

高温、短时 Pd/Ti 之间相互扩散行为的研究

王浩楠^{1,2}, 李争显², 杨晨曦^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学, 陕西 西安 710055)

(2. 西北有色金属研究院, 陕西 西安 710016)

摘要: 为了研究高温下短时间 Pd/Ti 间的互扩散行为, 在 Ti 表面利用磁控溅射技术沉积了 Pd 膜层, 然后分别对 Pd/Ti 试样进行 500 °C/5 h, 550 °C/5 h, 600 °C/5 h 和 700 °C/5 h 高温处理, 用 XRD、SEM 和 EDS 研究合金层的相组成、微观组织和元素分布。研究发现: 当 Pd/Ti 试样经 500 °C/5 h 处理后, Pd/Ti 之间有极轻微的互扩散发生。当温度升高到 550 °C 时, Pd/Ti 间产生了连续的扩散层, 随着温度升高, 膜层之间的互扩散加剧。并且, 当温度升高到 700 °C 时, Pd/Ti 之间形成了相图中除 Ti₃Pd₅ 相和 Ti₃Pd 相以外的其余各化合物相。还分析了 Pd/Ti 界面扩散反应动力学。结果表明, 扩散层厚度的增加经历了一个由界面反应动力学控制到扩散控制的过渡。

关键词: 磁控溅射; Pd-Ti; 热处理; 相互扩散

中图分类号: TB43

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2015)07-1648-07

Ti-Pd 合金的研究可以追溯到 20 世纪 50 年代, 据日本 1956 年专利报道^[1], 平松刚毅研究了铂族元素(从 0.01%~35%) 的二元、三元、四元钛基合金的耐蚀性, 他发现铂族元素可以明显提高钛在盐酸中的耐蚀性能。M. Stern、H. Wissenberg^[2]继续进行了 Ti-Pd 合金的研究, 他们指出微量的铂族元素便可提高钛在盐酸和硫酸中的耐蚀性。由此, 以铂族金属中较廉价的 Pd 元素为添加元素, 建立了 Ti-Pd 合金。

众所周知, 钯和金、铂都属于贵金属, 虽然 Ti-0.2Pd 合金只含微量 Pd 元素, 但其昂贵的价格仍限制了 Ti-0.2Pd 合金的应用。为了降低成本, 国内外学者开展了许多研究工作。陈元儒^[3]采用反应离子束在钛表面镀 Pd 膜, 形成了耐蚀性能良好的防护层, 腐蚀速率比未处理的材料降低 1 个数量级以上; Fukuzuka Toshio 等^[4]在钛表面涂覆 PdO/TiO₂ 涂层, 其耐蚀性与 Ti-0.15Pd 合金相当; 陈风云^[5]研究的新型 PdO/TiO₂ 涂层材料, 提高了涂层结合力, 提高了焊接性能, 同时降低了成本, 已批量用于钛管材的表面处理上; Taki Kazuhiro^[6]采用大气热处理的方法在钛表面沉积 Pd 和 PdO 涂层, 耐蚀性与 Ti-0.15Pd 合金相当, 但易脱落; S. D. Barson^[7]采用脉冲等离子体技术在钛表面沉积 Pd, 合金层扩散到 1 μm 厚, 提高了耐蚀性, 其在 80 °C, 0.1 mol/L 的 H₂SO₄ 和 0.1 mol/L 的 HNO₃ 中浸泡 100 h, 质量损失低于 1%, 但膜层易脱落; Z. Werner^[8]采用脉

冲等离子束在钛表面进行 Ti-Pd 合金化, 合金层深度达 2 μm。李争显^[9,10]利用辉光等离子渗金属技术在钛表面制备出 Ti-Pd 合金层, 其耐蚀性能优良, 在室温, 80% H₂SO₄ 溶液中, 腐蚀速率仅为 0.682 mm/a, 是 Ti-0.2Pd 合金的 18.2%; 在室温, 30% HCl 溶液中, 腐蚀速率仅为 0.004 mm/a, 是 Ti-0.2Pd 合金的 12.5%。

上述国内外研究工作的主体思路是利用钛表面处理技术, 在钛材表面制备耐蚀的 Pd 层或 PdO/TiO₂ 层, 达到控制腐蚀的目的, 从而取代 Ti-0.2Pd 合金。然而, 上述研究工作制备的膜层薄, 且均易脱落, 耐蚀能力有限; 辉光等离子渗 Pd 技术虽然在钛表面形成了 Ti-Pd 合金层, 但工艺温度过高, 影响了材料的力学性能。为了探索一条膜层沉积-热扩散的技术路线, 有必要对不同温度下 Pd-Ti 2 种元素相互扩散的行为进行研究, 这对探究合金层的形成机理, 以期获得低成本、高性能的 Ti-Pd 合金层有着重要的意义。本研究采用磁控溅射技术, 在钛表面制备 Pd 膜层, 并分别在 500、550、600 和 700 °C 下进行 5 h 高温处理, 然后用 X 射线衍射 (XRD) 仪、扫描电子显微镜 (SEM) 和能谱 (EDS) 仪分析 Pd-Ti 2 种元素的互扩散行为。

1 实验

试样基体材料选用 TA2 工业纯钛, 尺寸为 Φ20 mm×4 mm。基体材料的力学性能符合 GB/T3621-94

收稿日期: 2014-07-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2012CB625100)

作者简介: 王浩楠, 男, 1989 年生, 硕士生, 西安建筑科技大学冶金工程学院, 陕西 西安 710055, E-mail: tanghuashicishe@163.com

标准的要求，化学成分符合 GB/T3620.1-94 标准，试样的实际化学成分为：Fe: 0.20%，Si: 0.12%，C: 0.02%，N: 0.03%，O: 0.2%，H: 0.013%，余量为 Ti。靶材选用钯含量为 99.995% 的高纯钯片。将试样表面用 600# 砂纸打磨，然后用 1000# 砂纸研磨，最后用绒布抛光，使其达到镜面要求。用清洗剂去油除污后，用超声波清洗，丙酮脱水，然后放入真空室中的工件架上。

钛表面 Pd 膜层的制备是在 ASP-800 型多功能离子镀设备上进行。针对沉积贵金属的特点，工件架设计成具有独立的公转和自转特性，使基体能很好收集等离子体中的贵金属离子，提高了沉积效率，节约了贵金属。另外，钛在高温下易与空气中的氧、氮等元素反应，生成钛的氧化物或氮化物。这些杂质对沉积贵金属膜有很大阻碍作用，因此，要求膜层沉积时的本底真空度尽可能高。

用 RigakuD/MAX2200 X 射线衍射仪分析表面合金层的结构；用 JSM-6460 扫描电子显微镜分析断面形貌；合金层中元素的含量用牛津的 X-Sight 能谱仪 (EDS) 检测。

2 结果与分析

2.1 Ti-Pd 二元相图的分析

图 1 是 Ti-Pd 系二元相图^[11]。由图可知，该二元系有 7 个化合物相，分别是：Ti₃Pd、Ti₂Pd、TiPd、Ti₂Pd₃、Ti₃Pd₅、TiPd₂、TiPd₃。综合不同学者对 Ti-Pd 系二元相图^[11-13]的研究，将各相的化学成分列于表 1。

从表 1 可以看出，由于 Ti-Pd 二元系有多个化合物相，且 Pd 元素相对原子质量较大，因此，相图中 Pd 富集侧的化合物相与相之间，Pd 元素的质量分数很接近。

2.2 沉积钯膜的断面形貌

对磁控溅射法沉积的钯膜层进行断面形貌分析，

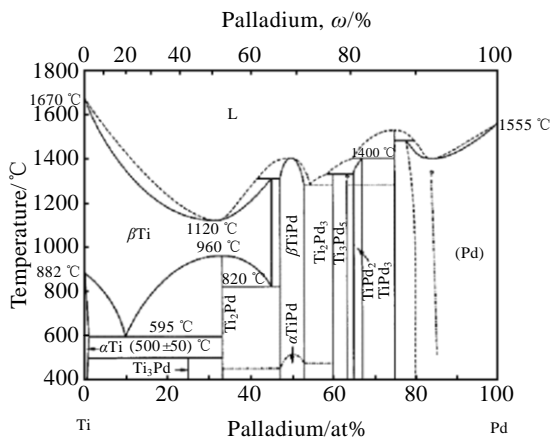


图 1 Ti-Pd 系二元相图

Fig.1 Binary phase diagram of Ti-Pd

表 1 Ti-Pd 系二元相图中各相的化学成分
Table 1 Chemical composition of compounds in the Ti-Pd system

Phase	Ti content, ω/%	Pd content, ω/%	Ref.
Ti ₃ Pd	57.44	42.56	[11,12]
Ti ₂ Pd	47.36	52.64	[11,12,13]
TiPd	29.34~32.77	67.23~70.66	[11]
Ti ₂ Pd ₃	23.08	76.92	[11,13]
Ti ₃ Pd ₅	21.26	78.74	[11,13]
TiPd ₂	18.14~19.5	80.5~81.86	[11,13]
TiPd ₃	13.04	86.96	[11,13]

结果如图 2 所示。从图中可以看出，Pd 与 Ti 基体的界面清晰，无扩散产生。沉积的 Pd 膜层在厚度方向上致密、均匀，与基体结合紧密，没有发现明显的缺陷，Pd 膜层的厚度为 4.5~4.8 μm。

为了使沉积的 Pd 膜层向 Ti 基体扩散，进而形成钛表面 Ti-Pd 合金层，分别对试样进行不同温度的高温短时间处理。

2.3 500 °C/5 h, Pd/Ti 间的互扩散行为

图 3 是 500 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面及 EDS 线扫描照片。从图 3 中可以看出，Pd/Ti 之间发生了极轻微的互扩散。为了确定基体中是否生成了 Ti-Pd 化合物相，将该温度下处理后的 Pd 膜层从基体剥离，用 X 射线衍射仪分析基体表面的相结构，结果如图 4 所示。

图 3 显示，经 500 °C, 5 h 处理后，极微量的 Pd 扩散进入基体，并在基体中形成了 Ti₂Pd 相、TiPd₂ 相和 TiPd₃ 相，但这 3 种相的含量非常少。

2.4 550 °C/5 h, Pd/Ti 间的互扩散行为

图 5 是 550 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面 SEM 照片及 EDS 元素线分布。从图 5 中可以看出，Pd/Ti 之间发生了轻微的互扩散，Ti 元素的成分有明显突变，但 Pd 元素的成分看不到明显突变。这是因为，Ti-Pd 二元相图中有多个化合物相，相图中 Pd 富集侧的化合物相与相之间，Pd 元素的质量分数很接近，加之扩散层很薄，因此 Pd 元素的成分看不到明显突变。

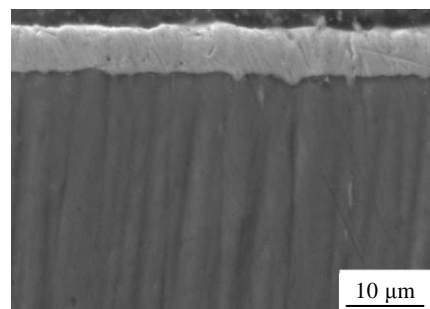


图 2 沉积钯膜的断面照片

Fig.2 SEM cross-section image of Pd film deposited

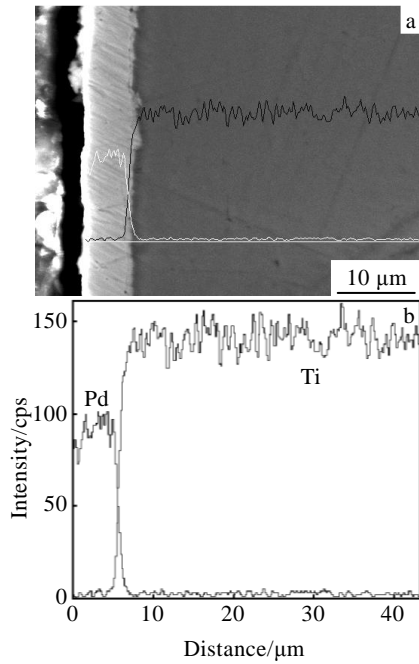


图 3 500 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面 SEM 照片及 EDS 元素线分布

Fig.3 SEM image (a) and cross-sectional EDS line scans (b) of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 500 °C

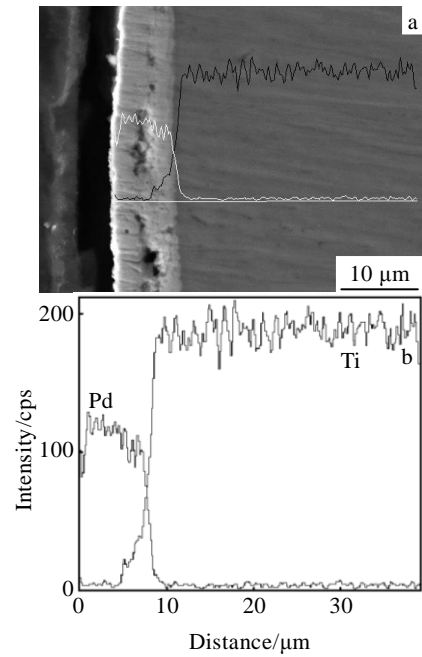


图 5 550 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面 SEM 照片及 EDS 元素线扫描

Fig.5 SEM image (a) and cross-sectional EDS line scans (b) of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 550 °C

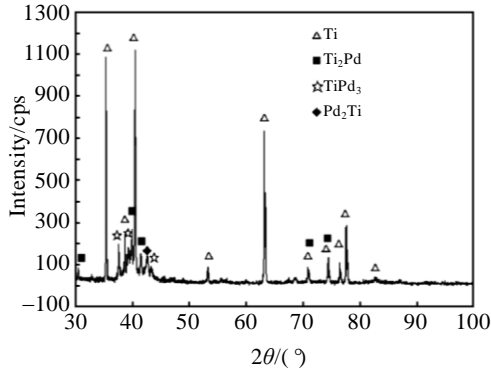


图 4 500 °C, 5 h 处理后基体表面 XRD 图谱

Fig.4 XRD pattern of substrate after 5 h heat-treatment at 500 °C

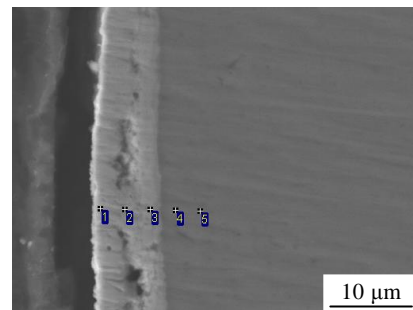


图 6 550 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面形貌

Fig.6 SEM image of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 550 °C

图 6 是 550 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面形貌。沿厚度方向各元素的分布列于表 2 中。从图 6 可知, Pd/Ti 之间形成了多个连续的扩散层, 扩散层的总厚度约为 2 μm。

结合相图和表 1 中的数据, 根据表 2 中 EDS 的检测结果可知, Pd/Ti 试样经 550 °C, 5 h 处理后, 在靠近 Pd 膜一侧形成了 TiPd₂ 相层, 并且在 Pd 膜层中, 有微量的 Ti, 这里的 Ti 可能是 Ti 原子穿过了结合界面的扩散层, 扩散进入了 Pd 膜层, 也可能是 TiPd₂ 相

表 2 图 6 中沿厚度方向 Pd/Ti 元素的分布

Table 2 Element distribution of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 550 °C in Fig.6 (ω/%)

Points	Ti	Pd
1	0.92	99.08
2	1.39	98.61
3	20.09	79.91
4	97.97	2.03
5	100	0

中的 Ti 扩散进入了 Pd 膜层; 而在基体中, 也检测到了微量的 Pd。其他扩散层因太薄, 无法用 EDS 分析,

故将 Pd 膜层从基体剥离，用 X 射线衍射仪分析基体表面的相结构，结果如图 7 所示。

图 7 显示，经 550 °C，5 h 处理后，Pd 扩散进入基体，并主要在基体中形成了 TiPd₂ 相和 Ti₂Pd 相，这与 EDS 分析结果吻合。此外，还形成了 Ti₂Pd₃ 相和 TiPd₃ 相，但这 2 种相的含量非常少。

2.5 600 °C/5 h, Pd/Ti 间的互扩散行为

图 8 是 600 °C，5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面 SEM 照片及 EDS 元素线扫描。从图 8 中可以看出，Pd/Ti 之间发生了较为严重的互扩散，Ti 元素和 Pd 元素的成分都有明显突变。

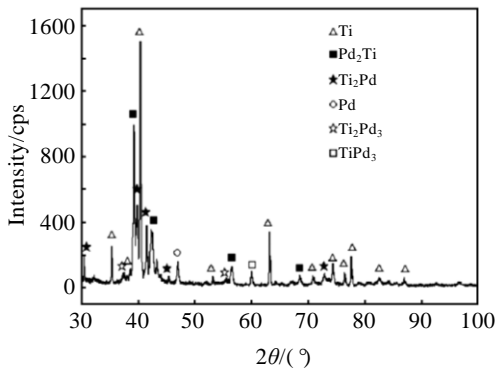


图 7 550 °C，5 h 处理后基体表面 XRD 图谱

Fig.7 XRD pattern of the substrate after 5 h heat-treatment at 550 °C

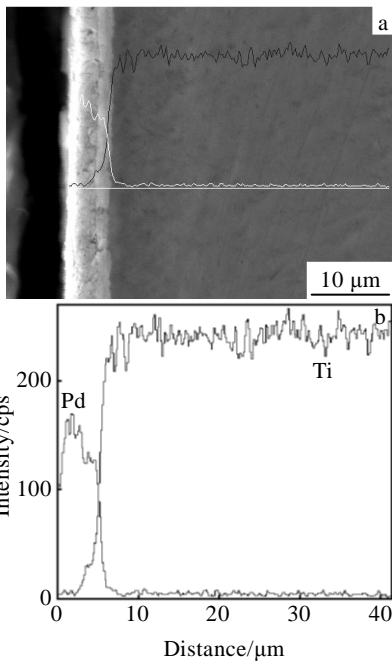


图 8 600 °C，5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面 SEM 照片及 EDS 元素线扫描

Fig.8 SEM image (a) and cross-sectional EDS line scans (b) of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 600 °C

图 9 是 600 °C，5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面形貌。沿厚度方向各元素的分布列于表 3 中。从图 9 可知，Pd/Ti 之间主要形成了 2 个扩散层，扩散层的总厚度约为 3 μm。

结合相图和表 1 中的数据，根据表 3 中 EDS 的检测可知，Pd/Ti 试样经 600 °C，5 h 处理后，在靠近 Pd 膜一侧形成了 TiPd 相层，与 550 °C，5 h 处理后相同，在 Pd 膜中检测到了微量的 Ti，并在基体中检测到了 Pd。靠近基体侧的扩散层太薄，无法用 EDS 分析。图 10 是将 Pd 膜从基体剥离后，基体表面的 XRD 图谱。

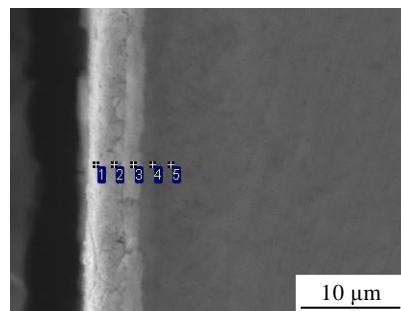


图 9 600 °C，5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面形貌

Fig.9 SEM image of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 600 °C

表 3 图 9 中沿厚度方向 Pd/Ti 元素的分布

Table 3 Element distribution of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 600 °C in Fig.9 (ω%)

Points	Ti	Pd
1	0.78	99.22
2	2.08	97.92
3	29.66	70.34
4	97.98	2.02
5	100	0

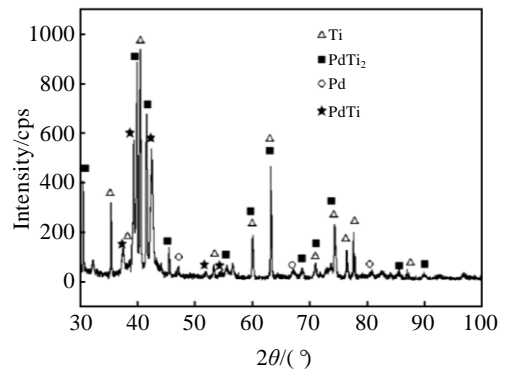


图 10 600 °C，5 h 处理后基体表面 XRD 图谱

Fig.10 XRD pattern of the substrate after 5 h heat-treatment at 600 °C

从图 10 可以看出, 经 600 °C, 5 h 处理后, Pd 扩散进入基体后, 主要形成了 Ti₂Pd 相和 TiPd 相, 由此可知, 靠近基体侧的连续扩散层为 Ti₂Pd 相。

2.6 700 °C/5 h, Pd/Ti 间的互扩散行为

图 11 是 700 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面 SEM 照片及 EDS 元素线扫描。从图 11 中可以看出, Pd/Ti 之间发生了严重的互扩散, Ti 元素和 Pd 元素的成分在各层中都有明显的突变。

图 12 是 700 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面形貌。沿厚度方向各元素的分布列于表 4。从图 12 可知, Pd/Ti 之间形成了多个扩散层, 扩散层的总厚度约为 15 μm。

结合相图和表 1 中的数据, 根据表 4 中 EDS 的检测结果可知, Pd/Ti 试样经 700 °C, 5 h 处理后, 在靠近 Pd 膜一侧形成了 Ti₂Pd₃ 相层, 靠近基体的一侧形成了 700 °C 时 Pd 在 β-Ti 中的固溶体层。为了详细探究此温度下 Pd/Ti 之间的相互扩散行为, 将各扩散层放大, 再经 EDS 分析, 得到以下结果: 靠近 Pd 膜一侧形成的扩散层并非是单一层, 而是多个扩散层, 因相图中 Pd 富集侧的化合物相与相之间, Pd 元素的质量分数很接近, 因此在图 12 中看起来是一层。经过分析, Pd/Ti 试样经 700 °C, 5 h 处理后形成了 6 个扩散层, 从外到内依次是: TiPd₃ 相层、TiPd₂ 相层、Ti₂Pd₃ 相层、TiPd 相层、Ti₂Pd 相层和 Pd 在 β-Ti 中的固溶体层。

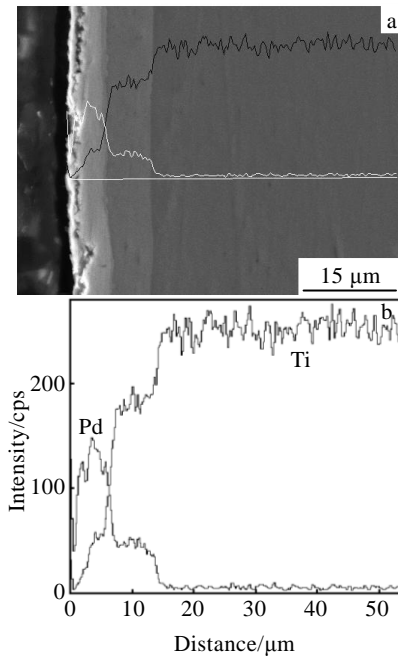


图 11 700 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面及 EDS 线扫描照片

Fig.11 SEM image (a) and cross-sectional EDS line scans (b) of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 700 °C

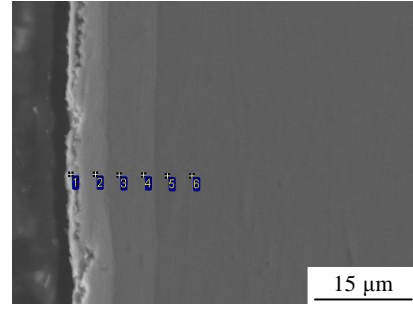


图 12 700 °C, 5 h 处理后 Pd/Ti 试样的断面形貌

Fig.12 SEM image of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 700 °C

表 4 图 12 中沿厚度方向 Pd/Ti 元素的分布
Table 4 Element distribution of Pd/Ti sample after 5 h heat-treatment at 700 °C in Fig.12 (ω/%)

Points	Ti	Pd
1	4.96	95.04
2	23.63	76.37
3	72.80	27.20
4	75.57	24.43
5	100	0
6	100	0

Pd/Ti 之间形成了相图中除 Ti₃Pd₅ 相和 Ti₃Pd 相以外的其余各化合物相。

2.7 Ti/Pd 界面扩散反应动力学分析

多元系统中, 各组元的扩散速率不同会引起扩散偶原始界面向扩散速率快的一侧移动, 即柯肯达尔效应^[14]。相对而言, 低熔点组元扩散快。在 Pd/Ti 体系中, Pd 元素熔点低, 因此, Pd 是主扩散物。柯肯达尔效应往往会产生副效应, 即在低熔点金属一侧会形成空位, 甚至形成柯肯达尔孔。实验研究中也发现了此现象, 700 °C 处理后尤为明显, 如图 12 所示, 因 Pd 原子扩散进入基体, 致使表面的 Pd 膜层出现孔洞、疏松, 甚至出现了裂纹。

Pd/Ti 互扩散过程中, 形成了多个扩散层, 这些扩散层的形成与界面反应动力学和界面扩散动力学相关, 且受速度慢因素控制。假设在 Pd/Ti 界面优先生成的化合物相为 TiPd_x, 建立以下模型, 推导得界面处 TiPd_x 的生成速率方程为:

$$dx_{\beta}/dt=(1/K+x_{\beta}/D)^{-1} \tag{1}$$

经积分得:

$$t=x_{\beta}^2/2D+x_{\beta}/K+t_0 \tag{2}$$

式中, x_β 为生成 TiPd_x 的厚度; t 为反应时间; K 为反应动力学常数; D 为扩散常数。t₀ 为开始生成 TiPd_x 的反应诱导期, 它同钛基材表面状态, 制膜条件及热

处理温度有关。

(1) 反应开始时, 满足 $2D/x_\beta \gg K$ 条件, 这时式

(2) 可简化为:

$$t = x_\beta/K + t_0 \quad (3)$$

TiPd_x 的生成主要受界面反应控制, TiPd_x 的生长厚度对时间的动力学函数具有线性关系。

(2) 一旦形成 TiPd_x 并具有一定厚度, 满足 $2D/x_\beta \approx K$ 条件, TiPd_x 的生成将同时受界面反应和界面扩散 2 个过程所控制。

(3) 随着所形成的 TiPd_x 膜厚增加, 满足 $2D/x_\beta \ll K$ 条件, 这时式 (2) 可简化为:

$$t = x_\beta^2/2D + t_0 \quad (4)$$

TiPd_x 的生成主要受界面扩散控制, TiPd_x 的生长厚度对时间的动力学函数具有抛物体形式。

此后形成的 TiPd_y、TiPd_z 等化合物相与上述同理, 不再赘述。

Pd/Ti 互扩散过程是一个复杂的物理化学过程, 该过程发生了一系列反应, 并形成了多个扩散层, 每个反应的动力学常数 K 不同, 且 Pd 在各相中的扩散常数 D 也不同, 每个扩散层厚度的增加都受速度慢因素控制。随着各扩散层厚度的增加, 扩散过程将会成为各相生长的控制步骤, Pd 在各相中有一个最小的扩散常数 D_{\min} , 该扩散常数 D_{\min} 便是实际上控制整个膜层厚度增加的步骤。

3 结 论

1) Pd/Ti 试样经 500 °C, 5 h 处理后, 有极少量的 Pd 扩散进入 Ti, 并在 Ti 中形成了微量的 Ti₂Pd 相、TiPd₂ 相和 TiPd₃ 相。

2) 当温度大于 550 °C 后, 同样是经 5 h 处理, Pd/Ti 之间将形成连续的扩散层, 随着温度的升高, Pd/Ti 之间的相互扩散会加剧, 并且, 当温度升高到 700 °C 时, Pd/Ti 之间形成了除 Ti₃Pd₅ 相和 Ti₃Pd 相外, Ti-Pd 系二元相图中的其余各化合物相。

3) Pd/Ti 间扩散层的形成及增厚涉及界面异质扩散和反应 2 个过程, 同时考虑这 2 个因素的影响。扩散层厚度的增加经历了一个由界面反应动力学控制到扩散控制的过渡, 随着扩散层厚度的增加, 扩散常数

D_{\min} 实际上控制整个膜层厚度的增加。

4) 经 700 °C, 5 h 处理后整个扩散层达到了 15 μm, 若要得到耐蚀性和耐磨性均较好的表面层, 还需适当提高热处理温度, 使 Pd/Ti 之间扩散的更加充分。

参考文献 References

- [1] Xin Xiangjie(辛湘杰), Xue Junfeng(薛峻峰), Dong Min(董敏). *Corrosion, Protection, Application of Titanium*(钛的腐蚀、防护与工程应用)[M]. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 1988
- [2] Stern M, Wissenberg H. *J Electrochem Soc*[J], 1959, 106(9): 759
- [3] Chen Yuanru(陈元儒). *Precious Metals*(贵金属)[J], 1991, 12(3): 26
- [4] Toshio Fukuzuka, Kazutoshi Shimogori, Hiroshi Satoh *et al.* *Corrosion Engineering*[J], 1979, 28(8): 429
- [5] Chen Fengyun(陈风云), Pan Huibo(潘会波), Wu Yuying(吴玉英). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 1990, 5: 54
- [6] Kazuhiro Taki. *Titanium & Zirconium*[J], 1988, 36(1): 29
- [7] Barson S D, Skeldon P, Thompson G E *et al.* *Corrosion Science*[J], 2000, 42: 1213
- [8] Werner Z, Piekoszewski J, Barcz A *et al.* *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*[J], 2001, 175-177: 767
- [9] Li Zhengxian(李争显), Du Jihong(杜继红), Gao Guangrui(高广睿) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2006, 35(8): 1239
- [10] Li Zhengxian(李争显), Hu Tao(胡涛), Liu Daoxin(刘道新) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2008, 37(4): 568
- [11] Okamoto H. *J Phase Equilib*[J], 1993, 14: 1
- [12] Yamamuro T, Morizono Y, Honjyo J *et al.* *Mater Sci Eng A*[J], 2006, 438-440: 327
- [13] Murray J L. *Bull Alloy Phase Diagr*[J], 1982, 3: 321
- [14] Zhang Lianmeng(张联盟), Huang Xuehui(黄学辉), Song Xiaolan(宋晓岚). *Fundamentals of Materials Science*(材料科学基础)[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2004

Interdiffusion between Palladium and Titanium at High Temperatures in a Short Time

Wang Haonan^{1,2}, Li Zhengxian², Yang Chenxi^{1,2}

(1. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

(2. Northwest Institute for Non-ferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

Abstract: In order to study the interdiffusion between Pd and Ti at high temperatures in a short time, the Pd coating was prepared on the surface of C.P.Ti by the magnetron sputtering technique. The Pd/Ti samples were heat-treated at 500, 550, 600 and 700 °C for 5 h. The phase composition, microstructure and element distribution of alloy layers were studied by XRD, SEM and EDS. The result shows that after the Pd/Ti sample is heat-treated at 500 °C for 5 h, a very slight interdiffusion occurs between Pd and Ti. When the temperature rises to 550 °C, a continuous diffusion layer appears between Pd coating and the substrate. As the temperature increases further, the interdiffusion becomes more and more obvious. When the temperature rises to 700 °C, TiPd₃, TiPd₂, Ti₂Pd₃, TiPd and Ti₂Pd compound phases are observed on the alloyed surface layer. This paper also analyzed the Pd/Ti interface diffusion and reaction kinetics. The results indicate that increase of diffusion layer thickness experiences a process from interface reaction control to diffusion control.

Key words: magnetron sputtering; heat-treatment; Pd-Ti; interdiffusion

Corresponding author: Li Zhengxian, Professor, Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, P. R. China, Tel: 0086-29-86231077, E-mail: lizx@c-nin.com