

制备铝基复合基板真空室的结构设计

马可, 辛舟, 阎峰云

(兰州理工大学 甘肃省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室, 兰州 730050)

摘要: 铝基复合基板是一种大功率模块芯片理想的散热基板, 在非真空环境下高温热压制备容易出现氧化腐蚀等问题, 造成基板致密度不高, 无法满足芯片匹配要求, 设计了一种供在真空热电挤压下制备铝基复合基板的真空室。通过对真空室形状大小的确定、材料的选择、壁厚的计算, 设计完成满足制备基板工艺的真空室结构以及静、动态密封结构。通过ANSYS有限元分析软件对真空室结构进行计算机仿真, 分析其最大应力应变处, 满足真空室基本强度刚性要求, 从而为真空热电挤压制备铝基复合基板创造了一个密封、稳定的真空制备环境。

关键词: 铝基复合基板; 真空室; 真空密封; ANSYS

中图分类号: TB65

文献标志码: A

文章编号: 1006-7086(2018)03-0211-04

DOI: 10.3969/j.issn.1006-7086.2018.03.013

DESIGN OF VACUUM CHAMBER FOR PREPARATION OF ALUMINUM COMPOSITE SUBSTRATE

MA Ke, XIN Zhou, YAN Feng-yun

(State Key Laboratory of Advanced Processing and Recycling of Non-ferrous Metals,
Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Aluminum composite substrate is an ideal cooling substrate for high-power module chip, the preparation of Aluminum Composite Substrate often appears oxidation corrosion in the non-vacuum environment, which results in low density substrate that can not match chip. This paper presents a vacuum chamber for the preparation of Aluminum Composite Substrate. Based on the shape, size and material selection made of vacuum chamber and wall thickness calculation, the structure of vacuum chamber was completed and its static and dynamic seal structure was designed. The maximum stress and deformation of vacuum chamber was simulated and analyzed by ANSYS software for meeting the strength and rigidity of the vacuum chamber, which created a sealed and stable environment for preparation of Aluminum Composite Substrate by vacuum thermo-electric extrusion.

Key words: aluminum composite substrate; vacuum chamber; vacuum seal; ANSYS

0 引言

随着半导体技术的发展, 大功率模块芯片集成度不断提高、芯片功率不断增大, 芯片的工作温度也随之不断上升, 相应的对其封装材料尤其是散热基板的要求也越来越高, 要求散热基板具有与电子芯片相匹配的较低热膨胀系数, 为了满足轻量化的要求, 不仅要求材料的密度尽可能低, 弹性模量尽可能高, 而且还要求有较高的热导率^[1-2]。铝碳化硅复合材料是一种先进的复合材料, 具有密度低、热

导率高、热膨胀系数低、刚度高、几何精度稳定等优点, 适合应用于航空、航天、高铁及微波等领域^[3], 成为理想的散热基板材料, 但是目前铝碳化硅复合基板制备方法成了关键问题, 采用真空热电挤压铝碳化硅粉末制备铝基复合基板, 由于考虑到在非真空环境下高温热压容易出现氧化腐蚀等问题, 但在真空环境下热压有助于提高铝基复合基板的致密度, 为此具体设计了用于铝基复合基板制备的真空室, 为铝基复合基板提供了真空制备的条件, 实现了真

收稿日期: 2018-01-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51564035、51061010)、甘肃省重大科技专项资助项目(ZX1406)

作者简介: 马可(1990-), 男, 陕西人, 硕士研究生, 主要从事真空设备的研究。E-mail: makexiwang303@163.com。

空热电挤压下对铝基复合基板的制备。

1 真空室形状及几何尺寸的确定

根据使用要求的不同,真空室有圆筒形、球形、圆锥形、盒形等,大多数真空壳体都是圆筒形,原因是制造容易且强度高。盒形壳体制造复杂,但盒形壳体内部可利用的空间大^[4],铝基复合基板采用真空热电挤压铝碳化硅粉末制备而得,制备所需的模具(几何尺寸500 mm×500 mm×500 mm)支撑架固定在 HTP32-315F 型四柱式液压机工作平台上,液压机的工作台有效尺寸1 260 mm×1 120 mm,考虑到模具和支撑架的结构形状为方形,以及安插到模具中的铜板、水管、线路等,便于集成安装及安装接口布置等问题,选择盒形真空室的长、宽、高分别为880 mm、1 000 mm、840 mm。

2 真空室材料选择及壁厚计算

2.1 真空室壳体材料选择

根据铝基复合基板制备用真空室的使用环境、加工成形过程、内部器件要求以及保持高真空环境对金属材料的要求,真空室材料的选材需考虑因素有^[5]:(1)真空室长期暴露在大气环境中,需考虑真空室在大气环境中各因素的腐蚀影响情况;(2)真空室成形过程中经过车削加工,需考虑材料的机械加工性能,真空零部件成型后,还需经过真空密封焊接,因此要求材料有较好的焊接性能;(3)根据真空材料的适用要求,要求真空室材料力学、化学性能好,且放气量相对较少。

基于以上因素选用奥氏体不锈钢作为真空室的壳体制造材料,且考虑到制备铝基复合基板真空系统的成本,选用国产不锈钢材料进行真空室加工,其中304不锈钢作为大量应用的工业材料,其耐腐蚀性能、机械性能等均优于常规金属,所以真空室材料选择国产304不锈钢。

2.2 真空室壳体板厚计算

根据盒形真空室的总体结构及选用的真空室壳体制造材料,组成真空室盒形壳体的不锈钢板厚度按盒形真空室设计公式^[6]计算:

$$S = S_0 + C \quad (1)$$

$$S_0 = \frac{0.224b}{\sqrt{[\sigma]_{\text{许}}}} \quad (2)$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (3)$$

式中: S 为壳体的实际壁厚,mm; S_0 为壳体的计算壁厚,mm; C 为壁厚的附加量,mm; C_1 为钢板的最大负

公差附加量,mm,取0.5 mm; C_2 为腐蚀裕度,mm,不锈钢取0; C_3 为封头冲压时的拉伸减薄量,mm,其中 $C_3=10\%S_0$ (不大于4 mm); b 为矩形板的窄边长度,cm,根据真空室内部筋板布置情况, b 取22 cm。

304不锈钢材料的许用应力 $[\sigma]_{\text{许}}$:

(1)按照强度极限确定许用应力

$$[\sigma]_{\text{许}} = \frac{\sigma_b}{n_b} = \frac{520}{2.7} \approx 193 \text{ MPa} \quad (4)$$

(2)按照屈服极限确定许用应力

$$[\sigma]_{\text{许}} = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{205}{1.5} \approx 137 \text{ MPa} \quad (5)$$

式中: σ_b 为材料的强度极限; σ_s 为材料的屈服极限; n_b 、 n_s 分别为材料的安全系数。故304不锈钢材料的许用应力 $[\sigma]_{\text{许}}$ 取两者中之最小值为137 MPa。

$$S_0 = \frac{0.224b}{\sqrt{[\sigma]_{\text{许}}}} = \frac{0.224 \times 22}{\sqrt{137}} \approx 0.42 \text{ cm} \quad (6)$$

$$S = S_0 + C = 4.2 + 0.92 = 5.12 \text{ cm} \quad (7)$$

为了简化壁厚计算取整数为6 mm,但要经过水压试验应力 σ 校核,矩形板的应力校核公式^[7]为:

$$\sigma = \frac{0.5b^2 p}{(S-C)} \leq 0.9\sigma_s \quad (8)$$

$$p = p_{\text{水}} + p_{\text{静}} = 0.196 + 0.0084 = 0.2044 \text{ MPa} \quad (9)$$

计算得 $\sigma \approx 191.7 \text{ MPa} > 0.9\sigma_s = 184.5 \text{ MPa}$,无法满足校核要求,故6 mm的壁厚不够,考虑到矩形板面上开孔、材料标准厚度及材料气体渗透等因素,则选用厚度为8 mm的不锈钢板,能够满足水压试验校核要求。真空室上盖通过计算,考虑其上盖开孔的缘故,其厚度取28 mm,挠度计算 $f=0.02 \text{ cm}$,满足刚性变形要求,真空室底座,考虑到通过四个螺栓固定安置在四柱液压机工作台上,受到上压机构通过模具传递到底座上的压力12.6 MPa,通过计算此压力下304不锈钢许用挤压应力满足,同时根据上盖厚度选取结果,真空室底座厚度取30 mm。

3 真空室密封结构的设计

真空室门、上盖、观察窗口侧固定门与真空室均需要良好密封,属于静密封,在其各表面边缘处设计矩形凹槽,用来安装O型密封圈,拧紧连接螺钉,挤压密封圈,实现真空室与门的密封。红外射线、热电偶以及照明灯孔与真空室螺纹连接,在螺纹上缠绕生料带,填补螺纹间的缝隙,达到良好密封。

铝基复合基板制备过程中的20 000 A电流的引入处,采用树脂胶粘结绝缘胶木,中间铜板螺栓连接,之后用框架固定在真空室壁上,如图1所示。

铝基复合基板制备过程中,上压机构、顶出基

板机构、推料机构、都需要传动轴上下左右移动,传动轴与真空室之间需要动密封连接。其密封结构如图2~图4所示。

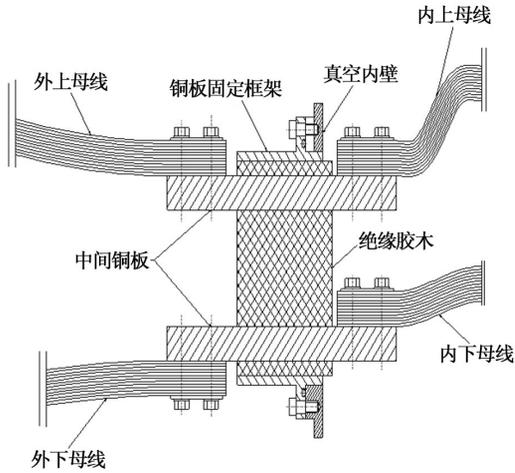


图1 电源引入处密封结构图
Fig. 1 The seal structure of power intake

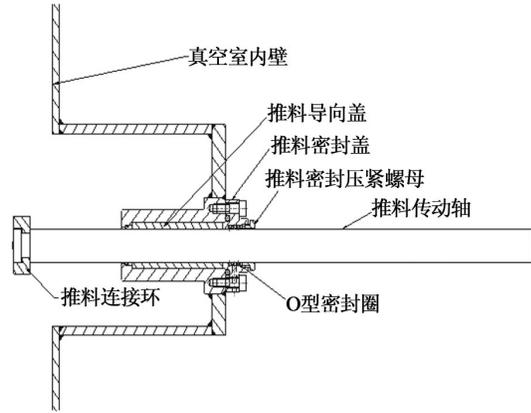


图4 推料机构动密封结构图
Fig. 4 The dynamic seal structure of pushing material mechanism

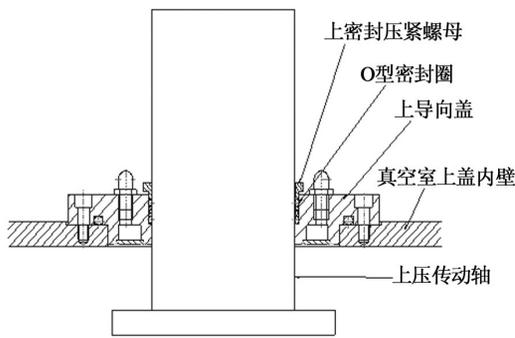


图2 上压机构动密封结构图
Fig. 2 The dynamic seal structure of press substrate mechanism

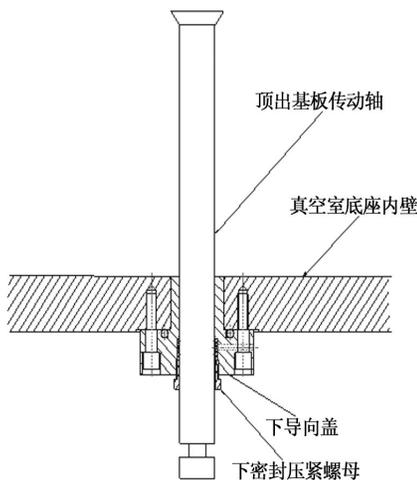


图3 顶出基板机构动密封结构图
Fig.3 The dynamic seal structure of push-out substrate mechanism

4 真空室整体结构设计

真空室的强度和稳定性是铝基复合基板制备过程中保证压样能顺利进行的基础。根据制备基板工艺的需求,所设计的真空室总体结构如图5所示。

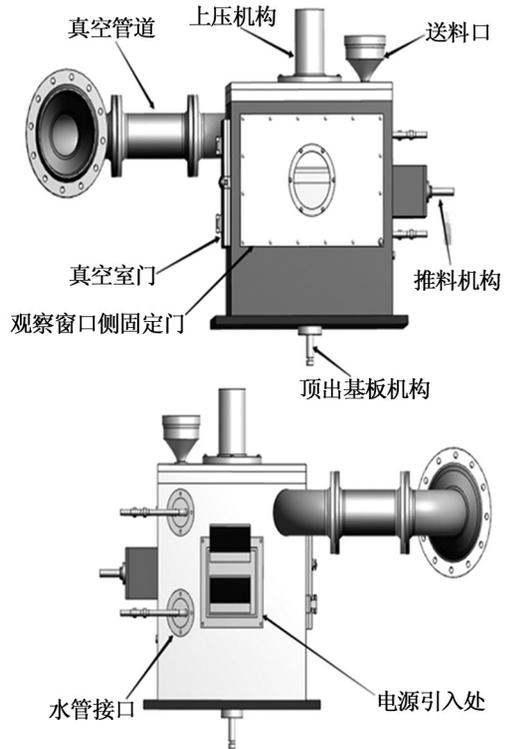


图5 真空室结构图
Fig. 5 The structure of vacuum chamber

为了满足铝基复合基板制备的需要,真空系统主要设计指标为:(1)真空室工作时,真空抽气机组能够保证室内气压稳定在 1×10^{-3} Pa;(2)真空测量系统的测量范围为 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^5$ Pa;(3)真空系统抽气时间小于1 h;(4)真空系统工作时,真空室几

何结构稳定。

为达到铝基复合基板在真空室内压样运行稳定符合系统设计要求,通过选泵的相关计算,选择K-400型扩散泵为主泵,2X-30型旋片式机械泵为前级泵组合的真空机组对真空室进行真空抽气,抽气过程中真空室必须保证内应力和变形量在允许的范围内,真空室所受的有重力和大气压力,整个真空室是固定在四柱液压机的工作平面上,自重竖直向下,作用在工作台上,对其变形和内应力影响较小,因此真空室所受主要载荷为大气压力^[8]。有限元分析采用ANSYS仿真^[9-10],真空室底面支撑部位都使用全约束,图6和图7分别为真空室整体等效应力分布和变形分布云图。

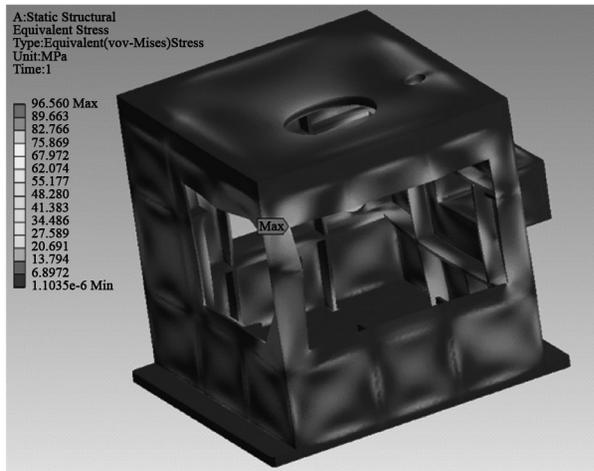


图6 真空室等效应力分布云图

Fig. 6 Equivalent Stress cloud of vacuum chamber

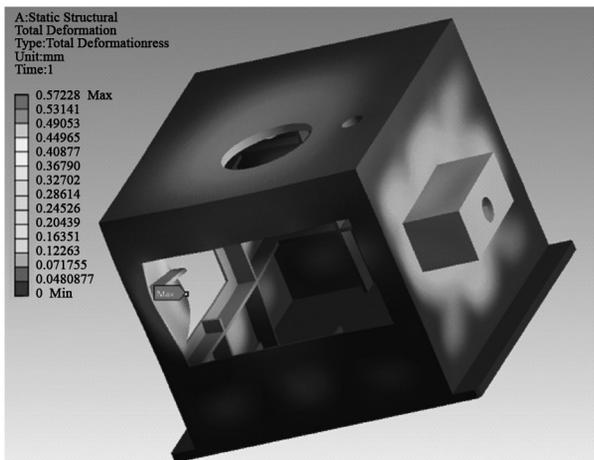


图7 真空室变形分布云图

Fig. 7 Deformation cloud of vacuum chamber

真空室整体结构的最大应力出现在真空室观察窗侧固定门顶角处,对应的最大应力为96.56 MPa,满足304不锈钢的屈服极限强度要求,真空室强度满足要求;真空室最大变形出现在真空室的门结构处,最大变形量为0.572 mm,远小于真空室的壁厚,因此真空室刚性变形符合要求。

5 结论

围绕用真空热电挤压方法制备铝基复合基板所需的真空系统中真空室的结构设计,确定了真空室的形状和大小,选择了真空室壳体制造的材料和其适合的壁厚,设计了其关键部位的静、动态密封结构,最后根据基板制备的工艺要求设计完成了其真空室的整体结构,并采用有限元分析软件ANSYS分析了真空室的最大应力和应变,结果表明,真空室的强度刚性符合设计要求,克服了在非真空环境下制备基板的氧化腐蚀等问题,为铝基复合基板的真空热电挤压制备创造了一个稳定的真空环境。

参考文献:

- [1] 郭丽萍,陈敏. 大功率模块用铝碳化硅高导热基板材料的制备方法. 中国:CN103949613A[P]. 2014-03-12.
- [2] 张泉. 高压IGBT模块基板焊接工艺研究[J]. 大功率变流技术, 2011(3):5-7.
- [3] 欧阳柳章,罗承萍,隋贤栋,等. SiCp/Al复合材料的制造及新动向[J]. 铸造, 2000, 49(1):17-20.
- [4] 达道安. 真空设计手册[M]. 第三版. 北京:国防工业出版社, 2004:676-1392.
- [5] 张海龙,王田刚,朱恩宝,等. 多路超导接收系统用矩形静态真空室设计[J]. 低温与超导, 2017(2):49-55.
- [6] 刘玉魁. 盒形不锈钢真空室壳体设计与制造[J]. 真空与低温, 1989(4):20-25.
- [7] 刘玉魁. 真空工程技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2016:500-598.
- [8] 曾群锋,于飞. 真空摩擦磨损试验机的真空系统设计[J]. 真空科学与技术学报, 2013, 33(7):627-631.
- [9] 韩潇,祁妍. 大型真空容器结构设计中的有限元分析与应用[J]. 航天器环境工程, 2009, 26(2):150-153.
- [10] 陆爽,孙明礼,丁金福,等. ANSYS Workbench 13.0有限元分析从入门到精通[M]. 北京:机械工业出版社, 2012.