

文章编号：1001 - 2486 (2002) 02 - 0014 - 03

1420cs 铝锂合金型材力学特性测试^{*}

宋先邗，雷勇军

(国防科技大学航天与材料工程学院，湖南 长沙 410073)

摘 要：用电测的方法，得到了材料的应力与纵向应变曲线及横向应变与纵向应变曲线，判读出 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b 、 E 、 μ ，测试结果表明：过比例伸长应力后，横向变形有明显跳动，这种特性有别于其他材料，使用中应予注意；测试了表面裂纹的断裂韧度。

关键词：纵向变形；横向变形；表面裂纹；断裂韧度

中图分类号：039 **文献标识码：**A

Experimental Study on Mechanical Properties of 1420cs Al-Li Alloy Moulding Material

SONG Xian-cun , LEI Yong-jun

(College of Aerospace and Material Engineering , National Univ . of Defense Technology , Changsha 410073 , China)

Abstract : The stress-longitudinal strain curves are tested using electrical measuring technique. The relations of transverse strain and longitudinal strain are also examined. Some properties such as $\sigma_{0.2}$, σ_b , E and μ are derived. Testing results indicate that transverse strain has distinct jumpiness when stress exceeds proportional elongation point. The properties of the material are different from others. The fracture toughness of surface crack is also tested.

Key words : longitudinal deformation ; transverse deformation ; surface crack ; fracture toughness

铝锂合金具有密度低、比刚度和比强度高优异性能，是航空航天工业颇有前途的材料，被认为是 21 世纪宇航器的主要结构材料。为确保载人飞船的发射成功和宇航员的生命安全，要求运载系统可靠性高，万无一失。对新材料的应用，往往要对特性进行深入的研究，保证结构的可靠性和完整性。而国内对 Al-Li 合金这种材料力学特性的深入研究还很少，尚未见有关测试泊松比完整曲线的报导，本文对 1420cs 铝锂合金型材的力学特性进行了测试研究，并发现横向变形有明显跳动，而这种跳动对结构是不利的，应用中务必充分注意。

1 试样设计

为使试样拉断试验时不受偏心载荷，断裂韧度测试、机械性能测试试样均采用销钉加载，销钉孔的挤压应力，销钉对应位置的强度均应小于非比例伸长应力 $\sigma_{0.2}$ 。裂纹面两边标距长，试样宽度等均得满足要求。

试样材料全为 T 形型材，将腹板“ I ”去掉后用翼部制作断裂韧度测试试样，用腹板制作机械性能测试试样。试样尽可能保持型材的主要原状。因此，韧度测试，仅为这种型材提供数据。^[1]

2 机械性能测试

绘制精确的拉伸应力与纵向应变曲线及横向应变与纵向应变曲线（图 1、图 2 为 2 号试样），由曲线判读出 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b 、 E 、 μ 、 δ_{10} ，曲线表明，过比例伸长应力后，横向应变出现第 1 次跳动，尔后纵向应变出现跳动，随后横向应变出现第 2 次跳动，材料的这种特性，有别于其他材料。测试结果见表 1。

^{*} 收稿日期：2001-04-01
作者简介：宋先邗（1954-），男，高级工程师。

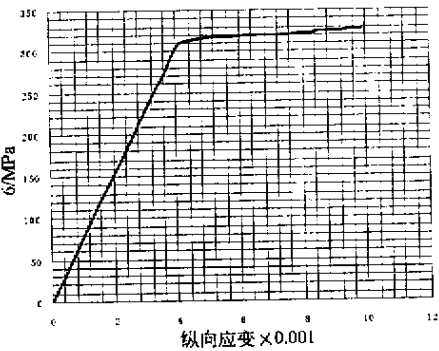


图 1 1420cs 铝锂合金型材拉伸
应力纵向应变曲线

Fig.1 The stress-longitudinal strain curve of 1420cs
Al-Li alloy moulding material

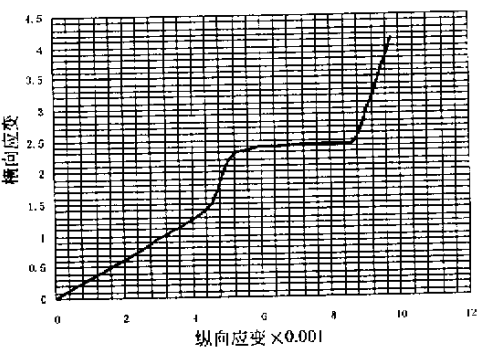


图 2 1420 铝锂合金型材拉伸
横向纵向应变曲线

Fig.2 The transverse strain-longitudinal strain curve
of 1420cs Al-Li alloy moulding material

表 1 1420cs 铝锂合金型材（俄产）机械性能

Tab.1 Mechanical properties of 1420cs Al-Li alloy moulding material (made in Russia)

试样号	宽 <i>W</i> (mm)	厚 <i>B</i> _平 (mm)	厚 <i>B</i> _小 (mm)	破载 <i>P</i> _{<i>b</i>} (N)	非比载 <i>P</i> _{0.2} (N)	强度 <i>σ</i> _{<i>b</i>} (M Pa)	非比应力 <i>σ</i> _{0.2} (MPa)	弹模 <i>E</i> (GPa)	泊松比 <i>μ</i>	伸长率 <i>δ</i> ₁₀ (%)
1	20.00	4.055	4.045	35361	25720	437	318	76.9	0.328	10.2
2	20.00	4.075	4.060	35160	25700	433	315	75.5	0.319	10.4
3	20.00	4.085	4.075	35060	25400	430	311	76.5	0.316	10.2
4	20.00	4.065	4.055	35080	24860	433	307	76.0	0.322	10.2
5	20.00	4.065	4.050	35123	25460	434	314	76.7	0.320	10.4
6	20.00	4.045	4.040	34911	25300	432	313	76.6	0.327	10.4
7	20.00	4.045	4.040	34723	24800	430	308	76.6	0.322	10.0
8	20.00	4.050	4.045	34700	25240	429	312	76.3	0.315	10.0
平均						432	312	76.4	0.321	10.2
取						430	310	76.5	0.320	10
偏差						+ 1.6	+ 2.6	+ 1.0	+ 2.5	+ 4.0
(%)						- 0.2	- 1.0	- 1.3	- 1.3	- 0.0

3 韧度测试

测试断裂韧度时，必须绘制载荷 P 与张开位移 V 曲线， $P - V$ 曲线的真实与否，直接影响断裂韧度值。测试张开位移 V 时，常用粘贴刀口块、压制盲孔或是弹性夹的方法，这些方法都存在一定的问题，不适合对铝锂合金的断裂韧度测试。因此，提出了一种合理的、真实反应裂纹张开位移的测试方法－栽针测试法，就是在裂纹咀的两边，两点相距 3mm 处，钻直径 $\Phi 0.6\text{mm}$ 深 0.5mm 的孔，插入长 1mm 直径 $\Phi 0.58\text{mm}$ 的铁丝，然后滴入胶固定，铁丝外露 0.5mm，这样就可支承张开位移传感器了，且真实反映裂纹咀的张开位移。这种方法测试结果真实，直接操作，方便可靠。

各种应力强度因子 K_I 的表达式存在着差异。计算条件断裂韧度 K_{IQ} 时其表达式为：

$$K_{IQ} = (M / \phi) \sigma \sqrt{\pi a}$$
(1)

$$\sigma = P_Q / (BW - \frac{\pi a c}{2})$$
(2)

$$M = [1.13 - 0.09 (a / c)] + (- 0.54 + \frac{0.89}{0.2 + a / c}) (a / B)^2$$

$$+ [0.5 - \frac{1.0}{0.65 + a/c} + 14 (1.0 - a/c)^4] (a/B)^4 \tag{3}$$

$$\phi^2 = 1 + 1.46 (a/c)^{1.65} \tag{4}$$

当 K_{IQ} 满足：

$$P_K/P_Q \leq 1.2 \tag{5}$$

$$a \geq 0.5 (K_{IQ}/\sigma_{0.2})^2 \tag{6}$$

$$(B - a) \geq 0.5 (K_{IQ}/\sigma_{0.2})^2 \tag{7}$$

时， $K_{IQ} = K_{Ie}$ 。

韧度测试对每一根试样都绘制了 $P - V$ 曲线，由曲线判读出临界载荷与张开位移，测量试样的裂纹尺寸，断裂韧度值计算，并进行有效性校核，满足条件后，方为断裂韧度值。表面裂纹断裂韧度 K_{Ie} 测试结果见表 2。

表 2 1420cs 铝锂合金型材（俄产）表面裂纹断裂韧度 K_{Ie}

Tab.2 The surface crack fracture toughness K_{Ie} of 1420cs Al - Li alloy moulding material (made in Russia)

试样号	试样宽 W (mm)	试样厚 B (mm)	裂纹深 a (mm)	裂纹宽 $2c$ (mm)	断裂载 P_K (N)	条件载 P_Q (N)	韧度 K_{Ie} (MPa m) ^{1/2}
1	36.00	4.174	2.205	8.925	42240	35520	23.0
2	36.00	4.180	2.085	8.516	41600	34560	21.2
3	36.00	4.095	2.155	8.867	39120	33680	22.0
4	36.00	4.165	2.165	8.892	41400	34560	22.2
5	35.94	4.095	2.105	8.123	39600	33240	20.6
6	36.00	4.155	2.115	8.736	41520	34600	21.9
7	35.98	4.045	2.123	8.634	41280	34400	22.4
8	35.96	4.176	2.104	8.515	41160	34300	21.2
平均							21.8
取							22.0
偏差							+ 4.5
(%)							- 6.3

4 结论

俄产 1420cs 铝锂合金型材表面裂纹断裂韧度为 22.0MPam^{1/2}；材料的强度 σ_b 、非比例伸长应力 $\sigma_{0.2}$ 、弹性模量 E 、泊松比 μ 和伸长率 δ_{10} 分别为 430MPa、310MPa、76.5GPa、0.320 和 10%。

绘制 1420cs 铝锂合金拉伸曲线时，过比例伸长应力后，横向变形有多次跳跃，这种特性与其他金属材料缓慢变化显著不同，这是材料晶粒滑移所致，工程应用中务必高度注意。

参考文献：

[1] 汤任基. 固体力学 [M]. 上海：上海交通大学出版社，1999.
[2] 王军. 损伤力学的理论与应用学 [M]. 北京：科学出版社，1997.
[3] 张全成. TiNb/Ti-48Al-2Cr-2Nb 复合材料的力学性能和断裂特性 [J]. 稀有金属材料与工程，2001，30 (10).

