

飞机结构用新铝合金材料

Willan Cassada, John liu, James Staley 著

资料情报处 许广吉 王孔巨编译

【内容摘要】介绍了美国 Alcoa 公司研制的新铝合金材料 7055-T7751 和 7055-T77511。这种新的铝合金材料 2002 年获得美国金属学会 (ASM) 的国际工程材料成果奖,并首先在 B777 飞机上得到应用。同 2024 和 7075 相比,这种新铝合金材料的强度重量比更高,断裂韧性和耐久性更好,用于飞机结构会有良好的减重效果。本文介绍了这种新铝合金材料的研制过程及其化学成分。

关键词 新铝合金 飞机结构 断裂韧性 疲劳寿命

1 引言

飞机结构设计师需要强度高、耐久性好、耐损伤、成本低的轻质材料。自 1920 年以来,铝合金产品满足了这种需求。尽管聚合物基复合材料具有诸多优点,但对喷气客机的主体结构来说,制造厂商还是青睐铝基材料。因此,波音公司在研制 B777 飞机时,工程师们向铝业制造商提出了两项材料改进要求:

(1) 上翼面结构

压缩屈服强度要比 7150-T651 高 10%，而且不降低耐久性和耐损伤性，同时工艺性要好。另外还要求改善材料的抗腐蚀能力。

(2) 机身结构

要求比 2024-T3 材料有更高的耐损伤性和耐久性。

Alcoa 公司对这两项挑战作出了积极反应,他们为上翼结构研制出了 7055-T7751 厚板材和 7055-T77511 挤压型材,同时还为机身蒙皮开发了 2524-T3 薄板材和 2524-T351 厚板材。另外,他们还研发并商品化了用于机身结构的薄系列 7150-T7751 挤压型材。这些材料的应用使 B777 飞机减重数千磅。这种新材料接着被规定用于波音公司和其它飞机制造厂商的许多其他飞机上。

这些新合金所具有的性能代表大型飞机在铝合金结构设计方面向前迈出了重要一步。客观的技术原因除了飞机公司材料工程师的同意外，这些新合金材料还为未来合金研制和检测提供一个新的性能标准。本

文讨论这种新合金的性能，并介绍它在飞机设计方面带来的好处

2 研制历史

波音公司对指定的机身的商业研究表明：将断裂轻微

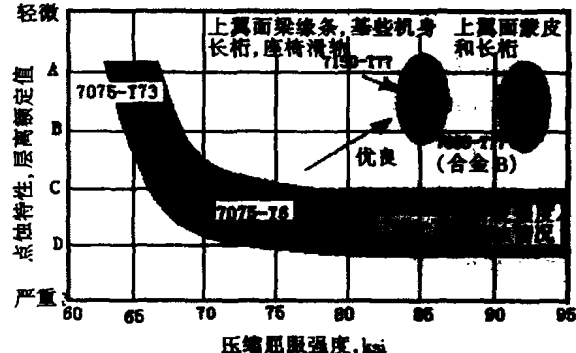


图1 市场需求促进了新飞机材料和工艺的发展,波音777飞机低的燃油消耗和维护成本是使用先进铝合金提高压缩屈服强度和改善腐蚀性能的结果。

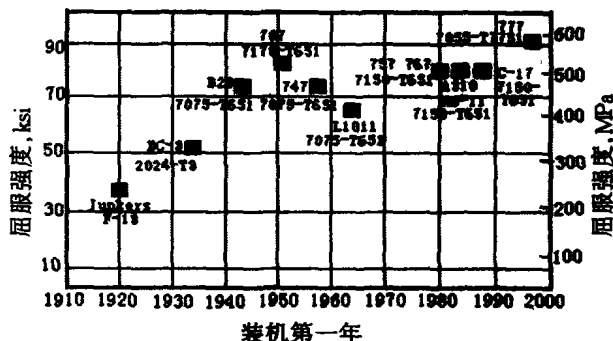


图2 上翼面蒙皮厚板合金及回火年表,显示铝合金屈服强度在上个世纪是如何增加的,以及商用和军用飞机上的使用的材料。

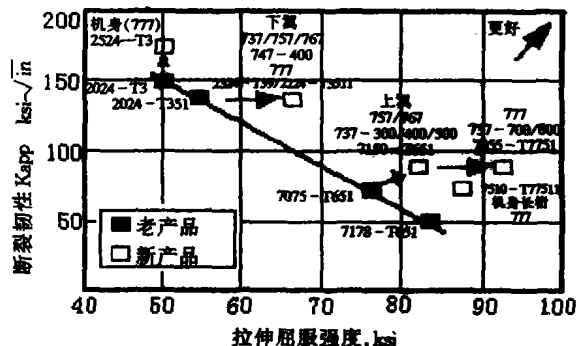


图3 该图示出了B777飞机使用高强度和高断裂韧性新合金材料的优点

韧性和抗裂纹增长性特定组合的机身蒙皮材料能够减少要求检查的频率,并且通过对支撑结构的最小化需要来节省结构重量。其他研究表明:只要适当地改善断裂韧性,上翼面使用高强度材料也能节省重量。

应波音公司要求,Alcoa 公司对潜在新材料的两种应用准备了一个“菜单”。“菜单”中对每一种应用列出了不同的性能组合,在规定的时间内达到性能的风险水平以及计划材料成本。波音公司的工程师作出了他们的选择,并要求 Alcoa 开始研制。

在波音公司确认以后,Alcoa 公司抓住了这个机会,投入数百万美元开始研制新合金。Alcoa 技术中心组成了机身和机翼两个研究小组。机翼小组负责 7055 合金厚板材和型材研制;机身小组负责机身上用的 2524 薄板材和厚板材合金的研制。后来,波音公司认定,7150-T7751 薄型材会节省更多的机身重量,在商品化之前,这样的型材从来没有过。于是 Alcoa 安排了另外的项目研究它们。

3 新铝合金化学成分(见表 1)

表 1 新铝合金化学成分极限 重量%

元素	7150合金	7055合金	2524合金
硅	0.12	0.10	0.06
铁	0.15	0.15	0.12
铜	1.9~2.5	2.0~2.6	4.0~4.5
锰	0.10	0.05	0.45~0.7
镁	2.0~2.7	1.8~2.3	1.2~1.6
铬	0.04	0.04	0.05
锌	5.9~6.9	7.6~8.4	0.15
锆	0.08~0.15	0.08~0.25	0.05
钛	0.15	0.06	0.10
其它每种	0.05	0.05	0.05
其它总和	0.15	0.15	0.15
平衡	铝	铝	铝

4 7055 厚板材及型材

在 1991 年 Alcoa 公司介绍了 7055 合金 T7751 回火状态的厚板材和 T77511 回火状态的型材。该 7xxx 合金是专门为处于压缩受力状态下的结构而研制的。

铝合金 7055 产品的疲劳性能和疲劳裂纹增长特性可与 7150-T77 和 7150-T6 产品的这些性能相比。新合金在保留其它(如抗腐蚀性)性能的同时,在压缩和拉伸强度及断裂韧性方面胜过 7150 合金。

同 7150 合金比较,提高了压缩强度的 7055 合金可以显著地节省结构重量。经过在 Point Judith、Rhod Island 沿海地区的环境暴露试验,7055-T7751 板材没有显现层离现象,这表明 7055-T7751 的抗蚀性能比

7055-T651 合金好。但是,目前 ASTM G34(EXCO)加速层离试验还没有以某中方式继续标定出同露天试验性能的关系。Alcoa 正在研制一种 4 天加速的 ANCI(铅-硝酸盐-氯化物侵袭)层离实验方法。这种方法能提供同室外暴露试验很好的对比。

对 7055-T77 合金,在短横向还没有完全弄明确它的抗应力腐蚀裂纹能力。根据目前 ASTM G47 试验数据,对 T7751 厚板材和 T7751 型材来说,能达到 100Mpa 的能力。

7055-T7751 板材最适宜用于压缩强度是临界设计标准的场合,例如飞机上翼面、水平安定面、龙骨梁等,其它潜在应用包括座椅和货舱导轨。同 7150-T651 或 T7751 比较,7055-T77 可提高压缩和拉伸屈服强度 7%~10%。

(1) 7055-T7751 合金可制成厚度为 0.375 英寸(9.53 毫米)~1.25 英寸(31.75 毫米),宽度到 110 英寸(2.79 米)的厚板材。

(2) 合金 7055-T77511 型材可以制成厚度从 0.5~2.5 英寸(13~64 毫米),最大临界尺寸为 10 英寸(254 毫米)。

5 机身合金 2524

机身蒙皮铝合金的缺点不是它的静态特性差,而是它的耐久性和损伤容限较低,事实上,新蒙皮合金 Alcad2524 的静态特性同 2024 的相类似,不同的是 2524 的断裂韧性较高,并且提高了它的抗裂纹增长能力。这说明使用 2524 合金可以节省结构重量和/或延长使用寿命。相对于 2024-T3 而言,2524-T3Form Plus 成型性的优点是指它的弯曲能力,通常达到 56%~72%。在拉紧状态下弯曲一般是 39%~72%。使用 2524-T3 合金可以节省零件制造成本,这是因为它不需要另外的热处理。另外,该材料还能提供等效的机械性能和损伤容限。

由于 2524 机身蒙皮零件能够提供足够的断裂韧性,因此可以不需要防撕裂条带零件,从而节省结构重量。该材料还能提供更高的抗疲劳裂纹增长能力,因而延长了两次检查之间的时间间隔。同时,较好的可成型性又尽可能地降低了制造成本,减少了工艺流程时间。

6 7150-T77511 铝合金型材

7150-T77511 是 Alcoa 公司对 7150 合金改进 T77 回火而得到的耐腐蚀铝合金。它具有与 7150-T6 和 7150-T61 相当的强度、疲劳性能和断裂韧性。当腐蚀问题发生时,用 7150-T77511 制造的零件可以用来替换 B757 和 B767 飞机上的 7150-T6 骨架(下转 29 页)

表 2 锻件形状编码表

图 号			名 称		
短 形 外 廓					
外廓矩形 L(X)		外廓矩形 LT(Y)		外廓矩形 ST(Z)	
定 形 码					
单元体序号		1	2	3	4
单元体长(L)					
单元体宽(LT)					
单元体高(ST)					

进行数据管理。当然, 这样一套锻件数据具有很好的完整性, 能够很准确地表达锻件的形状特征。但从锻件形状中提取如此多的数据, 工作量也是非常大的。经对我公司 1175 项锻件的反复编码实验, 提出了简化的锻件编码数据表, 见表 2。这样, 既简少了数据整理量, 又有效地实现了锻件的编码管理。

5 结束语

该锻件编码规则已通过西飞公司科技成果鉴定

(2001 年)。完整的锻件编码管理系统现正在加紧建立。经对我公司 1175 项锻件初步编码管理实验, 已检索出 101 项可共用模具的锻件。据此计算, 仅模具费就可节约 650 万元。

锻件编码系统是针对降低航空模锻件成本而设计的, 其效能的发挥依赖于其数据库的规模。目前只是对我公司外厂采购的锻件试行了锻件编码管理, 如果把范围扩大到我公司所有锻件, 甚至于扩大到航空企业所有锻件的管理, 那就会发挥出更大的效益。以该系统为基础还可以开发出更多的航空标准锻件, 从而大大简化航空锻件的生产和供应, 降低锻件生产成本。

参考文献

1. 杨振恒, 陈镜清. 锻造工艺学. 西北工业大学出版社, 1986
2. [美]S.A. 歌雷登编, 陆索等译. 锻件设计手册. 国防工业出版社, 1977
3. 李祖庚、苏斯华. 国内外成组技术 分类编码系统(上、下)成组技术研究会情报网, 1987
4. [德]H. 奥匹兹. 工件分类系统. 一机部第一设计院, 1979

(编辑: 王孔巨)

(上接 50 页)零件。对于 C17 军用货机的上翼结构, 麦道公司也选用了它, 因为它是在抗层离腐蚀时具有最高强度的铝合金产品。

在 B777 飞机机身设计期间, 波音工程师确认, 与新机身蒙皮配套的标准材料 7150-T77511 型材系列先前没有生产过, 因此 Alcoa 公司商品化了这些新规

格合金, 使得薄规格的 7150-T77511 型材广泛用于机身支撑结构。

7 社会效益

新合金对关键结构设计具有提高安全系数的潜力。另外, 对于未来飞机, 能够承载更大的负荷, 从而改善成本效益和提高经济效益。 (编辑: 王孔巨)

