

($\alpha + \beta$) 钛合金锻件显微组织 对机械性能的影响

东安发动机制造公司 白登奇

对于钛合金锻件,特别是两相钛合金锻件,由于热加工工艺过程的不同会得到各种各样的显微组织,而不同的显微组织又决定了锻件的机械性能。本文就TC6及TC1钛合金的显微组织对其锻件机械性能的影响进行了试验研究。

一、试验用料及方法

1. 用 $\phi 48\text{mm}$ 的TC6棒材(相变温度: $970 \sim 980^\circ\text{C}$)锻成截面积为 $25 \times 44\text{mm}$ 的方块,锻后经 $870^\circ\text{C} \times 1\text{h}$,随炉冷却至 $650^\circ\text{C} \times 2\text{h}$ 空冷;

2. 用 $\phi 70$ 、 $\phi 90\text{mm}$ 的TC1棒材(相变温度: $920 \sim 930^\circ\text{C}$)锻成壁截面为 $20 \times 30\text{mm}$ 的圆环,锻后经 $730^\circ\text{C} \times 1\text{h}$ 退火;
3. 各试验参数见表1。

表 1

材料	序号	坯料规格 mm	加热温度 $^\circ\text{C}$	升、保温时间 min	锻造时间 min	终锻温度 $^\circ\text{C}$	锻造 次数
TC6	1	$\phi 48 \times 96$	960	28	1	800	三火
				7	2	810	
				9	2	800	
	2	$\phi 48 \times 98$	940	38	2	800	三火
				3	1	830	
				4	1	860	
	3	$\phi 48 \times 100$	960	34	1	800	两火
				4	1	840	
	4	$\phi 48 \times 98$	940	33	2	800	五火
			940	7	1	780	
			960	14	1	790	
			960	4	1	800	
TC1	1	$\phi 67 \times 151$	900	40	5	690	一火
	2	$\phi 87 \times 146$	900	47	3	700	两火
				12	3	700	
	3	$\phi 67 \times 144$	900	49	3	710	三火
				12	3	690	
				8	2	700	
	4	$\phi 87 \times 138$	900	52	4	860	五火
				10	2	700	
				5	2	700	
				4	3	710	
				2	2	760	

二、试验结果

由于各试验件的保温时间、始锻温度、最终一火的变形量有所差异,所得显微组织如图1和图2,机械性能见表2。

三、讨论

1. 两组试验所得的显微组织基本上可以分为三类:

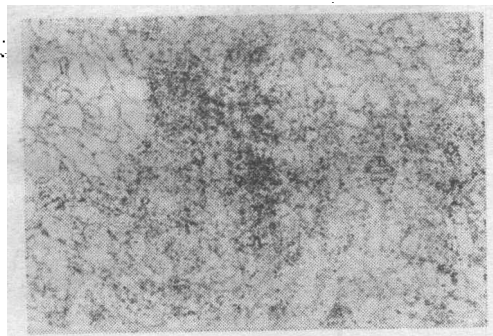
第 I 种类型的显微组织(所谓的等轴 $\alpha + \beta$ 组织)是均匀分布的混合组织,其中有初生 α 相(亮块)和 $\alpha + \beta$

混合体(暗块),如图1a、图2a。这种组织是合金在 $(\alpha+\beta)$ 区内低于相变点 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行变形时所获得的。

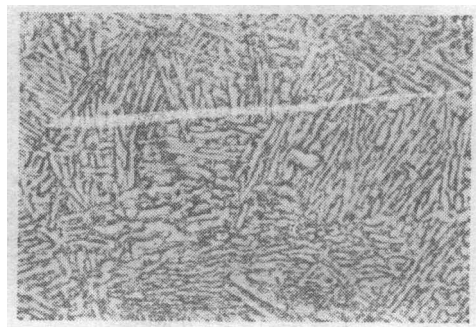
第Ⅱ种类型的网篮状显微组织是合金在 β 区加热,并在 $(\alpha+\beta)$ 区进行最终变形时所形成的,初生 α 亮块被拉成片状,在其间分布着 $\alpha+\beta$ 的混合体(暗区),如图1b~e、图2b、c。这种组织的特点是 β 晶界不同程度地被破碎,因而不完整,不清晰,条状 α 相不同程度地发生歪扭。

第Ⅲ种类型的组织是粗大的原始 β 晶粒和晶内的粗片或细片状组织,如图1f、图2d。图1f中的粗大 α 片按一定位向排列,即形成了魏氏组织,它是由于最终一火的变形量太小而引起的。而图2d晶界上的 α 与晶内的 α 片构成了鱼骨状组织,它是由于锤击过猛,变形过于剧烈,致使坯料变形时的温度超过了 β 相变温度而引起的。

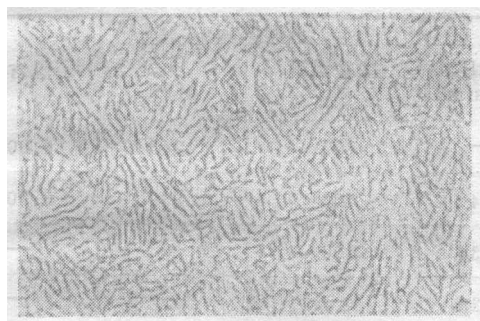
2.由表1、表2的性能数据可以看出,具有



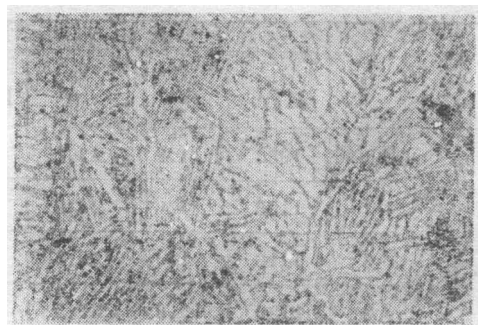
a. 原材料



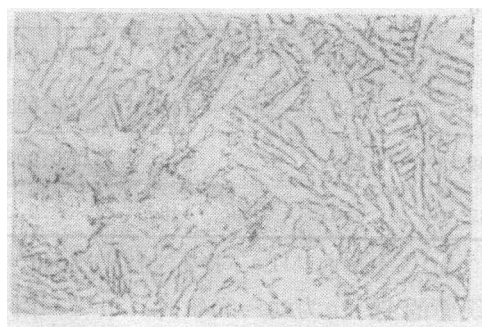
b. 1*



c. 2*



d. 3*

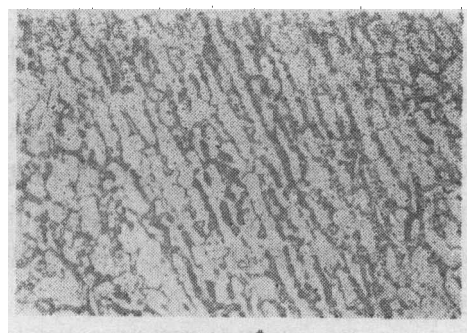


e. 4*



f. 5*

图 1 TC6锻件显微组织 500×



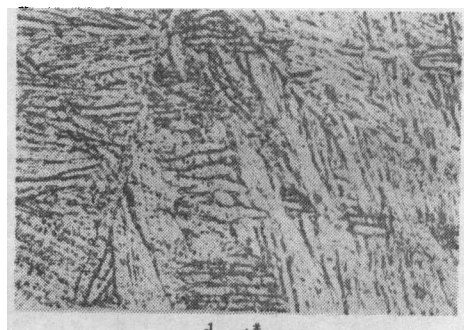
a. 1*



b. 2*



c. 3*



d. 4*

图 2 TC1锻件显微组织 500×

表 2 经退火锻件的机械性能*

材料	序号	常温机械性能					高温瞬时		氢含量
		σ_b MPa	δ %	ψ %	a_k kJ/m ²	HB d, mm	试验温度 °C	σ_b MPa	
TC6	原材料	1082	14.8	43.2	441	—	400	843	0.0025
	1	1126	14	44.9	373	3.4	400	830	0.0057
	2	1116	16	40.1	324	3.34	400	—	—
	3	1126	16.8	37.3	353	3.28	—	—	—
	4	1110	14	30.3	343	3.3~3.36	400	773	0.0033
	5	1116	13.6	27.2	333	3.28	—	—	—
TC1	1	743	19.6	56.8	530	3.92	350	473	0.0043
	2	747	20.8	51.8	579	3.88	350	443	0.0022
	3	730	18.8	40.4	471	3.90	350	473	0.0031
	4	705	16.0	33.6	755	3.82	350	448	0.0030

* TC6 400°C 68×9.8MPa下持久性能大于100h; TC1 350°C 33×9.8MPa下持久性能大于100h。

等轴 $\alpha+\beta$ 组织的试样,其塑性较好,尤其是断面收缩率较网篮状组织的高16~28%,比魏氏组织的高39~41%。据有关资料介绍,当显微

组织中的球状 α 为20~30%时,塑性、耐热强度和断裂韧性可得到最佳的配合。

对于网篮状组织,当其 α 勾划出的 β 晶粒越

小,晶界 α 的破碎程度越大,晶内 α 呈小块状(或短棒状)时,合金在室温下呈现的塑性相对较好,如图1b、c,图2b、c。有些研究者对 β 晶粒的大小, α 域的尺寸和 α 片的厚度对合金机械性能的影响做了大量的研究,有的还给出了可以进行定量分析的回归方程式,说明了塑性能与 α 域尺寸和 α 片厚度的关系具有极值特征。当 α 域尺寸和 α 片厚度增大时,强度有所下降,而塑性则有所提高。但当增大到某一值时(α 域 $d \approx 25 \sim 30 \mu\text{m}$, α 片厚 $b \approx 2.5 \sim 3.5 \mu\text{m}$)塑性又开始下降。本试验也证实了这一点。

魏氏组织一般为过热的合金所固有。这种组织的机械性能特征是强度降低不多,但塑性较差,尤其是断面收缩率降低幅度较大。如图1f的断面收缩率较图1a的降低39.4%,图2d的断面收缩率较图2a的降低40.8%。

另外,图1e显微组织中的 α 相粗大析出物,是由于在 $\alpha + \beta$ 区长时间加热,加之变形不均匀所致。这种组织对强度的影响不大,但对塑性却有一定的危害性。

四、结论

1. $\alpha + \beta$ 钛合金的机械性能,尤其是塑性指标直接受其显微组织的控制。TC6钛合金的断面收缩率对显微组织尤为敏感。由试验可以看出,等轴 α 组织的塑性较高,魏氏组织的塑性较差,而具有一定比例(20~30%)等轴 α 晶粒的组织,其综合性能最好。

2. 合金的显微组织与所进行的热加工工艺过程密切相关。由试验可以看出,为获得等轴 α 组织,加热温度应低于相变温度 $10 \sim 20^\circ\text{C}$,且避免合金剧烈变形,以防止由于热效应而使合金变形温度高于相变温度。

3. 为获得具有一定比例(20~30%)的等轴 α 晶粒的组织,加热温度可略高于相变温度,但在低于相变温度下应有相当的变形量。

4. 为获得细小的晶粒,高温下的保温时间不宜过长。

(参考文献略)

(上接第38页)

断裂三个阶段。一般形成弓形或半圆形断裂源区,在源区内含有一定间隔的逐渐扩展的弧形疲劳条带;疲劳裂纹缓慢扩展区有在裂纹扩展过程中由裂纹尖端高度银纹化的塑性屈服区与高聚物间产生的间隔条带;在疲劳裂纹快速断裂区则呈现笋尖状薄片迭层断裂区和撕裂平台上二次裂纹与主裂纹峰面相交的慧星群(双曲线群)花样。

2. 有缺口应力集中的DYB-4疲劳断裂的典型断口有高应力低周断口,具有点状源区和极小扩展区平台,断裂时有严重碎裂或分层现象;而对称循环断口则具有裂纹尖端最大切应力方向出现银纹簇的剪切变形和开裂现象,并形成疲劳条纹,由于在裂纹扩展初期的开口位移与平面应变变量较小,故在裂纹尖端最大切应力方向形成光滑的翼状磨痕。

3. DYB-4拉伸疲劳断口,当 K_t 为4, R 为0.1和0.3时,弓形源区随应力水平 K 值的增大而减小,在高 K 值(一般 $K \geq 0.55$)时出现点状源区;而在相同的 K 值下,源区又随断裂循环次数的增加而增大。在 $R = -1$ 时,较高循环次数的断裂源区的 b/l 比值接近1。

参 考 文 献

- [1] AD A032141 Session Design and Performance (Part I), 165—194.
- [2] Rabinowitz, S., Krause, A. R. and Beardmore, P., J. Mater. Sci., 8, 1973, 11—22.
- [3] Rabinowitz, S. and Beardmore, P., J. Mater. Sci., 9, 1974, 81—99.
- [4] 赵进, 满淑鹏, 航空材料, 1, 1985, 26—31.
- [5] 颜鸣皋, 航空材料, 5, 1978, 1—10.

