

文章编号:1673-9981(2009)01-0060-05

NiCoCrAlY 涂层和 NiCr 涂层的抗腐蚀性能

刘英坤, 陈和兴, 邓畅光

(广州有色金属研究院, 广东 广州 510650)

摘 要:以镍基高温合金 GH907 为基体,通过低压等离子喷涂和超音速火焰喷涂技术制备了 NiCoCrAlY 涂层和 NiCr 涂层,并对样品进行了真空热处理.对热处理前后的涂层进行常温中性盐雾腐蚀及电化学性能的研究表明:热处理前后 NiCoCrAlY 涂层的抗腐蚀性能均优于 NiCr 涂层,热处理后 NiCoCrAlY 涂层和 NiCr 涂层的腐蚀等级都有所提高,出现腐蚀的时间推迟.

关键词:NiCoCrAlY 涂层; NiCr 涂层; 中性盐雾腐蚀

中图分类号: TG174.44 **文献标识码:** A

GH907 合金在 650 °C 以下具有较低的热膨胀系数、较恒定的弹性模量、较高的抗拉强度及良好的抗高压氢脆性能、抗冷热疲劳性能和焊接性能,主要用于制造航空发动机涡轮外环、压气机机匣和密封环等静止零件,使用温度一般在 650 °C 左右. GH907 虽然具有很多优异的性能,但它的耐海洋环境腐蚀性很差,大大缩短了服役周期,限制了其应用.本文利用热喷涂技术在 GH907 合金上制备了 NiCoCrAlY 涂层和 NiCr 涂层,并对涂层的各项性能进行了测试.尤其是对涂层的抗腐蚀性能,进行了长达 500 h 的中性盐雾测试,对涂层的抗腐蚀性能进行了分析.

MCrAlY 涂层(M=Ni, Co 或者 NiCo)是 20 世纪 60 年代发展起来的,它不仅具有良好的抗高温氧化和热腐蚀性能及较好的塑性^[1-3],而且涂层对基体合金机械性能的影响也比较小^[4-5],涂层厚度可以比渗铝层厚很多. MCrAlY 涂层的优点还在于它

对成分选择的多样性,即可以根据不同的工作环境和不同的基体材料选择合适的涂层成分.

盐雾是悬浮在大气中的含有氯化物的一种液体颗粒,主要存在于海洋或者沿海地区,由海风吹向内陆地区.这些盐雾覆盖到材料表面时,会对材料产生腐蚀,降低其使用寿命,因此,研究在自然大气环境下常温腐蚀对涂层性能的影响具有十分重要的意义.

1 试样制备与试验方法

1.1 试样制备

基体合金为 GH907,是一种以铁-钴-镍为基,用铌、钛沉淀强化的奥氏体高温合金^[6].该合金由北京钢铁研究总院高温材料研究所提供,尺寸为 190 mm×85 mm×1.45 mm.基体和涂层材料的化学成分列于表 1.

表 1 基体和涂层材料的化学成分

Table 1 The composition of matrix and coatings

w/%

材料	Ni	Co	Cr	Fe	Al	Ti	Nb	Y	Ta
基体	35~40	12~16	≤1.0	余量	≤0.2	1.3~1.8	4.30~5.2	—	—
NiCoCrAlY 涂层	余量	22~24	19~21	—	7.5~8.5	—	—	0.4~0.8	3.5~5.5
NiCr 涂层	80	—	20	—	—	—	—	—	—

收稿日期:2009-01-06

作者简介:刘英坤(1982—),女,河北晋州人,硕士.

采用 LPPS 工艺制备涂层,主要工艺参数为:走枪速度 300 mm/s,走枪间隔 15 mm,功率 43 kW,电压 70 V,电流 625 A,Ar 流量 65 L/min, H₂ 流量 4 L/min,喷距 250 mm. 喷涂完成后将样品切成直径 25.4 mm 的圆片以备测试,其中 NiCoCrAlY 涂层的厚度约为 80 μm, NiCr 涂层的厚度约为 60 μm.

1.2 试验方法

将样品放在井式电阻炉中进行真空热处理,真空度为 $2 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$ Pa,热处理温度为 950 °C,时间为 5 h. 热处理完成后将试样用线切割切成直径 25.4 mm 的圆片. 将所有测试样品的表面研磨、抛光,然后用封孔剂将非测试面封孔,再用油漆封孔.

根据 GB/T 10125-1997 进行常温盐雾腐蚀试验,腐蚀时间为 500 h,腐蚀液为 (50 ± 5) g/L 的 NaCl 溶液, pH 值为 6.5~7.2,盐雾箱的温度为 (35 ± 2) °C,试验采用 24 h 连续喷雾.

采用 JEOLJSM-5910 型扫描电镜 (SEM) 对中性盐雾腐蚀 500 h 后的试样表面和横截面的腐蚀形貌进行观察. 按照 GB/T 6461-1986 对盐雾试验后的试样进行等级评定.

2 试验结果与分析

2.1 热处理前后涂层盐雾腐蚀评级

图 1 是基体和热处理前涂层盐雾腐蚀的评级图. 从图 1 可知,基体经过 240 h 腐蚀后等级降到 0 级,说明基体的抗腐蚀能力较差; NiCr 涂层经过 500 h 腐蚀后等级降到 3~4 级,抗腐蚀能力大大降低; NiCoCrAlY 涂层经过 500 h 腐蚀后,腐蚀等级为 8~9 级,总体上仍然保持优异的抗腐蚀性能.

图 2 是热处理后涂层的盐雾腐蚀评级图. 从图 2 可以看出, NiCoCrAlY 涂层在经过 300 多小时腐蚀后,腐蚀等级降到 9 级,说明抗腐蚀性能较好. NiCr 涂层在不足 100 h 的时间里,腐蚀等级就下降到 5 级,说明抗腐蚀性能较差.

由图 1 和图 2 可知,经过热处理后, NiCoCrAlY 涂层出现腐蚀的时间由不足 100 小时推迟至 300 多小时, NiCr 涂层出现腐蚀的时间有所推迟,其腐蚀等级均有所提高.

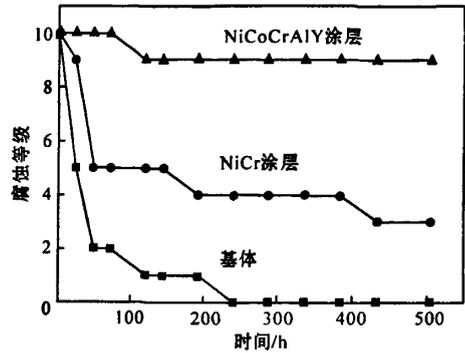


图 1 基体及热处理前涂层腐蚀评级图

Fig. 1 The corrosion grade of matrix and coatings

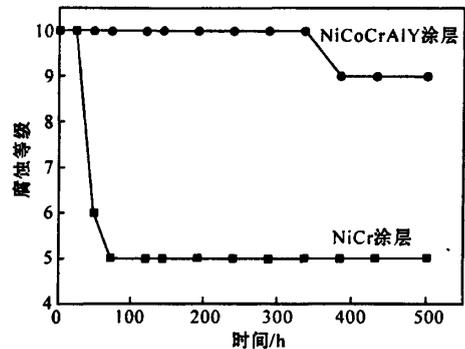


图 2 热处理后涂层腐蚀评级图

Fig. 2 The corrosion grade of heat-treatment coatings

2.2 热处理前后涂层盐雾腐蚀后的 SEM 形貌

图 3 为热处理前涂层和基体表面经中性盐雾腐蚀前后的 SEM 形貌. 从图 3e 可以看到,基体经过 500 h 的腐蚀后已经完全失效,出现了很多几微米宽的裂纹,且裂纹纵横交错,使基体产生腐蚀剥落,同时还可看到,基体表面聚集了很多腐蚀产物的颗粒. NiCr 涂层经过 500 h 腐蚀后(图 3d),表面出现了大量的腐蚀产物的细小颗粒,腐蚀产物堆积产生细小裂纹,使涂层剥落. 从图 3b,3c 可以看到, NiCoCrAlY 涂层经过 250 h 腐蚀后表面出现较浅的腐蚀坑(图 3b),经过 500 h 腐蚀后腐蚀坑变得较深(图 3c),但未出现裂纹. 在喷涂的状态下,粒子撞击到基体表面,形成一个扁平的薄片,涂层其实是由很多这样扁平状的薄片通过叠加形成的(图 3a),这势必会造成某些地方孔隙较多,涂层较薄. 在腐蚀的环境下,孔隙多、涂层薄的地方容易产生腐蚀坑.

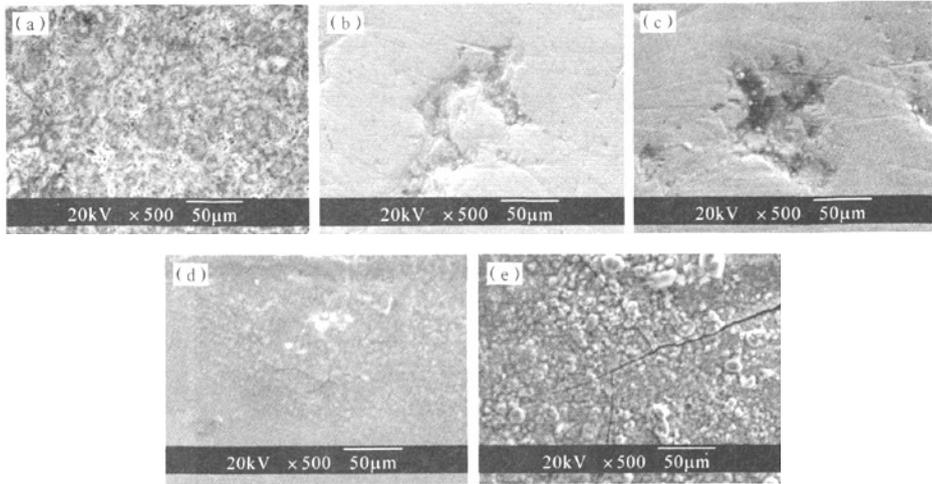


图3 热处理前中性盐雾腐蚀前后涂层和基体表面的 SEM 形貌

(a)NiCoCrAlY 涂层未腐蚀;(b)NiCoCrAlY 涂层腐蚀 250 h;(c)NiCoCrAlY 涂层腐蚀 500 h;
(d)NiCr 涂层腐蚀 500 h;(e)基体腐蚀 500 h

Fig.3 The SEM of the surface of matrix and coatings before or after corrosion before heat treatment

(a)NiCoCrAlY coatings before corrosion;(b)NiCoCrAlY coatings after 250 h corrosion;
(c)NiCoCrAlY coatings after 500h corrosion;(d)NiCr coatings after 500h corrosion;(e)substrate after 500h corrosion;

图4是热处理前中性盐雾腐蚀前后涂层和基体横截面的 SEM 形貌.从图4a可以看出,基体腐蚀500 h后,在表面产生的腐蚀产物向里面扩散,呈葡萄状,而且可以看到这些腐蚀产物上也有裂纹形成,腐蚀深度80~150 μm.从图4b可以看到,NiCr涂层出现深约10 μm的腐蚀坑.从图4c可以看到,

NiCoCrAlY涂层表面比较平整,仅出现一个腐蚀坑.与NiCr涂层相比,NiCoCrAlY涂层的孔洞小、数量少.由于较大较多的涂层孔洞容易使腐蚀液穿越涂层到达涂层与基体的界面,腐蚀基体,所以NiCr涂层的耐蚀性比NiCoCrAlY涂层差.

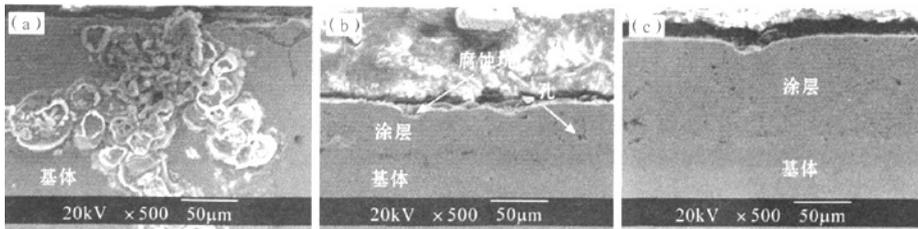


图4 热处理前500 h中性盐雾腐蚀后基体与涂层横截面的 SEM 形貌

(a)基体;(b)NiCr涂层;(c)NiCoCrAlY涂层

Fig.4 The SEM of cross-section of matrix and coatings after 500h corrosion before heat treatment

(a)substrate;(b)NiCr coatings;(c)NiCoCrAlY coatings

图5是热处理后腐蚀涂层表面的 SEM 照片.从图5a可看出,经过500 h腐蚀后,NiCr涂层表面出现了大量的细小腐蚀颗粒,腐蚀产物堆积产生细小

裂纹.从图5b可看出,NiCoCrAlY涂层表面没有裂纹,仅有几个腐蚀坑,这些腐蚀坑未对涂层造成破坏性影响.

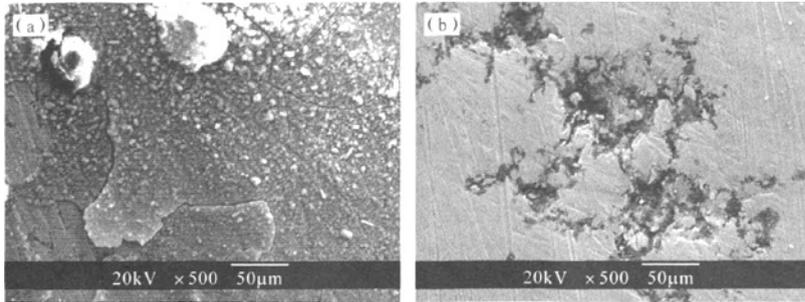


图 5 热处理后盐雾腐蚀涂层的表面 SEM 照片

(a)NiCr 涂层;(b)NiCoCrAlY 涂层

Fig. 5 The SEM of surface of the coatings after heat treatment and corrosion

(a)NiCr coatings;(b)NiCoCrAlY coatings

2.3 涂层的电化学分析

图 6 是热处理前涂层的电化学极化曲线. 从图 6 可知,基体的自腐蚀电位为-1.1 V,NiCr 涂层的自腐蚀电位为-0.85 V,NiCoCrAlY 涂层的自腐蚀电位为-0.75 V. 可见,基体的自腐蚀电位最负,NiCr 涂层次之,NiCoCrAlY 涂层的电位最正. 这从另一方面证实,基体的腐蚀倾向最大,NiCr 次之,NiCoCrAlY 涂层是最难腐蚀的. 根据在同一电位下,极化电流密度越大,该试样失去电子的倾向越大,越容易腐蚀的理论,可以推测,腐蚀过程中 NiCoCrAlY 涂层腐蚀最快,NiCr 次之,基体最慢.

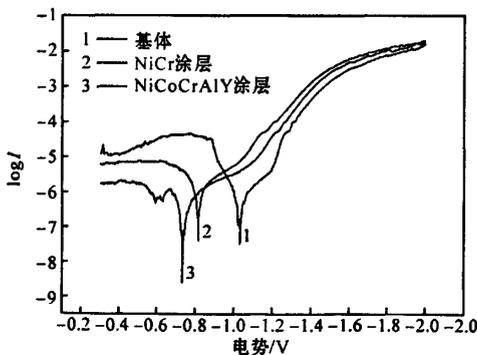


图 6 热处理前涂层的电化学极化曲线

Fig. 6 The electrochemical polarization curve of sprayed coatings

图 7 是热处理后涂层的电化学腐蚀曲线. 由图 7 可知,经过热处理后,NiCr 涂层的自腐蚀电位是-0.85 V,NiCoCrAlY 涂层的自腐蚀电位是-0.75

V. 说明 NiCoCrAlY 涂层的抗腐蚀性能优于 NiCr 涂层.

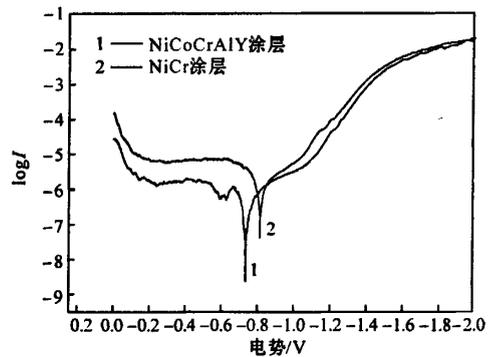


图 7 热处理后涂层的电化学极化曲线

Fig. 7 The electrochemical polarization curve of sprayed coatings

3 结论

经过热处理后,NiCoCrAlY 涂层出现腐蚀的时间由不足 100 小时推迟至 300 多小时,NiCr 涂层出现腐蚀的时间有所推迟,其等级均有所提高. 中性盐雾腐蚀实验表明,热处理前后 NiCr 涂层的腐蚀表面出现了大量的细小腐蚀颗粒、腐蚀坑及细小裂纹,而 NiCoCrAlY 涂层表面仅出现很少的腐蚀坑. 基体的自腐蚀电位为-1.1V,而 NiCr 涂层和 NiCoCrAlY 涂层在热处理前后的自腐蚀电位不变,分别为-0.85 V 和-0.75 V,说明基体的腐蚀倾向最大,热处理前后 NiCoCrAlY 涂层的抗腐蚀性能均优于 NiCr

涂层.

参考文献:

- [1] MOBARRA R, JAFARI A H, KARAMINEZHAAD M. Hot corrosion behavior of NiCoCrAlY coatings on IN738LC[J]. *Surface&Coatings Technology*, 2006, 201(6):2202-2207.
- [2] 项民, 张琦, 骆军华. 盐雾腐蚀对 NiCoCrAlY 涂层性能的影响[J]. *北京航空航天大学学报*, 2004, 30(10): 1017-1020.
- [3] TAYLOR T A, WALSH P N. Thermal expansion of NiCoCrAlY coatings[J]. *Surface&Coatings Technology*, 2004(177-178):24-31.
- [4] CZECH N, SCHMITZ F, STAMM W. Improvement of NiCoCrAlY coatings by addition of rhenium [J]. *Surface&Coatings Technology*, 1994(68-69):17-21.
- [5] TAYLOR T A, DAVID F, Bettridge. Development of alloyed and dispersion-strengthened NiCoCrAlY coatings [J]. *Surface&Coatings Technology*, 1996(86-87):9-14.
- [6] 马天军, 赵玉才, 郁蕾芸. 低膨胀 GH907 合金 700℃ 长期时效后的性能[J]. *钢铁研究学报*, 2003, 15(7):107-110.

The corrosion performance of NiCoCrAlY coating and NiCr coating

LIU Ying-kun, CHEN He-xing, DENG Chang-guang

(Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China)

Abstract: The parperation was based on GH907 supper alloy by LPPS and HVOF sprayed NiCoCrAlY coatings and NiCr coatings, and after parperation, the sample was heated for heat treatment. The coatings before and after heat treatment were tested by 500h neuter salt spray testing on normal atmospheric temperture and by electrochemical performance. The results showed the corrosion resistance of the NiCoCrAlY coating before and after heattreatment is better than the NiCr coating, and the corrosion grade of two coatings were increased after heat treatment.

Key words: NiCoCrAlY coating; NiCr coating; neuter salt spray testing