

文章编号: 1000-5889(2005)04-0006-04

铝合金薄壁方管在轴向载荷作用下力学行为研究

车洪艳¹, 乔及森^{1,2}, 陈剑虹^{1,2}

(1. 兰州理工大学 材料科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 采用常规的实验方法获得材料的基本力学性能, 如弹性模量、泊松比、流变应力等(为 FEM 提供数据). 在一定的条件下, 对薄壁方管进行轴向压缩实验, 运用 Abaqus 6.4 对其压缩过程进行模拟. 研究表明, 仿真过程中边界条件的设定对仿真结果的影响最大, 网格疏密会影响到计算精度, 但对最终的结果影响不大. 通过比较仿真和实物实验的结果, 验证了模型建立的可靠性, 并改进和优化了实物实验模型.

关键词: 铝合金; 薄壁方管; 压缩; 有限元方法

中图分类号: TG146.2; TB115 **文献标识码:** A

Study of mechanical behavior of aluminum alloy tube with square cross section and thin wall under axial loading

CHE Hong yan¹, QIAO Ji sen^{1,2}, CHEN Jian hong^{1,2}

(1. College of Materials Science and Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. State Key Lab. of Advanced Nonferrous Materials, Gansu Province, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: The basic mechanical properties of Al alloy 6063 such elastic modulus, poisson ratio and rheologic stress were obtained by conventional test which offer the data for FEM. Under certain condition axial compressing were applied onto the squared tube with thin wall. The course of compression is simulated with ABAQUS 6.4. The result showed that the setting of boundary condition has the greatest effect on test result and the mesh density has an effect on the precision of calculation but less effect on the final test result. Compared the result of simulation to the practical experiment, the reliability of the model developed was validated and at the same time the practical experimental model was improved and optimized.

Key words: Al alloy; thin walled tube; compression; FEM

在经济日益发展的今天, 环保和安全已经成为移动装置发展的主题. 铝及铝合金因其具有较高的比强度和延展性已广泛应用于移动装置中. 基于此, 铝合金构件在移动装置如汽车中的安全问题已成为国内外研究和关注的热点. 尤其是探索铝合金构件在动载情况下的大变形力学行为, 将对研究发生碰撞的车体损伤预测及防护有着十分重要的应用价值. 对此类问题的研究一般来说可分为理论研究、实物实验以及数值仿真三种. 理论研究可以为实物实验和数值仿真提供一些方向性的建设, 但是相对来说比较粗糙. 实物实验在整个研究中是不可或缺的,

但实物实验需要耗费大量的人力、物力、财力, 且有一定的危险性. 因此, 先对其简单件进行有限元仿真, 对于改进和优化实物实验的模型具有非常重要的意义^[1~4]. 本研究就是在这样的背景下, 对类似于汽车防撞器的薄壁方管在轴向载荷作用下的力学行为, 进行初步的研究, 对其压缩过程进行了有限元仿真.

1 实验过程

1.1 实验材料

6063 铝合金广泛应用于铝合金车体的壳体部件, 因此采用其挤压型材作为研究对象, 其各种材料的质量分数如表 1 所示^[5].

选用试样为阳极氧化 6063-T5 银白色 AA10 (7606B), 它在室温下的金相组织结构如图 1 所示.

收稿日期: 2004-09-21

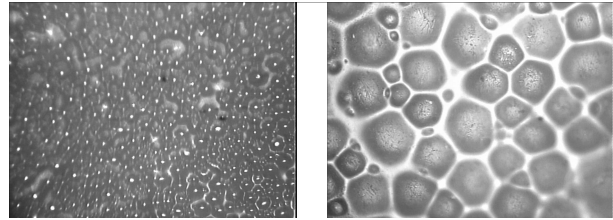
基金项目: 国家自然科学基金(2004CC404900)

作者简介: 车洪艳(1977-), 女, 辽宁北宁人, 硕士生

表 1 6063 铝合金材料的质量分数(w)

Tab.1 Chemical composition of aluminium alloy 6063 %

Mg	Si	Zn	Cu	Cr	Ti (Zr)	Mn	Fe
0.45~0.9	0.20~0.6	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.35	-

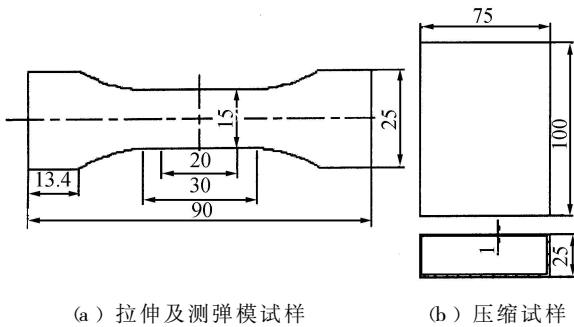


(a) 金相组织 100× (b) 金相组织 400×
图 1 室温下的金相组织

Fig.1 Metallographical structure at room temperature

1.2 试样制备

用 CKX-2AJ 电火花切割机切成如图 2 所示的试样形状及尺寸(单位:mm)。



(a) 拉伸及测弹模试样 (b) 压缩试样
图 2 试样的形状及尺寸

Fig.2 Configuration and dimensions of specimen

1.3 实验过程

1.3.1 拉伸实验(实验 1)

试样尺寸见图 2a, 室温下, 在微机控制电子万能试验拉伸机上进行, 拉伸速度为 1 mm/min, 执行标准 GB 228-87. 在得到载荷位移曲线上塑性变形阶段选取 8 个有代表性的点并将其换算成真应力真塑性应变数据见表 2.

表 2 真应力真塑性应变

Tab.2 True stress and plastic strain

真应力 σ_T /MPa	189	196	202	207
真塑性应变 ϵ_T /MPa	0	0.016	0.033	0.046
真应力 σ_T /MPa	211	216	220	224
真塑性应变 ϵ_T /MPa	0.061	0.075	0.095	0.114

1.3.2 测量 E 和 ν 的实验(实验 2)

试样尺寸见图 2a, 采用 BE 120-4A A (23) 应变片进行测量, 根据式(1)和式(2)的计算得 $E = 55.894$ MPa, $\nu = 0.268$ [6]

$$E = \frac{(\sum P_i)^2 - n \sum P_i^2}{\sum P_i \sum \epsilon_i - n \sum P_i \epsilon_i} \frac{1}{A_0} \quad (1)$$

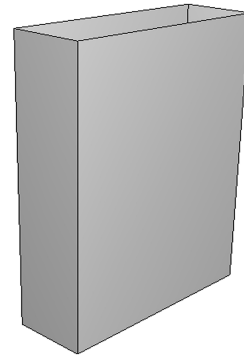
$$\nu = \left| \frac{m'}{m} \right| \quad (2)$$

1.3.3 压缩实验

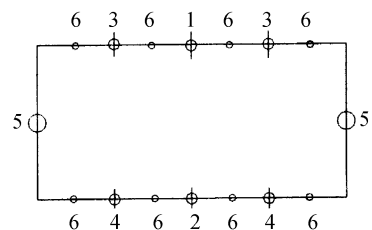
试样形状及尺寸如图 2b 所示, 室温条件下, 在微机控制电子万能试验拉伸机上进行, 压缩速度为 1 mm/min, 压缩量为 3 mm, 得到发生塑性变形后的试样状态及相应的载荷位移曲线.

1.3.4 有限元(ABAQUS)仿真

1) 创建一个薄壁壳结构将其命名为 Tube 1 形状及尺寸与图 2b 所示相符, 具体见图 3a; 将实验 1 和实验 2 所得数据赋给所创模型. 在计算步骤中设置最大的增益数目为 1000, 初始和最大的增益尺寸为 0.01, 最小的增益为 $1 \times e^{-20}$. 在加载步骤中采用位移加载并以位移/旋转设置边界条件, 加载方向为轴向, 加载量为 3 mm. 具体如下: 定义上截面 $U1=0, U2=0, U3=3, UR1=UR2=UR3=0$, 定义下截面 $U1=U2=U3=0, UR1=UR2=UR3=0$, 采用常规划分网格的方法进行划分, 创建 Job 并提交工作.



(a) 原始 tube 1



(b) 仿真中边界条件的设定示意图

图 3 模型及边界条件的设定

Fig.3 Model and boundary setting

2) 改变边界条件的设置上截面不变 $U1=0, U2=0, U3=3, UR1=UR2=UR3=0$, 定义下截面 BC1, BC2, BC3, BC4, BC5 如下(示意图见图 3b).

BC1: $U2 = -0.01, U1, U3, UR1, UR2, UR3$

不限制;

BC 2: $U_2 = 0.01$, 其余同 BC 1;

BC 3: $U_2 = -0.005, U_1, U_3, UR_1, UR_2, UR_3$

不限制;

BC 4: $U_2 = 0.005, U_1, U_3, UR_1, UR_2, UR_3$ 不

限制;

BC 5: $U_1 = U_2 = U_3 = 0, UR_1 = UR_2 = UR_3 =$

0;

BC 6: $UR_1 = UR_2 = UR_3 = U_3 = 0, U_1, U_2$ 不

限制. 其余条件不变, 创建 Job 提交工作.

3) 考虑上下截面和压头的接触, 创建 Tube 2 及 Plate 1(上)和 Plate 2(下)并组装如图 4a 所示, 依然将实验 1 和实验 2 的性能赋予 Tube 2, 设定 Plate 1 和 Plate 2 为离散钢体并以 Ref 1 和 Ref 2 分别代表其性能和质量; 定义 Tube 2 与 Plate 1 的接触属性为 Tie (粘接), Plate 2 与 Tube 2 的接触属性为 Fric (有摩擦)且摩擦系数为 0.3^[7]. 采用罚函数来实现, 设定 Plate 1 和 Tube 2 沿 U_3 方向的运动速度为 1 mm/min, 采用位移加载, 边界条件设定在 Ref 1 和 Ref 2 上, 其中 Ref 1: $U_1 = U_2 = UR_1 = UR_2 = UR_3 = 0, U_3 = 3$; Ref 2: $U_1 = U_2 = U_3 = 0, UR_1 = UR_2 = UR_3 = 0$. 采用 SR 4 划分 Tube 2 的网格, 采用 R 3D 4 划分 Plate 的网格如图 4b 所示. 创建 Job 提交工作.

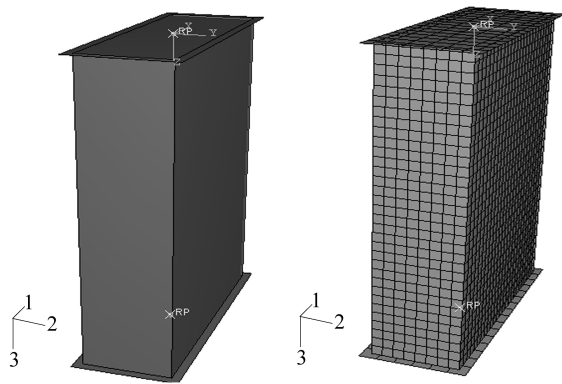


图 4 仿真系列图

Fig. 4 Series diagrams of simulation

2 实验结果观察

2.1 压缩实验

压缩实验最后的变形实物照片见图 5. 由图可以看出试样以长轴为对称轴呈现对称变形, 上端鼓起下端凹进, 且上端鼓起或凹进是随机的.

2.2 仿真结果

前文 1.3.4 中的 1) 部分的仿真结果及载荷位移曲线见图 6. 从图 6a 可以看出, 模型在宽面的中

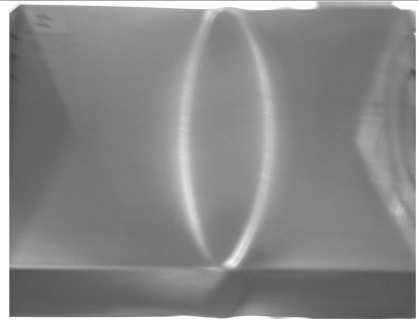
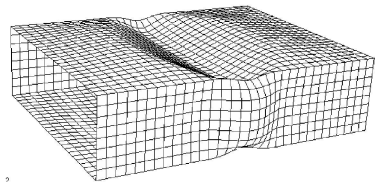
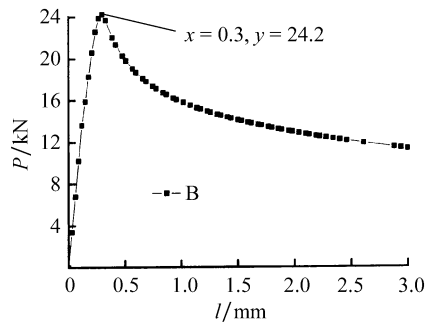


图 5 压缩实验系列图

Fig. 5 Series diagrams of compression experiment



(a) 仿真结果的变形图



(b) 仿真结果的载荷位移曲线

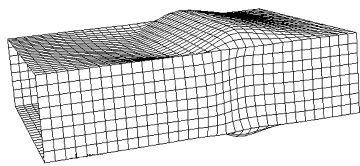
图 6 仿真结果系列图

Fig. 6 Series diagrams of simulation result

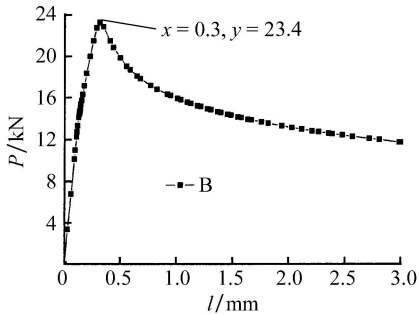
部凹陷窄面的中部凸起, 且宽面和窄面的凸起和凹陷是随机的, 由图 6b 得到 $\sigma_b = 24.2$ kN, 此时位移为 0.3 mm.

前文 1.3.4 中的 2) 部分仿真结果及载荷位移曲线见图 7. 从图 7a 可以看出, 模型的上半部分以长轴为对称轴宽面向外凸起, 此结果与实际的压缩结果有些相似, 如果把上下截面的边界条件对调, 就会得到与此相反的变形, 即下半部分以长轴为对称轴宽面向外凸起, 因此, 通过人为的给定一个不大于轴向压缩量 1% 的位移, 得到一个相似的变形, 这说明在实际的压缩过程中可能是有一个使宽面发生 U_2 方向运动的力. 于是本文改进模型进行了前文 1.3.4 中的 3) 部分的仿真.

这部分的仿真变形图见图 8 所示. 由图可以观察到模型的变形结果与压缩实验的结果吻合的很好. 图 9 所示为这部分中的仿真和压缩载荷位移对比图, 从图中可以看出 σ_c 的大小存在差异.



(a) 仿真结果的变形图



(b) 仿真结果的载荷位移曲线图

图7 仿真结果系列图

Fig. 7 Series diagrams of simulation result

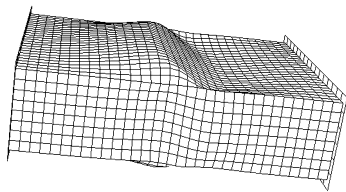


图8 仿真结果变形图

Fig. 8 Distortion of simulation

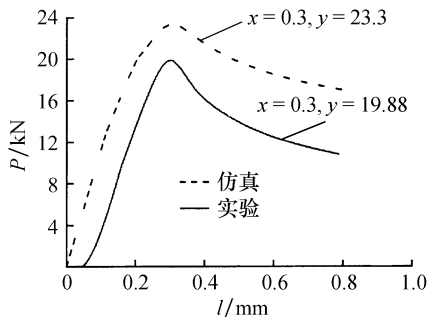


图9 仿真和压缩实验的载荷位移曲线

Fig. 9 Load and displacement curve of simulation and compression test

3 结论

1) 在其他条件一定时, 改变边界条件对模型最

后的变形结果影响很大, 同样条件下网格的疏密对计算的精度有一定影响, 但对模型最后的变形结果影响不大.

2) 在压缩量不大, 速度较低的情况下, 即试样本身还没有发生自身的接触前, 变形比较简单, 载荷位移曲线比较有规律. 如果速度更快, 压缩量更大时, 试样初始阶段的变形将对最后的变形有很大的影响.

3) 在仿真的过程中, 视材料为均质和各项同性. 而实际的材料总是存在一定的缺陷. 实验所选取的材料是挤压成型的, 在制造过程中会在组织中产生一定的织构^[8], 这将影响到材料最终的性能. 另外在仿真的过程中, 输入的材料性能参数是通过拉伸实验测得的, 而实际压缩过程中有些部分受拉, 有些部分受压, 这都将导致最后得到的载荷位移曲线与压缩实验存在一定差异. 这些问题将在以后的工作中进一步研究.

参考文献:

- [1] 刘金朝, 王成国. 薄壁圆柱在轴向力作用下的动力学响应 [J]. 中国铁道学报, 2004, 25(4): 18-25.
- [2] 陈剑虹, 阎澄. 解理断裂微观准则的研究 [J]. 甘肃工业大学学报, 1993, 19(3): 8-13.
- [3] 陈剑虹, 王国珍, 董志强, 等. 热预应变对 Ti Al 化合物断裂行为的影响 [J]. 甘肃工业大学学报, 2000, 26(4): 1-5.
- [4] 朱亮, 陈剑虹. 非等强焊接接头的屈服载荷 [J]. 甘肃工业大学学报, 2002, 28(4): 21-24.
- [5] 武恭, 姚良均. 铝及铝合金材料手册 [K]. 北京: 北京科学出版社, 1994.
- [6] 刘鸿文, 罗荣坤. 材料力学实验 [M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [7] 成大先. 机械设计手册: 第1卷 [K]. 第3版. 北京: 化学工业出版社, 1993.
- [8] LAMONTAGNE C, WORSWICK M J. Strain prediction and anisotropy in 6111 and 5754 aluminum sheet [A]. DANIEL Bryant J. Aluminum and magnesium for automotive applications [C]. Warrendale Pennsylvania: TMS The Minerals & Materials Society, 1995. 195-200.