

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(43) 国际公布日
2018 年 10 月 18 日 (18.10.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/188513 A1

(51) 国际专利分类号:

H05B 6/68 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2018/081936

(22) 国际申请日:

2018 年 4 月 4 日 (04.04.2018)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

201710228305.1 2017 年 4 月 10 日 (10.04.2017) CN

(71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

(72) 发明人: 李迎光 (LI, Yingguang); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

隋少春 (SUI, Shaochun); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

周靖 (ZHOU, Jing); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

李楠垚 (LI, Nanya); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

(74) 代理人: 南京天华专利代理有限责任公司 (NANJING TIANHUA PATENT AGENT CO., LTD.);

中国江苏省南京市鼓楼区山西路 67 号世贸中心大厦 A1 座 23 层, Jiangsu 210009 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家

保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,

LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区

保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第 21 条 (3))。

(54) Title: METHOD FOR ACTIVE CONTROL OF MICROWAVE HEATING TEMPERATURE UNIFORMITY BASED ON HEATING MODE COMPLEMENTARITY

(54) 发明名称: 基于加热模式互补的微波加热温度均匀性主动控制方法

(57) Abstract: A method for active control of microwave heating temperature uniformity based on heating mode complementarity. The method comprises: preheating a component to be heated in order to acquire the heating mode of the component under different microwave system setup parameters; during the microwave heating process, monitoring in real-time the temperature distribution of the same layer of material of the component; for uneven temperature distribution, automatically matching complementary heating modes and adjusting in real-time the microwave system setup parameters; and thereby performing active compensation of the uneven temperature distribution. The present invention in principle overcomes the problem of uneven microwave heating, and greatly improves the temperature uniformity of a component during a microwave heating process.

(57) 摘要: 一种基于加热模式互补的微波加热温度均匀性主动控制方法。该方法通过对待加热零件预加热以获得不同微波系统设置参数下该零件的加热模式, 在微波加热过程中实时监测零件同一层材料的温度分布, 对不均匀的温度分布自动匹配互补的加热模式, 实时调整微波系统设置参数, 对不均匀的温度分布进行主动补偿。从原理上突破了微波不均匀加热的难题, 大大提高了零件在微波加热过程中的温度均匀性。



WO 2018/188513 A1

基于加热模式互补的微波加热温度均匀性主动控制方法

技术领域

本发明涉及一种微波加热温度均匀性控制方法，尤其是一种微波加热温度均匀性主动控制方法，具体地说是一种基于加热模式互补的微波加热温度均匀性主动控制方法。

背景技术

微波是频率为 300M 至 300GHz 的电磁波。微波加热是材料依靠吸收微波能并将其转换成热能，从而使材料整体同时升温的加热方式。由于具有高频特性，微波电磁场以数十亿次/秒的惊人速度进行周期性变化，材料中的极性分子（典型的如水分子、蛋白质、核酸、脂肪、碳水化合物等）在高频电磁场的作用下亦以同样的速度做极性运动，致使分子间频繁碰撞而产生大量摩擦热，从而导致物料在短时间内温度迅速升高。基于上述加热机理，微波加热具有加热速度快、温度梯度小、选择性加热、易于控制等一系列优点，因此被广泛应用于食品加工、材料处理、化学合成等各大领域。

然而，微波加热技术存在零件同一层材料温度场不均匀的难题。其根本原因在于微波腔体内电磁场呈驻波状态分布。在波腹附近，电场或磁场强度高，零件内部极性分子振动剧烈，升温迅速、温度高，形成局部热点；在波节附近，电场或磁场强度接近于零，零件内部极性分子振动轻微甚至不振动，升温缓慢、温度低，形成局部冷点。温度不均匀分布严重威胁食品加工的卫生安全和零件处理的成型质量。

现有方法采用物料旋转托盘和微波模式搅拌器等实现微波场和被加热对象间的随机相对运动来改善温度均匀性。物料旋转托盘使被加热材料依次通过微波腔体内电场(或磁场)强度较高和较低的区域,利用一段时间内零件同一层材料上冷点和热点间的随机抵消效应提高温度均匀性。电磁场模式搅拌器在腔体内微波馈口处设置一系列旋转的金属片,将入射的电磁波动态地分散至腔体内各个区域,利用一段时间内动态电磁场的随机叠加效应改善零件同一层材料的温度均匀性。但物料旋转托盘、电磁场模式搅拌器等手段从原理上属于温度分布随机补偿的方法,从本质上难以实现对微波加热过程中零件同一层材料温度分布的精确控制。

针对上述问题,本发明提供一种基于加热模式互补的微波加热温度均匀性主动控制方法(加热模式是指被加热对象同一层材料各点升温速率的分布规律)。该方法通过对待加热零件预加热以获得该零件在不同微波系统设置参数下的加热模式,在微波加热过程中实时监测零件同一层材料的温度分布,对不均匀的温度分布自动匹配互补的加热模式,实时调整微波系统设置参数,对不均匀的温度分布进行主动补偿。本发明从原理上突破了微波不均匀加热的难题,可以显著提高被加热对象在微波加热过程中的温度均匀性。

发明内容

本发明的目的是针对目前微波加热存在的零件同一层材料温度分布不均匀的问题,发明一种基于加热模式互补的微波加热温度均匀性主动控制方法,从原理上突破微波不均匀加热的难题,实现零件的均匀微波加热。

本发明的技术方案是：

一种基于加热模式互补的微波加热温度均匀性主动控制方法，其特征在于：通过对待加热零件预加热以获得该零件在不同微波系统设置参数下的加热模式，构建针对该零件的微波系统设置参数——加热模式数据库；对该零件进行微波加热时，实时监测该零件同一层材料的温度分布情况，当温度差超过设定值时，在微波系统设置参数——加热模式数据库中快速检索能与当前加热模式互补的加热模式，并根据检索到的加热模式对应地调整微波系统设置参数，主动补偿该零件同一层材料上的不均匀温度分布；上述温度监测、模式检索和主动补偿过程实时、反复进行，直至完成零件的微波加热过程。

上述的微波系统设置参数——加热模式数据库中的加热模式应满足微波加热过程中零件所需的任何温度分布补偿情况。例如，在微波加热过程中需对零件同一层材料上的最热点（或最冷点）进行补偿，则数据库中所收集的加热模式上最热点（或最冷点）的面积之和等于整个零件面积；以此类推。

上述的零件预加热过程可重复多次进行，每次升降温循环可收集一个或多个加热模式，但最高预加热温度应不影响零件的结构和性能。微波加热模式数据库构建完成后，可对该数据库中的微波加热模式进行分类分析以提高模式检索效率。

优先选择微波源数量、微波源位置、各微波源功率比例、微波频率等加热过程中可实时调整的微波系统设置参数。

本发明的有益效果：

基于在线监测零件温度分布和加热模式互补方法主动补偿零件在微波加热过程中出现的不均匀温度分布，从原理上突破了微波不均匀加热的难题，显著提高了被加热对象在微波加热过程中的温度均匀性。

具体实施方式

一种基于加热模式互补的复合材料微波加热温度均匀性主动控制方法，其具体步骤如下：

本实施例采用短切碳纤维毡/环氧树脂复合材料平板零件（长度 400mm，宽度 400mm，厚度 3mm）为加热对象，采用具有 16 路微波源的八边形高性能工业微波炉为加热固化装备。采用微波系统设置参数中不同微波源数量和不同微波源分布位置作为复合材料零件加热模式的控制策略，可描述为下式：

$$\mathbf{U} = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_l]$$

其中， $\mathbf{U}$ 为复合材料零件加热模式的控制策略， δ 为微波腔体内某个微波源的开关状态(取值为 0 或 1)， l 为微波腔体内某特定微波源的编号(取值小于等于 16)。在特定控制策略 $\mathbf{U}$ 下，复合材料零件的加热模式可描述为下式：

$$\mathbf{HP} = \begin{bmatrix} \frac{dT_{11}}{dt} & \frac{dT_{12}}{dt} & \dots & \frac{dT_{1n}}{dt} \\ \frac{dT_{21}}{dt} & \frac{dT_{22}}{dt} & \dots & \frac{dT_{2n}}{dt} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{dT_{m1}}{dt} & \frac{dT_{m2}}{dt} & \dots & \frac{dT_{mn}}{dt} \end{bmatrix}$$

其中， $\mathbf{HP}$ 为复合材料零件的加热模式， $\frac{dT_{mn}}{dt}$ 为复合材料表面某点的

归一化升温速率。本实施例中，采用红外热像仪监测复合材料平板表面的温度分布，并将复合材料表面均分为 20×20 个测温区域

($m = n = 20$)，即每个加热模式由一个 20×20 的升温速率矩阵构成。

将上述复合材料零件放入微波腔体后，采用预加热方法建立该零件的控制策略——加热模式数据库。预加热过程的最高加热温度为 70°C ，当温度达到 70°C 时对复合材料板进行降温，然后重复对复合材料板进行预加热过程，直至获得足够的微波加热模式。本实施例仅对微波加热过程中零件表面的最热点或最冷点进行补偿，因此加热模式数据库包含 800 个加热模式，测算依据是：使每个测温区域均存在冷点和热点两种状态。在零件预加热过程中，采用多种控制策略实时调整微波系统设置参数，并采用红外热像仪监测每个控制策略下复合材料零件的加热模式。通过采用 t_k 时刻零件的温度分布状态减去 t_{k-1} 时刻零件的温度分布状态即获得第 k 个控制策略运行过程中零件表面各点的温度增量；采用上述温度增量除以运行时间 $\delta t = t_k - t_{k-1}$ ，即获得第 k 个控制策略下复合材料零件对应的加热模式。在获得需要的 800 个加热模式后，将每个加热模式和各自的控制策略进行关联，建立该零件的控制策略——加热模式数据库。

对该零件进行微波加热固化时，采用红外热像仪实时监测该零件表面的温度分布情况，当最大温差超过 6°C 时，在控制策略——加热模式数据库中快速检索与当前温度分布互补的加热模式，并根据所检索加热模式的控制策略实时调整微波系统设置参数，主动补偿零件表面不均匀的温度分布；上述温度监测、模式检索和主动补偿过程实时、

反复进行，直至完成复合材料板的固化成型。

以上仅是本发明的具体应用范例，对本发明的保护范围不构成任何限制。凡采用等同变换或是等效替换而形成的技术方案，均落在本发明权利保护范围之内。

本发明未涉及部分均与现有技术相同或可采用现有技术加以实现。

权 利 要 求 书

1. 一种基于加热模式互补的微波加热温度均匀性主动控制方法，其特征在于：在微波加热过程中实时监测零件同一层材料的温度分布，对不均匀的温度分布自动匹配互补的加热模式，实时调整微波系统设置参数，对不均匀的温度分布进行主动补偿。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/081936

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05B 6/68 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 微波, 加热, 受热, 均匀, 不均匀, 补偿, 互补, 模式, 温度, microwave, compensat+, heat+, energy, distribut+, equal+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 105165118 A (TAYLOR, J.A.), 16 December 2015 (16.12.2015), description, paragraphs [0022]-[0035], and figures 1-3	1
X	CN 101749757 A (WHIRLPOOL CORPORATION), 23 June 2010 (23.06.2010), description, paragraph [0013], and figures 1-16	1
PX	CN 107071953 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 18 August 2017 (18.08.2017), description, paragraph [0010]	1
A	CN 101860996 A (WHIRLPOOL CORPORATION), 13 October 2010 (13.10.2010), entire document	1
A	CN 105392226 A (SICHUAN UNIVERSITY), 09 March 2016 (09.03.2016), entire document	1
A	CN 1120148 A (LG ELECTRONICS INC.), 10 April 1996 (10.04.1996), entire document	1
A	US 6132084 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY), 17 October 2000 (17.10.2000), entire document	1
A	US 2012067872 A1 (GOJI LTD.), 22 March 2012 (22.03.2012), entire document	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 07 June 2018	Date of mailing of the international search report 27 June 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer QI, Shaojie Telephone No. 86-(10)-53961206

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/081936

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105165118 A	16 December 2015	WO 2014145607 A1	18 September 2014
		US 2016029441 A1	28 January 2016
		US 2014289809 A1	25 September 2014
CN 101749757 A	23 June 2010	BR PI0905120 A2	08 February 2011
		EP 2200402 B1	31 August 2011
		US 8324540 B2	04 December 2012
		ES 2369312 T3	29 November 2011
		EP 2200402 A1	23 June 2010
		US 2010155392 A1	24 June 2010
		CN 101749757 B	04 June 2014
CN 107071953 A	18 August 2017	None	
CN 101860996 A	13 October 2010	US 8338763 B2	25 December 2012
		US 2010252551 A1	07 October 2010
		CN 101860996 B	29 January 2014
		EP 2239994 A1	13 October 2010
		BR PI1000969 A2	22 March 2011
CN 105392226 A	09 March 2016	US 2017064779 A1	02 March 2017
CN 1120148 A	10 April 1996	JP H08159479 A	21 June 1996
		JP 3232212 B2	26 November 2001
		CN 1105266 C	09 April 2003
		KR 0129239 B1	09 April 1998
		US 5693247 A	02 December 1997
US 6132084 A	17 October 2000	None	
US 2012067872 A1	22 March 2012	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/081936

A. 主题的分类 H05B 6/68 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H05B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 微波, 加热, 受热, 均匀, 不均匀, 补偿, 互补, 模式, 温度, microwave, compen- sat+, heat+, energy, distribut+, equal+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 105165118 A (杰森 亚瑟 泰勒) 2015年 12月 16日 (2015 - 12 - 16) 说明书第[0022]-[0035]段、图1-3	1
X	CN 101749757 A (惠而浦有限公司) 2010年 6月 23日 (2010 - 06 - 23) 说明书第[0013]段、图1-16	1
PX	CN 107071953 A (南京航空航天大学) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 说明书第[0010]段	1
A	CN 101860996 A (惠而浦有限公司) 2010年 10月 13日 (2010 - 10 - 13) 全文	1
A	CN 105392226 A (四川大学) 2016年 3月 9日 (2016 - 03 - 09) 全文	1
A	CN 1120148 A (LG电子株式会社) 1996年 4月 10日 (1996 - 04 - 10) 全文	1
A	US 6132084 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2000年 10月 17日 (2000 - 10 - 17) 全文	1
A	US 2012067872 A1 (GOJJI LTD.) 2012年 3月 22日 (2012 - 03 - 22) 全文	1
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2018年 6月 7日		国际检索报告邮寄日期 2018年 6月 27日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		授权官员 祁少杰 电话号码 86- (10) -53961206

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/081936

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	105165118	A	2015年 12月 16日	WO	2014145607	A1	2014年 9月 18日
				US	2016029441	A1	2016年 1月 28日
				US	2014289809	A1	2014年 9月 25日
CN	101749757	A	2010年 6月 23日	BR	PI0905120	A2	2011年 2月 8日
				EP	2200402	B1	2011年 8月 31日
				US	8324540	B2	2012年 12月 4日
				ES	2369312	T3	2011年 11月 29日
				EP	2200402	A1	2010年 6月 23日
				US	2010155392	A1	2010年 6月 24日
				CN	101749757	B	2014年 6月 4日
CN	107071953	A	2017年 8月 18日	无			
CN	101860996	A	2010年 10月 13日	US	8338763	B2	2012年 12月 25日
				US	2010252551	A1	2010年 10月 7日
				CN	101860996	B	2014年 1月 29日
				EP	2239994	A1	2010年 10月 13日
				BR	PI1000969	A2	2011年 3月 22日
CN	105392226	A	2016年 3月 9日	US	2017064779	A1	2017年 3月 2日
CN	1120148	A	1996年 4月 10日	JP	H08159479	A	1996年 6月 21日
				JP	3232212	B2	2001年 11月 26日
				CN	1105266	C	2003年 4月 9日
				KR	0129239	B1	1998年 4月 9日
				US	5693247	A	1997年 12月 2日
US	6132084	A	2000年 10月 17日	无			
US	2012067872	A1	2012年 3月 22日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)