

导弹壳体翼面安装座连接结构分析

Connective Structure Analysis of Wing-Installed Seat of Missile Shell

中国空空导弹研究院 郭颜红 门 们

[摘要] 介绍了某导弹翼面安装座与壳体的3种焊接方案,通过强度分析,结合各种焊接形式的优缺点,确定了优化的焊接方案。

关键词: 翼面安装座 焊接 强度分析

[ABSTRACT] Three welding methods for wing-installed seat and missile shell are introduced. The better design is obtained by analyzing the advantages and disadvantages of various kinds of welding methods and intensity.

Keywords: Wing-installed seat Missile shell Welding Intensity analysis

某导弹翼面通过3个翼面安装座安装在发动机壳体上。导弹在主动段飞行时,壳体处于发动机工作的高内压条件下,同时承受翼面气动载荷,翼面安装座的受力状况比较复杂。通过初步设计,确定翼面安装座与发动机壳体之间采用焊接形式连接。根据环境和焊接原理,可用的焊接方式有3种:手工氩弧焊、电阻点焊和电子束焊。本文结合翼面安装座和发动机的实际工作情况对这3种焊接方式进行分析,以选择较优的方案。

1 翼面安装座与壳体的焊接方案

1.1 手工氩弧焊

翼面安装座采用手工氩弧焊方法与壳体连接时,焊缝形状近似为等腰直角三角形,焊脚高度2.8 mm,如图1所示。

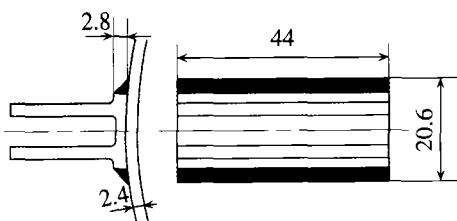


图1 手工氩弧焊结构示意图
Fig.1 Structure for manual TIG

1.2 电阻点焊

根据焊点分布不同,分为焊点之间相对独立的电阻点焊和焊点相互重合的电阻连续点焊。

(1)电阻点焊。

每个翼面安装座利用左右对称分布的6个焊点固定在壳体上,如图2所示。

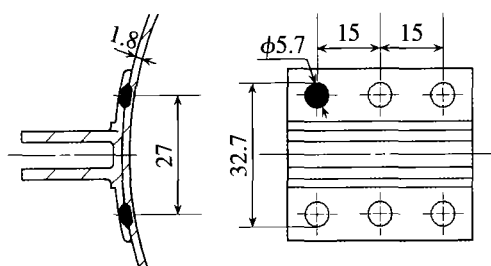


图2 电阻点焊结构示意图

Fig.2 Structure for resistance spot welding

(2)电阻连续点焊。

每个翼面安装座依靠两排局部重叠的焊点固定在壳体上,如图3所示。

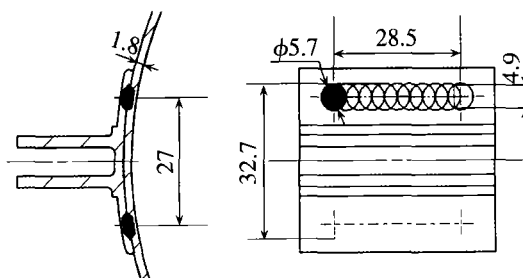


图3 电阻连续点焊结构示意图

Fig.3 Structure for continuous resistance spot welding

1.3 电子束焊

每个翼面安装座依靠2条电子束焊焊缝连接在发动机壳体上,如图4所示。

2 翼面安装座与壳体的连接强度计算

2.1 假设条件

焊接处受力状态复杂,且影响焊接部位受力的因

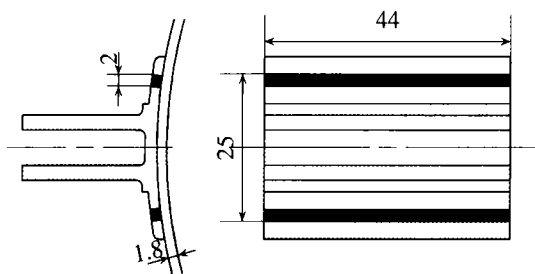


图4 电子束焊结构示意图

Fig.4 Structure for electron beam welding

素很多,为了计算方便,作如下假设^[1]:

(1)翼面安装座连接部位在外力作用下呈纯弯曲状态。

(2)工作应力是均匀分布的,不考虑应力集中问题。

(3)不考虑残余应力的影响。

(4)焊接部位材料均匀,忽略热影响区和焊接裂纹造成的影响。

2.2 载荷条件

计算载荷和具体作用方式如图5所示。平均每个翼面安装座上载荷: $\bar{F}=1\ 076.7\text{N}$;气动载荷对焊接部位的力臂: $R=32.4\text{mm}$;3组翼面安装座沿轴向排布,故平均作用在每个翼面安装座上的弯矩为 $\bar{M}=\bar{F}\times R=34\ 885\text{N}\cdot\text{mm}$ 。

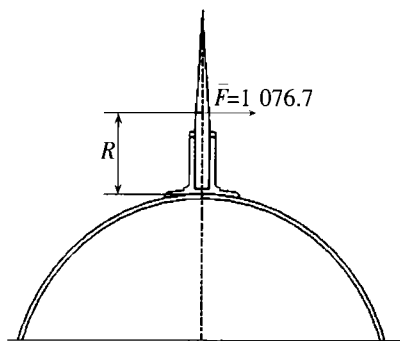


图5 翼面载荷

Fig.5 Load acting on a wing

2.3 计算模型和计算方法^[2]

以手工氩弧焊结构为例,计算示意图见图6。

首先确定中性轴如图6所示,图中 b 为两条焊缝间的距离,中性轴两侧分别受压力和拉力,位置应该在受压区域(即阴影区域),中性轴上应力为0。

又由于受力截面轴向力为0,可得中性轴过截面

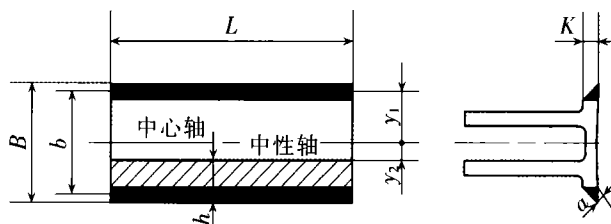


图6 手工氩弧焊方案受力分析

Fig.6 Force analysis of manual TIG

的形心,所以

$$A_1 \times (y_1 + y_2) = A_2 \times (h/2),$$

$$\text{即 } y_2 = \left(\frac{A_1 + B}{L} \right) - \sqrt{\left(\frac{A_1}{L} \right)^2 + \frac{A_1}{L} \times (B + 2 \times y_1)},$$

式中, A_1 为受拉区域(焊缝)的总面积; A_2 为受压区域面积; y_1 为受拉区域(焊缝)中心到中心轴距离; y_2 为受压区上边界到中心轴距离; L 为焊接部位长度。 B 为焊接部位宽度; h 为受压区域的宽度。

(1)计算抗弯惯性矩 I 。

$$I = I_1 + I_2 + A_1 \times (y_1 + y_2)^2 + A_2 \times (h/2)^2,$$

式中, I_1 为受拉区域对形心的惯性矩; I_2 为受压区域对形心的惯性矩。

(2)计算最大正应力 σ_{\max} 。

根据弯曲正应力的计算公式 $\sigma = (\bar{M}/I)y$ 可知,最大弯曲正应力发生在距中性轴最远的点上,因此,最危险的点将出现在距中性轴最远的焊缝(点)处,即焊接接头受拉的部分:

$$\sigma_{\max} = \frac{\bar{M}}{I} y_{\max},$$

$$\text{即: } \sigma_{\max} = \frac{\bar{M}}{I} \left(y_1 + y_2 + \frac{a}{2} \right) \text{ 或 } \sigma_{\max} = \frac{\bar{M}}{I} \left(y_1 + y_2 + \frac{d}{2} \right),$$

式中, \bar{M} 为翼面安装座所受的平均弯矩; y 为计算部位距中性轴的距离; a 为焊缝宽度; d 为焊点直径。

(3)计算连接部位的剪应力 τ 。

根据焊缝处所受的平均载荷和焊缝或焊点的总面积求出每条焊缝或每个焊点处的应力:

$$\tau = \bar{F} / A_{\text{焊缝}}.$$

(4)焊接处受力分析。

在翼面气动载荷作用下,焊接接头受拉力和剪力作用,其工作状态可似为平面应力状态,正应力与剪应力所在的平面作为工作平面。正应力方向与 x 轴平

行。首先,根据主应力计算公式

$$\sigma_{1,3} = (\sigma_x/2) \pm \sqrt{(\sigma_x/2)^2 + \tau_{xy}^2}$$

求出接头的最大和最小主应力, 计算中安全系数取 1.5。

2.4 计算结果分析

(1)手工氩弧焊方案计算结果分析。

对搭接角焊焊缝, 焊缝计算厚度 $a=K/\sqrt{2}=1.98\text{mm}$, 式中 K 为焊脚尺寸。通过计算得到: $y_1=8.31\text{mm}$, $y_2=3.05\text{mm}$, $h=6.07\text{mm}$, $I=12\ 494.42\text{mm}^4$, 根据

$$\sigma_{\max} = \frac{\bar{M}}{I} \left(y_1 + y_2 + \frac{a}{2} \right)$$

得到: $\sigma_{\max}=34\text{MPa}$ 。

作用在翼面上的平均载荷为 $\bar{F}=1\ 076.7\text{N}$, 平均每条焊缝上的剪应力为: $\tau=6.18\text{MPa}$ 。

按第四强度理论对焊接接头性能进行判定。

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = 35.6\text{MPa}$$

氩弧焊方案的强度富裕系数为 0.9, 氩弧焊属于搭接角焊, 其受力状态以剪力为主, 按经验, 超强钢材料的剪切强度一般为拉伸强度的 0.6, 故焊缝处的许用应力为

$$[\sigma] = 0.9 \times 0.6\sigma_s / 1.5 \approx 597\text{MPa}$$

式中, σ_s 为基体材料的屈服强度, 取 1 660MPa, 下同。

焊接部位应力为 35.6MPa, 远低于许用应力 597MPa, 根据第四强度理论的判据, 满足使用要求。

(2)电阻点焊方案计算结果分析。

计算示意图见图 7。

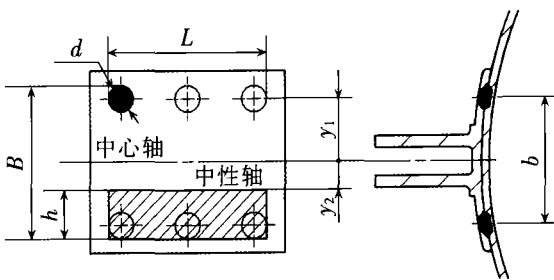


图 7 电阻点焊方案受力分析

Fig.7 Force analysis of resistance spot welding

通过计算得到: $y_1=13.5\text{mm}$, $y_2=6.99\text{mm}$, $h=9.37\text{mm}$, $I=42\ 035.65\text{mm}^4$, 根据

$$\sigma_{\max} = \frac{\bar{M}}{I} \left(y_1 + y_2 + \frac{d}{2} \right)$$

得: $\sigma_{\max}=20.2\text{MPa}$ 。

每个焊点上的平均剪应力为: $\tau=6.97\text{MPa}$; 焊点的最大主应力: $\sigma_1=23.56\text{MPa}$ 。

由工艺试验得到的数据, 单个焊点的抗撕裂强度大于 357MPa, 其许用应力 $[\sigma]$ 大于 238MPa。根据第一强度理论的判断准则, 焊点应力 23.56MPa 远低于许用应力 238MPa, 故满足使用要求。

(3)连续点焊方案结果分析。

计算示意图见图 8。

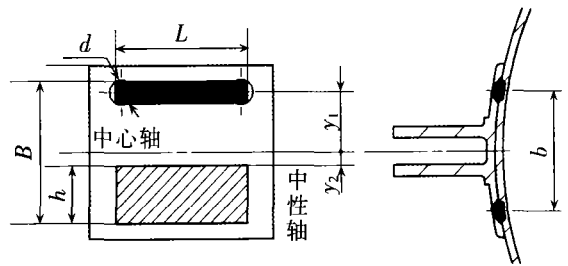


图 8 电阻连续点焊方案受力分析

Fig.8 Force analysis of continuous resistance spot welding

对连续点焊的焊缝, 将其简化为矩形焊缝进行计算, 宽度按焊点相交的最短弦长确定, 即 $a=4.9\text{mm}$, 焊缝长度为 31.35mm。通过计算得到: $y_1=13.5\text{mm}$, $y_2=3.17\text{mm}$, $h=12.78\text{mm}$, $I=64\ 810.94\text{mm}^4$, 最终根据 $\sigma_{\max} = \bar{M}/I [y_1 + y_2 + (a/2)]$ 得到: $\sigma_{\max}=10.7\text{MPa}$ 。

将连续点焊简化成一条焊缝, 平均每条焊缝上的剪应力为: $\tau=3.7\text{MPa}$ 。

焊缝的应力为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = 12.47\text{MPa}$$

连续点焊的强度系数与氩弧焊近似^[3], 因此其许用应力为 $[\sigma]=597\text{MPa}$, 根据第四强度理论, 连续焊点组成的焊缝应力 12.47MPa 远低于许用应力 597MPa, 故满足使用要求。

(4)电子束焊方案计算结果分析。

计算结构示意图如图 9 所示。

通过计算得到: $y_1=11.5\text{mm}$, $y_2=4.5\text{mm}$, $h=8\text{mm}$, $I=30\ 766.66\text{mm}^4$, 最终根据 $\sigma_{\max} = (\bar{M}/I) [y_1 + y_2 + (a/2)]$ 得

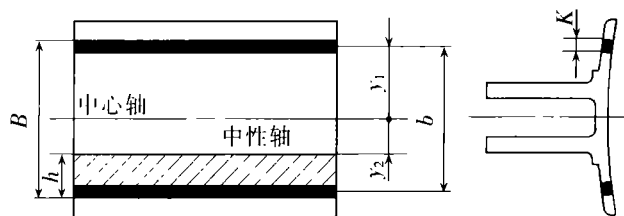


图9 电子束焊方案受力分析

Fig.9 Force analysis of electron beam welding

到: $\sigma_{\max}=20.15\text{MPa}$ 。

电子束焊每条焊缝的剪应力: $\tau=6.1\text{MPa}$; 根据第四强度理论求出产生形变的应力: $\sigma=22.75\text{MPa}$ 。

电子束焊缝的受力状态与氩弧焊相同, 根据电子束焊的方式和特点以及焊接标准中的规定可知, 电子束焊的焊缝强度系数取 $\xi=0.9^{[4]}$, 则许用应力 $[\sigma]=597\text{MPa}$ 。根据第四强度理论判断准则, 焊缝处应力 22.75MPa 远低于许用应力 597MPa , 故满足使用要求。

3 带翼面安装座的壳体强度仿真

采用 MSC/Nastran 有限元分析软件进行仿真计算, 计算时发动机前端固支, 对燃烧室壳体内腔施加均匀的载荷 18.4MPa 。从而得到发动机壳体上翼面安装座部位的等效最大应力值 σ , 再根据相应标准要求, 求出所选结构方案的强度富裕系数 η :

$$\eta = (\xi \times \sigma_b) / (n \times \sigma)$$

式中, ξ 为焊缝强度系数, 取 0.9 ; σ_b 为发动机壳体材料的抗拉强度, 取 1760MPa ; n 为安全系数, 取 1.5 ; σ 为通过仿真计算得到的壳体组合的最大应力值, 单位为 MPa 。

(1) 手工氩弧焊仿真计算。

计算所得发动机壳体组合最大 Von Mises 应力值为 1034.4MPa , 最大应力值点位于前翼面安装座右侧壳体上。其应力云图如图 10。

根据强度富裕系数计算公式, 得到手工氩弧焊强度富裕系数为 $\eta=1.02$ 。

(2) 电阻点焊方案仿真计算。

计算所得发动机壳体组合最大 Von Mises 应力值为 1298.7MPa , 最大应力值点位于中翼面安装座与中吊挂之间的壳体处, 应力云图见图 11。

根据强度富裕系数计算公式, 得到电阻点焊的强度富裕系数为 $\eta=0.81$ 。

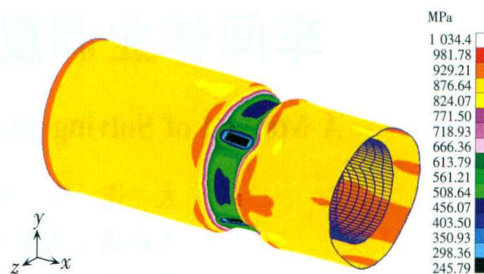


图10 手工氩弧焊方案最大应力值及位置

Fig.10 Values and locations of maximum stress of manual TIG

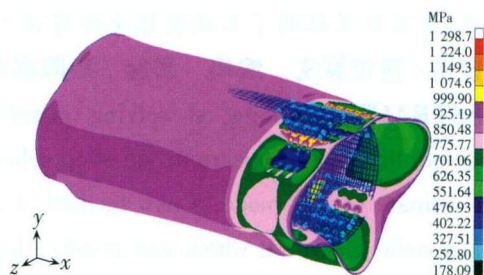


图11 电阻点焊方案最大应力值及位置

Fig.11 Values and locations of maximum stress of resistance spot welding

(3) 连续点焊方案仿真计算。

计算所得发动机壳体组合上最大 Von Mises 应力值为 1320MPa , 最大应力值点位于中翼面安装座与中吊挂之间的壳体处, 应力云图见图 12。

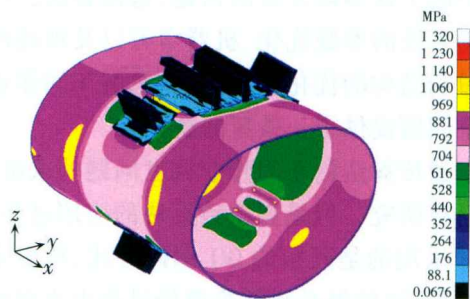


图12 电阻连续点焊方案最大应力值及位置

Fig.12 Values and locations of maximum stress of continuous resistance spot welding

根据强度富裕系数计算公式, 得到连续点焊强度富裕系数为 $\eta=0.80$ 。

(4) 电子束焊方案仿真计算。

电子束焊结构与连续点焊相似, 其焊缝强度系数

(下转第 89 页)

容是根据动态数据库的当前状态,利用知识库中的知识进行推理。

(1)快速检索的具体实现方案。

通过属性名称定义检索条件(即检索参数),在工艺信息模型中,对各种典型工艺建立典型工艺属性类,将和典型工艺相关联的参数(即检索条件)作为该类下的一个属性,每个属性(即检索条件)的可能属性值存储在属性的约束选取中。这些数据提供查找典型工艺的信息来源。可以将某一个或某几个特征或其属性(如零件名称、主要尺寸、材料等参数)作为查询条件建在“典型机加工工艺属性”类中,推理机根据用户所输入的检索条件,自动快速地检索出最优化的典型工艺,在典型工艺库中搜索、匹配各零件典型机加工工艺中的信息,若匹配成功,则检索成功。

(2)自动修订的实现方案。

首先定位零件,在检索典型工艺时就已经对零件定位了。打开检索到的设计零件的典型工艺,并将其中所要更新的属性值(如工序内容)逐条读取到内存中。同时,设计与开发零件的“匹配参数”功能函数,其功能就是将“工艺修订参数”类中的所有属性与设计零件典型工艺中的参数进行匹配,对于各类典型工艺来说,其中的参数数目以及参数间的关系都是明确的。在匹配出一个参数的同时,系统将获取该参数前一个字符(即字符%)在工序内容中的位置,根据系统从CAD或者BOM树上的零件属性获得的零件参数化特征信息,对工艺内容的参数值进行自动修订。利用函数的循环功能,系统可以获取本道工序内容中的所有参数并修正所有参数的具体值。修订后的典型工艺作为该零件的工艺规程存储到规程库中。典型工艺快速检索和自动修订决策系统工作流程图如图2所示。

3 结束语

把参数化技术引入工艺设计过程中,采用专家系统技术,进行智能参数化典型工艺的检索与工艺生成,实现有效的典型工艺检索及完成部分的参数化工艺设计,既能很好地解决相似工艺编制的可重用性,又能提高CAPP系统的实用化、工具化和智能化。基于参数化典型工艺的快速工艺生成技术已经应用在某航空发动机企业的CAPP系统中,并获得了预期的效果。

(责编 凌川)

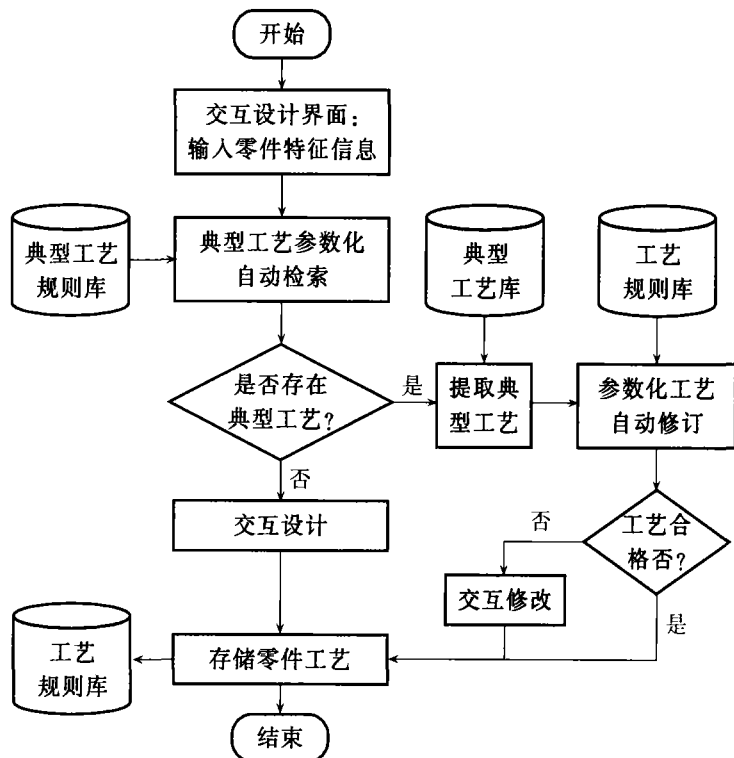


图2 典型工艺快速检索和自动修订决策系统工作流程图

Fig.2 Flowchart of rapid searching and automatic decision-making system of typical processes

(上接第79页)

相似,但因焊缝宽度小于连续点焊,可以预计电子束焊方案的强度暂不能达到使用要求,因此未进行相应的仿真计算。

4 结论

(1)手工氩弧焊方案可以满足使用要求,关键是控制焊接质量和焊后变形,提高产品合格率;

(2)间断的电阻点焊结构由于有显著的应力集中现象^[9],不能满足使用要求;

(3)连续点焊和电子束焊方案工艺稳定,焊接变形小,应进行多因素综合评估和进一步优化相关参数。

参 考 文 献

[1] 佐藤邦彦,向井喜彦,豊田政男. 焊接接头的强度与设计. 张伟昌译. 北京:机械工业出版社,1983.

[2] 赵九江,张少实,王春香. 材料力学. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2000.

[3] 浜崎正信. 搭接电阻焊. 尹克里译. 北京:国防工业出版社,1977.

[4] 王之康,高永华,徐宾. 真空电子束焊接设备及工艺. 北京:原子能出版社,1990.

(责编 金卯)