



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107627024 B

(45)授权公告日 2019.07.26

(21)申请号 201610605215.5

(22)申请日 2016.07.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107627024 A

(43)申请公布日 2018.01.26

(73)专利权人 长沙天仪空间科技研究院有限公司

地址 410205 湖南省长沙市岳麓区汇达路
68号航天亚卫科技园

专利权人 中国科学院上海硅酸盐研究所

(72)发明人 宋伟 余建定 彭小娜 杨莉萍
之佳运 陶冶

(74)专利代理机构 北京市振邦律师事务所
11389

代理人 汪妍瑜

(51)Int.Cl.

B23K 26/00(2014.01)

(56)对比文件

CN 105575444 A,2016.05.11,
US 5043131 A,1991.08.27,
JP 2011115819 A,2011.06.16,
US 2006159394 A1,2006.07.20,
JP 2003334677 A,2003.11.25,
JP 2004103261 A,2004.04.02,

审查员 常姣姣

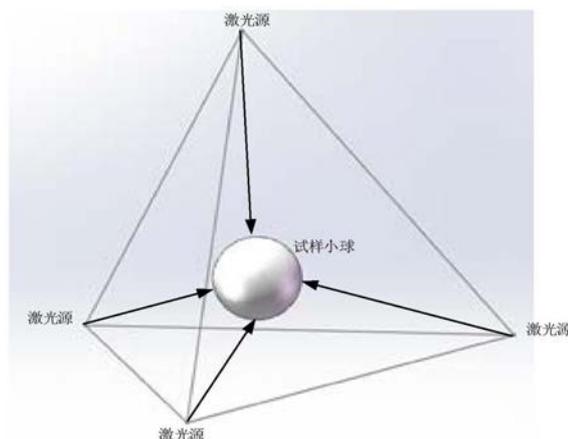
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种激光加热悬浮小球的方法及能量分布
计算方法

(57)摘要

本发明涉及一种激光加热悬浮小球的方法
及能量分布计算方法,其特征在于:将悬浮小球
置于正多面体的中心,多个激光源布置于正多面
体的角点,多束激光通过发射相同功率的激光对
小球进行加热,直至小球融化。



1. 一种激光加热悬浮小球的能量分布计算方法,将悬浮小球置于正多面体的中心,多个激光源布置于正多面体的角点进行加热,将每束激光在小球表面的分布进行网格划分,即按等距分为多个圆环,每一圆环对应的弦心角 $90^\circ/\text{环数}$,然后根据激光束能量、激光束直径、小球直径、圆环的面积和吸收率可计算出任一圆环吸收的能量,进而可以算得小球表面的能量分布,其特征在于:对于每一束激光都有一个通过球心的圆面与其垂直,且激光能量在该圆面上是均匀分布的,其能量密度为:

$$m = \frac{I}{\pi R^2},$$

其中I为单束激光的能量,R为激光束的半径;

将照射到球面上的激光进行切向和法向的分解,则法向能量密度:

$$n = m \sin\theta$$

其中 θ 为激光束与球面接触点切线的夹角;

球面圆环对应的面积:

$$ds = 2\pi r^2 \cos\theta d\theta$$

其中r为小球的半径,

假设小球材料的吸收率为 α ,则每一微圆环表面吸收的能量为:

$$n \times \alpha \times ds$$

这样对于弦心角从 θ_1 变化到 θ_2 的球面圆环来说,其面积为:

$$s = 2\pi r^2 (\sin\theta_2 - \sin\theta_1)$$

其吸收的能量为: $\frac{I\alpha r^2}{R^2} (\sin\theta_2 - \sin\theta_1)$

将每一圆环上吸收的单束激光的能量在圆环面积上进行平均分配,为:

$$\frac{I\alpha r^2}{R^2} (\sin\theta_2 - \sin\theta_1) / [2\pi r^2 (\sin\theta_2 - \sin\theta_1)]$$

然后将球面上同一区域不同激光束在此的能量密度进行加和,即可得到所有激光束在此的总的能量密度分布。

2. 根据权利要求1所述的能量分布计算方法,其特征在于:所述激光源的直径相同,且大于等于小球的直径。

3. 根据权利要求2所述的能量分布计算方法,其特征在于:激光直径大于小球直径0.2mm。

4. 一种激光加热悬浮小球的能量分布计算方法,将悬浮小球置于正多面体的中心,多个激光源布置于正多面体的角点进行加热,将每束激光在小球表面的分布进行网格划分,即按等距分为多个圆环,每一圆环对应的弦心角 $90^\circ/\text{环数}$,然后根据激光束能量、激光束直径、小球直径、圆环的面积和吸收率可计算出任一圆环吸收的能量,进而可以算得小球表面的能量分布,其特征在于:对于每一束激光都有一个通过球心的圆面与其垂直,且激光能量在该圆面上是均匀分布的,其能量密度为:

$$m = \frac{I}{\pi (r + 0.1)^2},$$

其中I为单束激光的能量,r为小球的半径,r+0.1为激光束的半径;

将照射到球面上的激光进行切向和法向的分解,则法向能量密度:

$$n = m \sin \theta$$

其中 θ 为激光束与球面接触点切线的夹角；

球面圆环对应的面积：

$$ds = 2\pi r^2 \cos \theta d\theta$$

假设小球材料的吸收率为 α ，则每一微圆环表面吸收的能量为：

$$n \times \alpha \times ds$$

这样对于弦心角从 θ_1 变化到 θ_2 的球面圆环来说，其面积为：

$$s = 2\pi r^2 (\sin \theta_2 - \sin \theta_1)$$

其吸收的能量为：
$$\frac{I \alpha r^2}{(r + 0.1)^2} (\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1)$$

将每一圆环上吸收的单束激光的能量在圆环面积上进行平均分配，为：

$$\frac{I \alpha r^2}{(r + 0.1)^2} (\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1) / [2\pi r^2 (\sin \theta_2 - \sin \theta_1)]$$

然后将球面上同一区域不同激光束在此的能量密度进行加和，即可得到所有激光束在此的总的能量密度分布。

5. 根据权利要求4所述的能量分布计算方法，其特征在于：所述激光源的直径相同。
6. 根据权利要求1或4所述的能量分布计算方法，其特征在于：所述圆环为10个。
7. 根据权利要求1或4所述的能量分布计算方法，其特征在于：所述激光源的输出功率相同。
8. 根据权利要求1或4所述的能量分布计算方法，其特征在于：所述的小球的形状为圆球形。
9. 根据权利要求1或4所述的能量分布计算方法，其特征在于：所述的正多面体为正四面、正六面、正八面、正十二面或正二十面体。

一种激光加热悬浮小球的方法及能量分布计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用激光加热的方法,尤其涉及一种利用激光加热悬浮样品以获得温度均匀分布的一种方法以及一种激光加热悬浮小球的能量分布计算方法。

背景技术

[0002] 空间材料科学,作为空间科学与应用领域中的重要分支,是传统的材料科学向空间环境下的延伸,是发展材料科学新理论、探索材料制备工艺和拓展材料应用新领域中最活跃的前沿性交叉学科之一。空间具有微重力、超真空、无容器和强辐射等特殊效应,是研究材料熔融、凝固等的理想试验条件。但是,人们迄今所能利用的空间资源仍然十分有限。因此,模拟空间环境中各种效应的地面方法应用而生。悬浮技术就是其中之一,它可以模拟空间环境中的无容器状态。在悬浮技术中,通过对悬浮的材料进行激光加热是使材料获得熔融状态的最有效的途径。

[0003] 研究发现,在对悬浮材料进行熔融加工的过程中,使材料获得均匀的温度分布是进行精确的材料研究的前提条件之一。然后现有技术中并没有很好的方法能够使得材料获得均匀温度。本发明目的在于通过一种新的激光加热方法加热悬浮材料以使小球表面获得均匀的温度分布。

发明内容

[0004] 本发明是鉴于上述的情况,提供一种能解决上述问题的激光加热方法,具体而言本发明提供一种一种激光加热悬浮小球的方法,其特征在于:将悬浮小球置于正多面体的中心,多个激光源布置于正多面体的角点。

[0005] 进一步地,其特征在于:所述激光源的输出功率相同。

[0006] 进一步地,其特征在于:所述激光源的直径相同,且大于等于小球的直径。

[0007] 进一步地,其特征在于:所述的小球的形状为圆球形。

[0008] 进一步地,其特征在于:其特征在于所述的正多面体为正四面体。

[0009] 进一步地,其特征在于:其特征在于所述的正多面体为正六面、正八面、正十二面或正二十面体。

[0010] 本发明还提供一种一种激光加热悬浮小球的能量分布计算方法,其采用上面任一方案所述激光加热悬浮小球的方法加热,其特征在于,所述计算步骤为:将每束激光在小球表面的分布进行网格划分,即按等距分为多个圆环,例如分为10个圆环,每一圆环对应的弦心角 $90^\circ/\text{环数}$,然后根据激光束能量、激光束直径、小球直径、圆环的面积和吸收率可计算出任一圆环吸收的能量,进而可以算得小球表面的能量分布。

[0011] 进一步地,其特征在于:对于每一束激光都有一个通过球心的圆面与其垂直,且激光能量在该圆面上是均匀分布的,其能量密度为:
$$m = \frac{I}{\pi R^2},$$

[0012] 其中I为单束激光的能量,R为激光束的半径;

[0013] 将照射到球面上的激光进行切向和法向的分解,则法向能量密度: $n=m\sin\theta$

[0014] 其中 θ 为激光束与球面接触点切线的夹角;

[0015] 球面圆环对应的面积:

$$[0016] \quad ds=2\pi r^2\cos\theta d\theta$$

[0017] 其中 r 为小球的半径

[0018] 假设小球材料的吸收率为 α ,则每一微圆环表面吸收的能量为:

$$[0019] \quad n \times \alpha \times ds$$

[0020] 这样对于弦心角从 θ_1 变化到 θ_2 的球面圆环来说,其面积为:

$$[0021] \quad s=2\pi r^2(\sin\theta_2-\sin\theta_1)$$

$$[0022] \quad \text{其吸收的能量为:} \frac{I\alpha r^2}{R^2}(\sin\theta_2^2 - \sin\theta_1^2),$$

[0023] 然后将每一圆环上吸收的单束激光的能量在圆环面积上进行平均分配,为:

$$[0024] \quad \frac{I\alpha r^2}{R^2}(\sin\theta_2^2 - \sin\theta_1^2) / [2\pi r^2(\sin\theta_2 - \sin\theta_1)]$$

[0025] 然后将球面上同一区域不同激光束在此的能量密度进行加和,即可得到所有激光束在此的总的能量密度分布。

[0026] 进一步地,其特征就在于:对于每一束激光都有一个通过球心的圆面与其垂直,且激光能量在该圆面上是均匀分布的,其能量密度为:

$$m = \frac{I}{\pi(r+0.1)^2}$$

[0027] 其中 I 为单束激光的能量, r 为小球的半径, $r+0.1$ 为激光束的半径。

[0028] 将照射到球面上的激光进行切向和法向的分解,则法向能量密度: $n=m\sin\theta$ 。

[0029] 球面圆环对应的面积:

$$[0030] \quad ds=2\pi r^2\cos\theta d\theta$$

[0031] 假设小球材料的吸收率为 α ,则每一微圆环表面吸收的能量为:

$$[0032] \quad n \times \alpha \times ds$$

[0033] 这样对于弦心角从 θ_1 变化到 θ_2 的球面圆环来说,其面积为:

$$[0034] \quad s=2\pi r^2(\sin\theta_2-\sin\theta_1)$$

$$[0035] \quad \text{其吸收的能量为:} \frac{I\alpha r^2}{(r+0.1)^2}(\sin\theta_2^2 - \sin\theta_1^2)$$

[0036] 进一步地,其特征就在于:将每一圆环上吸收的单束激光的能量在圆环面积上进行平均分配,为:

$$[0037] \quad \frac{I\alpha r^2}{(r+0.1)^2}(\sin\theta_2^2 - \sin\theta_1^2) / [2\pi r^2(\sin\theta_2 - \sin\theta_1)]$$

[0038] 然后只需要将球面上同一区域不同激光束在此的能量密度进行加和即可得到所有激光束在此的总的能量密度分布。

[0039] 效果:

[0040] 采用本发明的方案,能够简单方便实现悬浮小球的均匀加热,直至小球融化。

附图说明

- [0041] 图1是激光加热悬浮材料的物理结构示意图。
 [0042] 图2是激光束在小球表面分布的网格划分示意图。
 [0043] 图3是激光束在小球表面的分解示意图。
 [0044] 图4a是直径2mm镍基小球在不同激光束照射下温度随时间的变化关系曲线图。
 [0045] 图4b是直径5mm镍基小球在不同激光束照射下温度随时间的变化关系曲线图。
 [0046] 图5a是直径2mm Al_2O_3 小球在不同激光束照射下温度随时间的变化关系曲线图。
 [0047] 图5b是直径5mm Al_2O_3 小球在不同激光束照射下温度随时间的变化关系曲线图。
 [0048] 图6是直径2mm钨小球在不同激光束照射下温度随时间的变化关系曲线图。
 [0049] 图7是铝基小球吸收系数随温度的变化关系。

具体实施方式

[0050] 为了使本技术领域人员更好的理解本发明,下面结合附图和实施方法对本发明作进一步的详细描述。

[0051] 本发明的激光加热球状悬浮材料(小球)的物理结构为,将小球置于一空间正多面体结构的中心,并将激光器放置在空间正多面体的各个角点,参见图1,以正四面体为例,即四个激光源占据正四面体的顶角位置,对发出激光束对位于正四面体中心位置的小球进行垂直加热。

[0052] 其中,激光源发出的激光束直径可根据需要调整,本发明中激光照射小球表面时,其光束直径设置为大于等于小球直径,优选地,为略大于小球的直径,例如大于小球直径0.2mm,这样一束激光照射小球的最大面积为小球的半球区域。由于在小球表面不同的区域会有不同的光束照射,有些区域会有激光束重叠。

[0053] 参见图2,为了精确的计算小球表面各点激光束的总功率密度,将每束激光在小球表面的分布进行了网格的划分,可以按等距分为多个圆环,例如分为10个圆环,每一圆环对应的弦心角 $90^\circ/\text{环数}$,例如为 9°

[0054] 对于每一束激光来说,都有一个通过球心的圆面与其垂直,且激光能量在该圆面上是均匀分布的,其密度为:
$$m = \frac{I}{\pi(r+0.1)^2}$$

[0055] 其中I为单束激光的能量,r为小球的半径,r+0.1为激光束的半径(这里激光束直径比小球直径大0.2mm为示例,所以激光束半径以r+0.1表示,但是可以知道,激光束直径可以是其他值)。

[0056] 将照射到球面上的激光进行切向和法向的分解,如图3所示,则法向能量密度: $n = m \sin\theta$ 。

[0057] θ 为激光束与球面接触点切线的夹角。

[0058] 球面微圆环对应的面积:

$$[0059] \quad ds = 2\pi r^2 \cos\theta d\theta$$

[0060] 假设小球材料的吸收率为 α ,则每一微圆环表面吸收的能量为:

$$[0061] \quad n \times \alpha \times ds$$

[0062] 这样对于弦心角从 θ_1 变化到 θ_2 的球面圆环来说,其面积为:

[0063] $s=2\pi r^2(\sin\theta_2-\sin\theta_1)$

[0064] 其吸收的能量为：
$$\frac{I\alpha r^2}{(r+0.1)^2}(\sin\theta_2^2-\sin\theta_1^2)$$

[0065] 这样就可以求得球面上任一微圆环吸收的能量。对于不同的小球只需知道小球的直径和吸收率以及激光束的能量，就可以获得小球表面的能量分布。

[0066] 为了计算出小球表面激光重叠区域的能量密度，将每一圆环上吸收的单束激光的能量在圆环面积上进行平均分配，为：

[0067]
$$\frac{I\alpha r^2}{(r+0.1)^2}(\sin\theta_2^2-\sin\theta_1^2) \bigg/ [2\pi r^2(\sin\theta_2-\sin\theta_1)]$$

[0068] 这样只需要将球面上同一区域不同激光束在此的能量密度进行加和即可得到所有激光束在此的总的能量密度分布。

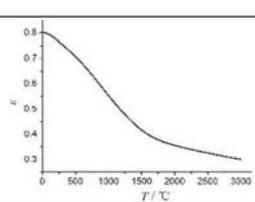
[0069] 对于图1中的物理模型来说，小球表面激光束的能量分布可以分为三大区域，分别为只有单束激光照射的区域，两束激光重叠的区域，三束激光重叠的区域，如图2所示，每一区域都有相互对称的部分，通过仿真软件可以方便的计算出被圆环分割的每一小块的面。通过面积与该小块面积上激光能量的分布密度即可求得该块区域上的激光能量。

[0070] 下面通过实施例和比较例对本发明的方法和效果进行说明：

[0071] 基于上述模型和计算原理，利用ansys软件对激光对小球的加热效果进行了仿真，并与单束激光和两束激光对称加热的情况进行了对比，其结果如表1所示。其中，加热环境为真空，激光总功率为550W，电光转换效率为0.46，这样对于一束激光的情况，其光功率为253W；对于两束激光的情况，每束激光的能量为126.5W；对于四束激光的情况，每束激光的能量为63.25W。

[0072] 表1不同激光束照射情况下不同材料不同直径小球的表面最大最小温度及温差

[0073]

材料	熔点	吸收系数	发射系数	直径 (mm)	激光束数	最大温度(°C)	最小温度(°C)	最大温差
镍基合金	1300 °C ~ 1450 °C	0.38	0.2	2	1	4398.7	4923.9	525.2
					2	4540.9	4668.3	127.4
					4	4536.7	4549	12.5
				5	1	2802.7	3046.3	243.6
					2	2869.2	2927	57.8
					4	2902	2919	17
Al ₂ O ₃	2050 °C	0.44(假定), 随温度变化, 如图7所示		2	1	3710.1	4406.5	696.4
					2	3899.9	4074.7	174.8
					4	3917.1	3935.3	18.2
				5	1	2365.7	2695.4	329.7
					2	2455.9	2536.2	80.3
					4	2494.5	2515.2	20.7
钨	3380 °C	0.13	0.3	2	1	3070.4	3123.9	53.5
					2	3084.2	3096.5	12.3
					4	3109.4	3111.6	2.2

[0074] 对于吸收系数为0.38、发射系数为0.2、直径为2mm和5mm，熔点在1300 °C ~ 1450 °C 内的镍基合金小球来说，当只有1束、2束和4束激光照射时，其表面的温度分布与时间的关系如图4所示，其表面的最大温差如表1所示。

[0075] 对于吸收系数为0.44、熔点为2030℃、直径为2mm和5mm的 Al_2O_3 小球来说,当只有1束、2束和4束激光照射时,其表面的温度分布与时间的关系如图5所示,其表面的最大温差如表1所示。

[0076] 对于吸收系数为0.13、发射系数为0.3,熔点为3380℃、直径为2mm的钨小球来说,当只有1束、2束和4束激光照射时,其表面的温度分布与时间的关系如图6所示,其表面的最大温差如表1所示。

[0077] 由图4、5、6和表1可以看出,随着激光束的数量增加,小球表面最高温度和最低温度的差值逐渐减小,说明温度分布愈加均匀。可见,当采用四束激光以正四面体顶角的方位对小球进行激光加热时可获得均匀的温度分布。

[0078] 上面方案中是以正四面体为例,其最节省激光源。但是可以知道,正六面、正八面、正十二面、正二十面体就可以,正多面体角点越多则激光综合密度越均匀。并且,上面方案中各激光器的功率、直径相同,可以知道,也可以采用不同功率和/或不同直径的激光源,例如高功率和低功率的激光源交替分布等,只要在整体上保证小球上获得的能量基本均匀即可。

[0079] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。此外,尽管本说明书中使用了一些特定的术语,但这些术语仅仅是为了方便说明,并不对本发明构成任何限制。

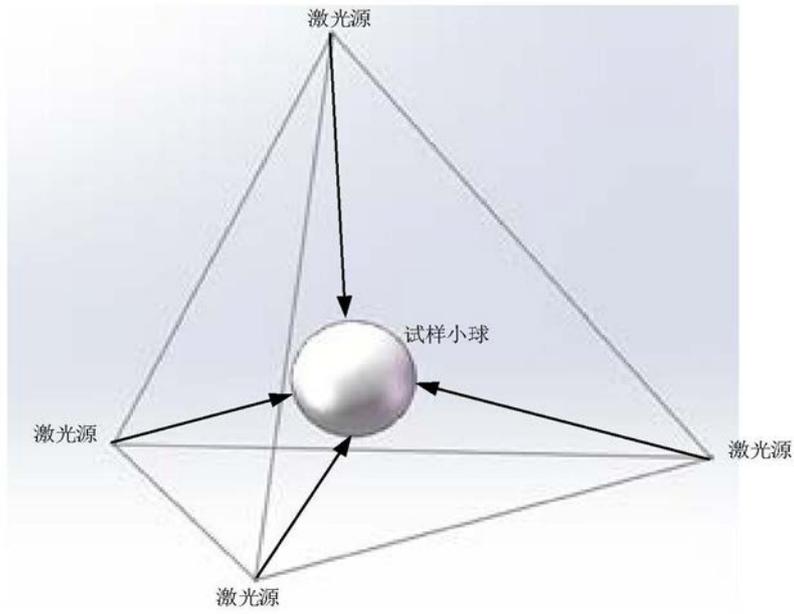


图1

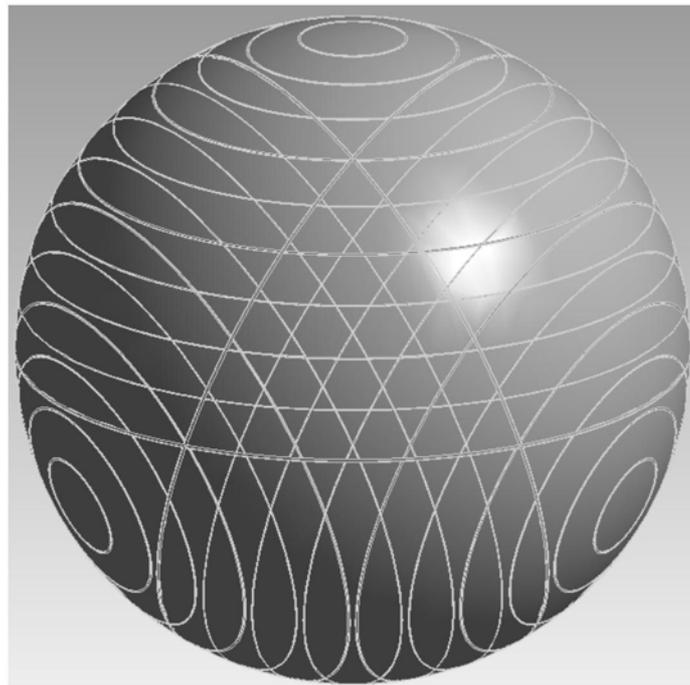


图2

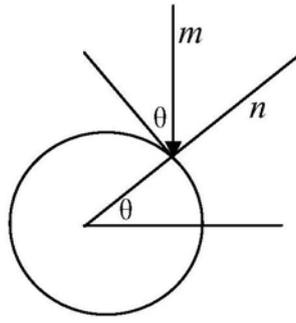


图3

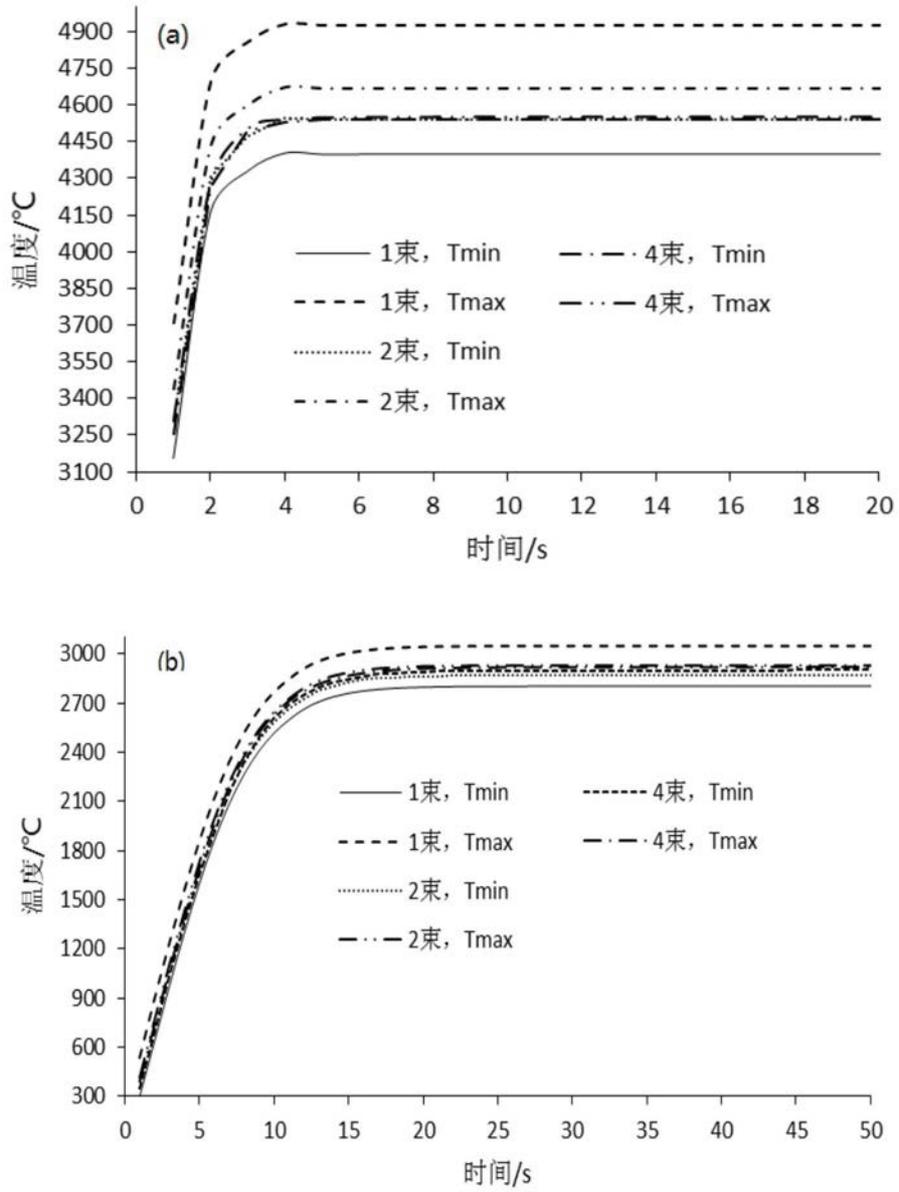


图4

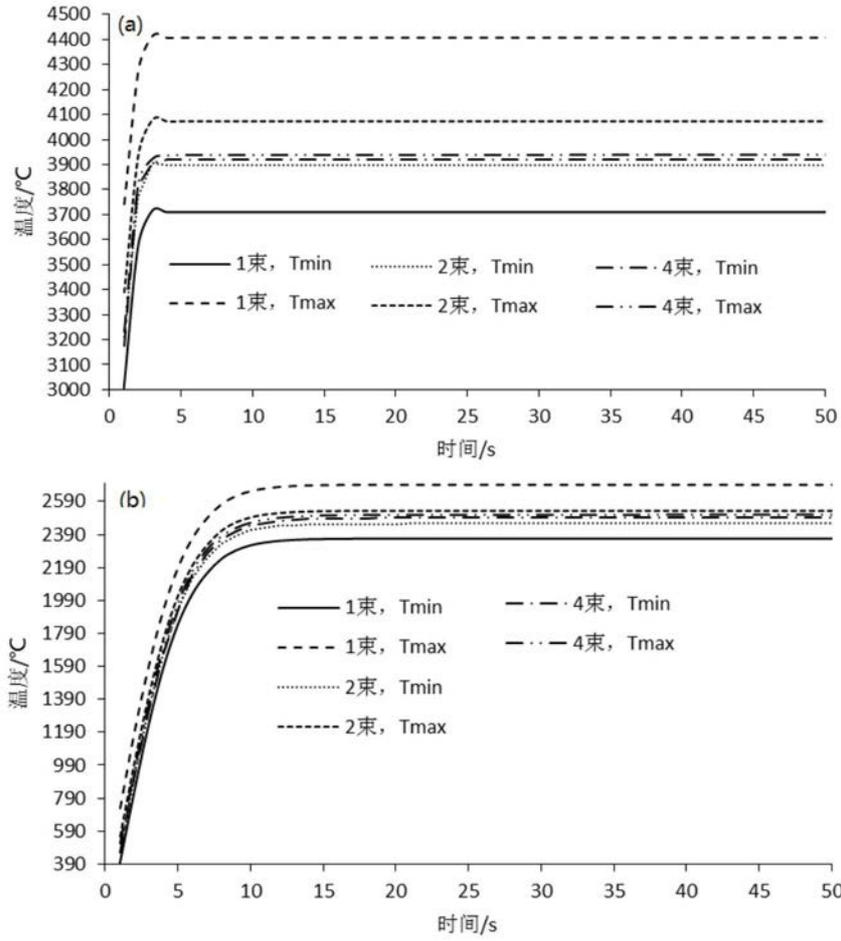


图5

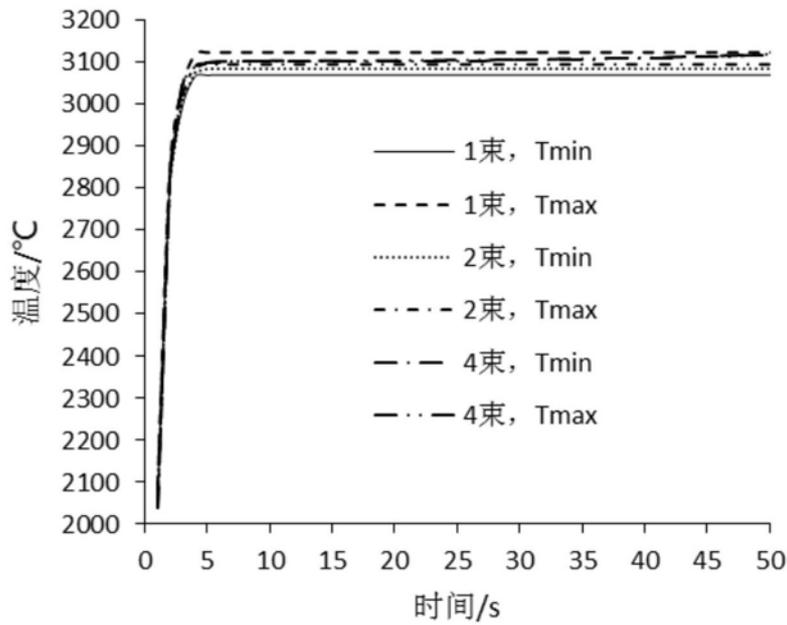


图6

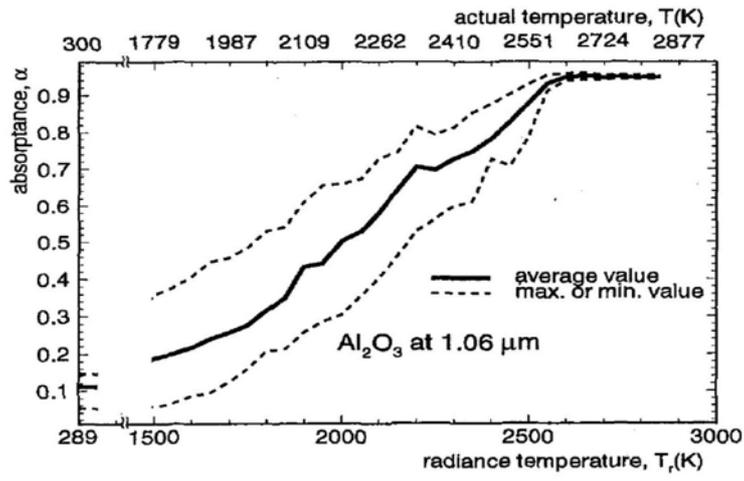


图7