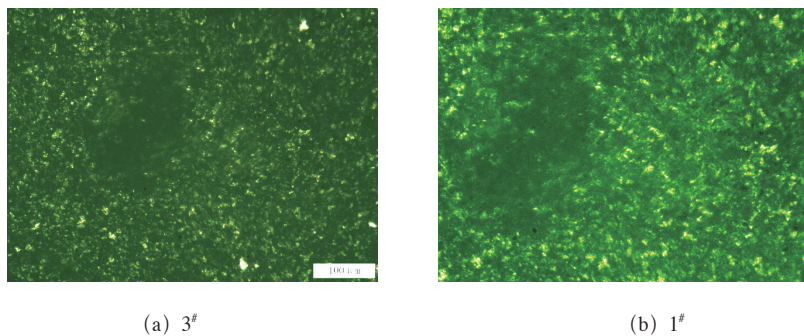


图3 1[#]、3[#]试样 (100×)

表1 试样渗碳层及淬硬层深度

试样编号	腐蚀前		腐蚀后	
	淬硬层/mm	渗碳层/mm	淬硬层/mm	渗碳层/mm
1	1	2	0.94	1.94
2	1	2	1	2
3	1	2	0.96	1.96

以发现，两个试样在厚度方向都存在被腐蚀的现象。2[#]试样由于腐蚀时间短，主要表现为截面厚度的减少。而3[#]试样腐蚀时间长，不仅在厚度方向尺寸减少，同时结合图2可以看到在3[#]试样截面上存在着非渗碳层的点蚀和渗碳层的轻微剥落。

对比淬硬层，2[#]试样基本没有腐蚀的现象，随着腐蚀时间的增加3[#]试样淬硬层开始减少。这个结果和显微镜下看到的淬硬层变化一致。

对于这两个试样在直径方向腐蚀前后尺寸变化的测量结果可以发现，2[#]试样由于腐蚀时间较短没有出现明显的尺寸变化，而3[#]试样随着腐蚀时间增长，在直径方向出现了尺寸减小。

无论2[#]试样还是3[#]试样都出现了厚度方向上的腐蚀比直径方向的腐蚀严重的现象。究其原因可能有两点，一是因为在厚度方向截面为线切割加工面，外圆面为表面淬火后精磨面，所以厚度方向截面处的表面相对粗糙，而粗糙的表面较容易被腐蚀；二是因为外圆面经表面淬火后，组织为均一的马氏体。而在厚度方向截面处，试样心部为珠光体+铁素体，次表面为渗碳体和珠光体，最表面为马氏体，这种多组织的存在也较易产生腐蚀^[2]。

4. 失重测量

采用失重法估算本试验3个试样的腐蚀速率。失重法是根据腐蚀前后质量的变化来测定金属腐蚀速度的方法。虽然目前测定腐蚀速度的方法有很多，如失重法、容量法、极化电极法、线性

极化等多种。但是最适合工业试验的方法还是失重法。

对本试验3个试样采用电子天平测量腐蚀前后试样重量的变化。并通过式(1)^[3]可以估算每个试样的平均腐蚀厚度，以此表示试样的平均腐蚀速度。

$$h=1000W/(S\rho t) \quad (1)$$

式中 h ——平均腐蚀速度 (mm/d)；

S ——试样原始表面积 (mm²)；

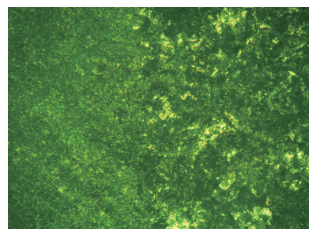
ρ ——材料密度 (g/cm³)；

W ——失重 (g)；

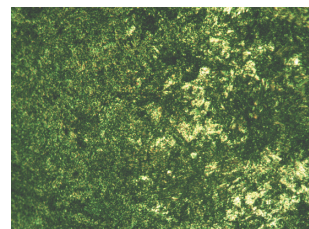
t ——腐蚀天数 (d)。

由于1[#]试样为不规则形状，原始试样表面积 S 和平均每面减少厚度 h 都存在一定测量偏差。结果如表3所示。

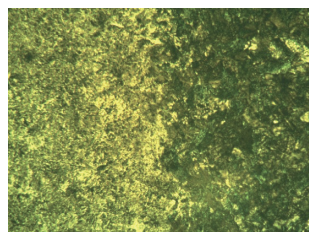
从表3中可看到，随着腐蚀时间的增加，试样的平均腐蚀速度出现先大后小的变化。究其原因随着腐蚀时间的增加，被腐蚀的试样上出现许多腐蚀产物，这些腐蚀产物附着在试样表面，隔绝试样表面与腐蚀液的接触，一定程度上减轻试样的腐蚀，故平均腐蚀速度有所下降。



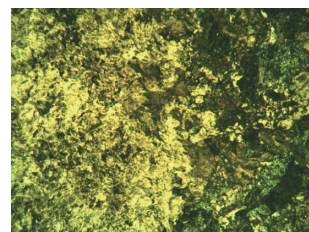
(a) 1[#] (200×)



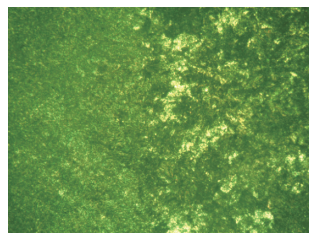
(b) 1[#] (500×)



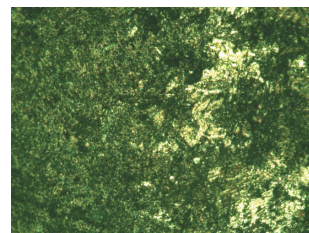
(c) 2[#] (200×)



(d) 2[#] (500×)



(e) 3[#] (200×)



(f) 3[#] (500×)

图4 腐蚀后3个试样淬硬层和渗碳层显微形貌

表2 腐蚀前后试样尺寸变化

编号	试样状态	外径/mm			外径平均值/mm	厚度/mm			厚度平均值/mm
2	腐蚀前	51.38	51.40	51.40	51.39	24.94	24.89	24.91	24.91
	腐蚀后	51.40	51.38	51.38	51.39	24.87	24.85	24.88	24.86
3	腐蚀前	51.40	51.36	51.44	51.40	24.81	24.78	24.78	24.79
	腐蚀后	51.36	51.32	51.36	51.34	24.65	24.62	24.62	24.63

5. 表面硬度测量

在3个试样腐蚀前后分别用便携式里氏硬度计（D头）测量3个试样的淬火面的表面硬度。比较被腐蚀之后试样的硬度变化，硬度测量结果如表4所示。为了方便比较，本研究将里氏硬度计测量出的硬度值，通过查找硬度对照表换算成了洛氏硬度。

从表4可以看出，2#试样腐蚀前后表面硬度减少最小。这是由于2#试样腐蚀时间短，表面淬硬层基本没有被腐蚀掉，所以硬度没有变化。对于3#试样，表4中数据显示存在表面硬度的明显降低，腐蚀后表面平均硬度已经为49.2HRC。这是因为3#试样的表面淬硬层被腐蚀掉而引起的硬度降低。结合表2所示试样直径方向尺寸变化，更能证明这点。1#试样由于腐蚀时间最长，所以硬度降低最为明显，腐蚀后表面硬度只有46.3HRC。此批隔膜泵阀件要求表面硬度应大于50HRC。因此可以看出腐蚀15天的2#试样仍满足硬度要求，而1#和3#试样已经不满足硬度要求了。

结合表1和表2的结果可以发现，随着腐蚀时间的增加，淬硬层逐渐被腐蚀，这就引起了试样表面硬度的降低。而表面硬度是影响阀件使用性能的最重要因素。从本试验的结果可以粗略估计腐蚀15天后此阀件的表面硬度降低明显，且不满足技术要求。

四、结语

本试验通过对阀件试样进行酸浸腐蚀，1#试样腐蚀45天，2#试样腐蚀15天，3#试样腐蚀30天。检验酸浸腐蚀前后阀件表面

硬度、金相组织、失重、外形尺寸的变化，得出以下结论：

（1）2#试样直径方向淬硬层基本没有明显腐蚀现象，3#试样直径方向淬硬层出现减少，1#试样直径方向淬硬层减少最多；

（2）在宏观形貌上，3个试样在直径方向淬火表面都没出现明显的腐蚀现象，在厚度方向截面上，2#试样没有出现明显腐蚀，1#和3#试样都出现了明显的腐蚀且有点蚀坑。

（3）随着腐蚀时间的增加，淬硬层逐渐减少，表面硬度开始下降，这种现象从腐蚀15天后开始明显，硬度下降将导致使用性能的降低。

（4）试验条件下发现，腐蚀最严重的部分发生在非渗碳面处。

（5）随着腐蚀时间的增加，平均腐蚀速度呈现先大后小的变化。

（6）通过试验发现，腐蚀较为严重的地方为具有多种组

织的厚度截面处。因此在实际使用时，具有多种组织且与介质接触的部分容易受到腐蚀，如阀锥55°面上下两个圆角处（阀锥55°面上端圆角5mm处有渗碳保护，下端圆角处不淬火，所以此两处存在不同组织）。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会.GB/T9450-2005 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定与校核[S].北京：中国标准出版社，2005.
- [2] 天华化工机械及自动化设计院.腐蚀与防护手册：耐蚀金属材料及防蚀技术（第2卷）[M].北京：化学工业出版社，2008：85-95.
- [3] 龚敏.金属腐蚀理论及腐蚀控制[M].北京：化学工业出版社，2008：60-66.

表3 试样平均腐蚀速度

编号	腐蚀前重量/g	腐蚀后重量/g	平均腐蚀速度/（mm·d ⁻¹ ）
1	188.2	182.7	0.0021
2	400.3	399.4	0.0014
3	399.5	396.3	0.0025

表4 试样淬火面表面硬度变化

编号	试样状态	硬度HL			平均硬度/HL
1	腐蚀前	775 (56.9)	782 (58.3)	762 (55.6)	773 (56.9)
	腐蚀后	680 (45.2)	677(45.2)	701(48.5)	686(46.3)
2	腐蚀前	772 (56.9)	753 (54.6)	762 (55.7)	762.3 (55.8)
	腐蚀后	756 (55)	722(50.8)	739(53)	739(53)
3	腐蚀前	772(56.9)	753(54.6)	762(55.7)	762.3(55.8)
	腐蚀后	723(51)	696(47.5)	708(49.1)	709(49.2)

作者简介：刘鑫、金鑫，中国有色（沈阳）泵业有限公司；齐永丰，中国有色（沈阳）冶金机械有限公司。

MW 20161017