典型钎焊结构超声检测用对比试样研制

沙中玉[1] 王 涛[2]
(1.吉林铁道职业技术学院,吉林 132200;2.中国核动力设计研究院反应堆燃料及材料国家重点实验室,成都 610213)

摘要 针对蜂窝钎焊件、钎焊平板和钎焊雷达缝阵天线表层结构三种钎焊结构,设计制作了超声 C 扫描对比试样,试验了不同的人工缺陷的加工方法。通过对不同试样制作方法和人工缺陷加工方法的对比,确定了不同钎焊结构适用的对比试样制作方法。结果表明,制作平板钎焊结构对比试样时,应尽可能采用在平板状态钻出通孔后入炉焊接的方法。制作蜂窝钎焊结构对比试样时,采用焊后在蜂窝中注入固化剂固化,钻铣出平底孔后通过加热或化学方法去除将固化剂去除的方法效果较好。制作模拟天线表层钎焊结构对比试样时,采用焊后在下层板靠近筋条位置铣出条状缺陷的方法效果较好。

关键词: 超声 C 扫描 人工缺陷 对比试样制作
中图分类号: TG441.7

0 序 言

在高端机械产品的设计中,为了减轻重量,增加刚性、保证结构的稳定性,降低制造成本,焊接组合件得到广泛应用,其中钎焊是主要的焊接类型之一[1-2]。目前国内正在研究的钎焊结构件有很多,如:蜂窝封严件[3]、雷达缝阵天线[5]、多孔层板[5]等,这些钎焊结构件被广泛用于飞机整流罩、阻流板、发动机的整流器封严环、涡轮外环、套筒等产品中。在这些钎焊件制造过程中可能形成蒙皮-蜂窝芯焊合不良、空洞、钎料凸起等焊接缺陷,为了保证钎焊件使用的可靠性,在实际生产中常采用水浸聚焦超声 C 扫描方法(超声 C)对接头质量进行评价[6-7]。但目前在钎焊结构检测中,普遍存在不同单位和不同检验人员得到的检测图像不一致、检测结果判定缺乏准确合理方法的问题,这会影响钎焊结构质量评定的准确性和真实性,危及钎焊结构的使用安全性。解决这些问题的一个关键,是研制具有代表性的钎焊试样,在试样上设置人工缺陷,这些人工缺陷一方面应尽可能模拟实际缺陷的状态和特点,另一方面还应具有便于加工、便于测量尺寸等特点,以实现对检测过程进行校准的目的[8-9]。用超声 C 扫描试样,分析得到的检测图像,从而进一步开展检测方法试验研究。实际钎焊结构种类繁多,文中选取钎焊平板、蜂窝钎焊件和钎焊雷达缝阵天线表层结构,作为典型结构进行研究。

收稿日期: 2016-06-21

1 试验方案及试样制备

1.1 试验方案

实际钎焊结构往往十分复杂,文中主要针对三种典型的钎焊结构:蜂窝钎焊件、钎焊平板和钎焊雷达缝阵天线表层结构。根据其工艺特点和可能产生的缺陷类型,进行不同尺寸平底孔、刻槽试样等人工缺陷试样的制作。对比研究用钎焊试样与实际被检零件采用相同的材料、尺寸、形状特征和钎焊工艺,针对三种典型钎焊结构的工艺特点和可能产生的缺陷类型,进行不同尺寸平底孔、刻槽试样等人工缺陷试样的制作。

采用超声 C 扫描成像方法对各试样进行检测,检测设备为 USIP 40 数字超声探伤仪,机械扫查设备为 SM-500 超声扫描器,探头为水浸聚焦探头。通过对比 C 扫描图像的质量,对各个试样的优劣进行评定,确定制作不同钎焊结构对比试样的最适用的方法。

1.2 试样制备

1.2.1 平板钎焊结构对比试样的制作

平板钎焊结构对比试样如图 1 所示,试样尺寸为 50 mm×100 mm,预置 3 个不同直径的平底孔人工缺陷。

采用两种方法加工人工缺陷:

(1) 在平板状态钻出通孔后入炉焊接。

(2) 焊后在下层板方向钻铣。两种方法分别记作 a_1 和 a_2。

1.2.2 蜂窝钎焊结构对比试样的制作

蜂窝钎焊对比试样共试验了 4 种不同的人工缺陷添加方式:

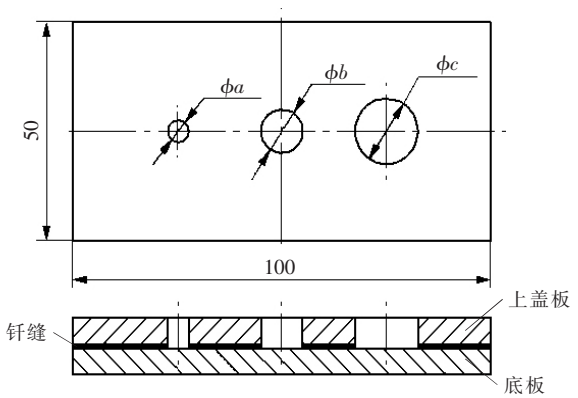


图 1 平板钎焊试样对比试样尺寸

(1) 在钎焊后的试样上钻铣出平底孔。

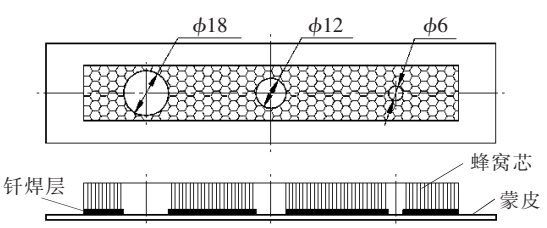
(2) 焊后在蜂窝中注入固化剂固化,钻铣出平底孔后通过加热或化学方法将固化剂去除。

(3) 在蜂窝芯上加工出通孔然后与蒙皮进行钎焊。

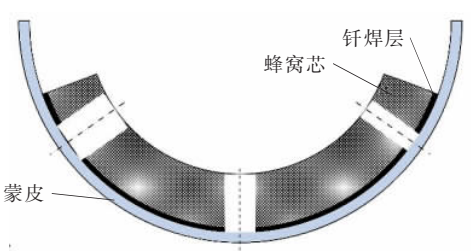
(4) 在目标部位添加阻焊剂进行钎焊。

四种方法分别记作 b_1,b_2,b_3 和 b_4,其中前三种用于平面蜂窝钎焊对比试样,而曲面蜂窝钎焊对比试样采用方法后三种方法制作。

蜂窝钎焊对比试样如图 2 所示。曲面与平面不同,当声束从水中入射到曲面试样时,会因曲面的“凸”或“凹”而产生会聚或发散的作用。因此,需要加工不同曲率的曲面钎焊试样,研究曲面试样对超声 C 扫描图像影响,同时比较平面和曲面试样超声检测效果的差异。



(a) 平面蜂窝



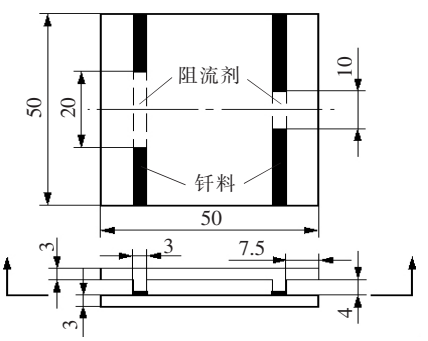
(b) 曲面蜂窝

图 2 蜂窝钎焊对比试样示意图

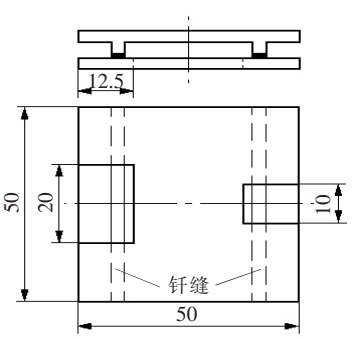
1.2.3 天线表层钎焊结构对比试样的制作

天线表层钎焊结构往往十分复杂,在检测时常常需要超声波穿过蒙皮、筋条、水层等结构检测内部的钎焊缝质量。为模拟实际检测,设计了图 3 所示天线表层钎焊结构对比试样。试样尺寸为 50 mm×50 mm,每件包含人工缺陷 2 个,位于筋条与下层板焊缝中心。

采用两种方法加工人工缺陷: ①焊接前在需要预置缺陷位置涂阻流剂; ②焊后在下层板靠近筋条位置铣出条状缺陷,两种方法的分别记作 c_1 和 c_2,设计图分别如图 3a 和图 3b 所示。



(a) 采用方法 c_1 的对比试样



(b) 采用方法 c_2 的对比试样

图 3 天线表层钎焊结构试样设计图

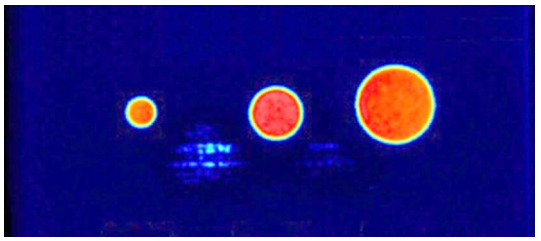
2 试验结果与分析

2.1 平板钎焊结构对比试样

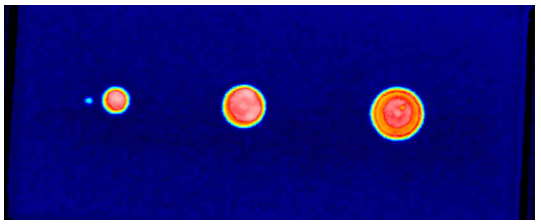
图 4 为钎焊前钻通孔方法和钎焊后铣削下层板方法制备的平板钎焊试样超声 C 扫描结果,观察两幅图中的结果可以发现,孔的边缘清晰锐利,表明加工的人工缺陷形状规则。但加工细小的孔或槽时,由于毛细作用,钎料有可能会沿缺陷侧壁向上流动,因此在加工该类试样时应尽量采用方法 a_2。其他情况下,两种方法均适宜用作平板钎焊试样中人工缺陷的加工。

2.2 平面蜂窝钎焊平底孔对比试样

采用方法b_1制作的平面蜂窝钎焊试样和相应的



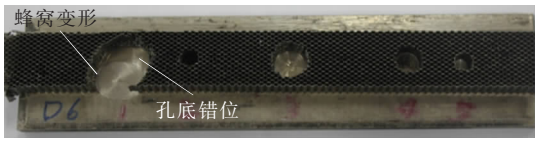
(a) 方法 a_1 制作试样



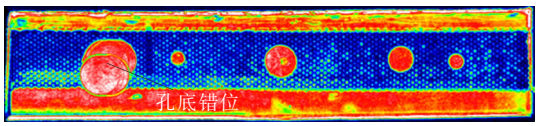
(b) 方法 a_2 制作试样

图 4 平板钎焊对比试样 C 扫描图

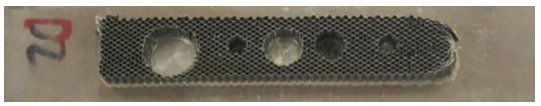
超声 C 扫描图像如图 5a 和图 5b 所示。从图中可以看出蜂窝芯发生了很大的变形，主要原因是蜂窝芯较薄，在钻孔时由于钻头的冲击使蜂窝发生变形。从孔底还可以清晰看到相连的两个圆形，表明在加工时铣刀和被加工件发生了相对移动，使人工缺陷的形状和尺寸都难以达到较高的质量。方法 b_2 是对方法 b_1 的改进，采用该方法制作的对比试样和相应的超声 C 扫描图像如图5c和图5d，与图5a、图5b对比可以发现，人工缺陷位置并未出现蜂窝变形和孔底错位的现象。这主要由于钻铣前先用固化剂进行了支撑，使蜂窝壁在加工过程中不会由于碰撞而产生变形，因此有效避免了出现蜂窝变形的情况。



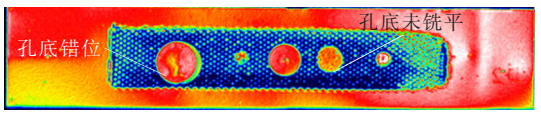
(a) b_1 方法制作蜂窝钎焊试样



(b) b_1 方法制作试样超声 C 扫描图



(c) b_2 方法制作蜂窝钎焊试样

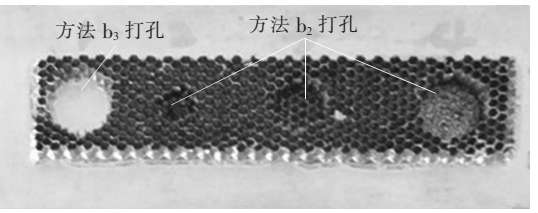


(d) b_2 方法制作试样超声 C 扫描图

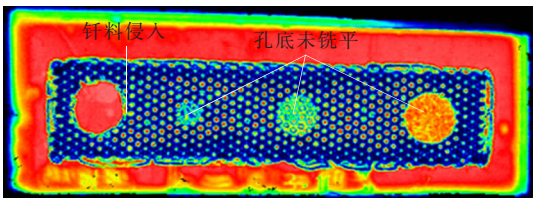
图 5 方法 b_1 和方法 b_2 制作的平面蜂窝钎焊对比试样和相应的超声 C 扫描图像

方法 b_2 存在的主要问题是：如果钻孔深度未达到焊缝处，则会有蜂窝芯残留在孔底，表现在 C 扫描图像上是缺陷区和非缺陷区都会有蜂窝格出现，如图 5d 所示，这会影响缺陷边界的确定。

图 6a 和图 6b 中最左侧的孔采用方法 b_3 加工，从超声检测结果看，孔底平整、孔边缘不存在蜂窝变形的问题。但孔边缘与周围的蜂窝结构发生了粘连，这主要是由于焊接过程中，钎料从间隙处渗入平底孔内引起。



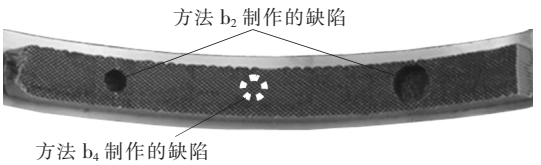
(a) 平面蜂窝钎焊试样



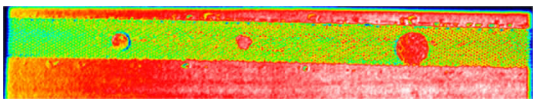
(b) 平面蜂窝钎焊试样的超声 C 扫描图像

图 6 采用方法 b_2 和方法 b_3 制作的平面蜂窝钎焊对比试样和相应的超声 C 扫描图像

采用方法 b_2 和 b_4 制作的曲面蜂窝对比试样和相应的超声 C 扫描图像如图 7 所示；采用方法 b_3 制作的曲面蜂窝对比试样和相应的超声 C 扫描图像如图 8 所示。

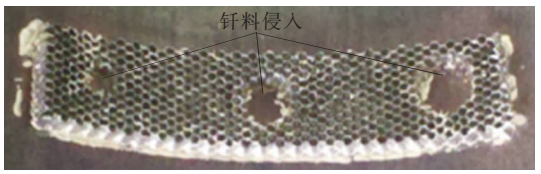


(a) 曲面蜂窝钎焊试样

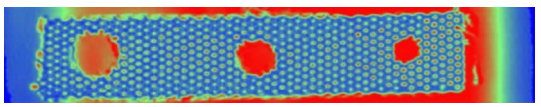


(b) 曲面蜂窝钎焊试样的超声 C 扫描图像

图 7 采用方法 b_2 和方法 b_4 制作的曲面蜂窝钎焊对比试样和相应的超声 C 扫描图像



(a) 曲面蜂窝钎焊试样



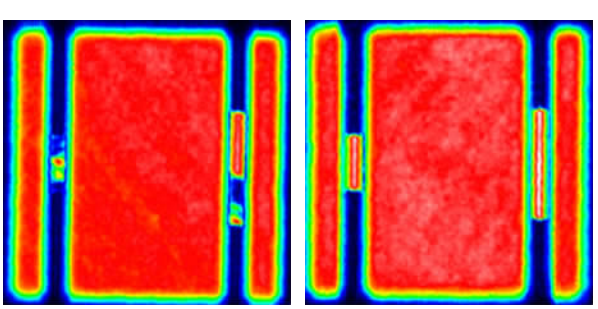
(b) 曲面蜂窝钎焊试样的超声 C 扫描图像

图 8 采用方法 b_3 制作的曲面蜂窝钎焊对比试样和相应的超声 C 扫描图像

从图 7 和图 8 可以看出，与方法 b_2、方法 b_3 机械加工的方式不同，采用方法 b_4 制作的人工缺陷为封闭式，从试样外观无法看出缺陷区和完好区的差别，只有从 C 扫描图中可以看出人工缺陷的位置和形状，因此无法直接对缺陷的实际尺寸进行测量。从图 8b 中可以看出蜂窝区域的结构仍然完好，但缺陷(中心红色圆)的外轮廓并不规则，部分位置与周围的蜂窝相连，表明在钎焊过程中阻焊剂发生了流动，使人工缺陷的形状发生变化，不利于人工缺陷尺寸的确定和面积定量。

2.3 模拟天线表层钎焊结构对比试样

采用方法 c_1 制作的对比试样和相应的 C 扫描图如图 9a 所示。采用方法 c_2 制作的对比试样和相应的 C 扫描图 9b。观察两幅图中的结果可以发现，采用方法 c_1 制作的人工缺陷无法从试样上直接观察到，因而无法确切知道其尺寸以及制作质量，此外由于阻流剂具有流动性，无法保证人工缺陷的形状规则，尺寸精确。从图 9 中也可看出，左侧和右侧人工缺陷均出现不同程度的间断。采用方法 c_2 制作的人工缺陷试样，直观清楚，尺寸便于测量，超声 C 扫描图也较清晰，重复性好。



(a) 方法 c_1 制作试样　　(b) 方法 c_2 制作试样

图 9 天线表层钎焊结构对比试样 C 扫描图

3 结　论

(1) 钎焊前钻通孔方法和钎焊后铣削下层板方法制备的平板钎焊 C 扫描图像都具有较好质量。对于细小的孔或槽结构，由于毛细作用，钎料有可能会沿缺陷侧壁向上流动，此时应采用钎焊后铣削下层板方法。

(2) 制作蜂窝钎焊结构对比试样时，推荐采用焊后钻铣平底孔方法加工规则形状的缺陷对比试样；不推荐采用加工通孔后焊接的方式制作金属蜂窝钎焊结构对比试样。

(3) 制作模拟天线表层钎焊结构对比试样时，采用焊后在下层板靠近筋条位置铣出条状缺陷。制作的人工缺陷试样，直观清楚，尺寸便于测量，超声 C 扫描图也较清晰，重复性好。因此，加工该类试样时推荐采用该方法。

参 考 文 献

[1] 雷玉珍，宋晓国，胡胜鹏，等. SiC_p/2024Al 复合材料与 SiC 陶瓷的软钎焊[J]. 焊接，2016(3)：14-17，73.

[2] 静永娟，李晓红，侯金保，等. 钛合金蜂窝夹层结构钎焊界面的价电子结构分析[J]. 焊接学报，2014(12)：101-104.

[3] 路　浩，邢立伟，赵新玉. 焊接缺陷高频显微超声可视化扫查检测[J]. 焊接，2014(9)：19-23.

[4] 樊兆宝，汤晓云，安绍孔，等. 钎焊技术及其在空空导弹加工中的应用[J]. 焊接技术，2011(11)：34-38.

[5] 静永娟，侯金保，岳喜山，等. 先进航空材料和复杂构件的钎焊技术[J]. 航空制造技术，2014(20)：72-73.

[6] 伍弟铣. 蜂窝组件钎焊工艺[J]. 航空工艺技术，1998(6)：36-37.

[7] 张祥林. 复合材料 R 角部位缺陷检测技术与超声 C 扫描检测工艺技术研究[D].哈尔滨工程大学硕士学位论文，2012.

[8] 张志永. 水浸聚焦超声探伤原理[M]. 北京：国防工业出版社，1985.

[9] 李家伟，陈积懋.无损检测手册[M]. 北京：机械工业出版社，2004：954-1014.

作者简介： 沙中玉，1958 年出生，大学本科，副教授，现在在吉林铁道职业技术学院从事科研和教学工作。主要研究领域是金属工艺和机械制造。到目前主编出版教材 2 本，已发表国家和省级论文数篇。