

关于拉伸速度对 TC11 合金力学性能影响的研究

李小清 陆金香 黄丽娜

中国航发南方工业有限公司, 湖南 株洲 412002

[摘要] 在金属拉伸试验方法中规定的拉伸速度范围内, 拉伸速度对所测力学性能的影响趋于稳定, 虽有波动但范围不大, 普遍呈现随拉伸速度增大强度、屈服强度略有升高而延伸率、断面收缩略有降低。TC11 合金, 尤其经热暴露处理后的 TC11 合金, 上述性能指标随拉伸速度改变非常大且有点反常, 即随拉伸速度增大而塑性指标有非常明显的增大。

[关键词] TC11 合金; 拉伸速度; 强度; 屈服强度; 延伸率; 断面收缩率

DOI: 10.33142/ec.v2i8.550

中图分类号: TG146.23

文献标识码: A

Study on the Effect of Tensile Speed on Mechanical Properties of TC11 Alloy

LI Xiaoqing, LU Jinxiang, HUANG Lina

China Airlines South Industry Co., Ltd., Hunan Zhuzhou, 412002 China

Abstract: In the tensile speed range specified in the metal tensile test method, the effect of tensile speed on the measured mechanical properties tends to be stable, although the tensile speed fluctuates but the range is small, the tensile strength increases slightly with the increase of tensile speed, the yield strength increases slightly, and the section shrinkage decreases slightly. TC11 alloy, especially TC11 alloy after thermal exposure treatment, the above properties change very large and a little abnormal with tensile speed. That is to say, with the increase of tensile speed, the plasticity index increases obviously.

Keywords: TC11 alloy; Tensile speed; Strength; Yield strength; Extensibility; Section shrinkage

引言

TC11 合金是一种综合性能良好的 $\alpha-\beta$ 型热强钛合金, 在 500℃ 以下有优异的热强性能 (高温强度、蠕变抗力等), 并且具有较高室温强度。该合金还具有良好的热加工工艺性能 (包括常规工艺性能和超塑性), 可以进行焊接和各种方式的机加工。目前, 随着 TC11 合金应用的不断扩大, 该合金的 β 热处理及等温锻已获得迅速的发展。该合金主要用于制造航空发动机的压气机盘、叶片、鼓筒等零件, 也可用于制造飞机结构件。通过 $\alpha+\beta$ 区热变形和 $\alpha+\beta$ 区热处理, 获得的 TC11 合金的最高长期工作温度为 500℃。TC11 合金用量大且均为关键性结构件, 其失效均有典型性, 往往会造成灾难性事故。而钛合金零件的失效和力学性能分析有很大的关联。

在日常生产中, 力学性能指标是材料复验、零件加工的重要参数, 准确获得力学性能指标尤为重要。而强度、屈服强度、延伸率、断面收缩率更是力学性能指标的传统项, 对于这些项目的测试有相关的试验标准。GB/T228、HB 5143 等试验标准对拉伸速度的规定均为一个范围, 相关研究表明在这一拉伸速度范围内, 上述几个力学性能指标对于多数金属材料是趋于稳定的。通过对过去试验数据的总结分析, TC11 合金对拉伸试验对速度比较敏感, 以至于试验双方对使用的拉伸速度发生争议。同时使用上限拉伸速测得结果可能掩盖使用下限拉伸速测得结果。因此研究拉伸速度对于 TC11 合金上述力学性能指标的影响是必要的, 通过次研究可以为 TC11 合金复验、加工以及故障分析提供试验参考和指导。

1 数据处理理论

长期以来, 人们对材料性能进行了大量的统计分析, 所得频率曲线符合正态分布特征。因此本文数据处理均在正态分布这个假设基础上进行。

μ - 样本母体均值

σ - 样本母体标准差

\bar{X} - 样本子样均值

S - 样本子样标准差

Cv - 变异系数

其中 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ $Cv = S/\bar{X}$, S、Cv 是表征试验数据的离散程度。

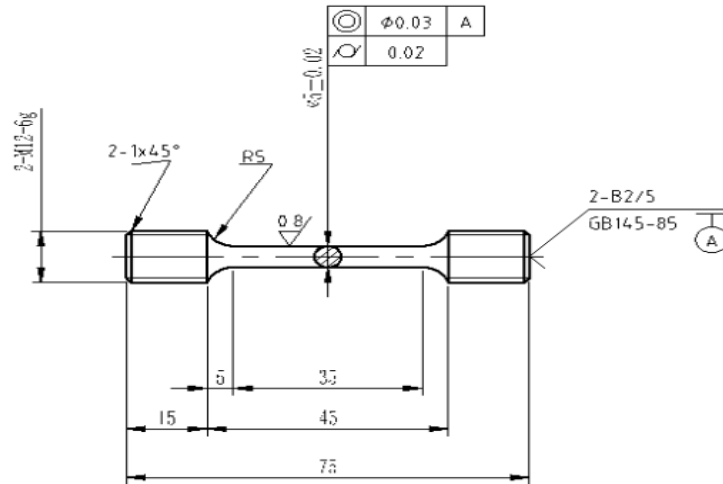
2 试验条件

试验方法：将加工好的试样分为两组，一组直接进行室温拉伸；另一组在 500℃ 下热暴露 100 小时，空冷后进行室温拉伸。

试验材料：TC11 淬火：950±10℃，100h，空冷；回火：550±10℃，6h；热暴露处理：500℃，100h。

试验条件：GB/T228 金属材料拉伸试验方法，分别对两组试样采用 0.1mm/min，0.5mm/min，1 mm/min，2mm/min，5mm/min，15 mm/min 进行试验，每个试验速度 4 个试样。

试样形式：Φ5 光滑拉伸试样，如图：



试验设备：日本岛津 SHIMADZU AG-100kN

3 数据处理

未经热暴露试验数据处理详见表 1，经热暴露后试验数据详见表 2。

表 1 未经热暴露试验数据处理

性能指标	拉伸速度 mm/min	试验组别				样品平均 值 X	样本标准 差 S	变异系数 Cv
		1	2	3	4			
抗拉强度 σ_b (MPa)	0.1	1034	1042	1040	1053	1042	8	0.008
	1	1050	1040	1050	1050	1048	5	0.005
	2	1050	1050	1060	1050	1053	5	0.005
	5	1050	1050	1050	1100	1063	25	0.024
	15	1050	1050	1060	1050	1053	5	0.005
延伸率 A (%)	0.1	14.0	14.5	13.5	14.5	14.1	0.5	0.034
	1	16.5	18.0	13.0	16.0	15.9	2.1	0.132
	2	16.0	18.5	15.5	16.0	16.5	1.4	0.082
	5	17.0	15.5	17.0	18.0	16.9	1.0	0.061
	15	17.5	17.5	17.0	16.5	17.1	0.5	0.028
断面收缩率 (%)	0.1	39	43	43	46	43	3	0.067
	1	45	42	39	40	42	3	0.064
	2	42	43	42	40	42	1	0.030
	5	40	51	48	46	46	5	0.100
	15	51	48	42	51	48	4	0.088

表2 经热暴露试验数据处理

性能指标	试验速度 (mm/min)	试验组别				样品平均 值 X	样本标准 差 S	变异系数 Cv
		1	2	3	4			
抗拉强度 σ_b (MPa)	0.1	1030	1052	1040	1043	1041	9	0.009
	1	1060	1070	1080	1050	1065	13	0.012
	2	1070	1070	1040	1050	1058	15	0.014
	5	1070	1060	1050	1050	1058	10	0.009
	15	1068	1071	1071	1072	1071	2	0.002
延伸率 A (%)	0.1	7.0	12.0	11.5	13.0	10.9	2.7	0.244
	1	13.5	13.5	11.0	10.5	12.1	1.6	0.132
	2	10.0	17.0	15.5	13.0	13.9	3.1	0.221
	5	14.0	14.5	15.0	14.5	14.5	0.4	0.028
	15	16.0	15.0	15.5	16.0	15.6	0.5	0.031
断面收缩率 (%)	0.1	10	21	16	23	18	6	0.332
	1	20	24	12	20	19	5	0.265
	2	33	36	34	28	33	3	0.104
	5	36	40	43	36	39	3	0.088
	15	37	42	40	42	40	2	0.059

4 结果分析

(1) 未经热暴露试验结果分析

抗拉强度随拉伸速度增加呈现增大趋势，这一现象符合通常试验规律，即速度增大试样的应力状态发生改变，延伸率及断面收缩随拉伸速度增大呈现增大趋势，这一现象与通常试验规律相反。

(2) 经热暴露试验结果分析

强度随拉伸速度增加呈现增大趋势，这一现象符合试验规律，即速度增大试样的应力状态发生改变，延伸率及断面收缩随拉伸速度增大呈现增大趋势，这一现象与通常试验规律相反。

5 结论

通过上述试验对比，可以了解 TC11 合金力学性能（强度、延伸率、断面收缩）与拉伸速度的关系，即随着试验速度的增加，抗拉强度、延伸率及断面收缩率均成增加趋势，此结论能为日常试验，材料变形加工以及故障分析提供参考依据。

[参考文献]

- [1]高镇同,熊峻江. 疲劳可靠性[D]. 北京:北京航空航天大学出版社,2000.
- [2]北京航空学院. 材料疲劳数据统计分析方法[D]. 北京:中华人民共和国航空工业部,1986.
- [3]《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册[D]. 北京:中国标准出版社,2001.
- [4]陶春虎,钟陪道,王仁智. 航空发动机转动部件的失效与预防[D]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [5]吕文林. 航空发动机强度计算[D]. 北京:国防工业出版社,1988.
- [6]宋兆泓. 发动机典型故障分析[D]. 北京:北京航空航天大学出版社,1993.

作者简介: 李小清, (1993. 4-), 毕业于中北大学工程力学专业。陆金香, (1991. 1-), 张家界航空工业职业技术学院, 机械设计与制造专业。