

焊接结构完整性数据库及专家系统

Database and Expert System for Integrality of Welding Structure

中航工业北京航空制造工程研究所 万晓慧 赵海涛 王晓丽 顾信安 梁岱春

[摘要] 针对焊接结构完整性研究的需要,建立了焊接数据管理数据库系统,并在此基础上结合 BS7910 评定方法建立了焊接缺陷评定专家系统。该系统采用模块化设计思路,采用面向对象设计方法,对整个系统进行总体设计。该系统实现了焊接工艺数据的信息化管理,可进行多种焊接方法焊接工艺数据的管理和查询,结合专家系统的合于使用评定方法,可对含缺陷结构进行 2 个级别的安全评定和裂纹容限尺寸计算。

关键词: 焊接结构 完整性 数据库 专家系统 评定

[ABSTRACT] Aiming at study on the integrality of welding structure, a database is established which can manage and search welding data. An expert system for assessing of the acceptability of weld flaws based on BS7910 is established in addition, which could gain knowledge automatically from the database. The system is designed with modular programs and object oriented method. Application of this system can realize information management of welding process data. It can manage and search data of joints and base metals in several welding methods, and can be used for safe assessing on welded structure with flaws and calculation of size of crack tolerance.

Keywords: Welding structure Integrality Database Expert system Assessing

在过去,工程师并无可靠的方法来定量确定结构的断裂性能和裂纹扩展性能,他们只得依靠专家作定性的估计。因此,为了排除在试验或运行中出现的破坏事故,必须反复进行改进,这花费是很大的。结构完整性技术作为一种新的工程方法体系对这些问题提供了实际的解决办法。在结构使用过程中,评定所发现的缺陷是否允许存在;在设计新的焊接结构时规定了缺陷验收的标准。结构完整性方法,使设计师在制造前就有可能保证结构满足结构完整性提出的定量标准^[1-3]。

焊接结构的显著特点之一就是整体性强,焊接结构的完整性就是要保证焊接结构在承受外载和环境作用下的整体性要求。其指标应当包括强度、刚度、断裂韧

度、损伤容限、疲劳性能和耐腐蚀性能等^[4]。

焊接结构完整性的研究是一个复杂的过程,需要长期的分析研究和数据积累。采用应用数据库系统软件将焊接领域内各种数据、信息、资料、文件等有规律地组织保存起来,可以方便快速地查阅、使用,极大地提高工作效率和准确率^[5-6]。

专家系统是是一个采用基于知识的程序设计方法建立起来的,具有大量专门知识,并能运用这些知识解决特定领域中实际问题的计算机程序系统。它可以模拟人类专家思维的过程来解决那些需要由专家来解决的问题^[7]。

数据库技术与专家系统的结合,是新一代专家系统的研究及发展方向之一,包括对大型数据库的利用以及采用数据库技术来管理专家系统的知识库^[5-7]。

本数据库系统的资源存储和整合以科学的逻辑算法作为组织规则,既提高了数据管理的广度和效率,同时又可实现资源潜在价值挖掘和利用的最大化^[8]。系统中的专家系统主要参考英国标准 BS7910—2005 中的评定方法,并充分利用基本数据库,针对带缺陷结构进行评定,建立了以焊接数据库作为知识源的自动知识获取专家系统。

1 系统总体设计

1.1 数据库系统

数据库系统是一个管理和分析焊接工艺参数、焊接母材性能参数、焊接性能试验数据以及各类资料数据的数据库系统。目的在于将焊接过程中的上述数据进行存储。一方面将存储的数据进行统计和分析,可以有效的被设计人员和工艺人员应用。另一方面为专家系统的评定过程以及研究焊接结构完整性技术提供数据支持。

针对以上需求,本系统采用模块化设计思路,将软件各组成部分按照功能进行划分,使各部分相对独立,同时,各部分又通过通用接口连接,这样既增强了软件的通用性,又可实现软件设计的标准化。

该系统在结构上主要分为数据管理、数据检索和安全管理 3 个部分。在数据管理部分中,系统选择氩弧焊、

电子束焊、钎焊、扩散焊、惯性摩擦焊 5 种典型的焊接方法作为数据管理的对象,将每种方法作为一个功能模块,同时在该部分建立母材数据管理模块与其并列,为各种焊接方法库提供母材数据支持。在数据检索部分中,按照检索内容的不同特点,分成焊接工艺数据的综合检索模块和母材性能检索模块两部分来分别检索,以满足用户的不同需求。在安全管理部分中,包括数据的安全管理和用户的管理 2 项内容。整个系统的结构如图 1 所示^[8]。

1.2 专家系统

焊接结构的断裂评定是焊接结构完整性评定中的重要内容。本专家系统主要参考英国标准 BS7910 中的评定方法,基于数据库系统基本数据,针对带缺陷结构,评定含平面缺陷的平板结构是否安全,并得出报告。据此可得到结构的裂纹容限尺寸。系统的总体结构图如图 2 所示。

系统的知识获取分为两个部分,规则获取和事实获取。知识获取的途径为 BS7910 评定标准和接头性能数据库。BS7910 标准为系统提供规则,系统将按照该标准提供的方法进行焊接结构的安全评定。数据库系统

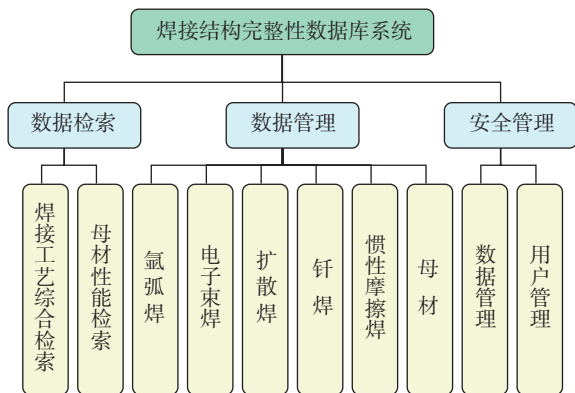


图1 数据库系统结构示意图
Fig.1 Diagram of database system structure

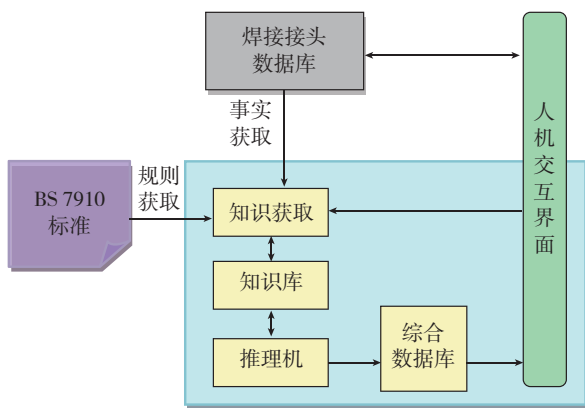


图2 专家系统结构图
Fig.2 Diagram of expert system structure

为系统提供事实,推理过程中所需要用到的性能数据资料,均从接头数据库或者资料库中获得。系统将按照标准中的评定流程,按照“合乎使用”的原则对结构是否可接受进行评定,评定过程和结果将保存在专门的综合数据库中,用户可通过人机交互界面随时查看。

2 功能及界面介绍

2.1 界面与功能

用户界面是用户与程序之间的沟通渠道,是系统中用户看得见、听得着并与之交流信息的部分。人机界面对于计算机系统的可使用性、易用性及使用效率起着决定性作用。

系统界面主要有菜单栏、工具栏、工作区、视图区和查找结果区 5 个区域,如图 3 所示。其中工作区和查找结果区是可以按照需要选择其显示或者隐藏状态^[8]。

在左侧工作区,数据库中的工艺、性能以及各个评定数据以树形目录方式进行管理,可通过右键菜单或鼠标的拖动或工具栏 3 种方式对各目录及节点项目进行新建、删除等操作,方便数据管理及查看,各项目之间的关系一目了然。其中性能数据库还可以对接头性能数据进行平均、求和等统计计算操作,并可由录入的数据自动绘制性能参数变化曲线,方便专家系统调用性能数

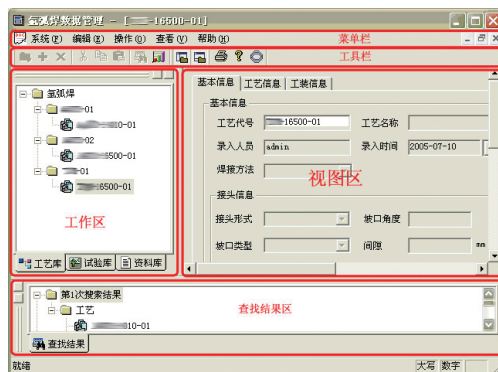


图3 数据管理界面
Fig.3 Interface of data management

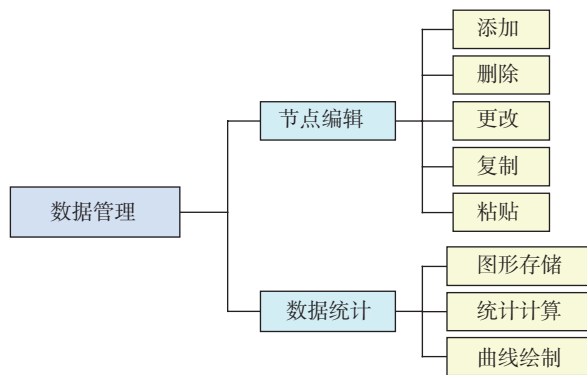


图4 数据库系统基本功能图
Fig.4 Basic function of database system

据,功能如图4所示。

视图区是进行数据浏览和操作的区域,并按内容多少和内容的类别分为相应的标签项,由确定、更改、取消等按钮对视图区内容进行保存确认操作,存储的数据有文本、数字、文档、图片等多种形式。对数据库和专家系统视图区分别会显示不同的内容,如图5和图6所示。

2.2 数据检索模块

用户在检索数据时可直接在数据管理模块进行简

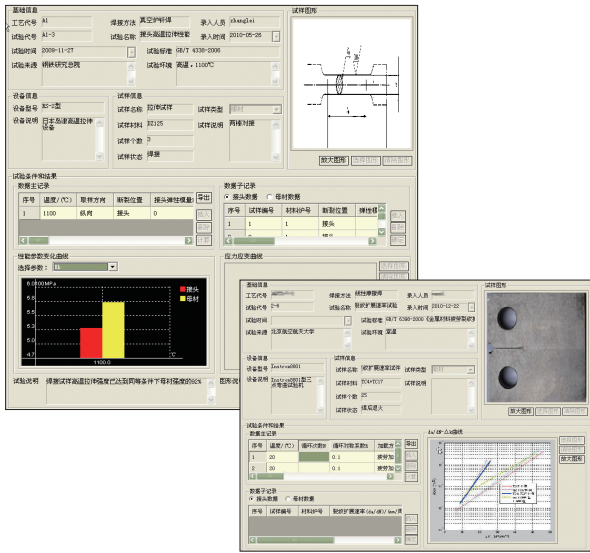


图5 性能数据界面

Fig.5 Interface of performance data

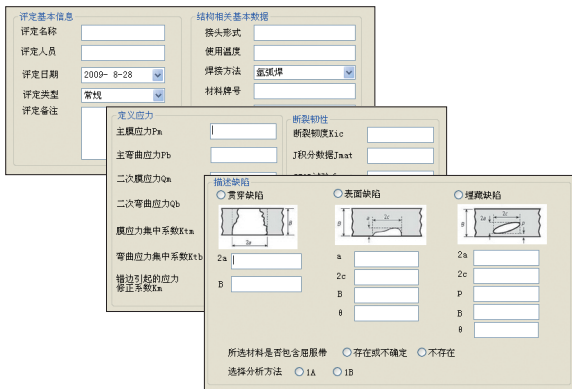


图6 评定过程界面

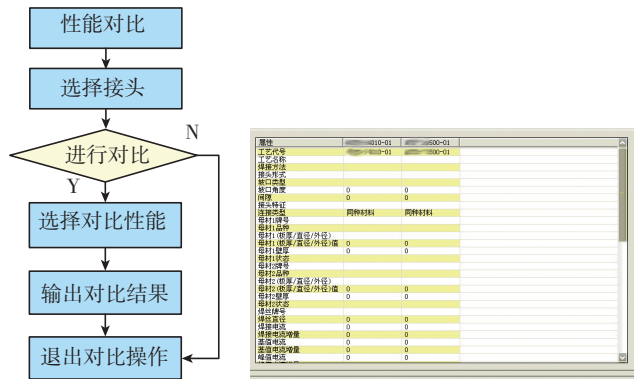
Fig.6 Interface of assessing process

单搜索,搜索结果显示于查找结果区,也可进入专门的检索界面进行检索。

焊接工艺数据综合检索模块针对氩弧焊、电子束焊、扩散焊、钎焊和惯性摩擦焊5种焊接方法,建立的综合检索模块,可以对5种焊接方法中的工艺和接头性能数据进行多方位的查询,将查询的结果分类显示给用户;同时,用户可以对查询到的接头性能数据进行比较,得到最适合的查询结果。

焊接母材数据检索模块可以对焊接母材的常规性能、常规力学性能、弯曲性能、压缩性能、疲劳性能等数据进行检索和浏览。

在焊接工艺数据综合检索和母材数据检索模块均具有基本查询、二次查询、综合浏览和数据对比等功能。在查询时可按照与、或、非关系输入各关键词进行查找。同时用户可以按需要从查找结果中选择多个工艺节点性能进行比较,详细属性将以列表的形式显示。数据对比流程及对比界面如图7所示。



(a) 数据对比流程 (b) 数据对比界面

图7 数据对比功能

Fig.7 Function of data contrast

2.3 数据调用模块

在描述焊接领域知识时,先用框架表示把领域的知识分类,然后对不同的子类再采用规则的方法来描述专家知识。这样建造的面向对象的专家系统,既具有把小知识块用规则处理的优点,也有把大知识块组织成对象处理以便于维护和开发的优点。

而数据库中焊接工艺性能数据同样也是采用面向对象的方式进行组织管理的。这样数据库的结构与专家系统描述知识的要求就是相符合的,方便了它们之间数据调用。

专家系统基于BS7910建立起了含缺陷结构的一级简单评定和二级常规评定两个等级的评定功能。评定过程中所需的接头性能数据,如屈服强度、抗拉强度、弹性模量、断裂韧性等数据,均从接头数据库中查找调用,检索过程使用数据库的数据检索模块。由于断裂韧性有 K_{IC} 、 J 和 $CTOD$ 等多种韧性指标,采用不同种类的韧性指标,专家系统会有不同的评定过程。因此,在断裂韧性数据管理中,包含了多种断裂韧性的存储,并区分各是哪种韧性指标。

系统根据检索到的数据结果进行推理和计算,判断评定过程是走 K 路线还是 δ 路线,如图8所示。 K_{mat} 的确定可由断裂韧性数据 K_{IC} 、 J 积分数据 J_{mat} 和夏比缺

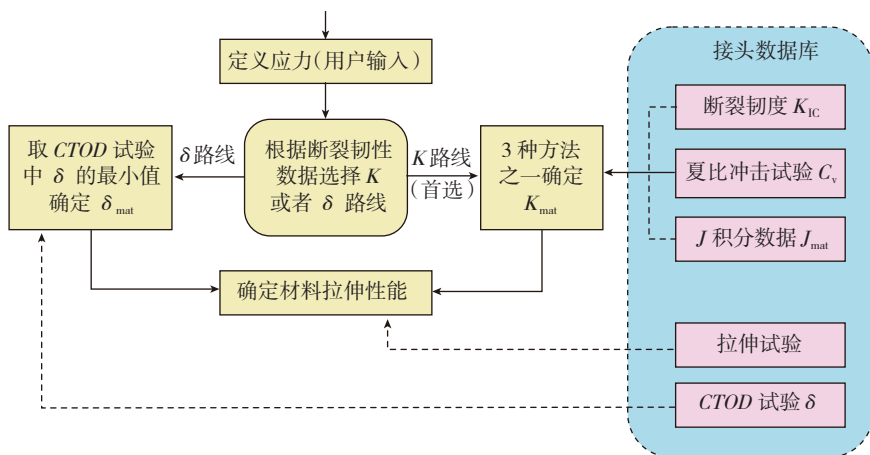


图8 数据调用模块
Fig.8 Module of data transfer

口试验数据 C_v 。这三种数据中的任何一种通过相应公式计算确定。其中对线弹性平面应变断裂韧度 $K_{mat} = K_{IC}^{[9]}$ 。

2.4 评定结果

根据标准中的评定方法,主要采用失效评定曲线 FAD 图方法进行评定。通过在图 6 所示专家系统评定过程界面中输入所必需的参数,可由专家系统获得相应的 FAD 图,并计算出纵轴和横轴标在 FAD 图上作为评定点(图 9)。当评定点在失效曲线之内区域,则结构是安全的,反之,则结构不安全^[9]。按此方法,改变裂纹尺寸使评定点不断逼近曲线,可以获得当评定点在失效曲线上时对应的裂纹尺寸,即为裂纹容限尺寸的大小。

3 系统实现与安全

3.1 系统实现

本系统采用 Client/Server 3 层结构网络服务模式,该结构由应用软件、Oracle 数据库客户端和数据库服务器 3 部分组成,在逻辑上各自独立,如图 10 所示。系统采

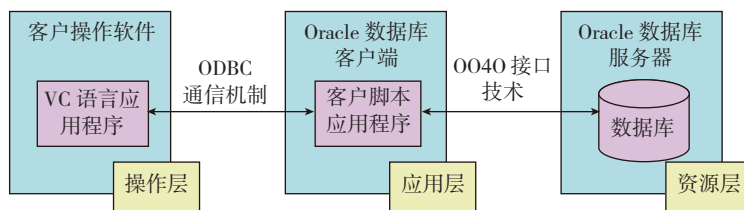


图10 客户机/服务器结构示意图
Fig.10 Structure of client/server

用的威胁,如:由于软件的缺陷或者硬件故障而导致的数据遗失等;另一方面是来自于系统外部的威胁,即:未经许可便使用系统来处理信息,从而导致数据泄密或影响数据的可靠性。本数据库系统针对两方面安全问题分别采取了以下措施:

- 该数据库系统采用脱机备份和联机备份两种方式,备份周期可以根据单位具体情况设定,并可以按不同的数据类型进行数据备份与恢复,其过程如图 11 所示。
- 所有数据库实体(表、视图等)都有一个登陆用户建立,但是该用户不拥有连接及操作这些实体的权限 (Insert、Delete、Update 等)。
- 对所有的实际用户进行分类,归纳为几个具体角色(如:录入角色和查询角色等),一种具体角色对应一个登录用户,建立帐号系统,进行角色分配、权限设置。
- 建立功能管理器和用户权限管理器,分别管理所有可用功能的相关信息以及某用户能够使用的功能,而且使用定制界面进行用户管理,操作简单、直观,易于使用。

另外,该数据库系统中仅存在一个或少数几个作为数据库实体拥有者的数据库管理员用户,以进行数据库实体的创建及日常的系统维护,而应用用户只能通过应

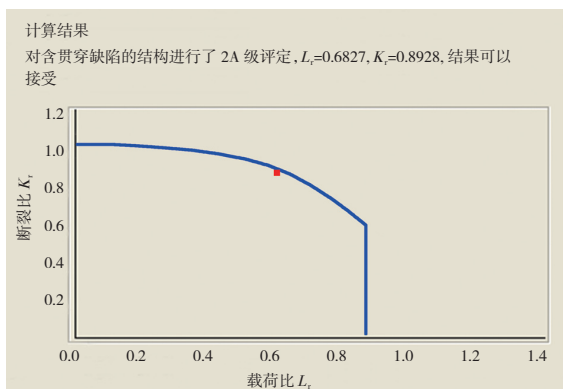


图9 失效评定结果
Fig.9 Result of failure assessing

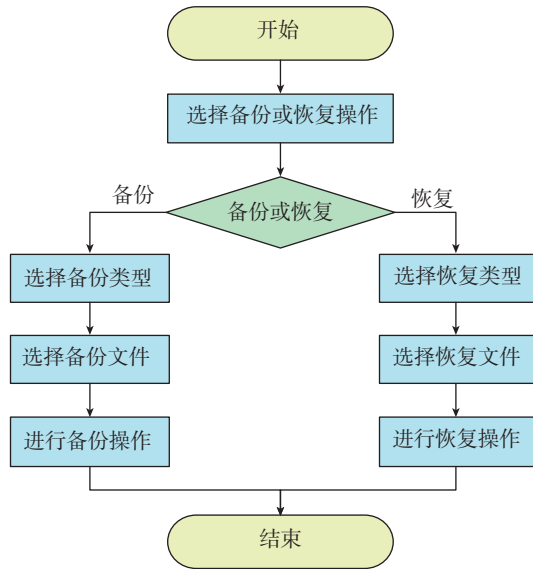


图11 备份、恢复流程图

Fig.11 Flow chart of backup and restore data

用系统访问数据库,使数据库更加安全。

4 结束语

(1) 针对研究焊接结构完整性的需要,经过合理地程序设计,实现了焊接数据的管理,为焊接结构完整性研究提供有效的数据积累平台,同时为专家系统提供了数据调用接口。

(2) 研究了以焊接接头性能数据库作为知识源的自动知识获取专家系统。系统基于英国 BS7910 标准,充分利用典型焊接接头数据库,具有对带缺陷结构进行安全评定的功能。

参考文献

[1] 威廉, S. 佩利尼. 结构完整性原理. 北京: 国防工业出版社, 1983.

[2] 马敬东, 李亚宁. 国际缺陷评定方法研究进展. 材料导报, 2006, 20(4): 86-89.

[3] 霍立兴. 焊接结构的断裂行为及评定. 北京: 机械工业出版社, 2000.

[4] 张彦华. 焊接力学与结构完整性原理. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.

[5] 陈丙森. 计算机辅助焊接技术. 北京: 机械工业出版社, 1999.

[6] 刘军. 数据库应用系统开发技术. 北京: 机械工业出版社, 2003.

[7] 付荣华, 康慧, 曲平. 焊接专家系统的应用现状及发展. 热加工工艺, 2006, 35(3): 53-55.

[8] 万晓慧, 赵海涛, 王晓丽. 焊接结构完整性数据库系统的设计与实现. 电焊机, 2008(1): 1-4.

[9] BS7910. Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures, 2005.

(责编 良辰)

(上接第 139 页)

白色相的衍射花样,分别相应图 2(a)中 1 点和 2 点。分析表明,富集钎料元素的灰白色相为六方晶体结构,为是 $TiNi_2$ 化合物, Cu 元素和 Zr 元素固溶于 $TiNi_2$ 中;富 Ti 元素的黑色相为 bcc 晶体结构,其余元素固溶于其中。因此,钎焊后钎料形成 $TiNi_2 (Cu, Zr)$ 化合物和一种 Ti 基固溶体。

通常,焊接界面组织中的化合物对接头产生脆化, $TiNi_2$ 化合物可能不利于接头的韧性;具有 bcc 结构的 Ti 基固溶体具有较好的塑性,因而,这两种相的尺寸和分布情况是接头强度和塑性的主要影响因素。当化合物尺寸较大、或分布不均匀时,加剧接头脆化,如图 3 所示;而当化合物相尺寸细小、且弥散分布时,可降低脆性化合物对接头性能的不利影响,如图 2(a)所示,因此试件具有较高强度,相应工艺为本试验优化出的 TC1 蜂窝夹层结构钎焊工艺。

3 结论

本文试验研究了 TC1 钛合金蜂窝夹层结构的钎焊工艺,并对优化工艺下钎焊界面组织进行观察和分析,得出以下结论。

(1) 在 $930^{\circ}C$ 、保温 15min、钎料添加量适当的条件下,钎焊界面中 $TiNi_2 (Cu, Zr)$ 化合物相尺寸细小、且弥散分布,因此钎焊 TC1 蜂窝夹层结构试件拉脱强度平均值较高、达 17MPa。

(2) 在钎焊过程中, Cu 元素和 Ni 元素由钎料向母材扩散,使 β 相变温度降低,促进界面魏氏体组织的产生;非晶钎料经钎焊后形成 $TiNi_2 (Cu, Zr)$ 化合物和一种 Ti 基固溶体。

(3) 芯体波纹带间受钎料熔化热影响较大,导致此处魏氏体组织粗大,成为试件的薄弱部位。

参考文献

[1] 符定梅, 韩静涛, 刘靖, 等. 钢质蜂窝夹芯板的研究进展. 航空精密制造技术, 2004(3): 14-15.

[2] 张敏, 于九明. 金属夹芯复合板及其制备技术的发展. 焊接技术, 2003(6): 21-23.

[3] Huang X, Richards N L. Activated Diffusion Brazing Technology for Manufacture of Titanium Honeycomb Structures - A Statistical Study. Welding Research, 2004(3): 73-81.

[4] Woodward J R. Titanium honeycomb sandwich fabrication process. Proceedings of Fifth National SAMPLE Technical Conference. New York, 1973: 432-437.

[5] 岳喜山, 欧阳小龙, 侯金保, 等. 钛合金蜂窝夹层结构钎焊工艺. 航空制造技术, 2009(10): 96-98.

(责编 良辰)