

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C04B 33/32 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01822315.X

[45] 授权公告日 2007 年 3 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1307121C

[22] 申请日 2001.11.29 [21] 申请号 01822315.X
[30] 优先权

[32] 2000.12.29 [33] US [31] 60/258, 722

[86] 国际申请 PCT/US2001/044824 2001.11.29

[87] 国际公布 WO2002/054829 英 2002.7.11

[85] 进入国家阶段日期 2003.7.28

[73] 专利权人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 C·R·阿拉亚 J·H·布伦南

K·A·韦克塞尔 G·G·斯奎尔

[56] 参考文献

US 5538681 1996.7.23

US 5202541 1993.4.13

US 55538681 1996.7.23

审查员 史 惠

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司
代理人 张民华

权利要求书 2 页 说明书 12 页

[54] 发明名称

利用电磁加工陶瓷的方法

[57] 摘要

用于加热多个陶瓷体的方法，它包括：a) 提供形成陶瓷的原材料和将该原材料与一有效数量的液料和成形助剂混合，以从其形成一塑性混合物，然后将该塑性原材料形成多个未烧结体；b) 将多个未烧过体的每一个放置在该多个未烧过体的相邻一个的附近，使在用微波加热时每个未烧过体在边界受到的功率密度不大于其整体所受到的功率密度的约 1.5 倍；以及 c) 用电磁波形式的能量干燥未烧过体。当陶瓷制品是一蜂窝格状堇青石体时，本方法还包括将未烧过体加热到在约 1360℃ 和约 1435℃ 之间的一最高温度，以生产主要是堇青石的被烧过体，其中在周期中烧制包括利用微波和对流或辐射加热的组合作用，使未烧过体受到一吸热反应或相变。用于烧制一蜂窝格状堇青石体的方法还包括在一烧制腔室中将多个未烧过体的每一个放置在该多

个未烧过体的相邻一个的附近，以致在用微波能量加热时每个未烧过体在边界受到的功率密度不大于其整体所受到功率密度的约 5 倍。

1. 一种用于处理多个蜂窝状陶瓷体的方法包括：

a) 提供形成陶瓷的原材料和将该原材料与一有效数量的液料和成形助剂混和，从而形成一塑性混合物，然后将该塑性原材料混合物形成为多个蜂窝状未烧过体；

b) 将所述多个未烧过体的每一个放置在所述多个未烧过体的相邻一个的附近，并采用微波能量或 RF 能量干燥该未烧过体，其中，

在用微波能量干燥时，相邻体的所述附近是不超过所述微波能量的 $1/2$ 波长的一距离，每个未烧过体在边界受到的功率密度不大于其整体所受到的功率密度的 1.5 倍；以及

在用 RF 能量干燥时，每个未烧过体在边界的二维方向受到的功率密度不大于其整体所受到的功率密度的 1.5 倍，相邻体的所述附近是垂直于 RF 能量场的一距离。

2. 如权利要求 1 的方法，其特征在于，所述方法采用微波形式的微波能量。

3. 如权利要求 1 的方法，其特征在于，所述陶瓷体是一蜂窝格状堇青石体。

4. 如权利要求 1 的方法，其特征在于，所述陶瓷体是一锆石耐火材料蜂窝状体。

5. 如权利要求 1 的方法，其特征在于，所述陶瓷体是一碳化硅蜂窝状体。

6. 如权利要求 3 的方法，它还包括如下步骤：

c) 将未烧结体烧制到一在 1360°C 和 1435°C 之间的温度，以生产主要为堇青石的被烧制的陶瓷体，其中烧制加工包括在未烧过体受到一吸热反应或相变的过程中使用微波加热和对流加热的组合或微波和辐射加热的组合作用。

7. 如权利要求 6 的方法，其特征在于，烧制包括在从 450°C 至 600°C 温度范围的粘土失水区间中使用微波加热和对流加热的组合或微波和辐射加热的组合作用。

8. 如权利要求 6 的方法，其特征在于，烧制从 830°C 至 1000°C 温度范围的滑石失水区间中使用微波加热和对流加热的组合或微波和辐射加热的组合作用。

9. 如权利要求 6 的方法, 其特征在于, 所述烧制还包括在一烧制腔室内将所述多个未烧过体的每一个放置在所述多个未烧过体的相邻一个的附近, 使在烧制过程中进行微波加热时, 所述每个未烧过体在边界受到的功率密度不大于其整体所受的功率密度的 5 倍。

利用电磁加工陶瓷的方法

供参考的相关申请

本申请要求 Araya 等人于 2000 年 12 月 29 日提交、申请号为 60/258,722、标题为“陶瓷制品的微波加工方法”的美国临时专利的优先权，该专利全文结合在这里供参考。

发明背景

1. 发明的领域

本发明涉及一种加工陶瓷材料的方法。尤其是本发明涉及一种包含利用电磁能量加热陶瓷材料和可选择地包含将电磁能量与传统辐射/对流加热组合使用的烧制陶瓷的一方法，更特别地涉及通过工件的密度选择控制电磁能量的功率分布以在整个陶瓷材料中均匀分布加热能量的方法。

2. 技术背景

使用在陶瓷材料的制造中的传统加热通常利用辐射气体或电阻加热。使用传统辐射/对流加热常常造成在陶瓷材料中的一热差。该热差部分是由于辐射加热仅施加于材料的表面，它取决于材料的热传导率，通常在表面之下热量传递进入工件的内部或核心是较差的。换句话说，传统加热包括主要对表面的辐射或对流、然后从表面传导到陶瓷体内部完成的热传送。如果核心—表面热差发展得太大，可能产生陶瓷材料的内部开裂、外部开裂和变形。快速干燥或烧制会进一步恶化热传送较差的这问题，最终产生开裂。

此外，存在核心—表面热差还会造成不均匀的烧结，尤其在内部烧结之前表面以更快的速率烧结。其结果，陶瓷材料会呈现出不均匀性。

已经提出的解决这些问题的若干方案包含降低加热速率或使长期保持某些温度。这些方案的每一个都要使热能传送到陶瓷材料的核心中，这又使陶瓷材料的核心温度“赶上”表面温度，从而使表面/核心温差最小。但是不幸的是，

传统辐射或对流加热的理论限制通常造成对于整个陶瓷材料的加热速率较慢，除了陶瓷材料的尺寸较小之外。

陶瓷的微波可被替换而成功地选用于干燥和帮助烧制陶瓷材料。与传统加热相比较，微波加热包括按照体积加热(volumetric heating)机理直接将能量置于陶瓷材料之中。更特别的是，使用微波能量包括将能量均匀地施加于陶瓷物品的整个横截面而不是施加在物品表面上。虽然由于体积加热、陶瓷材料的微波加热比传统辐射加热快得多，但它像辐射加热一样在陶瓷物品内造成一热差，不过这是一相反的热差，陶瓷材料的核心比其表面有一较高温度。尤其是，陶瓷材料通常在低到中等温度时对微波能量的吸收较差，当在高温用微波对陶瓷材料加热时，陶瓷物品的内部很快开始吸收主要部分的微波能量，这后果称为热失控(thermal runaway)。虽然，陶瓷材料的表面与其核心一起被加热，表面向周围环境很快失去许多它的热能，该周围环境通常比陶瓷材料的平均温度低。随着核心开始优先地吸收微波能量，这热失控现象变成自身扩散(self-propagating)。简单地说，随着陶瓷材料的温度上升，热损失变得更大，核心一表面热差的数值增大，再一次导致内部热应力，最终使陶瓷物品开裂。

除了离开陶瓷物品表面的热损失之外，在干燥器、炉、窑或加热室内微波分布的不均匀和陶瓷材料的不均匀的材料性能导致陶瓷材料有差别地吸收微波能量，并造成微波加热的热差。

在加工蜂窝状的陶瓷产品中，挤压出来的工件经受了若干加工步骤，其中该零件分别被干燥和烧制。所有的步骤都有特定的时间—温度周期，其中加热速率、保持温度和保持时间对于形成该陶瓷体的所要求的性质都是很重要的。使用传统热空气技术，可以花费较长时间生产较大的零件。因此，取决于零件的尺寸，为了在最佳的环境中传送一产品可以要求相当长的引导时间(lead time)。

在减轻这忧虑的努力之中，现有的技术包括使用微波和传统加热技术(电阻、气体烧制等)的组合作用，通过使用一热处理工艺的烧制加工挤压出来的蜂窝状的陶瓷制品。这包括干燥和烧制，以及消除在干燥和烧制之间的处理步骤(或多个步骤，其中工件被两次干燥)。该工艺也能被应用于其它蜂窝状陶瓷产品。

已经使用组合的微波/传统加热或微波辅助加热作为一可被选用以替换的方案来克服仅传统加热和仅微波加热的问题。在包含微波和辐射/对流加热的微波辅助加热中，由微波加热提供的体积加热对诸组成部分加热，同时由气体火焰或电阻提供的传统辐射/对流加热对诸局部加热，通过将热量提供到其表面和它的周围环境使离开诸组成部分的表面的热量损失最小。这组合或混合加热能够产生避免与仅传统和仅微波加热相关联的热分布图形的加热。其结果，可以降低热应力，或使热应力最小，从而可以更快地加热陶瓷物品。

通过利用微波能量更快地辅助干燥和烧制零件以及带有较少的处理，可以将传统的电介质干燥加工和气体烧制组合在一个热处理过程中。微波干燥与高频干燥炉一样以相同原理工作，但它具有更高频率，能以较高效率工作。微波辅助烧制能够在烧制期间降低通过一工件的热梯度，允许更快的加热急剧温升（heating ramps），通常缩短急剧温升时间（cutting ramp times），比传统气体烧制快 50% 或更多。

在干燥一潮湿的工件中，特别瞄准极分子（即水）的体积加热与传统干燥方法相比有一很大优点。这就是流行的干燥器的工作原理。使用微波干燥的优点是双倍的。微波能量的高频允许使用较低瓦特数和较有效的干燥，同时实际设备具有较小的占地面积（footprint）。不像高频干燥炉，还可以使用一微波能源帮助烧制陶瓷产品。用于干燥和烧制工件的一热处理过程将不要求从干燥器至炉子的任何处理，也不要求冷却和再加热步骤。

虽然能够单独使用微波能量来加热蜂窝状陶瓷制品，一个更加有效和可靠的方法是在气体烧制炉中用微波辅助加热组合目前的技术，以建立能够快速烧制的一组合炉。用有机和无机材料制成未烧过的陶瓷制品（green ware），当它们受到烧制的时间—温度周期时它们以不同方式反应。有机材料在某些温度下在有氧存在时燃烧，同时无机材料含有被分离的化学结合的水。

这两个化学过程通常是相互干扰的。在有机粘合剂的放热反应中的热的释放和吸热的化学结合水的去除所要求的热引起热梯度，这造成工件内的热/机械应力。有机材料的燃烧要求炉子能够足够快地排出热量，使工件的核心不会过热。化学结合水的去除要求炉子对工件供应足够的热量，以防止核心比炉子冷。

在加工期间，为了获得均匀的性能，微波能量的均匀的功率分布是很重要

的。例如，在化学地（烧制）或物理地（干燥）结合水的吸热去除期间，使用较高数量的微波功率。当功率不是均匀分布时，某些制品或一制品的若干部分将接收到太多能量，而其它制品或一制品的其它部分可能没有收到足够的能量。其中任何一种情况都能够造成开裂或不均匀的特性。

大多数蜂窝状陶瓷基体在一矿物燃料管道或周期炉内烧制。矿物燃料的燃烧已是可选择的加热方法，这是因为它不仅提供辐射加热，而且由于火焰的速度和燃烧产物产生对流加热。即使采用这两种加热方式通常还是不能有效地克服工件内的热差。因为它们仅施加于表面，所以它们必须依赖于陶瓷体材料的热传导，以实现从工件表面到工件中心的热传送。这情况被由于蜂窝状陶瓷材料和几何形状的性能造成是隔热性的事实所恶化。

由于上述原因，一烧制周期的 50% 之久可以是用于加热一工件到达保持温度所要求的时间。微波辐射将体积地加热一物体（即整个工件同时受到辐射），通过降低或基本消除跨越整个工件的热梯度，能显著降低加热一工件到达保持温度所消耗的时间。由于太快地加热一工件所引起的从表面到内部的热梯度能够产生开裂和不希望的或不均匀的性能。

体积加热的优越性超过用于加热急剧温升的简单的缩短时间要求。在反应期间它还能够用于控制反应速率和在相变、化学结合的水的去除、分离（debind）和烧结期间保证均匀性。例如，如果工件进入正在去除化学结合的水的一吸热范围，该工件的表皮将消耗大部分可得到的能量，使核心变冷和表皮收缩。这不仅引起热梯度应力，而且引起与不同收缩有关的机械应力。使用传统和微波能量的组合作用，热量被分布到核心和外皮，在烧制周期的这些临界区域内上述应力是可以忽略的。在周期的其它部分，例如烧结，不难想像到这优越性。

在干燥期间已知发生了类似现象。例如，由于陶瓷制品干燥，它失去了它的弹性和/或收缩。如果收缩引起了任何不同的应力，该物体就易于开裂。因此，重要的是将离开外表面的水分蒸发与从陶瓷制品的中心去除水分（蒸发或渗透）相平衡。

由便宜的和可靠的磁控管所供应的频率的微波能量是商业上可获得的、可负担得起的和适于加工蜂窝状陶瓷制品的。组合混合式的气体烧制和微波加热的技术是已知的。

虽然,已经提出了多种实施方法,但是难于能够协调相应的微波和传统能量输入,以实现陶瓷物品的最恰当的均匀加热。在 PCT 申请 WO95/05058 和 WO93/12639 和美国专利 No.5,191,183 中揭示了微波辅助陶瓷烧制标准控制方法的许多变化。这些专利通常揭示了通过测量在容纳陶瓷物品的一容器中的环境温度单独控制由微波能量和辐射加热在陶瓷物品中所产生的热量。基于和响应于这环境温度测量,由微波能量或辐射加热的一个或两者控制在陶瓷物品中产生的热量。虽然这种控制方法对现有传统控制方法是一改进,但是炉内诸气体的不均匀混和和发生在陶瓷材料内的化学反应的后果使它难于精确地预计陶瓷物品表面和内部温度。

在大多数工业热处理应用中加热均匀性是最重要的。通常,将许多陶瓷物品放置在炉内以提高生产率。这提高了在炉子内适当数量的热能量的分布均匀性的重要性,以保证每件陶瓷制品被适当烧制,从而避免发生烧坏、开裂或其它不希望有的后果。已知用微波能量处理多件物品所遇到的一个问题为边界效应。这效应要引起指向物品边界、制品与它的周围(通常是炉子或干燥器内的环境)的界面的微波能量的不均匀的功率分布。

该技术缺少能够对多件物品提供各件物品内的均匀的功率分布、对许多种类样品成份(不过在任何一个烧制期间成份是基本相同的)、各种制品尺寸和几何形状的普遍适应性、一个较好孔口尺寸分布、较高的强度和热冲击阻力、较低的热膨胀系数和消除内部和外部开裂的方案。

还缺少在临界区域内提供较高生产率(较短时间-温度周期)的一加工过程,以前由于与来自燃烧加热过程的表面加热相关联的效率不高造成了加工过程显著地缓慢。

发明概要

因此,本发明的一个目的是提供一种用于处理多件蜂窝状陶瓷体的方法,该方法包括:a)提供形成陶瓷的原材料和将该原材料与一有效数量的液料(vehicle)和成形助剂混和,从而形成一塑性混合物,然后将该塑性原材料混合物形成为多个蜂窝状未烧过体(green bodies);

b)将所述多个未烧过体的每一个放置在所述多个未烧过体的相邻一个的附

近，并采用微波能量或 RF 能量干燥该未烧过体，其中，

在用微波能量干燥时，相邻体的所述附近是不超过所述微波能量的 $1/2$ 波长的一距离，每个未烧过体在边界受到的功率密度不大于其整体（bulk）所受到的功率密度的 1.5 倍；以及

在用 RF 能量干燥时，每个未烧过体在边界的二维方向受到的功率密度不大于其整体所受到的功率密度的 1.5 倍，相邻体的所述附近是垂直于 RF 能量场的一距离。

按照本发明的另一方面，陶瓷制品是一蜂窝格状堇青石时，本方法还包括将未烧结体烧制到一在 1360°C 和 1435°C 之间的温度，以生产主要为堇青石的被烧制的陶瓷体，其中烧制加工包括在未烧过体受到一吸热反应或相变的过程中使用微波加热和对流加热的组合或微波和辐射加热的组合作用。

按照本发明的另一方面，蜂窝格状堇青石体的烧制还包括在一烧制腔室内将所述多个未烧过体的每一个放置在所述多个未烧过体的相邻一个的附近，使在烧制过程中进行微波加热时，所述每个未烧过体在边界受到的功率密度不大于其整体所受的功率密度的 5 倍。

本发明的详细描述

本发明涉及一种加热多个陶瓷体的方法。本发明的产生，部分是基于这样的认识，即，制品放置在炉子或干燥器内的方式，藉助避免不必要的边界条件，能影响功率分布。在一载荷的边缘处总是存在边界条件，但是按照本发明在一载荷内工件的考虑周密的放置将消除在该载荷内或诸工件之间的边界条件。在某一载荷内诸工件不需要是相同的尺寸和几何形状，但是，它们最好是有一相似成份。

将形成陶瓷的原材料与一有效数量的液料和成形助剂混和，以形成一塑性混合物。然后将这混合物形成为多个未烧过体工件。因此，一个或多个未烧过体工件可以由一类似配方，例如最好为在该材料的 E'' 值的 10% 之内的诸配方，形成为不同尺寸和几何形状。 E'' 值是材料的复合的介电常数。它对于是由电磁场加热的材料的“有损耗的”材料是一正值，该数值越高，该材料对于损耗机理越敏感。

将多个未烧过体的每一件放置在相邻一件的附近，使在用电磁波进行加热时，每个未烧过件在该工件或该载荷的边界处受到的功率密度不大于其整体受到的功率密度的约 1.5 倍。然后，利用电磁波形式的能量加热这些未烧过体。

在传统系统中难以实现对于多工件的均匀加热状态，这问题通常通过在每工件周围提供较大空间而被解决。相比较，按照本发明，在一封闭装填的系统中实现了均匀加热。

电磁能量的适当形式包括微波和射电频率（“RF”）能量。电磁场可以是在多种频率范围之内或在标准频率的微波能量或所要求的频率。当使用微波能量时，相邻陶瓷体之间的距离最好不超过所用微波能量的约 $1/2$ 波长。当采用 RF 能量时，每件未烧过体在与该场平行的边界处，在两维方向受到的功率密度不超过其整体所受的功率密度的约 1.5 倍，其中该距离垂直于 RF 能量场。例如，当在诸板之间的介质是空气或真空时，电磁场被定向为垂直电极。但是，一介电材料将改变该电磁场和引起“端部张开”效应以及被加热材料中的不均匀功率分布，该不均匀功率分布是材料的距离、尺寸和损耗的一函数。这造成在一载荷的引导和尾随边缘处的较大加热。通过以按照消除引导和尾随边缘的这样一种方式装填制品，可以避免边界效应。

适合于按照本发明进行加工的未烧过体工件可以由多种不同陶瓷材料的任何一种组成。该加工过程对于由堇青石、锆土耐火材料、金刚砂蜂窝状物组成的蜂窝格状陶瓷制品和由富铝红柱石、钛酸铝等组成的其它氧化蜂窝状陶瓷制品提供了特殊的优越性。

本发明提供了一种方法，用于控制在一介电场内的诸陶瓷体、尤其使用高有机含量的诸成份的干燥速度和烧制。通常的干燥作用依赖于功率控制和或输送带速度，以控制陶瓷体的干燥速率，从而避免例如结疤和裂缝的“表皮”疵点。

本发明有利地认识到介电材料能够改变电磁场。这种电磁场的改变和移动造成当陶瓷体处于较靠近的距离内时施加于陶瓷体的有效功率的衰减。传统的思考依赖于降低所施加的功率和或加快输送带速度以降低干燥速率。因为诸陶瓷体之间的距离使电磁场的场变化或衰减最大化，所以这一方法实际上将更多能量聚焦于该工件，因此将该电磁场集中在一部分之上。相比较，按照本发明，通过在任何给定时间在一载体内或干燥区域内增加陶瓷体的工件密度，衰减效果分散了施加于各个工件的功率，这样使均匀干燥而没有疵点。我们发现功率能够更均匀分布于整个一紧密物体或诸物体的一紧密装填的阵列。这样，消除

或降低了在干燥期间会导致开裂的有加热的数量。

干燥的目标是尽可能快地去除水分和从工件的核心到表皮保持较小的温度偏差，这通过在载荷的整个尺寸中更均匀地分布能量来实现。

已经发现，倘若按照本发明紧密地装填诸制品，在制品中的能量密度变化在干燥期间可以维持为小于约 20%，在组合烧制期间小于 50%，以及，施加于制品的功率可以增加超过至今将产生诸热点或热失控的程度。通过空间的能量变化通常展现了与能量输入的一相互关系，但是，当紧密装填制品时该变化减小了。随着温度的增加，在组合加热中能量变化实际上是减小了，以及，制品能够吸收更多的功率。从而，与用传统方法可能获得的相比较，在制品内可以获得更高的能量密度。

本发明的方法是相对于陶瓷的蜂窝状基体来被说明的，但是该方法也应用于材料的绝缘特性使它易于迅速加热和处理材料的变形的任何场合。

本发明涉及作为典型的表皮疵点的“结疤”和“裂缝”或“沟槽”，但这些疵点还包括陶瓷的开裂和变形。

一个适当的应用是控制接近现有的 RF 干燥器的托盘，以在干燥器部分充满时使与疵点有关的开动和工作变化（start-up and job change related defects）最小。在这情况下，通过对进入的托盘计数和对输送带速度乘以一个系数（factoring the belt speed）来确定干燥器载荷，以维持所需的间隔。

本发明在蜂窝状陶瓷制品的烧制周期的重要温度范围内将微波能量施加进入连续的和周期的气体烧制炉内，尤其是，但不局限于，化学结合的水被排出产品的吸热反应部位。在烧制一蜂窝格状堇青石陶瓷制品期间，多个未烧过体的每一个都放置在一相邻未烧过体工件的附近，以致用电磁波加热时未烧过体在边界受到的功率密度不大于其整体所受到的功率密度的约 5 倍。

本方法包括将诸未烧过体加热至在约 1360℃至约 1435℃之间的一最高温度，以产生主要是堇青石的被烧制的物体，其中烧制包括在未烧过体受到吸热反应或相变期间采用微波和对流或辐射加热的组合作用。更尤其是，未烧过体受到一吸热反应或相变的诸阶段包括从约 450℃至约 600℃温度范围的粘土失水范围和从约 830℃至约 1000℃温度范围的滑石失水范围。从微波提高工件内的加热均匀性得益的其它范围包括碳基化合物/粘合剂烧光（burnout）范围（100

℃至 450℃) 和高温烧结/1250℃之上保持温度。

在烧制蜂窝状陶瓷基体之中, 未烧过的工件受到一特定的时间-温度周期。加热速率、保持温度和保持时间对于在陶瓷体内形成所要求的物理性能是很重要的。批量材料是由有机和无机材料制成的。这些批量材料在受到时间-温度周期时以不同方式起反应。有机材料在某些温度在存在氧时开始焰烧, 释放热能。某些无机材料含有化学结合的水, 这些结合水在取决于该无机材料的某一温度下被排出。去除化学结合的水需要热量。有机材料的热量释放(放热反应)和去除在无机材料中的化学结合的水的热要求(吸热反应)引起该工件的中心和表面之间的热差。

大多数蜂窝状陶瓷基本在一矿物燃料通道炉(fossil fuel tunnel kiln)或周期炉中烧制。矿物燃料燃烧过程已成为可选择的加热方法, 这是因为它不仅提供辐射加热, 而且由于火焰的速度和燃烧产物也提供对流加热。因为这两种加热方式仅施加于表面和依赖于物体材料的热传导率将表面之下的温度传送到工件的中心, 所以即使利用这两种加热方式通常不能充分有效地克服工件内的热差现象。

可以在用商业上可得到的整个微波频率范围内的任何频率, 例如分别为 915 兆赫和 2.45 千兆赫施加微波能量。随着时间温度周期的进展可以采用多个微波频率, 以产生最好的工件热均匀性, 选配材料、温度和微波频率, 倘若能维持适当的阻挡和输出发生器的频率匹配的话。扫描频率微波发生器是在整个时间-温度周期中希望用多个频率的周期性炉中的一可被选用以替换的发生器。

由于均匀地将能量施加于工件而要选择微波能量。如前面所述, 传统燃烧技术仅将热量施加于工件表面。碳化硅或类似材料制成的接受器板(susceptor plate)可以用来帮助矿物燃料加热方式将工件温度升高到一温度, 在此温度陶瓷物品开始耦合所施加的微波能量。这些接受器板也可以用来形成或集中微波能量到达炉子中或工件上的某些位置。

本发明由于均匀工件温度而产生的优越性包括, 但不局限于, 提高强度和热冲击阻力, 降低热膨胀系数、内部/外部开裂和一致的多孔特性。因为以前由于与燃烧加热过程所产生的表面加热相关联的效率不高而造成这些重要阶段

非常缓慢，所以本发明还能提高生产率（较短的时间温度周期）。

在此将叙述按照本发明的一种用于加热陶瓷材料的基本系统。该系统较佳地包括一微波共振腔，该腔具有一隔热壁，其中放置待加热的一陶瓷物品。一微波发生器，例如一磁控管，通过一波导管结构直接或间接连接于该微波共振腔。该系统包括用于连续调节微波功率的一微波功率源/控制器和可任选的、被构造成在隔热容器内传统加热的一单独受控的传统加热源/控制器。考虑到传统加热源能够形成对流或辐射加热，它包括，但不局限于，在一直接或间接燃烧器结构中的传统电阻或气体加热。

微波炉通常包括例如铝或 300 系列不锈钢的非磁性材料的一壳体。该壳体在所有侧壁上衬有高温、低损耗隔热材料，例如高纯矾土陶瓷纤维。由一蒸汽挡板保护波导管孔口或开口免受炉内环境影响，该挡板可以由高纯石英玻璃或其它低损耗材料例如云母制成。用硅橡胶粘合剂将这蒸汽挡板连接于波导管。在炉子的底部一小车装有待加热的物品，该炉车具有一个或多个例如碳化硅的高温材料的架子和支承件，该架子支承物品。重要的是炉车具有在炉壁和车子金属之间的微波节流门，以提供一用于能量的通道和避免微波泄漏到炉子周围区域或等效物。

用来发生微波的发生器源可以构成任何具有一可调功率特征的传统磁控管。所采用的入射微波的频率较佳地为美国规定的工业频带的约 915 兆赫或约 2.45 千兆赫。已知美国和其它国家采用直至 28000 兆赫的频率。此外，入射微波的功率不需要大于足以提高陶瓷物品的温度到达用于陶瓷物品加热是有效的一温度。尤其是，微波发生器应该具有直至 75 千瓦和以上的可变功率级。

将能够测量陶瓷物品的表面温度和陶瓷物品中心附近温度、即核心温度的一温度测量系统连接于一控制单元，该控制单元单独地控制微波功率源/控制器和传统加热源/控制器。这控制单元较佳地控制一可编程的逻辑控制器（PLC）和一个人电子计算机（PC）的组合。温度测量系统构成任何能够检测陶瓷物品的表面和核心温度的适当的温度传感器。在本说明书中所使用的术语“核心”是指在特定陶瓷物品的中心或其附近的陶瓷物品的内部，可以在精确反映核心温度的陶瓷物品的内部中的任何位置测量核心温度。适当的传感器包括例如一高温计（或其它温度记录设备）、一被屏蔽的电热偶、光导管或黑体探头。在

一较佳实施例中，诸传感器构成受屏蔽的热电偶，热电偶包括 S 型或 B 型形式的一向前延伸的温度探头、装在对炉子壳体接地的一铂或其它金属的高温壳体内部的热电偶。

另外，可以用一反射功率电路测量核心温度。在一微波单元中，在给予磁铁和灯丝调节（filament control）的指令信号的基础上磁控管输出微波能量。该能量在波导管内前进和到达该空腔，在该空腔内能量被载荷吸收，并被诸空腔壁或其它反射表面反射。没有被制品吸收的能量被反射回到波导管内。反射功率是该空腔内载荷数量的一量度和取决于该空腔内载荷的介电特性。通过监测在该周期中的反射功率，能够确定载荷的物理状态以及受控制以将所需能量传送到载荷的微波功率。

在操作中，通过用电磁微波辐射的组合作用对陶瓷材料的照射和通过使陶瓷物品受到传统加热作用，陶瓷材料受到某一数量的加热能量。微波辐射和传统加热的该数量使陶瓷物品按照一预定的时间—温度曲线加热。

确定从室温到烧结保温温度范围的时间—温度曲线使陶瓷物品在最短的时间到达它的烧结保温温度，随后保持在烧结保温温度，使一陶瓷物品的产品展现所要求的陶瓷材料特性，尤其是无开裂、不变形的陶瓷物品。

本发明方法的商业操作包括将陶瓷材料放置在具有一微波腔的微波加热设备之中，并使陶瓷材料按照一预定时间—温度曲线受到微波辐射和传统加热能量的组合作用。

应该理解，虽已参照某些说明性的和特定的实施例详细地叙述了本发明，但是应考虑到在不脱离所附权利要求书所规定的本发明的基本原理和广阔范围的情况下可以有许多改进。