

蠕变塑性表征方法的研究

Study of Expressive Method of Creep Plastic

张行安 夏慧琴 吴仲棠 (北京航空材料研究院)

胡庚祥 (上海交通大学)

Zhang Xingan Xia Huiqin Wu Zhongtang (Institute of Aeronautical Material, Beijing)

Hu Gengxiang (Shanghai Jiaotong University)

[摘要] 比较了高温塑性几种表征方法,提出了用0.2%蠕变变形确定蠕变第三阶段开始点的条件蠕变第三阶段来表征蠕变塑性。用DD3单晶的蠕变曲线来验证,获得满意的结果。

关键词 单晶 蠕变塑性 蠕变曲线 表征方法

[Abstract] Several expressive methods of creep plastic were compared. A new method was proposed by third stage of creep curve with requirement. It was verified by creep curve for DD3 single crystal superalloy.

Keywords single crystal creep plastic creep curve expressive method

1 前言

高温铸造合金由于耐热温度高被广泛选作涡轮叶片材料,美国Mar-M200高温铸造合金因蠕变塑性差,不存在蠕变曲线第三阶段而被淘汰,不能用于制造涡轮叶片,而改进为Mar-M002合金。本文提出用最小蠕变速率和条件蠕变第三阶段变形率参量来表征蠕变塑性的高低,并用DD3单晶蠕变第三阶段变形率做验证。

2 蠕变塑性表征参量

2.1 用 $\sigma_{0.2}$ 蠕变极限和持久 $\delta\%$, $\psi\%$ 来表征材料的蠕变塑性

$\sigma_{0.2}$ 是在恒定温度下达到某规定时间、蠕变变形率不超过0.2%的最大应力, $\delta\%$ 和 $\psi\%$ 是在持久试验断裂后室温测得,为此需要做蠕变和持久两种试验,室温 $\delta\%$ 测量误差较大且不能得到蠕变断裂全寿命的蠕变曲线。

2.2 用美国高温合金技术条件来表征蠕变塑性

美国PWA1422高温合金技术条件规定:

纵向:760 689MPa持久寿命>48h,在48h测得 δ_{40} 要小于4%;982 221MPa持久寿命>32h,在20h测得 δ_{40} 要小于2%,在32h则 δ_{40} >10%。

横向:760 要求断裂前2h的 δ_D 值。

可知美国在检验高温材料时要作蠕变断裂全寿命曲线,以便求出20h和32h以及断裂前2h的蠕变变形率。希望在试验开始阶段亦即材料工作阶段蠕变变形率

要小,蠕变抗力要高,材料接近失效阶段蠕变变形率要大,以便有塑性预报,不致有灾难性事故发生。这种方法操作性强,强度和塑性指标可在蠕变断裂一个试样上获得,可作为材料检验标准,但在其他温度、应力下的蠕变塑性就不能表征。

2.3 用最小蠕变第三阶段变形率来表征蠕变塑性

用最小蠕变速率和蠕变曲线偏离点作为第三阶段的终止和第三阶段的开始点 ϵ_m 表示,见图1。

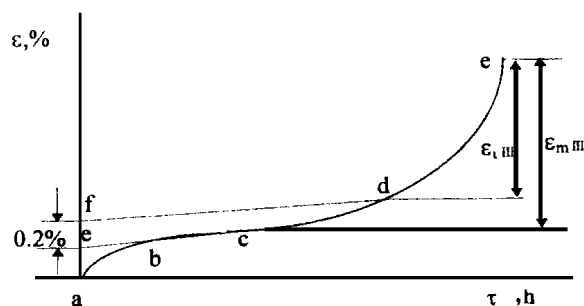


图1 确定0.2%条件蠕变第三阶段

Fig. 1 Defining creep curves of third stage with requirement

当 ϵ_m 大、蠕变塑性好、断裂前有塑性预报时,作为涡轮叶片材料,安全、可靠。在实际应用中往往是第三阶段占有时间短,第二阶段占有时间很长,这和实际要求不符。实际使用中希望工作寿命主要消耗在蠕变第三阶段,蠕变第二阶段只做零件失效前预报而占有较短的寿命。

2.4 用条件蠕变第三阶段变形率来表征蠕变塑性

用0.2%条件蠕变变形率来确定蠕变第三阶段开始点,其方法为0.2%条件蠕变变形率处做平行于最小蠕变速率的直线,它和蠕变曲线相交点为蠕变第三阶段开始点,这样使蠕变第三阶段时间延长,蠕变变形率小,工作寿命长,蠕变第三阶段时间缩短,蠕变变形率大,有断裂前的塑性预报,符合材料的使用特性。

3 试样及试验设备

材料为 DD3 单晶, 经 1250 °C 固溶, 870 °C 时效, 试样采用 $\phi 5\text{mm} \times 25\text{mm}$ 蠕变断裂试样, 试验在 A-3 蠕变试验机上进行, 控温精度为 ± 2 °C。

4 试验结果和分析

我国自行研制的 DD3 单晶, 其 760 °C 和 1000 °C 蠕变断裂全寿命见图 2 和图 3。由图 2 看到, 760 °C, 696 MPa, 断裂时间为 736.5 h, 大于美国 PWA 1422 的 760 °C, 689 MPa 需 > 48 h 的要求; 测得蠕变变形为 1.1%, 也小于 4% 的技术条件要求。由图 3 看到, 1000 °C, 216 MPa, 断裂寿命为 67.2 h 和 70.5 h, 大于 PWA 1422 的 980 °C, 221 MPa 需 > 32 h 的要求。20 h 的 δ_{40} 为 0.63% 和 1%, 小于 PWA 1422 $\delta_{40} < 2\%$, 断裂时 δ_{40} 为 10.7% 和 11.5%, 大于 PWA 1422 $\delta_{40} > 10\%$ 的要求。可见 DD3 单晶高温强度和蠕变塑性均大大超过和满足美国 PW 公司 1422 叶片材料技术条件。

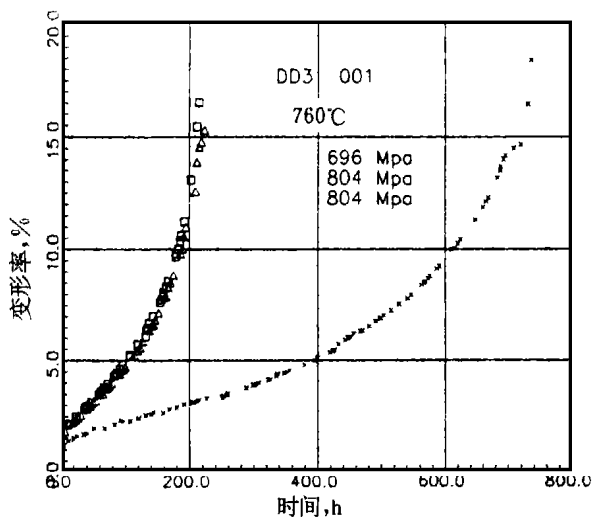


图2 [001]取向DD3单晶合金760 °C不同应力蠕变断裂全寿命曲线

Fig. 2 Creep curves of DD3 with [001] orientation at 760 °C

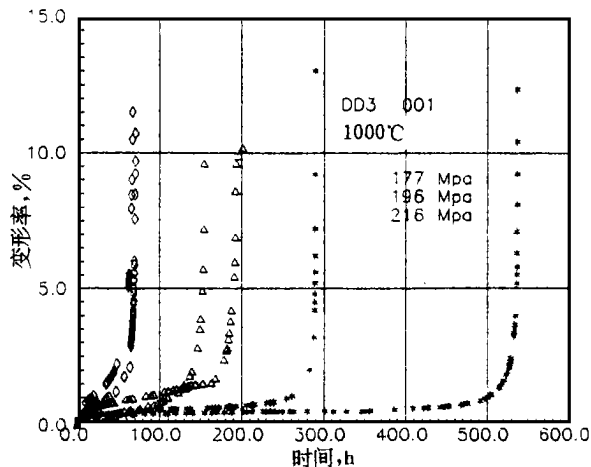


图3 [001]取向DD3单晶合金1000 °C不同应力蠕变断裂全寿命曲线

Fig. 3 Creep curves of DD3 with [001] orientation at 1000 °C

用最小蠕变速率确定蠕变第三阶段开始点的蠕变第三阶段变形率, 来表征 DD3 蠕变塑性, 其结果表明, 除 760 °C 696 MPa 蠕变第三阶段蠕变变形率为 4% 外, 其他均为 1%, 所占的持续寿命一般只有 30%, 最高为 65%, 最低仅为 5.4%。可见用最小蠕变速率确定蠕变第三阶段表征 DD3 单晶的蠕变塑性太保守了。

用 0.2% 条件蠕变变形确定第三阶段开始点的蠕变第三阶段来区分蠕变第三、第四阶段, 则蠕变第三、第四阶段占蠕变断裂总寿命由 30% 提高到 50%, 最高提高到 87%, 第三、第四阶段蠕变变形均为 5% 以下, 一般为 2%, 即有 80% 至 94% 的蠕变变形是在条件第三阶段的 50% 至 13% 寿命中产生, 可见用 0.2% 条件蠕变变形率来确定蠕变第三阶段变形率来表征蠕变塑性, 符合涡轮叶片的实际工作情况, 是较为合理的。

5 结论

(1) DD3 单晶合金的高温持久强度和塑性满足 PWA 1422 合金的技术条件, 可作为涡轮叶片材料。

(2) 用 0.2% 条件蠕变变形率确定第三阶段开始点的蠕变第三阶段变形率来表征蠕变塑性, 符合涡轮叶片对蠕变塑性的要求, 是较为合理的。

稿件收到日期: 1998. 1.

张行安, 男, 1940 年出生, 高级工程师, 在北京航空材料研究院从事高温强度研究。联系地址: 北京 81 号信箱 23 分箱 (邮编 100095)。