

# 固溶-时效对粉末成形 TC4 钛合金显微组织和力学性能的影响

刘莹莹, 黄志涛

(中国航空制造技术研究院, 北京 100024)

**摘要:** 研究了固溶温度、冷却方式以及时效温度对粉末成形 TC4 钛合金相组成、显微组织以及力学性能的影响, 分析了固溶-时效热处理过程中显微组织变化及析出强化机制。结果表明, 在两相区固溶处理, 随固溶温度的升高, 初生  $\alpha$  相含量不断减少; 单相区固溶处理后, 初生  $\alpha$  相全部溶解, 析出相呈片层状; 固溶时采用水冷可获得  $\alpha + \alpha'$  组织, 时效过程中马氏体分解形成的次生弥散相实现合金强化。粉末成形 TC4 钛合金经  $950\text{ }^\circ\text{C}/1\text{ h/WQ} + 500\text{ }^\circ\text{C}/4\text{ h/AC}$  热处理后, 综合性能匹配良好, 抗拉强度为 1231 MPa, 屈服强度为 1126 MPa, 延伸率为 10.75%。

**关键词:** TC4 钛合金; 粉末成形; 热处理; 显微组织; 力学性能

中图分类号: TG166.5; TG146.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-9964(2021)06-024-07

## Effect of Solution and Aging Treatments on Microstructure and Mechanical Properties of Powder Forming TC4 Titanium Alloy

Liu Yingying, Huang Zhitao

(AVIC Manufacturing Technology Institute, Beijing 100024, China)

**Abstract:** Effects of solution temperature, cooling method and aging temperature on the phase composition, microstructure and mechanical properties of powder forming TC4 titanium alloy were studied. The change of microstructure and precipitation strengthening mechanism during the solution and aging heat treatment were analyzed. The results show that the content of primary  $\alpha$  phase decreases with the increase of solution temperature in two phase region, the primary  $\alpha$  phase is completely dissolved after solution in  $\beta$  phase region, and the precipitated phase is lamellar. The  $\alpha + \alpha'$  phase can be obtained by water quenching and the secondary dispersion phase formed by martensite decomposition during aging process realizes alloy strengthening. After heat treated by  $950\text{ }^\circ\text{C}/1\text{ h/WQ} + 500\text{ }^\circ\text{C}/4\text{ h/AC}$ , the comprehensive properties of powder forming TC4 titanium alloy match well, with tensile strength of 1231 MPa, yield strength of 1126 MPa and elongation of 10.75%.

**Key words:** TC4 titanium alloy; powder forming; heat treatment; microstructure; mechanical properties

钛合金的性能主要取决于合金成分和显微组织, 当合金成分一定时, 显微组织是决定性能的主要因素。其中,  $\alpha$  相的含量和形态对性能的影响较大<sup>[1,2]</sup>。不同形态的  $\alpha$  相对钛合金的性能影响不同, 等轴  $\alpha$  相钛合金具有较高的塑性和抗疲劳性能<sup>[3]</sup>; 片状和针状  $\alpha$  相钛合金具有较高的强度和断裂韧性<sup>[4,5]</sup>。通过固溶+时效处理可控制钛合金组织中  $\alpha$  相的含量和形态, 固溶阶段可形成  $\beta'$ 、 $\alpha''$  和  $\alpha'$  亚稳

中间相, 时效阶段亚稳相分解形成弥散的  $\alpha$  相, 该弥散  $\alpha$  相和残留的细小  $\beta$  相使合金强化。钛合金的强化效果取决于亚稳相的类型、数量和时效处理后所形成  $\alpha$  相的弥散程度<sup>[6]</sup>。

TC4 作为一种成熟的钛合金材料, 相关研究甚多, 但关于热处理工艺的研究大多以熔铸法获得的 TC4 钛合金为主。刘婉颖等人<sup>[7]</sup>研究了热处理对 TC4 钛合金显微组织和力学性能的影响。结果表明, 经过  $960\text{ }^\circ\text{C}$  固溶和  $500\text{ }^\circ\text{C}$  时效处理后, 合金为片层状  $\beta$  相和残余  $\alpha$  相团束均匀分布的网篮状组织, 综合性能良好。鲍学淳等人<sup>[8]</sup>对 TC4 钛合金热处理工

艺进行了优化, 经 920 °C/1 h/AC + 530 °C/4 h/AC 热处理后获得双态组织, 抗拉强度达到 986 MPa; 经 700 °C/2 h/AC 热处理后获得等轴组织, 抗拉强度达到 987 MPa。李进元等人<sup>[9]</sup>对大规格 TC4 钛合金棒材进行了热处理工艺研究, 经 960 °C/1 h/WQ + 730 °C/2 h/AC 处理后, 可实现合金强度、塑性、韧性的较好匹配, 获得优良的综合性能。目前, 关于冷压烧结工艺制备的粉末成形 TC4 钛合金在热处理过程中其组织演变规律以及工艺参数对演变机制影响的研究较为缺乏。本研究对粉末成形 TC4 钛合金进行了不同的固溶时效处理, 分析热处理过程中各阶段的相变行为, 研究热处理过程中的组织演变规律, 从而充分挖掘粉末成形 TC4 钛合金的使用性能, 拓展其应用范围。

## 1 实验

以 TC4 钛合金粉末为原料, 采用冷压制坯结合真空烧结工艺制备粉末成形 TC4 钛合金。冷压成形压力为 600 MPa, 保压时间为 90 s。真空烧结工艺为 1350 °C/2 h/FC, 升温速率为 10 °C/min, 烧结过程中炉内真空度为  $2 \times 10^{-3}$  Pa。采用连续升温金相法测得粉末成形 TC4 钛合金的相转变温度 ( $T_{\beta}$ ) 约为 1010 °C。

采用标准马弗炉对粉末成形 TC4 钛合金进行热处理, 重点探究固溶、时效热处理工艺对显微组织和力学性能的影响。表 1 为粉末成形 TC4 钛合金的热处理制度。

表 1 粉末成形 TC4 钛合金的热处理制度

Table 1 Heat treatment processes of powder formed TC4 titanium alloy

Process number	Heat treatment processes
HT1	920 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC
HT2	950 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC
HT3	950 °C/1 h/AC + 500 °C/4 h/AC
HT4	950 °C/1 h/FC + 500 °C/4 h/AC
HT5	980 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC
HT6	1020 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC
HT7	1040 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC
HT8	950 °C/1 h/WQ + 450 °C/4 h/AC
HT9	950 °C/1 h/WQ + 550 °C/4 h/AC
HT10	950 °C/1 h/WQ + 600 °C/4 h/AC

采用 Instron 5982 电子万能试验机对粉末成形 TC4 钛合金进行室温拉伸性能测试, 检测依据 GB/T 228.1—2010《金属材料拉伸试验 第 1 部分: 室温试验方法》进行。采用装配菱形压头的维氏硬度计进行硬度测试, 为防止试样表面氧化物和污染层影响试验结果, 测试前利用金相砂纸打磨。测试时加载载荷为 1.96 N, 加载时间为 10 s。采用德国 BRUKER 公司 D8 ADVANCE 型 X 射线衍射仪 (XRD) 进行结构分析, 测试条件为: Cu 靶辐射源, 石墨单色器, 工作电流 40 mA, 工作电压 40 kV, 衍射范围 20°~90°, 扫描步长 0.01°。采用日本 OLYMPUS BX41M 金相显微镜 (OM) 和美国 FEI 的 Quanta FEG 250 场发射扫描电子显微镜 (FESEM) 观察试样的微观组织。

## 2 结果与讨论

### 2.1 烧结态 TC4 钛合金显微组织

图 1 为烧结态 TC4 钛合金的显微组织。从图 1 可以看出, 组织中存在短棒状、等轴状、片层状  $\alpha$  相以及  $\beta$  相。 $\beta$  晶粒尺寸较小, 原始  $\beta$  晶界并不明显,  $\alpha$  片层取向随机性较大。值得注意的是组织中有多个  $\beta$  晶粒交界处出现等轴  $\alpha$  相, 这些等轴  $\alpha$  相有利于提高合金的塑性。此外, 烧结态组织中晶界和晶内均分布有一定数量的孔洞, 这些孔洞的存在将影响粉末成形 TC4 钛合金的综合性能。

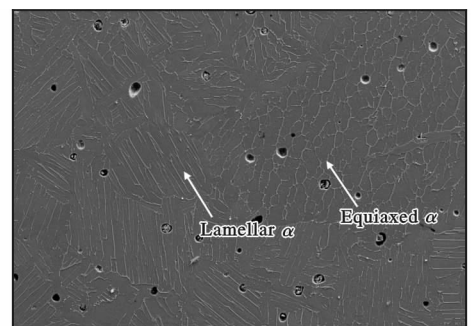


图 1 烧结态 TC4 钛合金的显微组织

Fig. 1 Microstructure of sintered TC4 titanium alloy

### 2.2 热处理对显微组织的影响

#### 2.2.1 固溶温度对显微组织的影响

图 2 为粉末成形 TC4 钛合金经不同温度固溶处理后的显微组织。由图 2a~2c 可以看出, 经两相区固溶处理后, 粉末成形 TC4 钛合金显微组织由初生  $\alpha$  相、细针状  $\alpha'$  马氏体相以及残余  $\beta$  相组成。随着固溶温度的升高, 组织中初生  $\alpha$  相含量不断减少, 其

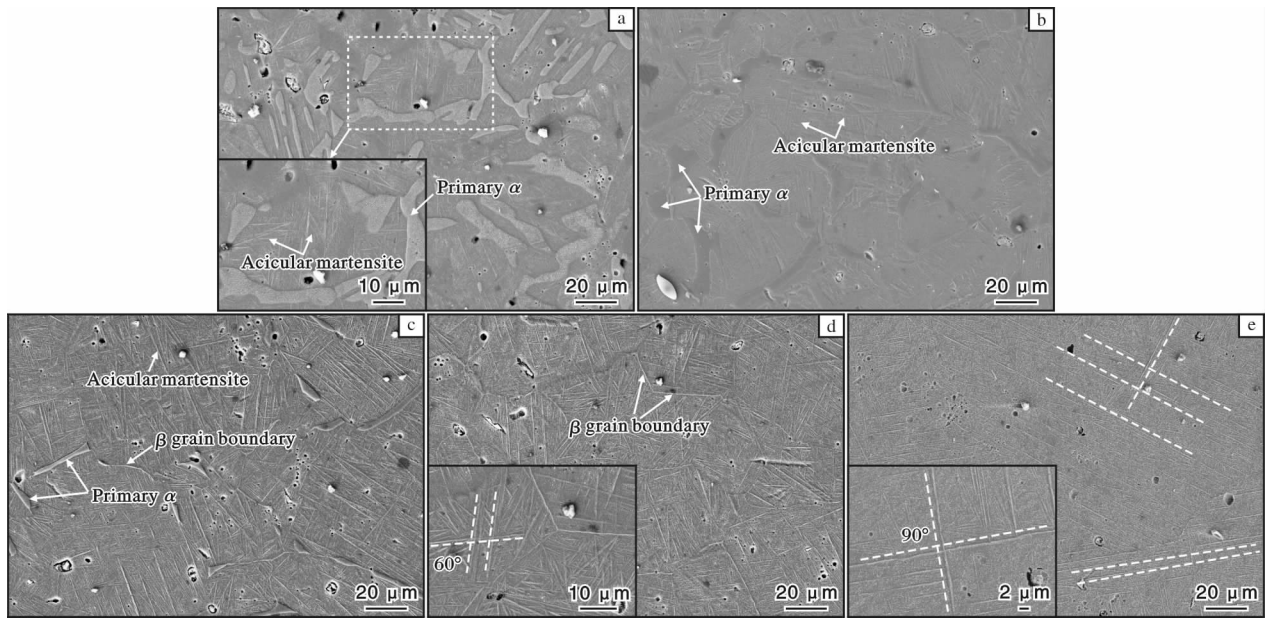


图2 粉末成形 TC4 钛合金经不同温度固溶处理后的显微组织

Fig. 2 Microstructures of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated at different temperatures: (a) 920 °C/1 h/WQ; (b) 950 °C/1 h/WQ; (c) 980 °C/1 h/WQ; (d) 1020 °C/1 h/WQ; (e) 1040 °C/1 h/WQ

形态由长条状、棒状逐渐向链状转变，分布由晶界、晶内逐渐向晶界转变(图 2b、2c)。采用图像分析软件 Image-Pro Plus 对经不同温度固溶处理后组织中初生  $\alpha$  相的体积分数进行统计，结果见图 3。从图 3 可以看出，固溶温度由 920 °C 上升至 950 °C 时，初生  $\alpha$  相的体积分数由 41.3% 降低至 34.8%，固溶温度上升至 980 °C 时，初生  $\alpha$  相的体积分数降低至 21.2%。

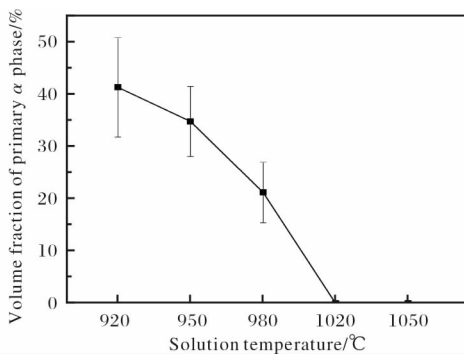


图3 粉末成形 TC4 钛合金经不同温度固溶处理后初生  $\alpha$  相体积分数

Fig. 3 Volume fraction of primary  $\alpha$  phase of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated at different temperatures

此外，经不同温度固溶处理后，基体组织中均有细针状马氏体相析出，且随着固溶温度的升高，马氏体相含量不断增加，长径比增大。由图 2d、2e 可以看出，在  $\beta$  单相区固溶处理后，显微组织中明

显可见原始  $\beta$  晶粒，内部分布有夹角成 60° 或 90° 交错排列的单一细针状马氏体相。固溶温度较低时，组织中形成的单一针状马氏体相数量较少，随着固溶温度的升高，马氏体相析出过冷度增加，组织中针状马氏体相析出动力较大， $\alpha'$  相数量较多，且长径比增加；晶内针状马氏体相交错排布的夹角由 60° 增加至 90°，呈集束状析出，原始粗大  $\beta$  晶界不明显。此外，固溶处理不会对粉末烧结过程中形成的孔洞产生影响，不同固溶温度下粉末成形 TC4 钛合金显微组织中的烧结孔洞依然存在。

图 4 为粉末成形 TC4 钛合金经不同温度固溶处理后的 XRD 图谱。从图 4 中仅可观察到  $\alpha$ -Ti 对应的

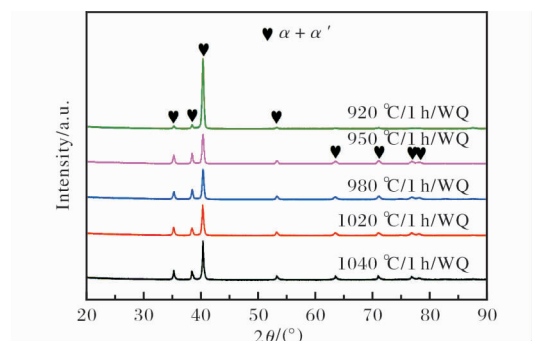


图4 粉末成形 TC4 钛合金经不同温度固溶处理后的 XRD 图谱

Fig. 4 XRD patterns of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated at different temperatures

衍射峰, 并未观察到  $\beta$ -Ti 衍射峰, 说明  $\beta$  相在水冷过程中几乎全转变为  $\alpha'$  相。

### 2.2.2 固溶冷却方式对显微组织的影响

图 5 为粉末成形 TC4 钛合金经 950 °C 保温 1 h 后分别进行水冷、空冷和炉冷后的金相照片。从图 5 可以看出, 水冷后组织由沿晶界分布的链状初生  $\alpha$  相和针状马氏体相组成, 空冷后组织由沿晶界分布

的链状初生  $\alpha$  相和  $\beta$  转变组织组成, 炉冷后组织由初生球状  $\alpha$  相、次生球状  $\alpha$  相以及残余  $\beta$  相组成。对比空冷和水冷后组织可以发现, 2 种不同冷却方式下初生  $\alpha$  相含量接近, 空冷后组织中初生  $\alpha$  相和次生  $\alpha$  相均发生一定粗化。这可能与冷却速率差异导致的  $\alpha$  相扩散快慢有关<sup>[10]</sup>。此外, 炉冷冷却时间较长,  $\alpha$  相发生了粗化。

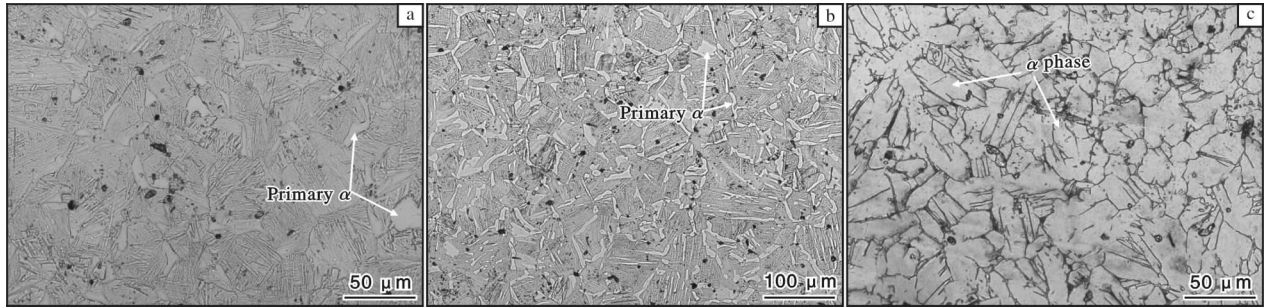


图 5 不同冷却方式下固溶处理后粉末成形 TC4 钛合金的显微组织

Fig. 5 Microstructures of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated by different cooling methods: (a) 950 °C/1 h/WQ; (b) 950 °C/1 h/AC; (c) 950 °C/1 h/FC

图 6 为粉末成形 TC4 钛合金以不同冷却方式在 950 °C 固溶处理后的 XRD 图谱。由于水冷的冷却速率较快, 高温  $\beta$  相来不及发生平衡转变, 原子发生近程迁移, 形成  $\alpha'$  马氏体相, 组织由  $\alpha$  和  $\alpha'$  相组成。空冷相比水冷冷却速率减慢, 组织中  $\beta$  相转变为平衡态  $\alpha + \beta$  相。炉冷冷却速率最慢, 组织中  $\alpha$  相含量最高。

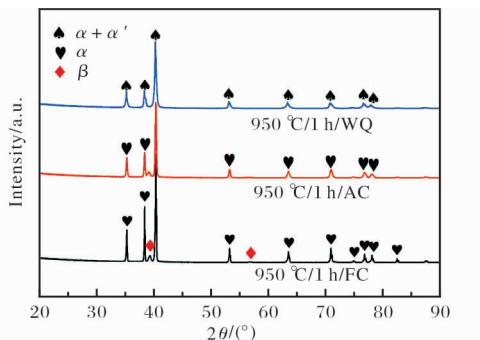


图 6 不同冷却方式下固溶处理后粉末成形 TC4 钛合金的 XRD 图谱

Fig. 6 XRD patterns of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated by different cooling methods

### 2.2.3 时效温度对显微组织的影响

图 7 为粉末成形 TC4 钛合金经 950 °C/1 h/WC 固溶处理及不同温度时效 4 h 后的显微组织。低温时效时, 次生相析出动力不足, 马氏体相分解产生

的次生  $\alpha$  相较少(图 7a、7b)。时效温度升高至 550 °C 时, 组织中次生  $\alpha$  相析出数量增多, 片层尺寸明显增加(图 7c)。600 °C 下时效组织中出現较为密集的次生  $\alpha$  相, 且其片层厚度较 550 °C 时效有所下降, 长径比增加(图 7d)。这可能与晶界处存在的初生  $\alpha$  相有关<sup>[11]</sup>。

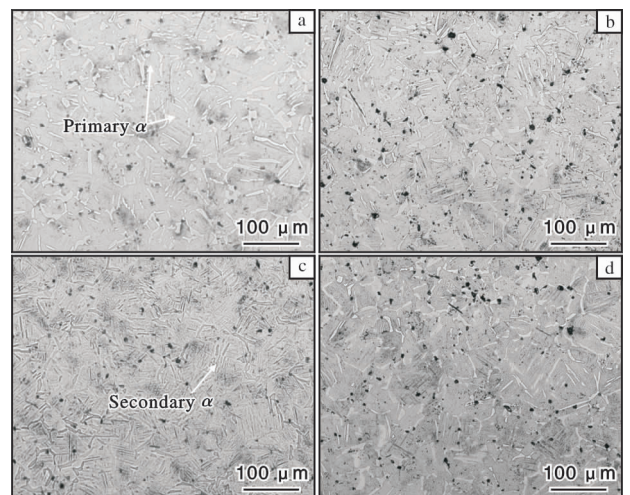


图 7 粉末成形 TC4 钛合金经 950 °C/1 h/WQ 固溶及不同温度时效处理后的显微组织

Fig. 7 Microstructures of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated by 950 °C/1 h/WQ and aging at different temperatures: (a) 450 °C/4 h/AC; (b) 500 °C/4 h/AC; (c) 550 °C/4 h/AC; (d) 600 °C/4 h/AC

## 2.3 热处理对力学性能的影响

### 2.3.1 固溶温度对力学性能的影响

图8为粉末成形TC4钛合金经不同温度固溶+500℃/4h/AC时效处理后的显微硬度。从图8可以看出,两相区固溶处理时,随着固溶温度的升高,粉末成形TC4钛合金的显微硬度不断增加。这主要是由于固溶温度升高使得初生 $\alpha$ 相不断溶解,数量减少, $\beta$ 转变组织增加,时效过程中析出的次生 $\alpha$ 相增加,从而导致合金硬度增加<sup>[12]</sup>。单相区固溶处理时,由于粉末成形TC4钛合金组织中初生 $\alpha$ 相已全部溶解,析出相呈片层状,时效处理后组织形态转变为魏氏组织,硬度高于两相区固溶组织。

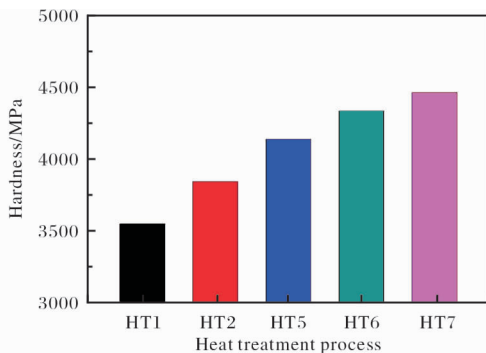


图8 粉末成形TC4钛合金经不同温度固溶及500℃/4h/AC时效处理后的显微硬度

Fig.8 Microhardness of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated at different temperatures and aging by 500 °C/4 h/AC

表2给出粉末成形TC4钛合金经不同温度固溶及500℃/4h/AC时效处理后的室温拉伸性能。从表2可以看出,随着固溶温度的升高,粉末成形TC4钛合金强度增加,塑性下降。单相区固溶处理

表2 粉末成形TC4钛合金经不同温度固溶及500℃/4h/AC时效处理后的室温拉伸性能

Table 2 Room temperature tensile properties of powder formed TC4 titanium alloys after solution treated at different temperatures and aging by 500 °C/4 h/AC

Processing condition	$R_m$ /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A/%
Sintered state	948	831	14.63
920 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC	1078	980	12.23
950 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC	1231	1126	10.75
980 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC	1182	1090	6.53
1040 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC	1226	1133	8.38

(1040℃)后,合金强度与两相区固溶处理(950℃)时接近,然而塑性出现一定程度的下降。经950℃固溶及500℃/4h/AC时效处理后,粉末成形TC4钛合金综合性能匹配最佳,其抗拉强度和屈服强度分别为1231、1126MPa,相比烧结合提升了30%和35%,延伸率为10.75%,相比烧结合下降了36%。故粉末成形TC4钛合金的最佳固溶温度为950℃。

### 2.3.2 固溶冷却方式对合金性能的影响

图9为粉末成形TC4钛合金在950℃固溶后以不同方式冷却及500℃/4h/AC时效处理后的显微硬度。从图9可以看出,水冷后粉末成形TC4钛合金的硬度明显高于空冷和炉冷。结合显微组织分析,由于固溶温度和保温时间相同,所以3种不同冷却方式下初生 $\alpha$ 相体积分数接近,显微硬度的变化主要归因于组织中析出的次生相。随着固溶冷却速度的降低,粉末成形TC4钛合金中析出的次生片层尺寸逐渐增加,当以炉冷方式冷却时,析出 $\alpha$ 相的形貌接近等轴状(图5c),硬度明显偏低。

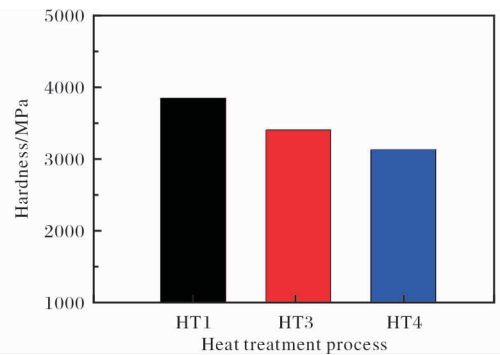


图9 粉末成形TC4钛合金经不同冷却方式固溶及500℃/4h/AC时效处理后的显微硬度

Fig.9 Microhardness of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated by different cooling methods and aging by 500 °C/4 h/AC

表3为粉末成形TC4钛合金经不同冷却方式固溶及500℃/4h/AC时效处理后的室温拉伸性能。在950℃固溶,经水冷及500℃/4h/AC时效处理后,粉末成形TC4钛合金获得了优异的强韧性匹配。相比于空冷,水冷后粉末成形TC4钛合金的抗拉强度提高18%,屈服强度提高22%,延伸率略微下降。由此并结合图5可知,显微组织的细化对合金力学性能尤其是强度有明显的提升作用。

### 2.3.3 时效温度对力学性能的影响

图10为粉末成形TC4钛合金经950℃/1h/WQ

表3 粉末成形 TC4 钛合金经不同冷却方式固溶及 500 °C/4 h/AC 时效处理后的室温拉伸性能

Table 3 Room temperature tensile properties of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated by different cooling methods and aging by 500 °C/4 h/AC

Processing condition	$R_m$ /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	$A$ /%
950 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC	1231	1126	10.75
950 °C/1 h/AC + 500 °C/4 h/AC	1042	923	15.60

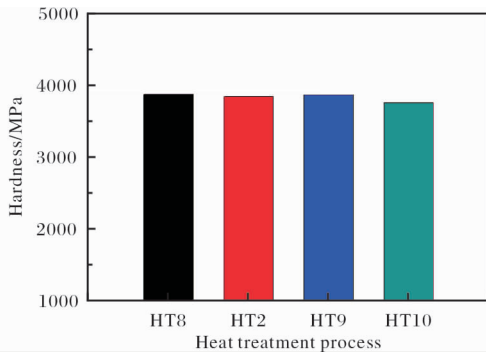


图10 粉末成形 TC4 钛合金经 950 °C/1 h/WQ 固溶及不同温度时效处理后的显微硬度

Fig. 10 Microhardness of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated by 950 °C/1 h/WQ and aging at different temperatures

固溶及不同温度时效 4 h 后的显微硬度。从图 10 可以看出, 时效温度在 450 ~ 550 °C 范围内, 粉末成形 TC4 钛合金整体硬度差别并不明显, 当时效温度升高到 600 °C 时, 硬度略微下降。

时效过程中,  $\alpha'$  马氏体相发生分解转变为平衡态的  $\alpha$  与  $\beta$  相。低温时效时, 马氏体相充分发生分解, 形成的相界面较多, 位错滑移难度大, 合金具有较高的硬度<sup>[13,14]</sup>。高温时效时, 马氏体相析出的  $\beta$  相发生了合并长大,  $\alpha$  片层间距增大, 合金硬度较低<sup>[15]</sup>。

表 4 为粉末成形 TC4 钛合金经 950 °C/1 h/WQ 固溶及不同温度时效 4 h 后的室温拉伸性能。与烧结态相比, 粉末成形 TC4 钛合金经固溶 + 时效处理后, 强度明显提升, 塑性略微降低。这是由于通过固溶水冷可获得  $\alpha + \alpha'$  组织, 时效过程中马氏体相分解形成次生弥散相, 使合金强化。时效温度由 500 °C 升高到 600 °C 时, 其抗拉强度与屈服强度均发生一定程度下降(分别下降 20% 和 21%), 延伸率略微增大。这是由于高的时效温度容易引起析出相的粗化, 从而使合金的力学性能恶化。

表4 粉末成形 TC4 钛合金经不同温度时效处理后的室温拉伸性能

Table 4 Room temperature tensile properties of powder formed TC4 titanium alloy after solution treated by 950 °C/1 h/WQ and aging at different temperatures

Processing condition	$R_m$ /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	$A$ /%
950 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC	1231	1126	10.75
950 °C/1 h/WQ + 600 °C/4 h/AC	1028	931	11.62

### 3 结 论

(1) 粉末成形 TC4 钛合金在  $\alpha + \beta$  两相区固溶, 空冷和炉冷后得到  $\alpha + \beta$  组织, 水冷后得到  $\alpha + \alpha'$  组织; 固溶温度决定了初生  $\alpha$  相的体积分数。 $\beta$  单相区固溶过程中, 初生  $\alpha$  相全部溶解, 转变为网状状; 随固溶温度的升高, 组织中片层发生粗化, 出现明显晶界  $\alpha$  相。

(2) 在时效过程中,  $\alpha'$  马氏体相发生分解,  $\beta$  相在  $\alpha'$  马氏体相内部以及相界面处析出, 起到弥散强化的作用; 时效温度在 450 ~ 550 °C 范围内, 显微硬度差别不明显, 时效温度升高至 600 °C 时,  $\beta$  相合并长大, 显微硬度略有降低。

(3) 两相区固溶处理时, 随固溶温度的升高, 粉末成形 TC4 钛合金强度先增加后减小, 延伸率逐渐下降; 单相区固溶处理时, 合金强度与两相区 950 °C 固溶处理时接近, 但延伸率下降较为明显。粉末成形 TC4 钛合金经 950 °C/1 h/WQ + 500 °C/4 h/AC 热处理后, 综合性能匹配良好, 抗拉强度为 1231 MPa, 屈服强度为 1126 MPa, 延伸率为 10.75%。

#### 参考文献 References

- [1] Sadeghpour S, Abbasi S M, Morakabati M, et al. Correlation between alpha phase morphology and tensile properties of a new beta titanium alloy[J]. Materials & Design, 2017, 121: 24 - 35.
- [2] Tarzimoghadam Z, Sandlöbes S, Pradeep K G, et al. Microstructure design and mechanical properties in a near- $\alpha$  Ti-4Mo alloy[J]. Acta Materialia, 2015, 97: 291 - 304.
- [3] Terlinde G T, Duerig T W, Williams J C. Microstructure, tensile deformation, and fracture in aged Ti-10V-2Fe-3Al [J]. Metallurgical Transactions A, 1983, 14 (10): 2101 - 2115.
- [4] Li C L, Zou L N, Fu Y Y, et al. Effect of heat treatments on microstructure and property of a high strength/toughness Ti-8V-1.5Mo-2Fe-3Al alloy[J]. Materials Science and Engineering

- A, 2014, 616: 207 - 213.
- [5] Li C, Chen J, Li W, et al. Study on the relationship between microstructure and mechanical property in a metastable  $\beta$  titanium alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2015, 627: 222 - 230.
- [6] 邹海贝. TC4 钛合金热处理强化工艺及相变行为研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2019.
- [7] 刘婉颖, 朱毅科, 林元华, 等. 热处理对 TC4 钛合金显微组织和力学性能的影响[J]. 材料导报, 2013, 27(18): 108 - 111.
- [8] 鲍学淳, 程礼, 陈焯, 等. 热处理工艺对 TC4 钛合金组织和力学性能的影响[J]. 金属热处理, 2019, 44(6): 137 - 140.
- [9] 李进元, 张智, 侯鹏, 等. 热处理工艺对 TC4 钛合金大规格棒材组织及性能的影响[J]. 特钢技术, 2018, 24(1): 22 - 24.
- [10] 顾晓辉, 刘君, 石继红. 淬火、时效温度对 TC4 钛合金组织和力学性能的影响[J]. 金属热处理, 2011, 36(2): 29 - 32.
- [11] 丁灿, 汪常亮, 李峰, 等. 固溶-冷速-时效对 TC4-DT 合金显微组织和力学性能的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2020, 49(3): 962 - 967.
- [12] Chen Y Y, Du Z X, Xiao S L, et al. Effect of aging heat treatment on microstructure and tensile properties of a new  $\beta$  high strength titanium alloy[J]. Journal of Alloys & Compounds, 2014, 586: 588 - 592.
- [13] Qazi J I, Senkov O N, Rahim J, et al. Kinetics of martensite decomposition in Ti-6Al-4V-xH alloys[J]. Materials Science & Engineering A, 2003, 359(1/2): 137 - 149.
- [14] Li J, Wang H M. Aging response of laser melting deposited Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V alloy[J]. Materials Science and Engineering A, 2013, 560: 193 - 199.
- [15] Sauer C, Luetjering G. Thermo-mechanical processing of high strength  $\beta$ -titanium alloys and effects on microstructure and properties[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 117(3): 311 - 317.

### 行业动态

## 中国有色金属工业协会钛锆钎分会第七届第一次会员大会暨理事会换届会议顺利召开

12月18日,中国有色金属工业协会钛锆钎分会第七届第一次会员大会暨理事会换届会议顺利召开。中国有色金属工业协会原会长陈全训;中国有色金属工业协会党委书记、副会长段德炳;宝钛集团有限公司党委书记、董事长王文生;中国有色金属工业协会副秘书长、稀有稀土金属咨询与协调部主任胡德勇;中国有色金属工业协会会员部主任李春超;中国有色金属报社社长张湘斌;中国有色金属工业协会人事部部长赵文嫣出席会议。会议由胡德勇、段德炳先后主持。会议主会场设在北京,来自全国各地的70余家企业代表参加了线上会议。

会员大会上,李春超宣读了《关于同意召开中国有色金属工业协会钛锆钎分会第七届第一次会员大会暨理事会换届会议的批复》,张湘斌作《中国有色金属工业协会钛锆钎分会第七届理事会筹组方案的说明》,王文生作《第六届中国有色金属工业协会钛锆钎分会工作报告》,中国有色金属报社副社长安仲生宣读《中国有色金属工业协会钛锆钎分会上一年度会费收支情况的报告》。经线上投票,审议通过了《中国有色金属工业协会钛锆钎分会工作规则》(修改草案)等三项决议,投票选举产生了由38家理事单位组成的中国有色金属工业协会钛锆钎分会第七届理事会。

第七届第一次理事会上,赵文嫣宣读了《关于同意中国有色金属工业协会钛锆钎分会第七届理事会负责人选任的批复》,审议通过了《中国有色金属工业协会钛锆钎分会第七届理事会会长、副会长、秘书长选举办法(草案)》。经线上投票选举,王文生当选中国有色金属工业协会钛锆钎分会第七届理事会会长,王其红、王继宪、计波、冯勇、刘其永、安仲生、李新罗、杨锐、张红、单戟、赵永庆、袁改焕、徐聪、黄桂文、黄超华、蒋东民当选副会长,安仲生当选秘书长(兼)。

陈全训在讲话中指出,钛锆钎行业要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引,深入学习领会党的十九届六中全会精神,认真贯彻新发展理念,努力构建新发展格局,不断破解制约产业高质量发展的各种瓶颈。王文生表示,2021年是“十四五”开局之年,也是中国共产党建党100周年。面对实现第二个百年奋斗目标、实现中华民族伟大复兴的中国梦,新一届理事会肩负着推动钛锆钎行业高质量发展的历史重任。新时期、新目标、新格局,如何做好第七届理事会工作,他提出4点意见:①坚持政治建会,不断提升分会引导力;②坚持融合办会,不断提升分会服务力;③坚持开放办会,不断扩大分会吸引力;④坚持品牌兴会,不断提升分会影响力。

(来源:中国有色金属工业协会钛锆钎分会)