

# 微量元素 Y、Zr 对 Pt 的高温强化研究

北京航空材料研究所 赵伟彪 叶志真 陶正炎 王晓震

本文研究了微量元素 Y、Zr 对 Pt 的高温强化作用；讨论了 Y、Zr 对 Pt 的常规力学性能、电性能、高温持久性能和挥发失重的影响。

## Investigation of High Temperature Strengthening of Platinum Alloy Containing the Trace Y and Zr

Zhao Weibiao Ye Zhizhen Tao Zhengyan Wang Xiaozhen

(Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

The effects of trace element Y and Zr on the high temperature strengthening of Pt are studied. The influence of Y and Zr on the common mechanical properties, electrical property, creep rupture life and volatilization loss at high temperature of Pt are also investigated in the present paper.

### 一、前言

由于铂具有独特的化学惰性，是唯一可以在高温强氧化条件下使用的金属材料。但纯铂的持久强度较低，抗蠕变能力差，其使用受到极大限制。为了改善和提高铂的高温性能，传统的方法是采用 PtRh 合金。但随着铑价格的逐年上升，显然是不经济的。此外，PtRh 合金的某些性能变坏，如玻璃工业中的坩埚会使玻璃着色。近年来国内外广泛研究并获得应用的即所谓弥散强化铂，有 ZGSPt 和 ODSPt 等<sup>[1,2]</sup>。虽然这些弥散强化铂在高温性能方面取得了良好的进展，但在制造工艺及焊接方面，仍存在许多问题。本研究工作采用添加微量元素的方法，来提高 Pt 的高温性能，其特点是工艺简便，合金成本较低，可采用常规方法进行焊接。

### 二、试样制备及试验方法

用纯度为 99.9% 的 Pt、Y、Zr 进行配料，在真空感应炉上熔炼。将熔炼好的 PtYZr 合金通过锻、轧、拉等工艺加工成片材或丝材。

在日本产 UTS-II-20 型电子拉伸机上测定拉伸强度。试样为  $\phi 0.2\text{mm}$  丝材。硬度试样为变形 75% 片材。电阻试样为  $\phi 0.2\text{mm}$  丝材。在自制高温蠕变试验机上测定持久寿命，试样为  $\phi 0.5\text{mm}$  丝材。挥发失重试样为 0.1mm 以下片材，在  $10^{-4}\text{g}$  的感量天平上测失重量。

### 三、试验结果及讨论

#### 1. PtYZr 合金的高温性能

表 1 是纯 Pt、PtYZr、PtRh10、美国 ODSPt 的常规力

学性能和物理性能对照表<sup>[3,4]</sup>。

由表 1 可以看到，微量元素 Y、Zr 加入 Pt 中后，使其电阻率、硬度、拉伸强度升高，塑性稍有下降。PtYZr 合金的电阻率介于纯 Pt 和 PtRh10 之间，和 PtRh10 较为接近。其硬度、拉伸强度比 ODSPt、PtRh10 合金高。

表 1 Pt 及其合金常规性能对照表

性 能	Pt	PtYZr	ODSPt	PtRh10
电阻率 ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	10.6	15.0	10.8	18.4
硬度 (HV, 退火)	40	120	55	75
拉伸强度 (MPa)	125	520	200	300
延伸率 (%，退火)	40	30	40	35

图 1 是 Pt 和 PtYZr 合金的硬度—退火温度曲线。可见 PtYZr 合金的再结晶温度显著升高。如果按照硬度—退火温

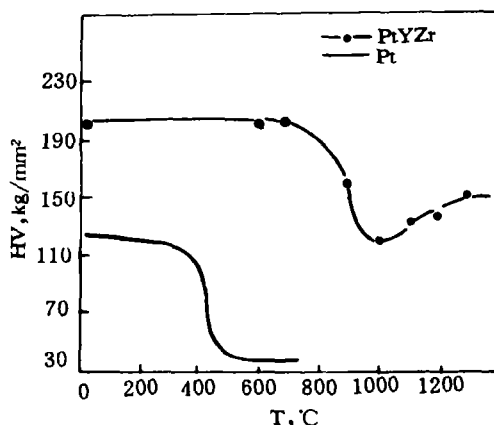


图 1 退火温度对 Pt、PtYZr 合金硬度的影响

度的半硬态规则,可见添加微量元素 Y、Zr 可将 Pt 的再结晶温度提高 400℃~450℃。

2. PtYZr 合金的高温持久性能

表 2 是 Pt、PtYZr、PtRh10、PtRh5 几种合金的高温持久寿命对照表。

由表 2 可知,加 Y、Zr 的 Pt 合金,高温持久寿命显著提高。在试验温度为 1000℃的条件下,PtYZr 合金的持久寿命远远超过 PtRh5、PtRh10 等合金。温度升高后,合金的强化效果有所下降,在 1300℃时,PtYZr 合金的持久寿命和 PtRh10 相当。

图 2 是 Pt、PtYZr 合金在 1000℃,25MPa 的试验条件下持久断裂曲线。

表 2 Pt 及几种 Pt 合金高温持久寿命对照表

性能	Pt	PtYZr	PtRh5	PtRh10
持久寿命 (h) 1000℃, 25MPa	0.1	120	6	13
持久寿命 (h) 1300℃, 7.5MPa	4.5	30.5	14	33.5

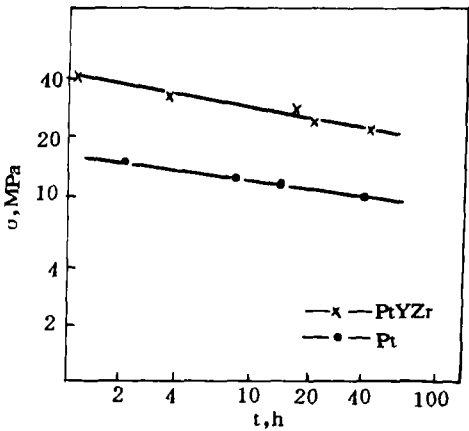


图 2 Pt、PtYZr 合金持久断裂曲线

微量元素 Y、Zr 加入 Pt 中后,使 Pt 的高温持久性能提高,主要有三个方面的原因:①固溶强化;②晶界强化;③沉淀强化。

固溶强化是合金最基本的强化方法。本试验中微量元素 Y、Zr 和基体金属 Pt 在点阵常数、弹性模量等方面存在着较大差异,因此强化效果比较显著。

Y、Zr 都倾向于向晶界上偏聚,对于 PtYZr 合金的高温强度起提高作用。这些元素在晶界上的作用机制还不清楚,有文献报导偏聚于晶界上的 Y、Zr 等元素能降低晶界扩散、阻碍晶界迁移,因此强化了晶界<sup>[5]</sup>。PtYZr 合金的另一个高温强化机制是金属间化合物 Pt<sub>5</sub>Y 的沉淀强化。有关 Pt<sub>5</sub>Y 的形貌及结构详见文献 [5]。

Pt<sub>5</sub>Y 化合物的熔点高于 1600℃,显微硬度为 4600MPa。弥散状的 Pt<sub>5</sub>Y 能提高合金的高温强度。

图 3 是 PtYZr 合金高温持久试样断口。图中 PtYZr 合金的持久断口出现非常特殊的几何花样,如 (b)、(c) 所示。在滑移线的中心部位出现形状规则的圆球状粒子,应是第二相 Pt<sub>5</sub>Y。(d) 是试样另一区域的照片,可见为韧性断裂。

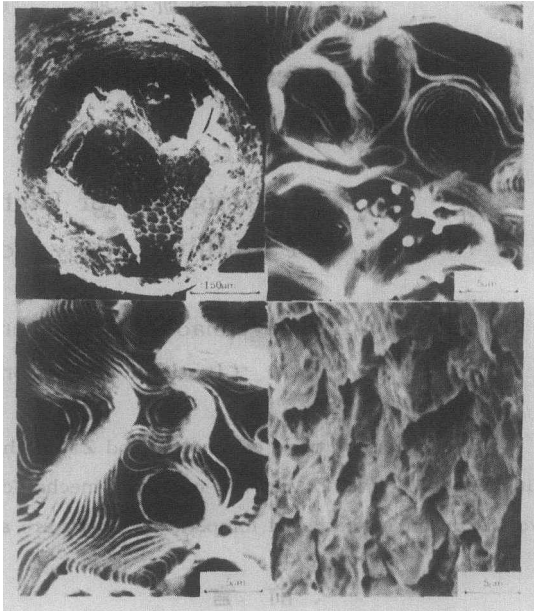


图 3 PtYZr 合金的高温持久试样扫描断口  
(a)、(b) 1000℃, 25MPa (c)、(d) 1000℃, 28MPa

3. PtYZr 合金的高温挥发

图 4 是纯 Pt、PtYZr 合金在大气中高温加热的挥发失重情况。由图可知,纯 Pt 的挥发失重规律和文献 [7] 所报导的 PtRh7、PtRh10 等合金一样,是按照抛物线—直线规律失重。但当微量 Y、Zr 加入 Pt 中后,合金的挥发失重出现了比较特殊的变化。在 1200℃大气氧化的开始阶段,并不出现重量的减少,而出现增重现象。大约在 15h 增重到最大值。但在本试验的 50h 氧化过程中,和试样原始重量相比,重量并未减少。PtYZr 合金在氧化过程中重量增加是由于生成 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub> 氧化物所致。

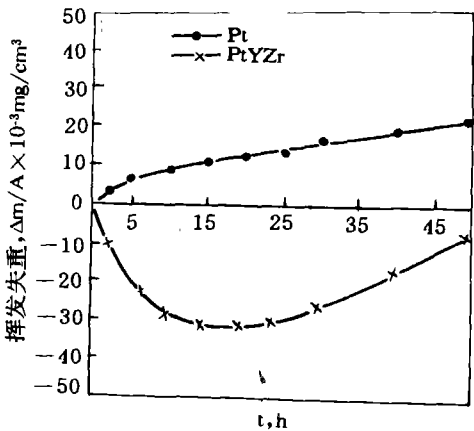


图 4 Pt、PtYZr 合金在 1200℃大气中挥发失重

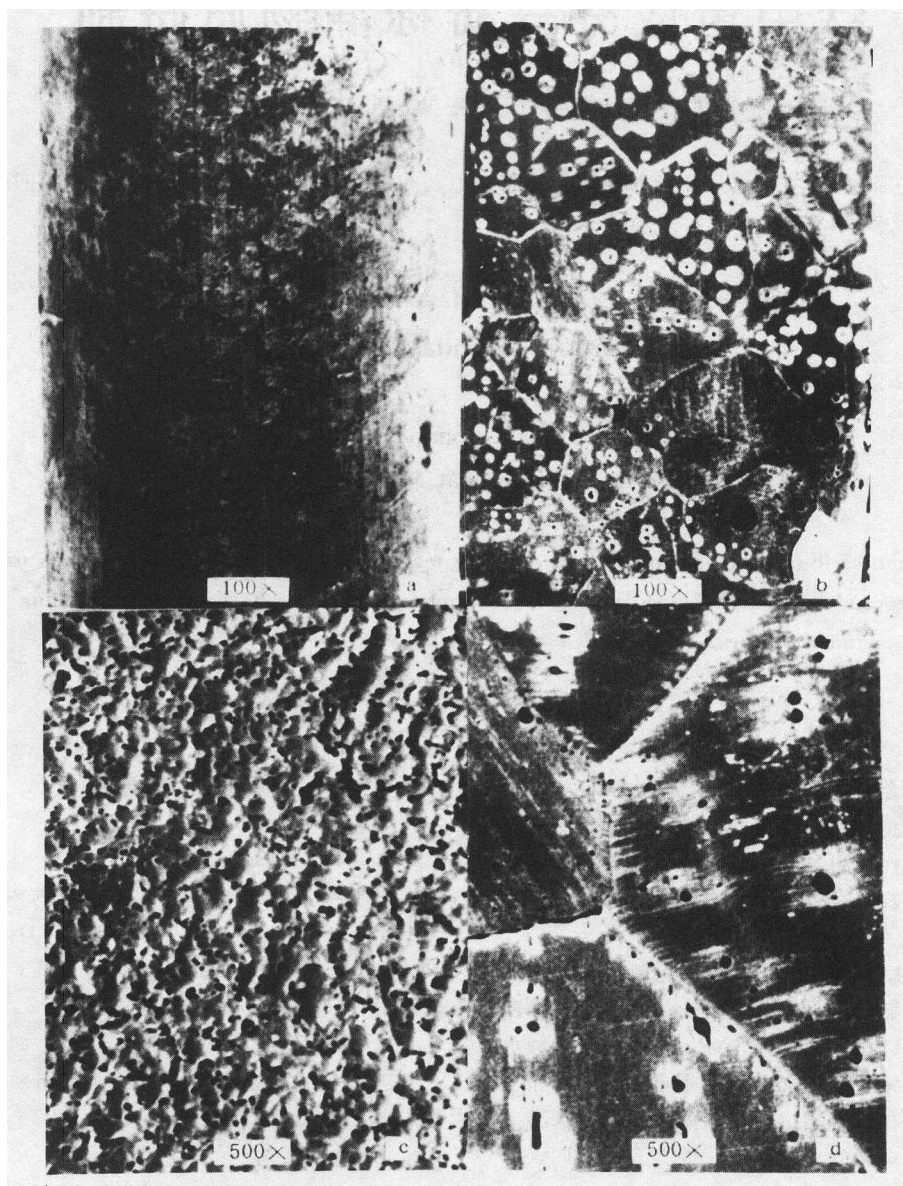


图5 Pt、PtYZr合金在1200℃、50h高温挥发形貌  
(a)、(c) PtYZr (b)、(d) Pt

图5是Pt、PtYZr合金高温氧化挥发形貌。由图5可见，纯Pt在氧化挥发过程中，晶界挥发比较严重，PtYZr合金则无明显的晶界痕迹。在500倍放大倍数下，PtYZr合金呈现非常细密的挥发坑。此外可看到纯Pt的晶粒长得非常大。

#### 四、结 论

1. 含有微量Y、Zr的PtYZr合金和纯Pt相比，拉伸强度、硬度、电阻率升高，塑性稍有下降。
2. 含有微量Y、Zr的Pt合金，其高温挥发失重明显降低。
3. Y和Zr明显地提高了Pt的高温持久寿命，在试验温

度为1000℃的试验条件下，PtYZr合金的持久寿命远远超过PtRh10。在1300℃时，其持久寿命接近于PtRh10。

#### 参考文献

1. Stokes J, Platinum Metals Review, 1987, 31 (2), 54262
2. Stanley R G, Met. Powder Rep. 1982, 5 (2), 175~176
3. 熊易芬等, 贵金属, 1982, 3 (4), 47~53
4. Thompson F A, Met. Powder Rep. 1984, 39 (10), 590~592
5. 余宗森等, 金属物理, 冶金工业出版社, 1982
6. 赵伟彪, 硕士论文, 航空航天部六二一所, 1991, 6
7. 贵金属研究所漏板材料组, 贵金属, 1982, 3 (2), 36~39