

β 斑点对 Ti-10V-2Fe-3Al 合金性能的影响

周义刚 俞汉清 曾卫东

唐加林

(西北工业大学)

(中国南方航空动力机械公司)

摘 要 研究了 β 斑点对Ti-10V-2Fe-3Al合金的室温拉伸性能和低周疲劳性能的影响,发现在 β 斑点区内,裂纹沿原始 β 晶界扩展形成沿晶脆性断裂.在交变应力作用下, β 斑点往往成为疲劳源点,在高应变下, β 斑点内的原始 β 晶界和晶界 α 处萌生裂纹并导致早期断裂.

关键词 Ti-10V-2Fe-3Al合金, β 斑点, 拉伸塑性, 低周疲劳寿命

由于可热处理性的提高、深的淬透能力、优异的力学性能和工艺塑性,高度合金化的亚 β 型钛合金无疑是今后发展的方向^[1].然而,添加高含量的 β 稳定元素,若熔炼和热加工工艺不当,因成分偏析易形成 β 斑点^[2,3],使塑性和低周疲劳寿命严重降低^[3-5].

本文研究了 β 斑点对Ti-10V-2Fe-3Al合金的室温拉伸性能和低周疲劳寿命的影响及其原因.

1 试验材料及方法

试验材料为Ti-10V-2Fe-3Al合金80×80(mm)的方坯料(存在较严重的 β 斑点),坯料经过760℃固溶处理2h,水淬+520℃,8h,空冷处理后沿轴向切取性能试样.

在ZDM-5t材料试验机上进行室温拉伸试验,拉伸速度0.05 mm/s.在MAYES试验机上进行等幅轴向拉-拉疲劳试验,应力比 $R=0.1$,循环频率为15 cyc/min.

在断裂试样一端观察宏观与微观组织,用LEITZ-T.A.S图象分析仪定量统计 β 斑点占断裂截面积的百分比 P_A 与最大 β 斑点面积 $S_{\max}$,测量 β 斑点与周围基体的显微硬度.在同一个断裂试样的另一端进行断口分析,观察 β 斑点与周围基体的断口形貌,测量两者的微区成分.

2 试验结果与分析

2.1 拉伸试验

由表1可以看到,不同试样的室温拉伸性能,特别是塑性的差异很明显,断裂面上没有 β 斑点的,其 ψ 值很高,最高为56%;存在严重 β 斑点的,其 ψ 值明显降低,最低为11%.例如, $S_{\max}=1.04\times 0.20=0.21\text{ mm}^2$ 的样品,其 ψ 值为26.8%; $S_{\max}=2.73\times 0.22=0.60\text{ mm}^2$

表 1 β 斑点对 Ti-10V-2Fe-3Al 合金拉伸性能的影响Table 1 Influence of maximum β -flecks area, $S_{\max}$, on tensile properties of Ti-10V-2Fe-3Al alloy

$S_{\max}$ mm^2	$P_A^{1)}$ %	σ_b MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ %	ψ %
0 ²⁾	0	1202	1183	11.0	48.7
0.01(=0.21×0.05)	0.06	1210	1195	11.6	51.3
0.02(=0.32×0.07)	0.12	1245	1220	9.6	44.0
0.07(=0.37×0.19)	0.12	1182	1165	10.0	46.0
0.09(=0.48×0.18)	1.1	1250	1220	8.8	30.0
0.20(=1.28×0.16)	5.7	1282	1243	6.4	11.9
0.21(=1.04×0.20)	1.8	1289	1260	8.0	26.8
0.22(=1.07×0.21)	3.3	1220	1210	7.2	29.5
0.32(=0.63×0.51)	6.1	1260	1211	5.6	11.7
0.58(=0.97×0.60)	13.6	1302	1280	5.6	11.0
0.60(=2.73×0.22)	3.2	1226	1200	6.0	13.2

Note: 1)-ratio of statistic β -fleck area to cross-section area of fracture, %

2)-mean value of 8 tests

的样品(见图 1a), ψ 只有 13.2%。不仅 $S_{\max}$ 对塑性有影响, P_A 值同样影响塑性。有的样品中 β 斑点的 $S_{\max}$ 值没有超过控制标准(0.762×0.762), 但 P_A 值很高, 塑性下降也很严重。例如 $S_{\max} = 1.28 \times 0.16 = 0.20 \text{ mm}^2$ 的样品, 由于断裂面上 β 斑点很多, $P_A = 5.7\%$, 其对应的 ψ 只有 11.9%。因此, 在实际生产中除了应控制最大 β 斑点面积外, 还应考虑单位面积中的 β 斑点含量。

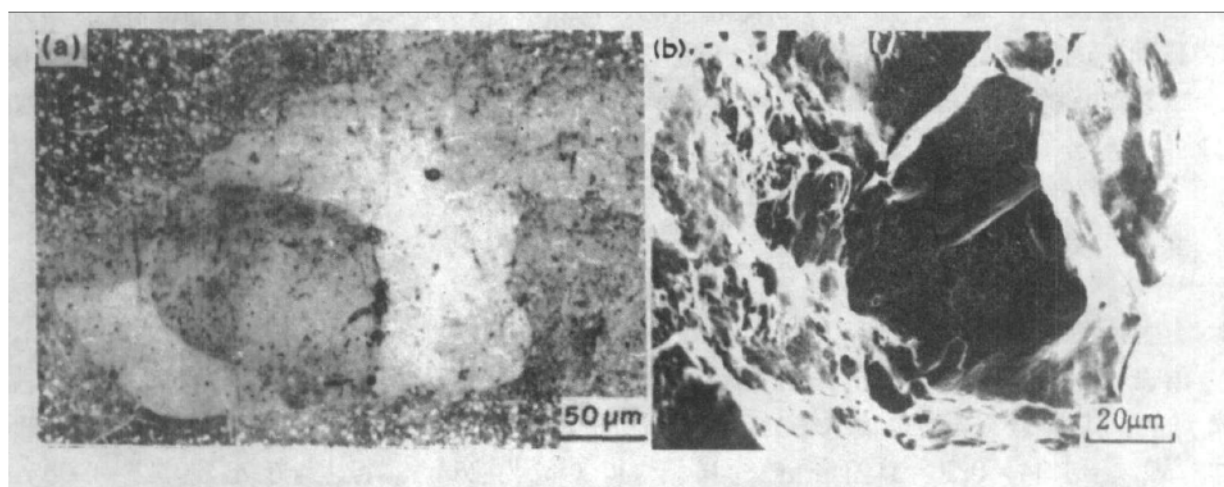


图 1 断裂试样的金相照片和断口形貌

Fig.1 Optical photograph and fractograph

(a) β -fleck, (b) intergranular fracture on β -fleck zone

大量试验结果证实, 凡在金相组织中存在 β 斑点, 在断口的相应部位均能找到以晶界断裂为特征的脆性断裂区(图 1b), 而没有 β 斑点的样品, 断裂形貌为韧窝特征. 微区成分测定, 脆性断裂区中 Fe 含量均高于基体, 而 Al 含量均低于基体(表 2), 表明脆性断裂区为 β 斑点区.

表 2 微区成分及显微硬度

Table 2 Typical examples of composition vs microhardness for Ti-10V-2Fe-3Al alloy

Fe wt-%	Al wt-%	V wt-%	Microhardness, MPa	
			β -fleck	Matrix
2.724	2.110	10.644	4750	4370
2.750	2.496	12.604	4710	4290
2.910	2.224	10.836	4800	4380
3.073	2.016	11.355	4730	4260
3.336	2.390	11.014	4690	4440

从表 1 还可以看到, 凡试样断裂面上存在严重 β 斑点的, 材料塑性急剧下降, 而强度明显上升. 测试了典型试样中的 β 斑点和基体的显微硬度, 发现 β 斑点的显微硬度均高于基体(表 2), 硬度愈高, 强度愈高.

2.2 低周疲劳试验

低周疲劳试验的结果列于表 3, 断裂面上有严重 β 斑点的和没有的相比, 前者的低周疲劳寿命明显降低. 例如, 没有 β 斑点的样品, 断裂循环次数最高为 $N_f = 1.61 \times 10^7$; 有严重 β 斑点的样品, 当 $P_A = 31.22\%$ 时, 其 $N_f = 2.3 \times 10^5$, 而且疲劳源位于试样边缘的 β 斑点, 并由源区向里扩展形成一条脆性断裂带, 高倍下呈现沿晶界断裂(图 2). 经测定断裂带中

表 3 β 斑点对 Ti-10V-2Fe-3Al 合金低周疲劳寿命的影响Table 3 Influence of maximum β -fleck area, $S_{\max}$, on low cycle fatigue life of Ti-10V-2Fe-3Al alloy

$S_{\max}$ mm ²	P_A %	Cyclic fatiguing	
		Stress, MPa	Life, N_f
0	0	800	Over 6.38×10^6 , 2.88×10^6 , 1.61×10^7
0.09(=0.43×0.21)	0.59	800	2.5×10^5
0.15(=0.50×0.30)	10.90	800	6×10^4
0.18(=0.80×0.23)	1.30	800	8.1×10^5
7.83(=8.42×0.93)	11.99	800	8.8×10^5 failed at clamping
0	0	900	7.1×10^5 , 8.1×10^5 , 8.2×10^5
0.11(=0.57×0.19)	1.60	900	2×10^5
0.13(=0.38×0.33)	0.54	900	6.1×10^5
0.19(=0.62×0.31)	1.72	900	5.4×10^5
0.21(=0.56×0.38)	2.75	900	3.5×10^5
3.76(=3.27×1.15)	31.22	900	2.3×10^5

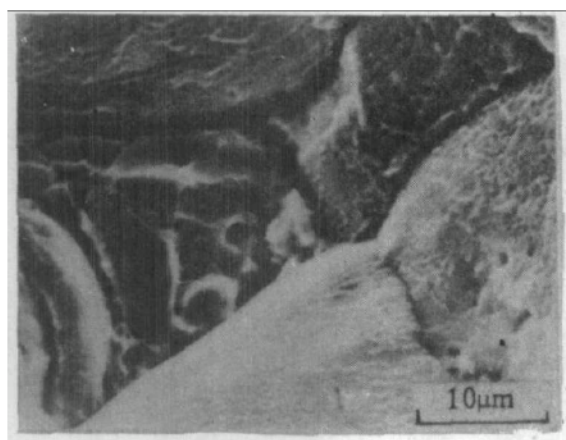


图 2 断裂试样的断口形貌

Fig.2 Optical photograph of fracture surface

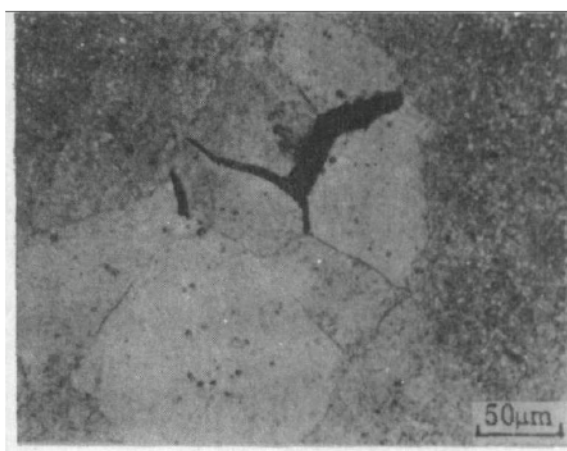


图 3 裂纹沿晶界扩展

Fig.3 Cracks propagating along grain boundary

Fe=3.37%, Al=1.97%, 表明断裂带由 β 斑点所致. 有的样品上发现由 β 斑点构成的断裂带贯通整个断面.

3 讨 论

3.1 β 斑点对拉伸性能的影响

在 β 斑区内几乎没有初生 α_p 相, 主要是原始 β 晶界构成轮廓的时效 β 基体. 斑点内的显微硬度比基体高(表 2), 反映在拉伸性能上强度升高, 塑性降低.

文献[6, 7]指出, 决定这种组织低塑性主要是 β 晶界和晶界 α 膜, 在 β 斑区内晶界 α 的存在导致长的软相区域, 在拉伸变形时, 软相 α 优先变形, 但因时效 β 基体的强度高, 导致大的塑性变形分布于相当小的体积之中, 在时效 β 基体未达到屈服之前, 晶界 α 已产生较大的变形^[6]. 因此, 长的滑移区域, 高的应力集中和局部塑性应变均产生于 β 斑区内的晶界三角点上, 空洞首先在 β 斑点内的晶界上形核, 继而长大、连接、沿晶界扩展(图 3), 最后导致晶界断裂.

3.2 β 斑点对低周疲劳寿命的影响

β 斑点的存在导致材料组织不均匀性增加, 塑性变形时, 引起交变滑移的不均匀, 在 β 斑区的原始 β 晶界与晶界 α 处产生局部塑性应变集中. Feltner 和 Beardmor 指出^[8], 应变在晶界的集中通常与晶粒尺寸成正比, 而 β 斑点正是材料中最大晶粒尺寸的区域, 所以应变主要集中在 β 斑区内原始 β 晶界上^[6], 但因时效 β 基体的强度高, 故滑移在软相 α 与时效 β 基体的交界面受阻, 位错在晶界处塞积, 当应力集中达到一定程度, 晶界发生开裂, 继而沿晶扩展形成晶界断裂(图 3). Spark 和 Funkenlusch 等人^[4,5]发现, β 斑区内多重裂纹形核是导致材料过早断裂的根本原因. 本文的结果与他们的结论相符.

4 结 论

(1) Ti-10V-2Fe-3Al 合金在拉伸和疲劳试验时, 裂纹易在 β 斑点内原始 β 晶界和晶界 α 处形核, 并沿晶形成脆性断裂, β 斑点愈严重, 塑性和低周疲劳寿命愈低.

(2) 最大 β 斑点面积 $S_{\max}$ 和 β 斑点含量 P_A 对塑性和低周疲劳寿命都有影响. 在实际生产中除了控制 $S_{\max}$ 外, 还应控制 P_A .

参 考 文 献

- 1 Froes F H, Bomberger H B. *J Met*, 1985; 37(7): 28
- 2 Bomberger H B, Froes F H. *J Met*, 1984; 36(12): 39
- 3 周义刚, 俞汉清, 张恒毕, 徐好义. 西北工业大学学报, 1990; 8(4): 425
- 4 Sparks R B, Long J R. *Technical Reprint, AFML-TR-37-301*, 1974
- 5 Funkenlusch A W, Coffio L F. *Metall Trans*, 1978; 9A:1159
- 6 Terlinde G T, Duerig T W, Williams J C. *Metall Trans*, 1983; 14A: 2101
- 7 Craef M. *Metall*, 1978; 32: 563
- 8 Feltner C E, Beardmor P. *ASTM STP 467*, 1969: 77

EFFECT OF β -FLECK ON MECHANICAL PROPERTIES OF Ti-10V-2Fe-3Al ALLOY

ZHOU Yigang, YU Hanqing, ZENG Weidong (Northwestern Polytechnical University, Xi'an) TANG Jialing (Chinese Aviation South Power Machine Company, Zhuzhou)
(Manuscript received 24 February, 1992; revised manuscript 22 July, 1992)

ABSTRACT Effect of β -fleck on properties of tensile elongation and low cycle fatigue life at room temperature for Ti-10V-2Fe-3Al alloy has been investigated. The cracks along initial β -grain boundaries in the β -fleck region may propagate to form intergranular brittle fracture. Under alternating load, the β -fleck often becomes a fatigue origin. While under higher strain, the cracks initiate and propagate to fracture early at the original β -grain boundaries in β -fleck region and at α -grain boundaries.

KEY WORDS Ti-10V-2Fe-3Al alloy, β -fleck, tensile property, low cycle fatigue life

Correspondent: ZHOU Yigang, Professor, Department of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072