

TC6钛合金环形锻件组织与性能的研究

杨洪涛¹ 何剑雄² 谭勇¹ 王耀湘² 王淑云¹

(1 北京航空材料研究院,北京 100095)

(2 四达机械制造有限公司,咸阳 712201)

文 摘 为确定变形参数对 TC6 钛合金组织、性能的影响,分别用稍高于和低于 相变点的温度对 TC6 合金进行了环形件的成形,对这两种制度成形锻件的组织、性能的研究表明: TC6 合金在稍高于 相变点的单相区变形,显微组织为网篮状组织;而在 + 两相区成形,得到的组织为等轴组织。TC6 合金近锻造和 + 两相区锻造的常规室温、高温力学性能没有明显差异。采用近 锻造可在不影响力学性能的情况下提高 TC6 合金的可锻性。

关键词 钛合金,组织,性能,近 锻造

Research on Microstructure and Properties of TC6 Titanium Alloy Ring Forging

Yang Hongtao¹ He Jianxiong² Tan Yong¹ Wang Yaoxiang² Wang Shuyun¹

(1 Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

(2 Sida Machine Manufacture Corporation, Xianyang 712201)

Abstract To define the influence of deformation parameters on microstructure and properties, TC6 titanium alloy rings are formed at the temperature of a bit above and below the phase transformation point. The microstructure and mechanical properties are studied. The results show that the microstructure will be basket-weave arrangement deformed at a bit above the phase transformation point and will be equiaxed below the phase transformation point. But the mechanical properties have no remarkable difference. Near- forging can improve the deformability of TC6 without reducing mechanical properties.

Key words Titanium alloy, Microstructure, Property, Near- forging

1 前言

钛合金具有比强度高、中温性能好,抗腐蚀性能好等一系列优点。在室温下,钛合金的比强度高于高强钢和高强铝合金。在 400 ~ 500 内,钛合金的比持久强度、比蠕变强度和比疲劳强度都明显高于耐热不锈钢。因此钛合金在航空、航天、化工和船舶等工业部门得到广泛应用^[1]。

TC6 钛合金为马氏体型 + 两相热强钛合金,是目前应用最广泛的 Ti - Al - Mo - Cr - Fe - Si

系钛合金。Al 在 TC6 合金中稳定并强化 相;同时加入 Mo 和 Si,增加了 相的数量,有利于热加工和热稳定性的提高;Cr 和 Fe 是 共析元素,通过强化 和 相提高中等温度下的拉伸强度^[2]。TC6 合金使用状态一般为退火状态,也可进行适当的强化热处理。该合金可用于制造发动机上在 400 以下长时间工作 6 000 h 和在 450 工作 2 000 h 的部件^[3]。由于钛合金在超过 转变温度后,晶粒迅速长大,变形后形成魏氏组织,造成塑性和冲击韧性的

收稿日期:2004 - 04 - 12

作者简介:杨洪涛,1971 年出生,硕士,主要从事难变形金属材料成形工艺和成形过程数值模拟的研究工作

降低,因而 TC6合金一般在低于 转变温度 10 ~ 30 变形^[1,4],锻造温度范围窄,变形抗力大,本文通过不同变形温度对组织、性能的影响,探讨了提高 TC6合金可锻性的途径。

2 试验

表 1 原材料化学成分

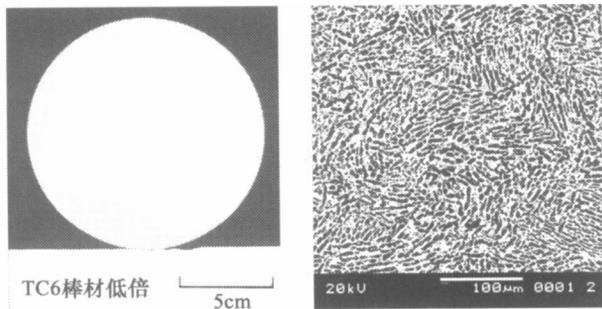
Tab 1 Chemical compositions of TC6 bar

%(质量分数)

项 目	Al	Mo	Cr	Fe	Si	C	O	N	H
出厂值	6.0	2.8	1.4	0.50	0.28	0.01	0.05	0.01	0.002
复验值	5.82	2.54	1.38	0.40	0.26	0.032	0.046	0.014	0.0031
标准值	5.5~7.0	2.0~3.0	0.8~2.3	0.2~0.7	0.15~0.40	0.10	0.15	0.05	0.015

2.2 原材料组织

原材料低倍组织致密,无可见晶粒,其低倍组织见图 1(a)。原材料显微组织为网篮状组织,所有原始晶界已充分破碎,相不同程度地发生扭曲,其间分布着 α 和 β 相的混合体,原材料显微组织见图 1(b)。



(a)低倍组织 (b)显微组织

图 1 棒材组织

Fig 1 Microstructure of TC6 bar

2.3 方法

用金相法测定了试验用棒材的相变点,转变温度为 940 ~ 950。试验时选用了两个变形温度。第一个变形温度为 930,低于相变点,即在 $\alpha + \beta$ 两相区进行变形;第二个变形温度为 950,稍高于相变点,即近 β 锻造。

环形件锻造工艺过程为:坯料加热保温 100 min,墩饼、冲孔、扩孔、整形,终锻温度大于 800,锻后空冷。锻件冷却后对锻件进行等温退火处理,退火制度为:870 \times 1.5 h;炉冷至 650,保温 2 h;空冷至室温。随后对锻件进行解剖分析,以确定变形温度对锻件组织、性能的影响。

3 结果及分析

从两种温度的成形过程看,950 变形时变形抗

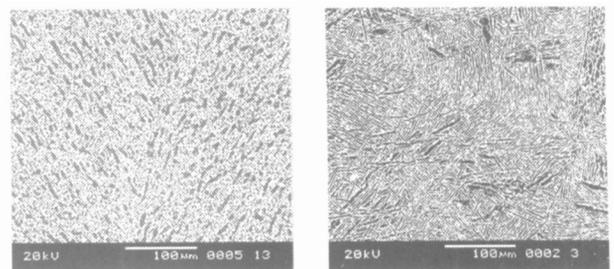
2.1 材料

试验用材料为宝钛股份经 3次真空自耗熔炼的 TC6钛棒,规格为 130 mm,交付状态为退火态,退火制度为 890 \times 1 h,空冷 + 600 \times 2 h,空冷。原材料化学成分见表 1。

力小于 930 时的抗力,材料流动性和可锻性也较好,这主要是因为钛合金有两种同素异构体,低温下是具有密排六方晶格的 α 相,六方晶格组织滑移面数目有限,在低温下塑性变形困难。随温度升高,六方晶格滑移面增多,塑性大大提高。当温度超过相变点进入 β 相区后,金属组织由六方晶格转变为体心立方晶格,塑性大大增加。同时合金组织由两相组织转变为单相组织,消除了由于各相性能不同造成的变形不均,使流动应力降低。在 950 和 930 两个变形温度成形的锻件低倍组织都很均匀、致密,无明显的清晰晶粒,也无其它肉眼可见的冶金缺陷。

3.1 锻件组织

显微组织检查发现,930 变形的锻件显微组织为两相区加工的均匀等轴组织,初生 α 相基本球化,在等轴 β 基体上分布有一定数量的 α 组织,无明显的原始晶界痕迹,锻件高倍组织见图 2(a)。



(a) 930 变形 (b) 950 变形

图 2 锻件显微组织

Fig 2 Microstructure of forging

等轴 α 晶粒的形成过程是合金在 $\alpha + \beta$ 两相区进行变形时,原始 α 晶粒和 β 相同时产生塑性变形,沿金属流动方向被拉长和破碎,随后发生再结晶,由于 α 相的再结晶快于 β 相的再结晶,从而得

到球状的再结晶晶粒。一般认为这样的组织综合性能较好,尤其是塑性和冲击韧性。

950 变形的锻件显微组织为网篮组织,见图 2 (b)。组织中原始晶界未在变形过程中完全消除,但晶界遭到一定程度的破碎,轮廓不够完整和清晰,条状相不同程度地发生扭曲,其间分布着和相的混合物。产生该组织的原因主要是锻造加热温度高于相变点,刻划晶界的条状相和晶内的片状相是在动态变形过程中析出,因此,沿晶粒边界析出的条状相被扭曲,被变形的片状相切割而变得不完整;同时晶内的片状相被变形拉长和扭曲,改变了原来的规则位向和平行排列,形貌趋近于条状,其间保留着 + 的混合物。一般认为这样的组织热强性较好,室温塑性比等轴组织有所降低,但能提高断裂韧性、高温持久和高温蠕变性能^[2,4]。

3.2 锻件力学性能

由于 TC6 合金普通退火后的空冷过程中亚稳定的相会部分地分解而形成两相组织,这种组织不稳定,并在合金的使用温度下趋于完全分解。等温退火处理能够保证 TC6 合金获得最稳定的 + 组织,保证在工作温度的长时间过程中有较高的强度和最高的塑性和最好的热稳定性,这也是高温下长时间工作零件采用的基本热处理制度^[5]。锻件室温力学性能测试数据见表 2。

表 2 锻件室温力学性能

Tab 2 Mechanical properties of forging at room temperature

t/	状态	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%	K_{IC} /J·cm ⁻²
930	退火	956	938	18.3	50.9	73.7
950	退火	959	915	15.6	42.0	72.0

锻件高温力学性能测试数据见表 3。

表 3 锻件高温力学性能

Tab 3 Mechanical properties of forging at high temperature

t/	状态	t/	σ_b /MPa	δ_5 /%	ψ /%
930	退火	400	724	19.1	58.3
950	退火	400	744	18.1	57.2

从表 2 来看,在 + 两相区的 930 变形和在

单相区的 950 变形,强度和冲击韧性相近,没有显著差别。塑性略有下降,950 变形比 930 变形的 δ_5 和 ψ 有所降低,特别是面缩率,这与组织的变化是相对应的。930 变形获得的是等轴组织,这种组织有极好的塑性。同时,两相区变形初生相含量更高(见图 2),而相对拉伸塑性起着重要作用。拉伸变形较小时,在等轴相和变形的相界面上产生空洞;随着拉伸变形程度的增加,在必须穿过基体之前,这些空洞沿着相界面长大。相颗粒对空洞长大起着阻碍作用,初生相颗粒越多,平均自由程越短,空洞长大遇到的阻碍越大。因此,拉伸试样在断裂前产生更大的变形,从而获得更高的拉伸塑性^[2]。虽然 950 变形的锻件室温塑性有降低,但比一般锻件标准要求的(δ_5 8%和 ψ 20%)高得多,使用中有很大的富裕量。

在 930 变形和 950 变形锻件的高温力学数据没有显著差异,这两个温度变形对高温力学性能没有太大影响。

4 结论

(1) TC6 合金在稍高于相变点进行近锻造,可降低变形抗力,提高可锻性。

(2) TC6 合金在稍高于相变点的单相区变形,得到的显微组织为网篮状组织;而在 + 两相区成形,得到的组织为等轴组织。

(3) TC6 合金近锻造和 + 两相区锻造的常规室温、高温力学性能没有明显差异,因此适当提高变形温度,采用稍高于相变点的近锻造可以在保证力学性能的情况下,提高合金的可锻性。

参考文献

- 1 中国机械工程学会锻压学会. 锻压手册(第一卷). 北京:机械工业出版社,2002: 283~324
- 2 王金友,葛志明,周彦邦. 航空用钛合金. 上海:上海科学技术出版社,1985: 113~221
- 3 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册(第四卷). 北京:中国标准出版社,2002: 132~146
- 4 《锻压技术手册》编委会. 锻压技术手册. 北京:国防工业出版社,1989: 244~254
- 5 布鲁克斯 C R. 有色合金的热处理、组织和性能. 北京:冶金工业出版社,1988: 360~387

(编辑 任涛)