

微波混合加热技术及应用前景*

曲世鸣 张明

(青岛大学师范学院物理系, 青岛 266071)

摘要 报道了氧化锆和氮化硅陶瓷材料的微波烧结实验结果,并详细讨论了微波混合加热技术在陶瓷材料微波烧结中的应用.

关键词 介电损耗,微波混合加热,多模谐振

MICROWAVE HYBRID HEATING TECHNOLOGY

Qu Shiming Zhang Ming

(Physics Department, Normal College of Qingdao University, Qingdao 266071)

Abstract The microwave sintering of ceramics is reviewed and two examples, microwave sintered zirconia and silicon nitride, are reported.

Key words dielectric loss, microwave hybrid heating, multi-mode resonant

1 前言

微波加热技术,特别是高温微波加热技术的发展,是近一二十年的事^[1].与传统加热方法比较,由于具有体内加热效率高,加热均匀等优点,因此受到广泛重视.

微波加热能否成功,取决于材料的介电损耗性质.有些材料在常温条件下,介电损耗因数很小,不能吸收多少微波能量,因而也就不能直接用微波加热.我们可以把这种材料与容易吸收微波的材料放在一起,利用后者在微波场中所产生的热量来加热前者.本文提出了微波混合加热技术,成功地解决了常温下介电损耗因数很小的材料的加热和烧结问题,对于微波加热技术有一定发展.

2 微波混合加热原理

材料对微波的反应可以分为4种情况:(1)

反射微波;(2)微波透明;(3)吸收微波;(4)部分吸收微波.多数金属属于第一类,而所有玻璃和陶瓷材料可列入后3种情况.微波与材料是通过形成偶极子和(或)已有的偶极子的重新排列而发生相互作用的.在交变电场中是连续形成和(或)重新排列的.这个极化过程需要从微波场中吸收能量,并最终以热的形式耗散在材料体内.在单位时间内,材料吸收的微波能量,即发热量由下式给出:

$$P_A = \epsilon_0 \epsilon_{\text{eff}} \frac{E_i^2}{2} V, \quad (1)$$

式中 ω 为角频率(rad/s), ϵ_0 为真空的介电常数(F/m), ϵ_{eff} 为相对有效介电损耗因数(无量纲), E_i 为内电场强度(V/m), V 为试样体积(m^3).在微波加热技术中,另一个重要参量是微波对材料的穿透深度 D_p ,其定义为微波进入材料后,能量减为原值的 $1/e$ 处到表面的距离,其公式为:

* 1998-06-01 收到初稿,1998-07-23 修回

$$D_p = \frac{0}{2 \sqrt{2}} \cdot \left[\sqrt{\frac{1}{\epsilon_{\text{eff}}} + \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{eff}}} - 1 \right)^2} - 1 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

其中 λ_0 为真空中的波长 (在 2.45 GHz 时为 12.2 cm), ϵ_{eff} 为有效相对介电常数.

在表 1 中我们给出几种常见材料在不同温度和频率条件下的介电损耗数据^[2].

表 1 不同温度和频率条件下一些材料的介电损耗因数

材料	ϵ_{eff}	温度/	频率/ Hz
水	12	25	3.00×10^9
Al ₂ O ₃	0.0032	25	2.45×10^9
Al ₂ O ₃	0.1378	1050	2.45×10^9
ZrO ₂	0.0043	25	2.45×10^9
ZrO ₂	0.0531	1000	2.45×10^9
SiC	1.71	22	2.45×10^9
SiC	27.99	695	2.45×10^9

微波加热设备中一般采用的频率为 2.45 GHz, 而微波吸收好的介质损耗因数范围为 $10^{-2} < \epsilon_{\text{eff}} < 5$. 从表 1 可以看出, ZrO₂ 及 Al₂O₃ 在室温下其介电损耗因数均在此范围以外, 这两种材料在室温下很难吸收微波, 进行加热. 当温度升高时, 介电损耗明显增加. 在 1000 以上, 则处于微波吸收好的范围. 另一方面, SiC 在室温下是很好的微波吸收体. 因此, 如果把 SiC 及 ZrO₂ 或 Al₂O₃ 放入同一微波场中, 则有可能利用前者发出的热量去加热后者. 而在 700 左右, 微波对 SiC 的穿透深度只有 0.4 cm, 微波体内加热的效应显著降低, 这时只有靠 ZrO₂ 或 Al₂O₃ 的自身微波加热来提高其温度. 以上情况正是微波混合加热技术的依据.

3 实验及结果

本实验采用多模式微波加热炉, 它由 3 个主要部分构成 (见图 1): (1) 微波电源, 最大输出功率为 5 kW, 磁控管发射的微波频率为 2.45 GHz. (2) 微波传输及调节装置, 由微波电

源发射的微波通过波导首先进入环形器. 环形器的作用是把从负载上反射回来的反射波送入水负载, 使其不致返回磁控管, 起到保护磁控管的作用. 四柱调谐器可以使装有负载的加热腔调谐到最佳工作状态. 装在定向耦合器上的可变衰减器以及电流表可以显示反射波的大小. (3) 多模式加热腔实际上是一个不锈钢制的箱子, 形状及大小类似于家用微波炉的腔体, 微波经过装在箱子顶部的天线阵进入腔体, 而在箱子底部设有可以转动的托盘, 烧结的样品及辅助介质、保温材料、坩埚和不锈钢环 (见图 2) 等便放在这个托盘之上.

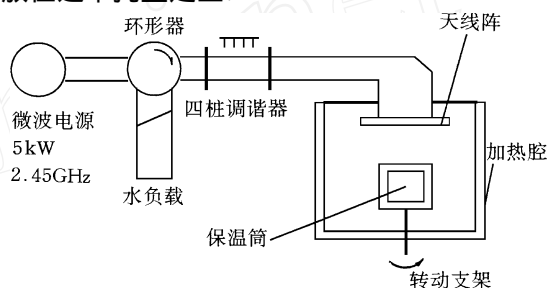


图 1 微波烧结装置示意图

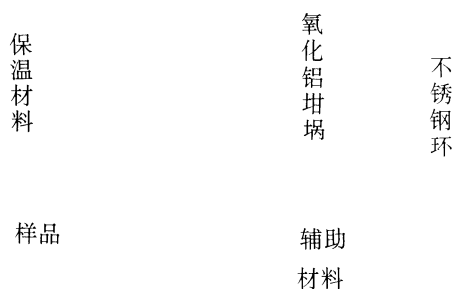


图 2 烧结容器

烧结样品及辅助加热材料一般放入一尺寸适当的氧化铝坩埚中, 在坩埚以外再放置一定的保温材料, 然后再套上一个不锈钢环, 不锈钢环的直径约 18 cm, 高约 12 cm, 把它放入加热腔中的目的在于使烧结样品的周围电场更加均匀. 实验表明, 不锈钢环对保证烧结成功是至关重要的. 以下报告两方面的实验结果.

3.1 氧化锆的微波烧结

ZrO₂ + 12 wt % CeO₂ 粉料, 在 300 MPa 单向

压力下冷压成型,样品的形状为一圆盘,直径约为6cm,厚度为0.6cm.因为 ZrO_2 在常温下介电损耗很小,不易吸收微波,因而对这一材料我们需要采用所谓微波混合加热方法(microwave hybrid heating method).在 ZrO_2 样品周围布置一些SiC棒,因为室温下SiC就可吸收微波能量而迅速加热,可用SiC发出的热量间接地去加热 ZrO_2 .当温度升至约800以后, ZrO_2 便开始自身加热,以达到所需要的温度.采用本文的方法,我们成功地用微波烧结成功 ZrO_2 陶瓷,其各项性能均达到标准的指标.微波加热时间约为20min后达到1400左右,然后保温10min,最高微波功率约2kW,总共用时30min.文献[3]中曾报道采用单模谐振腔烧成 ZrO_2 ,但是单模法加热温区很小,不适合烧结体积大的样品,而本文则采用多模谐振腔,加热温区很大(直径约为12cm,高度约为12cm的圆柱形体积),可以烧制更大的样品,在技术上是一个重大进展.

3.2 氮化硅的微波烧结

$Si_3N_4 + 5wt\% Al_2O_3 + 5wt\% Y_2O_3$,先用60MPa单轴压力压缩后,再用275MPa等静压成型.样品的形状为方块,边长约3cm,厚度为1cm左右.一般报道, Si_3N_4 需在氮气保护氛围中进行烧结,但充以一定压力的氮气后用微波烧结,需要很大的设备投资.我们采用氮化硅、碳化硅及氮化硼(按一定比例混料)的混合粉体

做辅助材料,这样,既可以间接加热,同时又可以起化学保护作用,所烧结成的 Si_3N_4 陶瓷性能良好.微波烧结时间为30—120min,依样品多少而定,最高微波功率在2—3kW之间,烧结温度约1600,保温10min.采用微波混合方法,我们在设备投资小的情况下完成了 Si_3N_4 的微波烧结,有很大技术意义.

4 结语

(1) 针对室温下介电损耗很小的材料,本文采取的微波混合加热技术是一种有效的方法,成功的烧结成 ZrO_2 及 Si_3N_4 等样品.只要能找到适当的辅助加热材料,本方法是一种可广泛应用的技术.

(2) 微波混合加热技术具有大幅度缩短烧结时间和节约电能的优点,其推广和应用必将带来重大经济效益.

(3) 为了发展微波加热技术,应该配合开展材料介电性能的基础研究,特别要研究介电损耗随温度而改变的情况.

参 考 文 献

- [1] W. H. Sutton, *Ceramic Bulletin*, **68**(1989), 376.
- [2] D. E. Clark, *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, **14** - 7/8(1992), 3.
- [3] J. Wilson, S. M. Kunz, *J. Am. Ceram. Soc.*, **71**(1988), C-40.

1999年第3期《物理》内容预告

研究快讯

驾驭斑图(pattern)的新方法——空间微扰法(王鹏业).

知识和进展

分数量子霍尔效应——1998年诺贝尔物理奖介绍(郑厚植);

浅谈惯性约束核聚变(张杰);

金属-有机物界面的偶极层(侯晓远);

掺镱硅的发光特性及机理(万钧等);

非易失铁电存储器的进展和若干问题(罗维根).

物理学和经济建设

高技术局部战争中的光电子技术(梅遂生);

28卷(1999年)2期

采用最早到达光透过高散射介质成像(侯比学).

实验技术

多波长钛宝石飞秒激光技术研究(王水才);

X射线毛细管及其应用(徐向东等).

物理学史和物理学家

托马斯·杨与杨氏干涉实验(鲁运庚等).

前沿和动态

在重费米子化合物中由磁性中介的超导电性(戴闻);

C_{36} ——富勒烯固体中最小的成员(戴闻);

第9届全国原子与分子物理学术会议简讯(刘玉芳).

· 119 ·