

# 金属材料销型承载试验评述

唐振廷

陆爱珍

(北京航空航天大学)

(北京航空材料研究所)

本文针对金属材料销型承载试验方法的特点,详细地介绍了润滑剂、清洗剂、销子和销孔的粗糙度及边距比对挤压断裂强度和挤压屈服强度的影响,供制定我国的销型承载标准方法参考。

On the basis of the characteristics of pin-type bearing test of metallic materials, the effect of lubricant, cleaner, pin and hole of surface roughness and distance ratio on bearing ultimate strength and bearing yield strength have been introduced in detail, which provide a reference to make the standard method for pin-bearing in China.

随着现代科学技术的发展,对材料性能提出了更高的要求,希望得到与构件受力状态相近似的数据作为设计依据,以便提高设计的精确性和可靠性。金属材料销型承载试验方法就是模拟螺栓、铆钉、销钉与构件结合处材料受力状态而提出的一种实验方法。由于在螺栓等与构件结合处承受挤压载荷,因此为确保结构安全,在销型承载条件下必须考虑材料的挤压断裂强度( $F_{bru}$ )和挤压屈服强度( $F_{bry}$ ),特别是对飞行器设计,尤为重要。目前,在美国军标手册(MIL-HDBK-5D) [1]中,已把金属材料的挤压断裂强度和挤压屈服强度和静载拉伸强度( $F_{tu}$ )和屈服强度( $F_{ty}$ )摆在同等重要的地位。

我国航空、航天工业已进入自行设计,目前急需向设计所提供必须的销型承载试验的材料数据。但是,由于我国尚未建立起金属材料销型承载试验标准方法,因此还提不出实验数据供设计使用。为填补这一空白,探讨和研究金属材料销型承载挤压强度的测试方法,根据收集到的资料 and 我们的理解予以介绍,以便引起材料和标准化工作者的重视。

## 一、销型承载试验测试方法及装置

所谓销型承载试验,顾名思义,它的研究对象是带开孔的板材、型材以及构件等与螺栓、铆钉或者销

钉结合处的承载能力,即测定材料承受挤压载荷时,材料的销孔与销钉(或螺栓)结合处变形时的屈服强度和断裂强度。其测试方法,通常采用含有单孔的单一试样,如图1所示。施加载荷及变形测量装置见图2。挤压载荷通过一个紧密配合的钢销子插在孔里施加在试样上。这个孔是采用镗孔、铰孔或磨削加工出来的,最后达到所需尺寸和粗糙度。孔在载荷作用下的伸长,通过柱塞与柱塞导管之间相对位移传递出来,

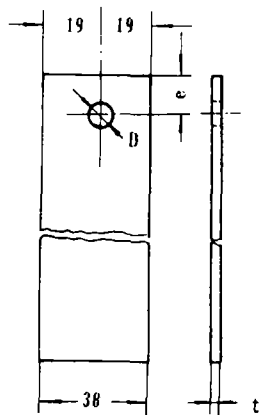


图1 挤压试验试样

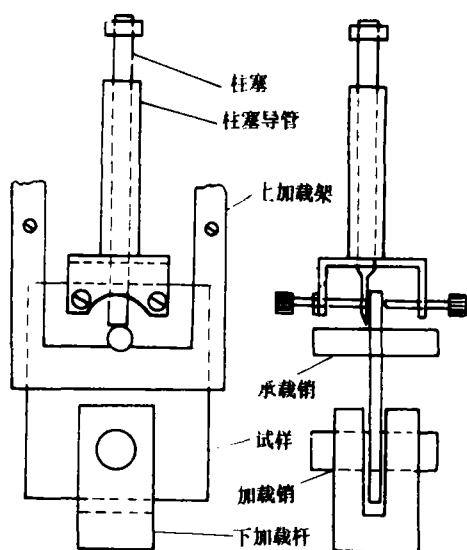


图2 销型承载变形测量装置

再加以放大,最后由自动记录仪绘制载荷-变形曲线。挤压屈服强度由载荷-变形曲线上相对销子直径永久变形的2%所对应的载荷决定。按上述方法对A231A-H24板材试验结果绘出的载荷变形曲线及承载屈服载荷如图3所示。

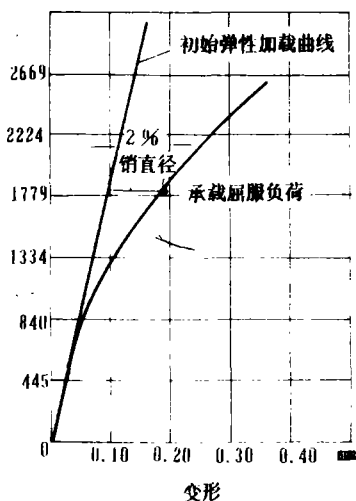


图3 A231A-H24板材的室温销型承载试验载荷-变形曲线

## 二、销型承载试验与拉伸试验的比较

销型承载挤压试验与拉伸试验相比,二者在试验

方法及强度计算方面有一些类似之处,但本质上是有所区别的。这种区别除指标意义不同外,主要表现在试验条件、对试样形状尺寸要求、夹持方式以及影响试验结果的因素等方面。表1分别列出两种试验方法强度表达式及其符号的含义,以示区别。

表1 销型承载及拉伸试验强度表达式

销型承载挤压试验		拉伸试验	
挤压断裂强度	$F_{bru} = \frac{P_{bru} \cdot S}{(e/D=1.5) \quad (e/D=2.0)}$	抗拉强度	$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$
挤压屈服强度	$F_{bry} = \frac{P_{bry} \cdot S}{(e/D=1.5) \quad (e/D=2.0)}$	屈服强度	$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0}$
		屈服点	$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$

\*上式中:

$P_{bru}$  材料销孔可承受的最大载荷;  $P_{bry}$ : 载荷-变形曲线偏离最初直线部分等于销子直径永久变形2%所对应的载荷;  $S$ : 销子直径与试样厚度之积;  $e/D$ : 边距比。

$P_b$ : 拉伸试样断裂前承受的最大载荷;  $P_{0.2}$ : 产生0.2%残余伸长所对应的载荷;  $P_s$ : 物理屈服载荷;  $F_0$ : 试样原横截面积。

从强度指标表达式的比较可见,材料销型承载试验的影响因素比拉伸试验复杂。随外力增加,伴随着试样销孔的变形,挤压接触面积 $S$ 在增大,同时还要受边距比( $e/D$ )以及销孔与销子之间摩擦力的影响。因此,为保持试验结果的重复性和稳定性,销型承载试验对试验条件及试样尺寸和销子的粗糙度等均提出比较严格的要求。

## 三、影响销型承载试验的主要因素

### 1. 销子粗糙度的影响

由于载荷是通过紧配合的圆柱形销子加在试样上,所以销子比待试验的材料要坚硬,表面粗糙度应达到 $0.1 \sim 0.2 \mu m$ 。为了保证没有金属残余物粘附在销子上,且保证销子平直而无变化,每次实验后要仔细检查销子。

有人<sup>(2)</sup>曾用镁合金研究过具有不同粗糙度的销子对销型承载性能的影响,其结果列表2。

表2列出了一种镁合金挤压试验结果,销子粗糙度分别为 $0.1$ 、 $0.8$ 、 $1.6$ 和 $3.2 \mu m$ 。结果表明:销子粗糙度从 $0.1 \mu m$ 增加到 $3.2 \mu m$ 时,用SAE30润滑油,挤压屈服强度增加了13.6%。用碱性清洗剂清洗后,

销子表面粗糙度影响较小，丙酮超声波清洗有同样作用。

表2 镁合金HK31A-H24板挤压试验结果  
(板厚3.1mm) e/D=2

润滑剂及清洗剂	销子表面粗糙度(μm)	试验数量	挤压屈服强度(MPa)	
			平均值	范围(差值) %
润滑油 SAE30油	0.1	3	297.8	2.1
	0.8	3	309.6	2.0
	1.6	3	328.2	1.9
	3.2	3	338.5	3.5
碱性清洗剂*	0.1	16	348.2	5.7
	0.8	3	346.8	1.8
	1.6	3	343.4	2.2
	3.2	3	353.0	0.6
丙酮超声波清洗	0.1	16	342.0	6.5

\* 碱性清洗剂:每升水中含60g NaOH + 10g Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O

2. 对板材厚度、销子直径和边距比的要求

销型承载的试样为板状(见图1),如有可能应采取产品的全厚度,此时销子直径应相应改变。如果试

样太厚,销子直径又小,则加载时,销子容易弯曲或破断。如果试样太薄,加载后容易产生翘曲。为了避免上述两种情况产生,必须规定销子直径与试样厚度之间关系,二者之比,一般规定为2~4。而试样宽度,则规定为孔直径的4~8倍<sup>[3]</sup>。

由于挤压试验销孔变形受边距比影响较大,通常采用边距比为e/D=2.0或e/D=1.5。这一规定是根据安装紧固件时,考虑到最小边距为紧固件直径的两倍(e/D=2.0)再加上0.06mm时,孔间距为4倍直径的规定设计的<sup>[4,5]</sup>。边距是指从紧固件孔中心到板件最近的边缘距离。在少数情况下,可以考虑用1.5倍直径(e/D=1.5)的较小边距。

3. 清洗剂和润滑剂对挤压强度的影响

销型承载试验前,要对试样、销子以及夹具进行清洗。清洗的目的是除去杂质及污物,尤其是润滑剂和油质,因为它们对实验结果影响较大。下面是G. W. Stickley 对铝合金2024-T3板材测出的润滑剂、清洗剂及边距比对挤压断裂强度和挤压屈服强度的影响实验结果,见表3。

从表3不难看出,试样销孔与销子之间接触表面的摩擦对铝合金板材挤压强度有很大影响,实验结果表明:

表3 润滑剂和清洗剂对铝合金2024-T3板挤压性能影响  
(板厚为:1.6mm,销子粗糙度:0.1~0.2μm)

润滑剂及清洗剂		挤压断裂强度MPa		挤压屈服强度MPa		值的变化范围%			
						挤压断裂强度		挤压屈服强度	
		e/D=1.5	e/D=2.0	e/D=1.5	e/D=2.0	e/D=1.5	e/D=2.0	e/D=1.5	e/D=2.0
润滑油	黄 油	728.1	928.7	510.2	588.8	0.7	1.0	1.3	2.3
	凡士林	736.3	938.4	519.8	597.0	1.4	1.2	1.7	0.6
	SAE40油	755.7	963.2	531.6	632.9	1.5	1.4	0.8	6.7
	SAE10油	755.7	965.2	535.0	628.8	1.2	2.4	0.9	6.7
	人分泌油质	741.9	942.5	520.5	601.2	0.5	0.7	0.8	0.8
防腐清洗剂*	水漂洗	761.2	951.4	533.6	616.0	3.2	1.3	3.4	2.4
	硝酸+水漂	766.7	924.6	532.3	617.8	0.8	3.2	6.0	3.1
合成洗涤剂	水漂	765.3	945.9	532.3	637.7	1.1	1.1	1.0	2.4
	硝酸+水漂	766.0	950.7	524.0	653.6	1.8	1.7	4.6	2.8
乳化剂(2%)	水漂	763.2	953.5	517.8	666.0	2.1	2.7	2.1	3.4
	硝酸+水漂	755.7	956.9	540.5	665.3	1.2	2.4	4.6	3.0
乳化剂(10%)	水漂	761.2	950.7	537.1	673.6	1.5	3.5	2.8	4.3
	水+硝酸+水漂	769.4	955.6	537.8	673.6	1.9	0.5	3.9	4.3
	丙酮人工清洗	766.7	974.9	549.5	630.8	1.2	1.4	2.0	5.6
	丙酮超声波	769.4	960.1	555.7	666.7	1.8	2.6	2.1	1.0

\* 见文献[2]

(1) 销子和试样孔被清洗过的与加润滑剂的相比, 挤压断裂强度和挤压屈服强度均有提高。以2024-T3铝合金为例, 几种润滑剂相比较, 黄油降低挤压屈服强度和断裂强度最明显。与丙酮超声波清洗过(边距比为2.0)的相比, 挤压屈服强度降低11.7%, 挤压断裂强度下降3.4%。

(2) 由于人手经常分泌油质, 因此, 当用手模拟销孔或者销子表面时, 人手分泌物(汗水)相当于润滑其表面, 因此对试验结果产生较大影响。2024-T3铝合金板实验结果证明: 人手摸过和经过丙酮超声波清洗的相比较, 当 $e/D=2.0$ 时, 挤压屈服强度降低9.8%, 挤压断裂强度降低1.9%。

由此可见, 润滑剂对挤压屈服强度影响比对挤压断裂强度影响大。丙酮超声波清洗效果最好, 所得到的挤压性能最高。

#### 4. 边距比的影响

边距比对2024-T3铝合金板的挤压断裂强度影响比挤压屈服强度大。以丙酮超声波清洗为例, 边距比为2.0比边距比为1.5的挤压断裂强度和挤压屈服强度分别提高19.9%和16.6%。

试样销孔与销子之间接触面上的摩擦以及边距比对挤压性能有如此显著的影响, 因此必须加以控制。也就是说, 在销型承载挤压试验标准方法中, 对清洗剂 and 边距比应作出规定。

### 四、对试验机和引伸计的要求

和其他标准一样, 销型承载试验标准对其试验装置也提出较严格要求。按美国ASTME4标准规定, 试验机载荷示值误差为 $\pm 1\%$ 。用来测量变形的引伸

计应符合ASTME83-67“引伸计的校验和分级”所提出的B<sub>2</sub>级或更高级的要求。支撑销子的夹具应与试样销孔同心而将销子定位。销子上的载荷使材料销孔变形时, 应不阻止试样减薄。根据以上要求, 由夹具、变形测量传感器、拉伸机、动态应变仪以及X-Y记录仪组成一套完整的测试系统, 实现自动绘制载荷-变形曲线的目的。

### 五、结束语

以上介绍充分说明, 建立金属材料销型承载试验方法, 必须具备一定的实验条件。换句话说, 对影响销型承载挤压试验条件应加以规定。例如, 清洗试件和工夹具、边距比、试验机及引伸计精度等, 这些条件要通过标准化使其一致。只有这样, 同一材料, 在相同条件下, 不同实验室之间测试结果才能一致; 不同材料或者同一材料不同状态, 所测结果才能比较。

#### 参 考 文 献

- [1] MIL-HDBK-5D: "Metallic Materials and Elements for Flight Vehicle Structures", U. S. Government Printing Office, Washington D. C. 1984.
- [2] Stickley, G. W. and Moore, A. A. Materials Research & Standards, 1962.9, P. 747-751.
- [3] ASTM E 238-84.
- [4] 牛春勾编著, “实用飞机结构设计”上册, 国防工业出版社, 1983. 4.
- [5] 导弹结构强度计算手册, 国防工业出版社, 1978. 9.

(上接第30页)

#### 4. 计算 三氟化硼单乙胺纯度按下式计算

$$C = \left( \frac{W_2 - W_1 - W_0}{G} \times 100\% - N\% \right) \times 1.664,$$

式中 C——三氟化硼单乙胺纯度, %;

$W_2$ ——反应混合物+坩埚重量, g;

$W_1$ ——氟化钠重量, g;

$W_0$ ——空坩埚重量, g;

G——样品重量, g;

N——不挥发杂质百分含量;

1.664——将三氟化硼换算为三氟化硼单乙胺的系数。

5. 注意事项 ①将铂坩埚置于红外干燥箱内干燥时应注意掌握适宜的温度, 以免内容物溅失; ②初次分析某一厂家的产品或对产品不挥发杂质有怀疑时, 应测定不挥发杂质含量。方法如下: 用减量法迅速称取试样2~3 g于已在600℃恒重的铂坩埚中, 先放

于通风橱中在电炉上加热至停止冒烟, 再移入高温炉内在600℃灼烧30分钟, 取出冷却, 称量, 再灼烧30分钟, 直至恒重。不挥发杂质按下式计算:

$$N = \frac{G_2 - G_1}{G} \times 100\%,$$

式中  $G_2$ ——不挥发残渣+坩埚重量, g;

$G_1$ ——空坩埚重量, g;

G——试样重量, g。

### 六、结 语

按本法测定三氟化硼单乙胺纯度, 精度高, 手续简便, 比原法大大缩短分析时间, 适用于成品出厂、质量检验及材料入库验收检验。

#### 参 考 文 献

- [1] Booth and Martin: Boron Trifluoride and Its Derivatives (1949), P. 248.
- [2] 天津化学工业局企业标准: 三氟化硼单乙胺。

1988年第5期