

几何尺寸对胶接接头强度影响的有限元模拟

夏美玲¹ 卢超¹ 门平^{1,2} 王乃波¹

(1 南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室,南昌 330063)

(2 中国人民解放军海军 92601 部队,湛江 524009)

文 摘 采用三维弹塑性有限元模拟的方法,研究了几何尺寸对铝胶接接头强度的影响。结果表明:随着胶层厚度的增加,胶接强度先增大后减小;在一定范围内随着搭接长度的增大而增大,呈非线性关系;与搭接面积呈线性关系,在搭接面积相同的情况下,可以通过增加搭接宽度减小搭接长度来增大接头强度;另外,胶结强度随夹具之间的距离变短而降低,随被粘物厚度的增大而增大。厚度达到一定程度,这种趋势变化趋于缓慢。

关键词 三维弹塑性有限元模型,几何尺寸,强度,有限元

Finite Element Modeling of Effect of Geometry on Adhesive Joints Strength

Xia Meiling¹ Lu Chao¹ Men Ping^{1,2} Wang Naibo¹

(1 Key Lab of Nondestructive Testing, Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063)

(2 92601 Troops of People's Liberation Army Navy, Zhanjiang 524009)

Abstract The effect of geometry on strength in aluminum adhesive joints is studied by using 3D elastic-plastic finite element method(FEM). The results show that: with adhesive thickness increasing, the strength first increases and then decreases; the strength, which is not linear with the lap length but linear with the lap area, increases with the increasing of the lap length within a certain range. The strength can be increased with increasing lap width and decreasing lap length in the case of the same lap area. The strength decreases with the shorter distance between the clamps, increases with the increasing of the adherend thickness, but the increase is not unlimited. This change tends to be slow. When thickness reaches up to a certain extent.

Key words 3D elastic-plastic finite element model, Geometry, Strength, Finite element

0 引言

胶接结构在航空工业上得到越来越广泛的应用,国外从 20 世纪 40 年代起开始在飞机上应用金属胶接结构,胶接技术得到了很大的发展,至今胶接结构已成为飞机机体的重要结构形式,其强度的研究一直是人们关注的焦点,在实际工程应用中,接头的强度除取决于被粘物和胶黏剂自身的力学特性外,还受到被粘物、胶层及搭接尺寸的影响。研究这些因素对胶接接头强度的影响规律,对选择材料、优化接头设计都有重要意义。

李刚等^[1]研究了钢板和铝合金板胶接接头的应力集中情况,曹平^[2]通过分析,给出了单搭接接头承载能力与搭接长度的关系曲线。现有的研究均是针对车用钢板胶接接头的。本文采用三维弹塑性模型,用有限元的方法,分析了胶层厚度、搭接长度、搭接面

积等几何尺寸对胶接接头强度的影响,为合理设计接头提供依据。这与胶接结构件的使用寿命、耐久性、安全性等问题密切相关。

1 建模与参数设定

1.1 米塞斯(Von-Mises)屈服准则

固体力学理论认为,要了解一点的应力状态,只需知道 6 个应力分量 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} ,即应力矩阵可完全表达一点的空间应力状态。Von-Mises 屈服准则认为,受力物体内部质点处于单向应力状态时,只要单向应力达到材料的屈服点时,则该质点开始由弹性状态进入塑性状态,即处于屈服。有效应力 σ_s 定义为:

$$6K^2 = 2\sigma_s^2 = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)$$

式中, σ_x 、 σ_y 、 σ_z 分别为 x 、 y 、 z 方向上的拉伸应力, τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 为剪切应力的三个分量, K 为材料的剪切屈服

强度。有效应力全面考虑了6个应力分量的作用,铝是典型的塑性材料,而环氧树脂胶的压缩屈服应力与拉伸屈服应力相差不大,因此均选用 Von-Mises 准则作为屈服条件。

1.2 有限元建模

1.2.1 模型尺寸

根据实际情况和分析的需要,假定被粘物和胶层都是线弹性、各项同性材料,虽然胶层在拉伸过程中表现出来的是高分子材料特有的黏弹性,但分析证明和弹性解析相比,黏弹性模型只是由于应力松弛的影响而使应力集中程度减小,并没有改变应力分布的趋势,因此采用三维弹塑性模型。

参照 ASTM D1002-01 Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal) 和 GBT 7124-2008 胶黏剂拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)^[3],选择试件的几何尺寸如下:被黏物为 2A12 铝合金,长 100 mm,宽 25(5-60) mm,厚 1.6 mm,搭接长度 12.5(5-20) mm,胶层厚度 0.2(0.1-1) mm。试件拉伸过程中,两端被夹具夹持,间距 112.5 mm。

实际拉伸试验中模型被夹具夹持,因此模拟中在相应位置限制 y 方向位移(即 $U_2=0$),固定夹持端限制 x 方向的位移(即 $U_1=0$)。边界条件如图 1 所示。

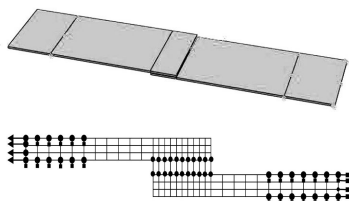


图 1 边界条件示意图

Fig. 1 Boundary conditions of 3D elastic-plastic finite element model

1.2.2 网格划分

网格划分采用三维八节点六面体非协调单元,搭接区域网格细化见图 2。

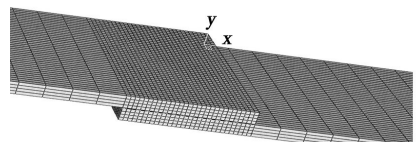


图 2 胶接区域网格细化

Fig. 2 Overlap area mesh refinement of 3D model

胶层处网格尺寸 $0.5 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 0.05 \text{ mm}$,铝板处网格尺寸 $0.5 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$,其余部分铝板网格尺寸 $2 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$ 。

1.3 材料性能参数

基于软件,考虑了材料非线性和几何非线性。假

定结构连接完好,结合面上不存在缺陷。用双线性应力应变曲线描述材料的弹塑性性能。计算中所用材料力学性能见表 1。

表 1 材料力学性能

Tab. 1 Mechanical properties of materials

材料	弹性模量 /MPa	ν	屈服强度 /MPa	拉伸强度 /MPa
2A12 铝	70300	0.32	274	470
环氧树脂胶	1500	0.30	33.5	40

2 结果与讨论

由图 3 和图 4 可以看出,接头端部胶层受到的正应力比接头中央胶层受到的正应力大,接头端部出现了应力集中的现象,这是因为有限元在建模的时候使用了弯曲理论,用三维弹塑性模型考虑了胶层在被粘物宽度方向受力的不均匀性。



图 3 铝胶接头变形图

Fig. 3 Deformation of aluminum adhesive joints

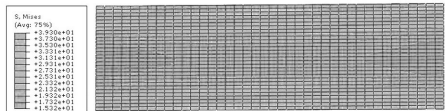


图 4 胶层应力分布图

Fig. 4 Stress distribution of overlap layer

长度方向上,胶层内靠近接头端部的应力高于中间处,因此端部强度低于中间强度;宽度方向上,胶层内应力呈两边大中间小的分布,边缘强度低于中间强度。

2.1 胶层厚度对胶接强度的影响

在一定的范围内,随着胶层厚度的增加,接头胶层的端部应力集中的影响区域减小,胶接强度先增大后减小,见图 5。

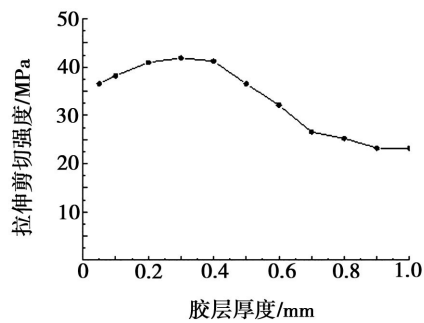


图 5 胶层厚度对强度的影响

Fig. 5 Effect of adhesive thickness on strength

图 5 说明胶层太薄或太厚,接头强度均会降低,胶层越厚,应力分布越均匀,但应在保证不缺胶的前

前提下,尽量薄一些为好。

2.2 搭接长度对胶接强度的影响

如图6所示随着搭接长度的增加,接头受力面积增大,从而有效减小了应力集中,胶接强度随之增大。但并不呈线性关系,搭接长度增加到一定程度后(一般 $L \leq 30$ mm),搭接长度继续增加对强度影响就很小了,因此要根据实际情况选择搭接长度。

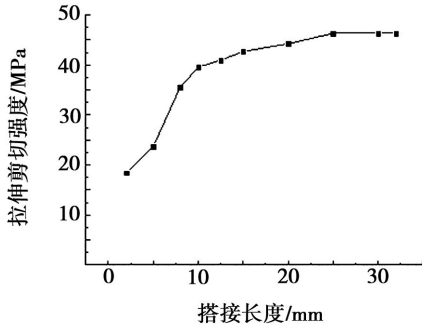


图6 搭接长度对强度的影响

Fig.6 Effect of overlap length on strength

2.3 搭接面积对胶接强度的影响

在一定范围内,搭接面积越大接头强度越高,搭接面积相同时,搭接长度小,宽度大的接头强度高于搭接长度长、宽度小的接头,见图7。

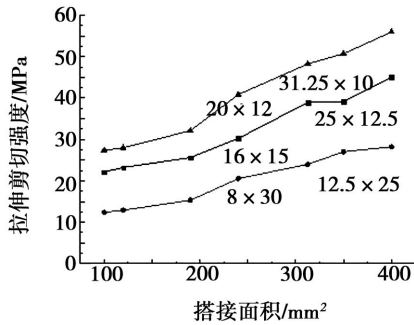


图7 搭接面积对强度的影响

Fig.7 Effect of overlap area on strength

2.4 夹头间距对胶接强度的影响

夹头间距变短,其所受弯矩变大,故胶接强度随之降低,见图8。

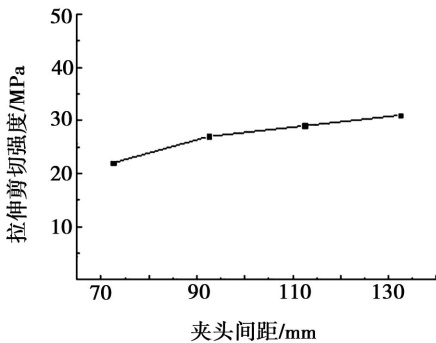


图8 夹头间距对强度的影响

Fig.8 Effect of clamps distance on strength

2.5 被粘物厚度对强度的影响

被粘物越厚,接头强度越大,但当厚度达到一定程度时,这种趋势变化趋于缓慢。实际上,被粘物的弹性模量对强度的影响更明显,弹性模量越高,胶在受力时屈服点越高,接头受力时的贡献也就越大,见图9。

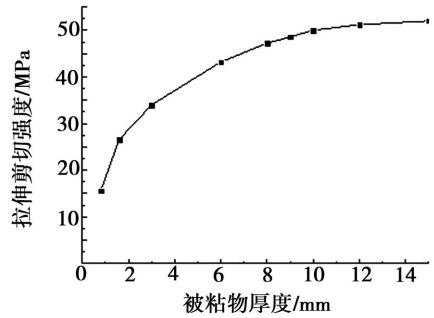


图9 被粘物厚度对强度的影响

Fig.9 Effect of adherend thickness on strength

3 结论

(1)胶层中应力传递不均匀且状态比较复杂,与已有的二维弹性有限元分析相比,用三维弹塑性有限元模型进行分析更符合实际。

(2)胶接强度随着胶层厚度的增加,先增大后减小,所以要合理控制胶层厚度。

(3)胶接强度在一定范围内随着搭接长度的增大而增大,但呈非线性关系。

(4)胶接强度在一定范围内与搭接面积呈线性关系,搭接面积相同的情况下,可以通过增加搭接长度减小搭接宽度来提高强度。

(5)胶结强度随着夹具之间的距离变短而降低,因其所受弯矩变大。

(6)被粘物厚度越大,接头强度越大,但不是无限增大,厚度达到一定程度,这种趋势变化趋于缓慢。

参考文献

- [1] 李刚,林建平,等. 钢板与铝合金板胶接接头力学性能有限元分析[J]. 计算机辅助工程,2007(3):107-109
- [2] 曹平,游敏,等. 单搭接接头承载能力与搭接长度关系定量描述[J]. 化学与粘合,2004(6):303-333
- [3] Guild F J, Potter K D, Heinrich J, et al. Understanding and control of adhesive crack propagation in bonded joints between carbon fiber composite adherends[J]. Int. J. of Adhesion & Adhesives, 2001, 21:445-453
- [4] Quantian Luo, Liyong Tong. Fully-coupled nonlinear analysis of single lap adhesive joints[M]. Int. J. of Solids and Structures, 2007:44
- [5] Masaaki IWASA, Study on the strength of GFRP/stainless steel adhesive joints reinforced with glass mat[J]. JSME International Journal. Series A, Solid Mechanics and Material Engineering, 2005(1):256-263

(编辑 任涛)