(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106795036 B
(45)授权公告日 2021.05.28

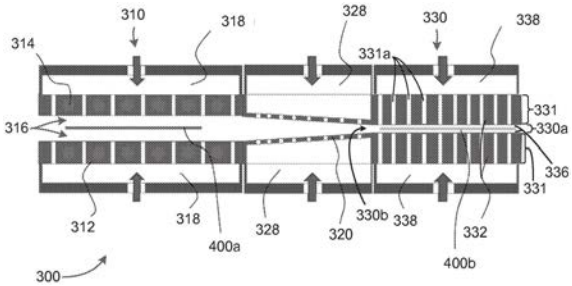
(21)申请号 201580053189.3
(22)申请日 2015.07.30
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106795036 A
(43)申请公布日 2017.05.31
(30)优先权数据
62/031,856 2014.07.31 US
62/074,838 2014.11.04 US
62/147,289 2015.04.14 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.03.30
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/042955 2015.07.30
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2016/019167 EN 2016.02.04
(73)专利权人 康宁股份有限公司
地址 美国纽约州
(72)发明人 R·O·马斯克梅耶 J·C·托马斯 K·L·沃森 P·J·莱齐
(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
代理人 林高锋 郭辉
(51)Int.Cl.
C03B 35/24(2006.01)
C03B 27/04(2006.01)
C03B 27/048(2006.01)
C03B 27/052(2006.01)
C03B 29/12(2006.01)
C03B 29/16(2006.01)
(56)对比文件
GB 1112781 A,1968.05.08
CN 102863146 A,2013.01.09
US 2006219605 A1,2006.10.05
审查员 钱帅
权利要求书3页 说明书25页 附图16页

(54)发明名称

热钢化玻璃及用于玻璃的热钢化的方法和设备

(57)摘要

一种强化玻璃片材产品以及用于制备所述产品的方法和设备。所述方法包括通过非接触热传导充分长地冷却玻璃片材,从而固定片材的表面压缩和中心张力。所述方法得到具有改善破碎性质的热强化玻璃片材。



CN 106795036 B

1.用于强化玻璃片材的方法,所述方法包括下述步骤:

冷却包括材料的片材,片材具有第一片材表面和第二片材表面,材料具有转变温度,在冷却开始时,片材温度大于转变温度,其中通过下述来进行冷却:

a.邻近第一散热器表面设置第一片材表面,且在第一片材表面和第一散热器表面之间具有第一间隙,从而进行从第一片材表面到第一散热器表面的热传导,第一间隙具有越过第一间隙的长度g_1和第一间隙面积A_{g1},

b.邻近第二散热器表面设置第二片材表面,且在第二片材表面和第二散热器表面之间具有第二间隙,从而进行从第二片材表面到第二散热器表面的热传导,第二间隙具有越过第二间隙的长度g_2和第二间隙面积A_{g2},

c.将第一气体的第一流动提供到第一间隙,且将第二气体的第二流动提供到第二间隙,第一气体具有热容量C_{p1}和热导率k_1,第二气体具有热容量C_{p2}和热导率k_2,在质量流速$\dot{m}_1$下将第一气体的流动提供到第一间隙,其中$\dot{m}_1$大于零且小于$(2k_1A_{g1})/(g_1C_{p1})$,以及在质量流速$\dot{m}_2$下,将第二气体提供到第二间隙,其中$\dot{m}_2$大于零且小于$(2k_2A_{g2})/(g_2C_{p2})$,由此,第一流动和第二流动接触片材,以及比通过对流更多地通过传导来冷却片材,其中,k_1和k_2的单位是W/m/K,A_{g1}和A_{g2}的单位是m^2,g_1和g_2的单位是m,C_{p1}和C_{p2}的单位是J/K;

d.充分地冷却以形成片材的表面压缩应力和中心张力。

2.如权利要求1所述的方法,其特征在于,第一散热器表面具有多个第一开口,且第二散热器表面具有多个第二开口,且其中将第一气体的第一流动提供到第一间隙包括使第一气体只通过多个第一开口流动到第一间隙,且将第二气体的第二流动提供到第二间隙由下述组成:使第二气体只通过多个第二开口流动到第二间隙。

3.如权利要求2所述的方法,其特征在于,所述第一开口和第二开口具有小于0.5mm的横截面尺寸。

4.如权利要求2所述的方法,其特征在于,所述第一开口和第二开口具有小于0.01mm的横截面尺寸。

5.如权利要求3所述的方法,其特征在于,第一散热器表面和第二散热器表面中的多个开口在垂直于各第一散热器表面和第二散热器表面的20度之内。

6.如权利要求2所述的方法,其特征在于,第一间隙和第二间隙的尺寸是100微米或更小。

7.如权利要求1所述的方法,其特征在于,第一气体是空气。

8.如权利要求1所述的方法,其特征在于,第一气体是氦气。

9.如权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括下述步骤:主要通过传导通过来自热源的气体来加热片材,主要通过传导加热片材的步骤在冷却片材的步骤之前进行。

10.如权利要求1所述的方法,其特征在于,如通过拉曼位移所测量,赋予片材的玻璃化转变温度以上至少50℃的片材的第一表面表面假想温度。

11.如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述片材的厚度小于3mm。

12.用于强化片材的方法,所述方法包括下述步骤:

a.至少部分地通过递送到第一表面和第一散热器之间的间隙的气体的流动或压力,在片材的第一表面上支撑片材的至少一部分,其中片材包括具有转变温度的玻璃,且片材温

度大于玻璃的转变温度;所述间隙具有越过间隙的长度g_1和间隙面积A_{g1},

b.通过到达散热器的气体,比通过对流更多地通过传导来从片材的第一表面冷却片材,其中,将气体的第一流动提供到间隙,在质量流速$\dot{m}_1$下将气体的流动提供到间隙,所述气体具有热容量C_{p1}和热导率k_1,其中$\dot{m}_1$大于零且小于$(2k_1A_{g1})/(g_1C_{p1})$,其中,k_1的单位是W/m/K,A_{g1}的单位是m^2,g_1的单位是m,C_{p1}的单位是J/K。

13.如权利要求12所述的方法,其特征在于,所述片材的厚度小于3mm。

14.一种用于权利要求1所述的用于强化片材的方法的设备,其包含:

第一散热器,其具有第一散热器表面;

第二散热器,其具有设置成与第一散热器相对的第二散热器表面;以及

第一散热器表面和第二散热器表面之间的间隙;

其中间隙由气体组成,且构造成接收加热的玻璃片材,且比通过对流更多地通过传导来冷却加热的玻璃片材,从而提供热强化的片材。

15.如权利要求14所述的设备,其特征在于,气体比通过对流更多地通过传导来冷却加热的玻璃片材。

16.如权利要求15所述的设备,其特征在于,第一散热器和第二散热器中的一种或两种包括封闭通路,用于使冷却流体经过那里流动。

17.如权利要求14所述的设备,其特征在于,第一散热器和第二散热器包括与间隙和气体来源流体连通的多个开口,其中气体从气体来源流动到间隙。

18.如权利要求17所述的设备,其特征在于,多个开口包括小于1mm的最小横截面尺寸。

19.如权利要求18所述的设备,其特征在于,在与垂直于各第一散热器表面和第二散热器表面成20度或更小的角度下设置多个开口。

20.一种通过权利要求1所述的方法制造的热强化玻璃片材:

所述玻璃片材具有单位为毫米的厚度t,单位为毫米的长度l,和单位为毫米的宽度w,t小于l且小于w;

玻璃片材具有通过厚度t隔开的第一主要表面和第二主要表面,沿着第一主要表面任意50mm或更小轮廓,片材的第一主要表面平坦到100微米总指示器跳动(TIR);

玻璃片材包括玻璃,所述玻璃具有单位为1/℃的低温线性CTEα^S_{CTE},单位为1/℃的高温线性CTEα^L_{CTE},单位为GPa的弹性模量E,单位为℃的应变温度$T_{应变}$,和单位为℃的软化温度$T_{软化}$;

玻璃片材的第一主要表面具有小于600MPa且大于下式的热诱导表面压缩应力:

$$\frac{P_1(h)*t}{(P_2(h)+t)}\cdot E\cdot\left[T_{应变}\cdot\alpha^s_{CTE}+\alpha^L_{CTE}\cdot\left(T_{软化}-T_{应变}\right)\right];$$

单位为MPa;

其中P_1通过下式给出:

$$910.2-259.2\cdot\exp\left(-\frac{h}{0.143}\right);$$

P_2通过下式给出:

$$2.53+\frac{23.65}{\left(1+\left(\frac{h}{0.00738}\right)^{1.58}\right)};$$

且h大于或等于0.020cal/s·cm^2℃。

21.如权利要求20所述的玻璃片材,其特征在于,在10x10μm面积上,第一主要表面具有0.2-0.7nm Ra的粗糙度。

22.一种通过权利要求1所述的方法制造的热强化玻璃片材:

所述玻璃片材具有单位为毫米的厚度t,单位为毫米的长度l,和单位为毫米的宽度w,t小于l且小于w;

玻璃片材具有通过厚度t隔开的第一主要表面和第二主要表面,沿着第一主要表面任意50mm或更小轮廓,片材的第一主要表面平坦到100微米总指示器跳动(TIR);

玻璃片材包括玻璃,所述玻璃具有单位为℃的软化温度$T_{软化}$和单位为℃的退火温度$T_{退火}$,和在玻璃片材第一主要表面上测量的表面假想温度,其通过Tfs来表示,且单位为℃;

玻璃片材具有无量纲表面假想温度参数θs,其通过$(Tfs-T_{退火})/(T_{软化}-T_{退火})$来给出,

其中参数θs是0.20-0.9。

热钢化玻璃及用于玻璃的热钢化的方法和设备

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求2014年07月31日提交的美国专利申请号62/031,856,2014年11月04日提交的美国专利申请号62/074,838以及2015年04月14日提交的美国专利申请号62/147,289的权益,以上各文的全部内容通过引用纳入本文。

[0003] 背景

[0004] 本公开涉及改善的热调整(强化或钢化)玻璃,特别是玻璃片材,以及用于玻璃特别是玻璃片材的热强化的改善的方法和设备。

[0005] 在玻璃片材的热(或“物理”)强化中,将玻璃片材加热到大于玻璃的玻璃化转变温度的升高的温度,然后快速冷却片材表面(“淬冷”),同时通过厚度和较低的玻璃热导率绝热的片材内部区域以更缓慢的速率冷却。这种差异化冷却在玻璃表面区域中形成残留压缩应力,通过玻璃中心区域中的残留拉伸应力来平衡。这与玻璃的化学强化不同,其中通过改变更靠近表面的区域中的玻璃化学组成来相对于中心产生表面压缩应力,例如通过离子扩散。这也与通过在仍然为热的时将具有不同热膨胀系数的玻璃组合物的层组合或层压在一起的玻璃强化不同,更低的膨胀层通常是最外面的,从而在返回到环境温度时得到表面压缩应力。相对于化学强化和层压,热强化过程通常是更不昂贵的,且更快速地进行。

[0006] 相对于未强化的玻璃,热强化玻璃具有优势。强化玻璃的表面压缩提供比未强化玻璃更大的耐断裂性。强度的增加通常与表面压缩的量成正比。如果相对于片材的厚度,片材具有足够水平的热强化,那么当和如果片材破碎时,片材将分割成具有钝的边缘的小碎片,而不是分割成具有尖锐边缘的较大或细长碎片。破碎成足够小碎片,或者如通过各种已知标准定义的“划切小块”的玻璃可称作安全玻璃,或“完全钢化”玻璃,或有时简称为“钢化”玻璃。

[0007] 因为强化程度取决于玻璃片材的表面和中心之间的温差,所以更薄的玻璃需要更高的冷却速率来获得给定应力。此外,更薄的玻璃通常需要更高的最终表面压缩应力和中心张力数值,来实现在破碎时划切成较小的颗粒。因此,如果不是不可能的话,在具有约3mm或更小片材厚度的玻璃中实现完全钢化(划切)是极具挑战性的。

[0008] 概述

[0009] 本公开部分地涉及高度强化的薄玻璃片材和方法工艺,以及设备,所述设备令人惊讶地在过去不能实现的厚度下获得高水平的玻璃片材的热强化,这超出了玻璃的对流气体热强化的现有技术状态,理想地同时使玻璃仅接触气体且同时还降低工艺的功率要求。所述设备和方法在具有小到至少薄至0.1mm的厚度的玻璃片材中实现热强化,包括最高达“完全钢化”或划切性能。

[0010] 附图简要说明

[0011] 图1(现有技术)是“完全钢化”所需的鼓风机功率作为玻璃厚度函数的图片。

[0012] 图2(现有技术)是用于老方法或机器O和新方法或机器N的“完全钢化”所需的鼓风机功率作为玻璃厚度函数的图片。

[0013] 图3(现有技术)是图2的老曲线O和新曲线N进行放大以匹配以及在图1的图片上叠

加之后的图片。

[0014] 图4是根据本公开的一种或多种实施方式的热强化玻璃片材的图解的交叉部分的横截面。

[0015] 图5是通过本发明的方法和设备的一种或多种实施方式获得的假想温度的无量纲表面假想温度参数θs的图表。

[0016] 图6是通过模拟用于不同玻璃组合物的表面压缩应力的图表,其相对于提出的用于所示各种组合物的钢化能力参数Ψ进行作图。

[0017] 图7和8是两参数P1和P2作为传热系数h的函数的图片。

[0018] 图9是玻璃片材的表面压缩(MPa)作为片材厚度t(毫米)的函数的图片,其显示通过本公开的设备和方法的一种或多种实施方式新开发的性能区域。

[0019] 图10的图片显示用于本公开的钢化玻璃片材的选定示例作图的压缩应力作为厚度的函数。

[0020] 图11的流程图显示根据本公开的方法的一些方面。

[0021] 图12的流程图显示根据本公开的另一种方法的一些方面。

[0022] 图13A是图3的图片,且在其上标出了区域R和点A,B,A'和B',从而显示本公开的方法以及方法和设备和工艺允许操作的区域,与现有技术进行对比。

[0023] 图13B是图13A的区域R和点A,B,A'和B'的另一种表示,但显示邻近(且相对于比例设置)的图2的减少尺寸的副本。

[0024] 图14(现有技术)是钢化所需的传热系数作为玻璃厚度函数的图片。

[0025] 图15是根据本公开的与通过对流相比更多地通过传导来冷却的玻璃片材的图解横截面。

[0026] 图16是根据本公开的实验设备的示意性横截面图。

[0027] 图17A是类似于图16的设备的另一种实施方式的剖开透视图。

[0028] 图17B是图17A的插图特征的替代实施方式的剖开透视图。

[0029] 图17C是图17A的插图特征的又一替代实施方式的剖开透视图。

[0030] 图18的流程图显示根据本公开的又一种方法的一些方面。

[0031] 具体描述

[0032] 本领域需要改善玻璃的热加工,同时改善用于热强化玻璃的方法和设备以及所得热强化的片材自身。例如,在便携式电子装置中,期望更薄但更强的光学质量的玻璃片材材料,以及包括这种玻璃片材的产品。玻璃的压缩非常强,但针对表面处的张力较弱。通过在片材表面处提供压缩,其通过不存在暴露表面的中心处的张力来平衡,显著增加玻璃片材的可用强度。然而,虽然相对于强化的替代方法,热强化通常更便宜和更快,但它受制于不能用于强化薄-例如,2-3mm或更小玻璃片材,因为强化水平取决于玻璃片材的表面和中心之间的温差,且难以在薄玻璃片材的表面和中心之间获得显著的差异。本说明书提供改善的方法和设备,用于利用热强化来制备高度强化的薄玻璃片材。所述方法和设备解决了现有工艺中的限制,允许在具有下述厚度的玻璃片材中实现高水平的强化:小于约3mm,小于2mm,小于1.5mm,小于1.0mm,小于0.5mm,小于约0.25mm,和小于约0.1mm。

[0033] 用于热强化玻璃的标准工业过程涉及在辐射能力炉子或对流炉子(或使用两种技术的“组合模式”炉子)中,将玻璃片材加热到预定温度,然后进行气体冷却(“淬冷”),通常

以贴着或沿着玻璃表面吹扫大量环境空气的形式。这种气体冷却过程主要是对流的，由此通过流体的整体运动(集体移动)来进行传热，通过扩散和平流，因为气体从热的玻璃片材携带走热量。

[0034] 某些因素可限制玻璃片材中可能的强化的量。这种限制至少部分地因下述而存在:成品片材上的压缩应力的量与在淬冷中实现的片材表面和中心之间的温差的大小直接相关。然而，淬冷中的温差越大，玻璃越容易破碎。对于给定的冷却速率，可通过从更高的片材初始温度淬冷，来减少破碎。此外，已知更高的起始温度需要获得更高冷却速率的全部强化潜能。但是，增加淬冷开始时的片材的温度可导致片材的过量变性，因为片材变软，这同样地限制了实际可行的可获得的温差。

[0035] 片材厚度也对淬冷中可取得的温差带来显著的限制。对于淬冷中给定的冷却速率，片材越薄，表面和中心之间的温差越低，因为存在更少的玻璃厚度来热隔绝中心与表面。因此，薄玻璃的热强化要求更高的冷却速率，因此需要更快的从玻璃外部表面除去热量，这需要大量的能量消耗。图1显示通过用来鼓吹足够的环境空气以“完全钢化”钠钙玻璃(“SLG”)的空气鼓风机所需的单位为千瓦/平方米玻璃片材面积的功率作为单位为毫米的玻璃厚度的函数，其基于约35年之前的工业标准热强化过程。所需的功率随着所用玻璃变薄指数地增加，因此多年以来，厚度为约3mm的玻璃片材是最薄的完全钢化的市售玻璃。此外，片材越薄，在给定玻璃软度(即，在给定粘度下)下的变性的可能性越大。因此，降低厚度同时减少了可直接获得的温差，因为增加的片材变形的风险，趋于减少使用更高片材温度来实现更高冷却速率的全部益处，以及通过更高冷却速率来防止玻璃破碎的机会。

[0036] 最近，使用现有技术的玻璃热强化设备公布了图2(现有技术)的性能曲线。这一改善的设备继续使用传统的空气吹扫对流过程来冷却玻璃，但使用系统取代在加热过程中支撑玻璃的辊，所述系统至少在加热的最后阶段中使用空气来支撑玻璃。因为没有辊接触，可将玻璃加热到更高温度(和更高的软度/低粘度)，然后淬冷，报道了允许生产2mm厚度的完全钢化的玻璃。如图2所示，报道的在更高温度下强化2mm厚片材所需的鼓风机功率从1200kW/m^2下降到400kW/m^2，与使用辊支撑玻璃(曲线O)相比，这通过使用空气支撑玻璃(曲线N)来实现。

[0037] 虽然能制备完全钢化2mm厚的玻璃代表了进步，但将图2的旧曲线和新曲线O和N进行放大并匹配图1的标尺时，如图3所示(现有技术)，表明通过新方法实现的性能的提高是相当小的，且仅仅是对玻璃片材的对流强化中所需能量的之前理解的增量变化。在图3中，放大图2的旧曲线和新曲线O和N，以与图1的附图匹配，并重叠其上(旧曲线O在顶部在240kW/m^2处截断，以便于观察新曲线N)。从图3可明显得知通过曲线N表示的技术只略微改变朝向薄玻璃侧面的对流气体淬冷过程的性能曲线。高操作点(用于2mm玻璃的鼓风机功率的400kW/m^2)显示仍然需要功率的极端增加来通过这个方法处理更薄的玻璃。根据工程实践和经济，空气流中的尖锐增加和因此所需的功率显示在2mm厚度以下运行且同时使用常规对流气体强化方法来生产完全钢化玻璃的困难。此外，所需的非常高的空气流动也可改变更薄片材的形状。因此，为了实现厚度小于2mm的玻璃的完全钢化或者实现在热膨胀系数(“CTE”)低于钠钙玻璃热膨胀系数的2mm玻璃中的完全钢化，需要另一种方法。

[0038] 还尝试了现有商业化对流气体强化的替代方法，但与对流气体强化相比，每一种替代方法都具有某些不足。具体来说，实现更高冷却速率的方法通常需要至少一些片材表

面与液体或固体的接触，而不是仅仅与气体接触。如下文所更加详细描述，与玻璃片材的这种接触可不利地影响玻璃表面质量、玻璃平坦度和/或强化过程的均匀性。这些缺陷有时可通过人眼来看见，特别是当沿着反射光观察时。

[0039] 以在液体浴或流动液体中浸没的形式以及以喷涂的形式的液体接触强化已用于获得比对流气体强化更高的冷却速率，但其不足在于在冷却过程中越过片材导致过量的热变化。在液体的浸没或浸没状的喷涂或流动中，因为在液体浴或液体流动之内自发出现的对流流动，可出现在较小面积上的较大热变化。在更细的喷涂中，离散的喷涂液滴以及喷嘴喷涂图案的影响也产生显著的热变化。过量的热变化趋于在通过液体接触的热强化过程中导致玻璃破碎，这限制了可获得的冷却速率和所得强度。片材的必需处理(在液体浴或液体流动或液体喷涂中设置或固定片材)也导致来自与片材的物理接触的物理应力和过量的热变化，这也在强化中导致破碎，且限制冷却速率和所得强度。最后，一些液体冷却方法例如通过油浸没和各种喷涂技术淬冷的高冷却速率可在这种冷却中改变玻璃表面，这需要后续地从片材表面除去玻璃材料，以形成令人满意的精磨。

[0040] 固体接触热强化涉及使热玻璃的表面接触更冷的固体表面。与液体接触强化类似，过量的热变化如在液体接触强化中观察到的那些，可在淬冷过程中容易地出现。玻璃片材的表面精磨中或淬冷表面中或者片材厚度一致性中的任何缺陷导致在片材的一些面积上的不完美的接触，这导致较大的热变化，其趋于在加工中破碎玻璃，且如果片材存活的化带来不想要的双折射。此外，使热的玻璃片材与固体物体接触可导致形成表面缺陷，例如碎屑、裂缝(check)、裂纹、刮擦等。随着片材的尺寸增加，在片材的全部表面上获得良好接触可变得更加困难。与固体表面的物理接触还可在淬冷中继续地在片材中形成应力，这增加了在加工中使片材破碎的可能性。此外，接触开始时极高速率的温度变化可在片材加工中导致破碎，且因此薄玻璃基材的接触冷却目前尚未商业化。

[0041] 本公开优于如上所述的传统方法来在商业规模地有效地、高效地和均匀地热强化薄玻璃片材，而不损坏玻璃表面，不诱导双折射或不均匀的强化，也不导致不可接受的破碎。常规地，在对流气体玻璃强化中，通过下述来获得更高的冷却速率：增加空气流动速率、降低空气喷嘴开口与玻璃片材表面的距离、增加玻璃温度(在冷却开始时)，以及任选地降低冷却空气的温度。

[0042] 之前不能获得的玻璃片材可通过本文所述的实施方式中的一种或多种来制备。这是以精确方式提供非常高传热速率的结果，其具有良好的物理控制以及玻璃的温和加工。小间隙气体轴承中的(形式和)平坦度的控制实现在开始冷却时在更高相对温度下加工片材，这得到更高的热强化水平。如下所述，结果是具有独特性质的玻璃片材。

[0043] 用根据本公开的方法和/或设备处理的玻璃片材的一些实施方式具有比之前已知的更高水平的永久热诱导的应力。虽然无意受限于理论，但据信获得水平的热诱导应力因多种原因而为可获得的。本文详述的方法中传热的高均匀性减少或消除了玻璃中的物理的和不想要的热应力，这允许在没有破碎的情况下以更高的传热速率来回火玻璃片材。此外，本公开的方法可在更低玻璃片材粘度(淬冷开始时更高的起始温度)下进行，同时仍然保留所需的(形式和)平坦度，这在冷却过程中提供大得多的温度变化，由此增加获得的热强化水平。

[0044] 第一种实施方式包括热强化玻璃片材，其具有高表面压缩应力或高中心张力。图4

是根据一种或多种实施方式的热强化玻璃片材500的图解的交叉部分的横截面。玻璃片材500具有厚度t以及通过厚度t隔开的第一主要表面和第二主要表面510,520。玻璃片材500还包括长度l和宽度w。在示例性实施方式中,玻璃片材500的厚度t小于玻璃片材500的长度l。在其它示例性实施方式中,玻璃片材500的厚度t小于玻璃片材500的宽度w。又在其它示例性实施方式中,玻璃片材500的厚度t小于玻璃片材500的长度l和宽度w。玻璃片材500还具有在和/或靠近第一主要表面和第二主要表面510,520处的具有永久热诱导压缩应力530和540的区域,其通过片材中心部分中具有永久热诱导中心拉伸应力550(即,张力)的区域来平衡。

[0045] 来自本文所述的方法的玻璃的压缩应力可作为玻璃厚度的函数而变化。在一些实施方式中,具有3mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少80MPa,至少100MPa,至少150MPa,至少200MPa,至少250MPa,至少300MPa,至少350MPa,至少400MPa,和/或不大于1GPa。在设想的实施方式中,具有2mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少80MPa,至少100MPa,至少150MPa,至少175MPa,至少200MPa,至少250MPa,至少300MPa,至少350MPa,至少400MPa,和/或不大于1GPa。在设想的实施方式中,具有1.5mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少80MPa,至少100MPa,至少150MPa,至少175MPa,至少200MPa,至少250MPa,至少300MPa,至少350MPa,和/或不大于1GPa。在设想的实施方式中,具有1mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少80MPa,至少100MPa,至少150MPa,至少175MPa,至少200MPa,至少250MPa,至少300MPa,和/或不大于1GPa。在设想的实施方式中,具有0.5mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少50MPa,至少80MPa,至少100MPa,至少150MPa,至少175MPa,至少200MPa,至少250MPa,和/或不大于1GPa。

[0046] 在一些实施方式中,热诱导中心张力可大于40MPa,或大于50MPa,或大于75MPa,或大于100MPa。在其它实施方式中,热诱导中心张力可小于300MPa,或小于400MPa。热诱导中心张力可为约50MPa-约300MPa,约60MPa-约200MPa,约70MPa-约150MPa,或约80MPa-约140MPa。

[0047] 如果在拉伸应力550的区域储存足够的能量,当充分损坏时,玻璃将像安全玻璃一样破碎或“划切(dice)”。如本文所使用,当面积为25cm^{2}的玻璃片材破碎成40或更多块时,认为玻璃片材划切。在一些实施方式中,将划切用作定性量度,这显示玻璃片材是“完全钢化的”(即,对于2mm或更厚的玻璃,其中玻璃片材具有至少65MPa的压缩应力或至少67MPa的边缘压缩)。

[0048] 另一方面包括热强化玻璃片材,其具有高假想温度和增加的耐损坏性。表面假想温度可通过任意合适方法来测定,包括差示扫描量热法、Brillouin光谱法或拉曼光谱法。

[0049] 在测定表面假想温度的一些方法中,可需要破碎玻璃来释放通过热强化过程诱导的“钢化应力”,从而以合理的精确性来测定假想温度。本领域熟知同时相对于假想温度以及相对于硅酸盐玻璃中施加的应力以受控方式通过拉曼光谱位移来测定的特征结构带。如果已知钢化应力,可使用位移来非损坏性地测定热强化玻璃片材的假想温度。

[0050] 二氧化硅玻璃的拉曼光谱上的应力影响参见D.R.Tallant,T.A.Michalske,以及W.L.Smith,“拉伸应力对二氧化硅玻璃的拉曼光谱的影响(The effects of tensile stress on the Raman spectrum of silica glass),”《非晶固体学报(J.Non-Cryst.Solids)》,106 380-383(1988)。具有大于或等于65重量%二氧化硅的市售玻璃具有

基本上相同的响应。虽然报道的应力响应用于单轴应力，但在等双轴(unibiaxial)应力状态例如在钢化玻璃中观察到的，$\sigma_{xx}=\sigma_{yy}$时，可预期峰位移为单轴应力预期的峰位移的两倍。钠钙玻璃和玻璃2中靠近1090cm^{-1}的峰对应于在二氧化硅玻璃中观察到的1050cm^{-1}峰。应力对二氧化硅中1050峰以及SLG和气体硅酸盐玻璃中的相应的峰的影响可作为单位为MPa的应力σ的函数来表达：a) ω (cm^{-1}) =1054.93-0.00232 • σ。

[0051] 对于SLG和另一种玻璃，玻璃2，形成拉曼带位置作为假想温度函数的校准曲线。将玻璃样品热处理各种时间，比通过τ=10*η/G计算的结构松弛时间更长2-3倍，其中η是粘度，且G是剪切模量。在热处理之后，在水中淬冷玻璃来在热处理温度下冷冻假想温度。然后使用442nm激光，10-30秒暴露时间和100％功率在200-1800cm^{-1}的范围上，在50倍放大倍数和1-2微米光斑尺寸下通过微观拉曼来测量玻璃表面。使用计算机软件Renishaw WiRE(在这种情况下，版本为4.1)来拟合在1000-1200cm^{-1}处的峰位置。通过下述来给出在SLG中在空气侧上测量的1090cm^{-1}拉曼峰作为假想温度Tf(单位为℃)的函数的良好拟合：b) ω (cm^{-1}) =1110.66-0.0282 • Tf。对于玻璃2，通过下述来给出良好拟合：c) ω (cm^{-1}) =1102.00-0.0231 • Tf。

[0052] 使用在公式a)，b)，和c)中形成的关系，能将玻璃的假想温度表达作为测量的拉曼峰位置的函数，且使用因为表面压缩应力造成的校正因子。100MPa的压缩应力σ_c使拉曼带位置发生的位移相当于假想温度的约15-20℃的下降。下述公式适用于SLG：

[0053] $$T_f(℃)=\left[\frac{\omega(cm^{-1})-1110.66(cm^{-1})}{-0.0282(\frac{cm^{-1}}{℃})}\right]+2[0.082*\sigma_c(MPa)] \quad (1)$$

[0054] 适用于玻璃2的公式是：

[0055] $$T_f(℃)=\left[\frac{\omega(cm^{-1})-1102(cm^{-1})}{-0.0231(\frac{cm^{-1}}{℃})}\right]+2[0.0996*\sigma_c(MPa)] \quad (2)$$

[0056] 在这些公式中，ω是测量的靠近1090cm^{-1}的峰的峰波数(wavenumber)，σ_c是通过任意合适技术测量的表面压缩应力，这得到单位为℃的假想温度的应力校正的测量。

[0057] 作为增加的耐损坏性的演示，制备了4个玻璃片材样品，2个6mm钠钙玻璃(SLG)片材，其通过常规钢化方法到约70和110MPa表面压缩应力(CS)，以及2个1.1mm SLG，其通过本文所述的方法和设备钢化到约相同水平的CS。将两片额外的片材，各种厚度一片用作对照。将每一测试片材的表面暴露于标准维氏压痕(Vickers indentation)。施加不同水平的力，每一种15秒，且在24小时等待之后，检测各自的压痕。如表I所示，测定每一样品的50％断裂阈值(定义为负载，在该负载下裂纹出现的平均数目是压痕仪的4个点中有2个点出现，且在该点处趋于引发裂纹)。

[0058] 表格显示用于通过常规对流气体钢化(如在6mm片材中所反映)处理的SLG的维氏裂纹引发阈值基本上与退火的或刚递送的SLG片材的相同，从0-1牛顿升高到约1-小于2牛顿。这与通过常规钢化提供的相对于玻璃化转变温度(对于SLG，T_g=550℃，定义为η=$10^{12-13.3}$泊(Poise))在～25-35℃下表面假想温度(T_{fs}或$Tf_{表面}$)的相对不太多的升高相关。相反，通过本公开的方法和设备的钢化，将维氏裂纹引发阈值改善到大于10N，这相对于通过常规

钢化赋予的维氏耐损坏性是10倍的增加。在实施方式的玻璃中，T_{fs}减去T_g是至少50℃，或至少75℃，或至少90℃，或为约75℃-100℃。甚至在包括更低水平热强化的实施方式中，实施方式的玻璃可仍然提供增加的耐性，例如在如5N的水平。在一些设想的实施方式中，在15秒维氏裂纹引发测试之后的50％裂纹阈值可大于或等于5N，10N，20N，或30N。

[0059]

表 I

样品	厚 度 (mm)	CS (MPa)	表 面 T_f (℃)	断裂阈值(N)
对照	1.1	退火	~T_g (550)	0 - 1
对照	6	退火	~T_g (550)	0 - 1
薄，低强度	1.1	-72	626	10 - 20
厚，低强度	6	-66	575	1 - 2
薄，中等强度	1.1	-106	642	10 - 20
厚，中等强度	6	-114	586	1 - 2

[0060] 可使用下面的无量纲假想温度参数θ来通过形成的假想温度比较热强化过程的相对性能。在这种情况下，通过表面假想温度来给出θs：

[0061] $\theta_S = (T_{fs} - T_{退火}) / (T_{软化} - T_{退火})$ (3)

[0062] 其中T_{fs}表面假想温度，$T_{退火}$(玻璃粘度$\eta = 10^{13.2}$泊时的温度)是退火点，且$T_{软化}$(玻璃粘度$\eta = 10^{7.6}$泊时的温度)是片材玻璃的软化点。图5是用于测量的表面假想温度的θs作为在用于两种不同玻璃的热强化中施加的传热速率h的函数的图表。如图所示，用于两种不同玻璃的结果相当紧密地彼此重叠。这意味着参数θ提供一种手段来比较不同玻璃的假想温度，其相对于制备它们所需的传热速率h进行直接地比较。在每一h处的结果的垂直范围对应于T_0数值的变化，其为开始淬冷时的初始温度。在一些实施方式中，参数θs包括约0.2-约0.9，或约0.21-约0.09，或约0.22-约0.09，或约0.23-约0.09，或约0.24-约0.09，或约0.25-约0.09，或约0.30-约0.09，或约0.40-约0.09，或约0.5-约0.9，或约0.51-约0.9，或约0.52-约0.9，或约0.53-约0.9，或约0.54-约0.9，或约0.54-约0.9，或约0.55-约0.9，或约0.6-约0.9，或甚至约0.65-约0.9。

[0063] 另一方面包括热强化玻璃片材，其具有高钢化能力和/或传热数值。玻璃的“比热应力”通过下式来给出：

[0064] $$\frac{\alpha \cdot E}{1-\mu} \qquad (4)$$

[0065] 其中α是玻璃的(低温线性)CTE，E是弹性模量，且μ是泊松比。使用这个数值来表示当暴露于温度梯度时，在给定玻璃组合物之内产生的应力水平。它还可用作热“钢化能力”的估计量。然而，在更高传热速率(例如在约800W/m^2K及以上，例如)，玻璃的高温或“液相线”CTE开始影响钢化性能，因此在这种情况下，发现钢化能力参数Ψ有用的，其基于越过粘度曲线的变化的CTE数值上的积分近似：

[0066] $$\Psi = E \cdot \left[T_{应变} \cdot \alpha_{CTE}^{S} + \alpha_{CTE}^{L} \cdot \left(T_{软化} - T_{应变} \right) \right] \quad (5)$$

[0067] 其中α^{S}_{CTE}是低温线性CTE(等同于玻璃的0-300℃的平均线性热膨胀系数),表达为1/℃(℃$^{-1}$),α^{L}_{CTE}是高温线性CTE(等同于高温平台数值,观察到其在玻璃化转变点和软化点弹性模量之间的某些地方出现),表达为1/℃(℃$^{-1}$),E是玻璃的弹性模量,表达为GPa(不是MPa)(这允许(无量纲)参数Ψ的数值基本上在0-1之间变化),$T_{应变}$是玻璃的应变点温度,(玻璃粘度η=$10^{14.7}$泊时的温度),其表达为℃,且$T_{软化}$是玻璃的软化点(玻璃粘度η=$10^{7.6}$泊时的温度),其表达为℃。

[0068] 对具有不同性质的玻璃建模热强化过程和所得表面压缩应力,以测定钢化参数Ψ。在相同起始粘度$10^{8.2}$泊和不同传热系数下,对玻璃进行建模。表II显示了各种玻璃的性质,以及用于各种玻璃在$10^{8.2}$泊下的温度,以及用于每一种的钢化能力参数Ψ的计算的数值。

[0069] 表II

[0070]

玻璃	模量	CTE 低	CTE 高	$10^{8.2}$ 泊 ℃	软化点℃	应变点℃	Ψ
SLG	72	8.8	27.61	705	728	507	0.76
2	73.3	8.53	20.49	813	837	553	0.77
3	65.5	8.26	26	821	862	549	0.83
4	65	8.69	20.2	864	912	608	0.74
5	63.9	10.61	22	849	884	557	0.84
6	58.26	3.5	20.2	842	876	557	0.49
7	73.6	3.6	13.3	929	963	708	0.44

[0071]

8	81.1	3.86	12.13	968	995	749	0.48

[0072] 表III中的结果表明Ψ与玻璃的热强化性能成正比。这种相关性进一步在图6中示出,其提供用于高传热速率(传热系数为2093W/m^{2}K(0.05cal/s·cm^2·℃))且玻璃片材厚度仅为1mm的实施的示例。从图可知,7种不同的玻璃的变化得到压缩应力与提出的钢化能力参数Ψ的变化良好相关。

[0073] 在另一方面中,已发现对于任何玻璃,在任意给定的传热系数数值下,h(表达为cal/cm^2-s-℃),表面压缩应力的曲线(σ_{CS},单位为MPa)相对于厚度(t,单位为mm)可通过双曲线来拟合(t的范围为0-6mm),其中P_1和P_2是h的函数,从而:

[0074] $$\sigma_{CS}(\text{玻璃}, h, t) = C(h,t) * \Psi(\text{玻璃}) = \frac{P_1(h) * t}{(P_2(h) + t)} * \Psi(\text{玻璃}) \quad (6)$$

[0075] 或者,使用用于压缩应力曲线σ_{CS}(玻璃,h,t)中Ψ的代入通过下式给出:

[0076] $$\frac{P_1(h)*t}{(P_2(h)+t)}\cdot E\cdot\left[T_{应变}\cdot\alpha_{CTE}^{s}+\alpha_{CTE}^{L}\cdot\left(T_{软化}-T_{应变}\right)\right] \quad (7)$$

[0077] 其中上文(6)或(7)中的常数P_1,P_2分别是传热数值h的连续函数,其通过下式给出:

[0078] $$P_1=910.2-259.2\cdot\exp\left(-\frac{h}{0.143}\right) \quad (8)$$

[0079] 以及

[0080] $$P_2=2.53+\frac{23.65}{\left(1+\left(\frac{h}{0.00738}\right)^{1.58}\right)} \quad (9)$$

[0081] 在图7和图8中,分别将常数P_1,P_2,作为h的函数进行作图。因此,对于给定的h和相应的P_2,通过使用P_1的数值,对于上文表达(6)和(7)中相同的h,具体化一种曲线,其对应于在h处可获得的表面压缩应力(CS)作为厚度t的函数。

[0082] 在一些实施方式中,可使用相似表达来预测热强化玻璃片材的中心张力(CT),特别是在小于或等于6mm的厚度下,以及传热系数例如800W/m^2K和更大的情况下,通过简单地在相同传导(conduction)下将预测的压缩应力除以2。因此,预期中心张力可通过下式给出:

[0083] $$\frac{P_{1CT}(h_{CT})*t}{(P_{2CT}(h_{CT})+t)}\cdot E\cdot\left[T_{应变}\cdot\alpha_{CTE}^{s}+\alpha_{CTE}^{L}\cdot\left(T_{软化}-T_{应变}\right)\right] \quad (10)$$

[0084] 其中P_{1CT}和P_{2CT}通过下式给出:

[0085] $$P_{1CT}=910.2-259.2\cdot\exp\left(-\frac{h_{CT}}{0.143}\right) \quad (11)$$

[0086] 以及

[0087] $$P_{2CT}=2.53+\frac{23.65}{\left(1+\left(\frac{h_{CT}}{0.00738}\right)^{1.58}\right)} \quad (12)$$

[0088] 在一些实施方式中,对于给定的热强化物理情况,h和h_{CT},可具有相同数值。然而,在一些实施方式中,它们可变化并提供独立的变量,且允许在它们之间变化,这允许在描述行性能曲线之内捕集其中2:1CS/CT的典型比例不能保持的情况。

[0089] 本文所述的方法和设备的一种或多种实施方式在表III所示的所有传热速率数值(h和h_{CT})下制备了热强化的SLG片材。

[0090] 表III

[0091]

表 IV(根据示例性实施方式的 h 和 h_{CT} 数值)

cal/s·cm²·℃	W/m²K	cal/s·cm²·℃	W/m²K	cal/s·cm²·℃	W/m²K
0.010	418.68	0.042	1758.456	0.070	2930.76
0.013	544.284	0.045	1884.06	0.071	2972.628
0.018	753.624	0.047	1967.796	0.078	3265.704
0.019	795.492	0.048	2009.664	0.080	3349.44
0.020	837.36	0.049	2051.532	0.081	3391.308
0.021	879.228	0.050	2093.4	0.082	3433.176

[0092]

0.022	921.096	0.051	2135.268	0.095	3977.46
0.023	962.964	0.052	2177.136	0.096	4019.328
0.027	1130.436	0.053	2219.004	0.102	4270.536
0.028	1172.304	0.054	2260.872	0.104	4354.272
0.029	1214.172	0.055	2302.74	0.105	4396.14
0.030	1256.04	0.060	2512.08	0.127	5317.236
0.031	1297.908	0.061	2553.948	0.144	6028.992
0.033	1381.644	0.062	2595.816	0.148	6196.464
0.034	1423.512	0.063	2637.684	0.149	6238.332
0.038	1590.984	0.065	2721.42	0.184	7703.712
0.040	1674.72	0.067	2805.156		
0.041	1716.588	0.069	2888.892		

[0093] 在一些实施方式中,传热速率数值(h和h_{CT})可为约0.024-约0.15,约0.026-约0.10,或约0.026-约0.075cal/s·cm²·℃。

[0094] 图9显示单位为MPa的玻璃片材表面压缩的新开发的性能空间作为厚度t(单位为mm)的函数,通过用于根据上文公式6-9的选定数值的h的C(h,t)·Ψ(SLG)图,且Ψ(SLG)对应于表III中用于SLG的Ψ的数值。用GC标记的迹线表示估算的通过气体对流钢化可获得的最大应力和SLG片材的薄度,从0.02cal/s·cm²·℃(或840W/m²K)到0.03cal/s·cm²·℃或1250W/m²K,且假定在$10^{8.2}$泊的加热玻璃粘度或约704℃(对流气体过程的能力以上的温度)下,这些水平的传热系数可用于该方法。

[0095] 在注释中标记为气体的三角形标志,来显示基于气体对流钢化过程最高的报道的片材CS数值的示例。数值601表示市售设备的广告宣传的产品性能能力,而数值602基于玻

璃加工会议上的口头报道。标记为LC的迹线表示估算的可通过液体接触钢化获得的最大应力和SLG片材薄度的曲线，其通过0.0625cal/s·cm^2·℃(或约2600W/m^2K)的传热速率h来给出，也假定在$10^{8.2}$泊的初始加热玻璃粘度或约704℃下进行加工。在注释中标记为液体的圆形标志，来显示基于液体接触钢化过程最高的报道的片材CS数值的示例。在2mm厚度下，两个数值中更高的数值基于硼硅酸盐玻璃片材的钢化报道，且将获得的应力通过(Ψ_{SLG})/($\Psi_{硼硅酸盐}$)进行放大用于图中，以进行放大的直接比较。

[0096] 标记为704的迹线表示在0.20cal/s·cm^2·℃(或约8370W/m^2K)的传热速率以及在704℃的刚好在淬冷之前的初始温度下，可通过本文所述的方法和设备的一种或多种实施方式获得的应力。这样可获得的玻璃片材上的应力水平表示几乎与液体钢化强化水平相同范围的改善，犹如液体钢化表示的相对于现有技术的气体对流钢化的改善。但704边界不是上限-实施方式已经显示在甚至更高温度下(在更低的玻璃粘度下)，在这个数值以上是可行的，因为小间隙气体轴承热强化中可获得良好的形式和平坦度控制。标记为730的迹线显示通过0.20cal/s·cm^2·℃(或约8370W/m^2K)获得的一些额外强化性能，且SLG片材的起始温度为730℃，这非常接近或大于玻璃的软化点。特别地通过组合高传热速率以及通过在紧密气体轴承中对片材平坦度和形式的良好处理和控制实现的使用高初始温度，来实现压缩应力和玻璃片材强度的显著改善-且这种改善在小于或等于2mm厚度下是特别突出的。

[0097] 图10显示如上所述的图9的迹线(在小于或等于2mm下)，但使用压缩应力作为作图的厚度的函数，其用于通过本公开的一种或多种实施方式制备的钢化玻璃片材的选定示例，这显示了通过本公开实现的热强化水平和薄度的极端组合。

[0098] 在另一种实施方式中，本文所述的热强化玻璃片材同时具有高热应力和低的刚形成的表面粗糙度。本文所述的工艺和方法可在不增加刚形成的表面的表面粗糙度的情况下，热强化玻璃片材。例如，在加工之前和之后，通过原子力显微镜(AFM)来表征来料浮法玻璃空气侧表面，和来料熔合形成的玻璃表面。用于来料1.1mm钠钙浮法玻璃的R_a表面粗糙度小于1nm(0.6-0.7nm)，且不通过根据本公开的方法热强化增加。类似地，通过根据本公开的热强化保持1.1mm熔合形成玻璃的小于0.3nm(0.2-0.3)的R_a表面粗糙度。因此，在至少10x10微米的面积上，热强化玻璃片材在至少第一表面上具有下述表面粗糙度:0.2-1.5nm R_a粗糙度，0.2-0.7nm，0.2-0.4或甚至例如0.2-0.3nm。在示例性实施方式中，表面粗糙度可在10x10微米的面积上测量，或在一些实施方式中，在15x15微米的面积上测量。

[0099] 在一些实施方式中，玻璃片材具有一个或多个涂层，其在热强化玻璃片材之前设置到玻璃上。本文所述的方法可用来制备具有一个或多个涂层的强化玻璃片材，其中在热强化之前将涂层设置在玻璃上，且不受工艺的影响。优选地在本公开的玻璃片材上保留的具体涂层包括低E涂层、反射涂层、减反射涂层、耐指纹涂层、截断过滤器、热解涂层等。

[0100] 在另一种实施方式中，本文所述的热强化玻璃片材具有高平坦度。在运输和加热中优选地使用受控的气体轴承，且在一些实施方式中，其可用来辅助控制和/或改善玻璃片材的平坦度，这得到比之前可获得的更高的平坦度，特别是对于薄的和/或高强度片材而言。例如，至少0.6mm的片材强化后可具有改善的强化后平坦度。本文所述的热强化玻璃片材的平坦度可包括沿着第一表面或第二表面中之一的沿着任意50mm长度，100μm或更小的总指示器跳动(total indicator run-out)(TIR)，在第一表面或第二表面之一上在50mm长度之内的300μm TIR或更小，在第一表面或第二表面之一上在50mm长度之内的200μm TIR或

更小,100μm TIR或更小,或70μm TIR或更小。在示例性实施方式中,沿着任意50mm或更小轮廓的玻璃片材测量平坦度。在设想的实施方式中,具有本文所述的片材在第一表面或第二表面之一上20mm长度之内具有200μm TIR或更小的平坦度,例如100μm TIR或更小的平坦度,70μm TIR或更小的平坦度,50μm TIR或更小的平坦度。

[0101] 方法和设备的实施方式已应用到具有下述厚度的玻璃片材:0.1mm-5.7或6.0mm,除了端点数值以外还包括0.2mm,0.28mm,0.4mm,0.5mm,0.55mm,0.7mm,1mm,1.1mm,1.5mm,1.8mm,2mm,和3.2mm。设想的实施方式包括热强化玻璃片材,其具有下述厚度:0.1-20mm,0.1-16mm,0.1-12mm,0.1-8mm,0.1-6mm,0.1-4mm,0.1-3mm,0.1-2mm,0.1-小于2mm,0.1-1.5mm,0.1-1mm,0.1-0.7mm,0.1-0.5mm和0.1-0.3mm。

[0102] 在一些实施方式中,热强化玻璃片材具有高长径比,即,长度和宽度与厚度比例较大。因为所用工艺不依赖高压或大体积的空气,在加工中可通过使用气体轴承来保持平坦度,且高长径比玻璃片材(即,具有高长度-厚度比例,或宽度-厚度比例的玻璃片材)可进行热强化,同时保留所需的或所必需的形状。具体来说,可强化具有下述长度-厚度比和/或宽度-厚度比(“长径比”)的片材:约至少10:1,至少20:1,以及最高达和超过1000:1。在设想的实施方式中,可加工具有下述长径比的片材:至少200:1,至少500:1,至少1000:1,至少2000:1,至少4000:1。

[0103] 另一方面包括热强化低热膨胀系数(CTE)玻璃片材。如上所述,热强化效果显著地取决于玻璃片材包括的玻璃的CTE。然而,低CTE玻璃的热强化可提供具有优选的性质的强化玻璃组合物,例如增加的耐化学性,或因为低碱性含量带来的与电子装置更好的相容性。具有65,60,55,50,45,40,和甚至35x10^{-6}℃$^{-1}$和以下CTE的玻璃片材能在下述厚度下进行安全玻璃状的破碎图案(“划切”):小于4mm,小于3.5mm,小于3mm,和甚至在2mm或更小。具有小于或等于40x10^{-6}℃$^{-1}$CTE数值的玻璃可使用本文所述的方法来强化。在相同厚度下,这种玻璃可具有通过常规商业(气体对流)方法强化的SLG片材相似的表面压缩。在一些实施方式中,对于具有不大于1cm,不大于5mm,不大于3mm,不大于2mm,不大于1.5mm,不大于1mm,不大于0.75mm,不大于0.5mm,不大于0.3mm,不大于0.2mm,或不大于0.1mm厚度的玻璃片材,低CTE玻璃的压缩应力可包括至少50MPa,至少100MPa,至少125MPa,至少150MPa,至少200MPa,至少250MPa,至少300MPa,或至少400MPa。

[0104] 根据本公开的形成的玻璃片材具有多种应用,例如用于电子装置、显示器和层压件中,例如用于汽车玻璃侧灯的玻璃-中间层-玻璃层压件。可制备更强和更薄的层压件,这得到重量和成本节省以及增加燃油效率。理想地,热强化的薄片材可进行冷弯和层压成形成的较厚玻璃,这提供容易和可靠的制造方法,其无需薄片材的热成形。

[0105] 工艺

[0106] 在一方面中,强化玻璃片材的总体工艺包括至少部分地通过递送到在第一表面和第一散热器之间的间隙的气体的流动或压力,在第一表面上支撑或引导具有转变温度的玻璃片材的至少一部分,片材温度在玻璃转变温度以上,且随后比通过对流更多地通过热传导来冷却玻璃片材。传导是一种传热过程,其中通过相邻分子之间的相互作用来传输能量,而对流是一种传热过程,其中通过流体(例如空气、氦气等)的移动来交流能量,例如其中加热的流体移动远离热源,且用冷却器流体替代。在至少一些实施方式中,术语“玻璃陶瓷”或“陶瓷”可取代和/或等同地适用于使用术语“玻璃”的地方。

[0107] 在一些实施方式中,强化玻璃片材的总体工艺包括在热区中加热玻璃片材,然后冷却玻璃片材。玻璃片材具有转变温度,其出现时玻璃粘度数值η=10^{12}-$10^{13.3}$泊。充分加热玻璃,使玻璃片材在转变温度以上。任选地,玻璃可通过转变区,从热区转变到冷却区。玻璃片材表面设置成邻近散热器,每一玻璃表面上一个,且在玻璃表面和散热器之间存在间隙。通过散热器中的多个孔,将气体递送到间隙。玻璃片材比通过对流更多地通过传导来进行冷却,其足以固定或构建热诱导表面压缩和热诱导片材中心张力。

[0108] 用于实现本文所述的方法的设备可包括用于将玻璃片材加热到转变温度以上温度的加热区,以及用于对加热的玻璃片材进行冷却的冷却区,从而提供强化玻璃片材。在加热区和冷却区之间,设备可包括任选的转变区。冷却区可包括一对气体轴承,其设置在间隙的相对侧面上,其可构造成将气体递送到间隙,从而比通过对流更多地通过传导来冷却加热的玻璃片材。在一些实施方式中,气体轴承可包括多个开口,用于将气体递送到间隙,以及气体轴承表面,其提供能比通过对流更多地通过传导远离加热的玻璃片材传导热量的散热器。

[0109] 根据本公开的方法的一种实施方式参见图11所示的流程图。所述方法或过程100包括至少部分地通过气体(通过气体流动和压力,与在一些对流气体强化过程中类似)来支撑玻璃片材的步骤160。可将片材加热到其玻璃转变温度以上,同时通过下述来冷却片材:1)比通过对流更多地通过传导通过气体到散热器,和2)在环境温度下充分地构建或固定片材的热诱导表面压缩应力和热诱导中心拉伸应力。

[0110] 根据图11所示实施方式的一种变体,在图12的流程图中描述为方法100',所述方法可包括充分加热玻璃片材的步骤110,从而片材在玻璃的转变温度以上。在步骤130A中,所述方法还包括越过第一间隙设置朝向第一散热器表面的第一片材表面,以及在步骤130B中,越过第二间隙设置朝向第二散热器表面的第二片材表面,即第二散热器表面。散热器表面可包括开口和/或可为多孔的。所述方法100还可包括,在步骤160中,比通过对流更多地通过传导通过到各散热器表面的气体来冷却片材,充分地强化玻璃,即在片材中充分地构建或固定热诱导表面压缩应力和热诱导中心拉伸应力。冷却片材的步骤160还可包括通过开口或多孔散热器,将气体递送到第一间隙和第二间隙。在一些实施方式中,气体只通过散热器的开口来递送,或者只通过多孔的散热器的孔或开口来递送。

[0111] 通过使用传导作为主要冷却模式而不是对流,本公开的这些和其它相关方法与目前主导的气体对流冷却技术相反。与固体和气体(玻璃和空气)热交换相反,本文所述的方法包括固体和固体(玻璃和散热器)热交换,其越过小间隙通过少量的气体来介导,以开始和结束形成热强化的冷却。虽然一些对流存在作为流入小间隙的介导气体,加热并离开,但越过间隙通过气体和进入散热器的直接地传导是主要冷却模式。不同于如上所述的固体和液体冷却方法,传导通过气体阻挡层来介导。使用气体作为中间层导体,没有通过液体或固体物质接触片材,可通过避免除了气体以外的接触,来保留加工的制品的表面质量。这可避免在液体和固体冷却中观察到的引入不想要玻璃表面的变形,强化中的空间变化和污染。本文所述的实施方式提供独特的、非接触式、传导淬冷,其实现非常高的冷却速率,其之前在热钢化领域是不能获得的。

[0112] 因为传导,最终固体和固体的传导,获得比对流更快速的热流,对于更薄的玻璃片所需的增加的冷却速率与气体速度和气体体积无关。相反,根据本公开的方法和设备的各

种实施方式和变体，可优化气体流动和间隙尺寸以用于其它目的，例如用于间隙中气体缓冲的刚度，支撑或平坦化和/或以其它方式成形片材，优化热传导，或简单地在热强化中保持片材平坦度和/或形状，以及例如平衡使用高冷却速率的片材处理的方便。例如，在低流量下，氦气变成经济上有竞争力的替代，且提供约为空气的5倍的热导率。

[0113] 减少在冷却过程中流过玻璃片材的空气的体积减少了通过高速、高体积空气流动对热薄片材的变形的潜在风险，其本来需要用来强化薄片材，且允许在没有或有极少变形的情况下来处理更软、更高温度的片材，这进一步改善可获得的强化程度。消除高空气流动速率也简化了有时在将片材传输进入淬冷腔室(逆着高空气流动的移动)以及在阻止高流动冷却器空气进入和冷却用来加热片材的炉子的更近的零件时观察到的一些问题。

[0114] 避免高空气流动速率的另一优势在于通过使用低气体流动和固体气体固体传导所获得的功率和能量节省。图13A和图13B的点A和点B表示通过在较高流动下的压缩气体供应所用峰值功率/平方米玻璃片材的高端估算。可行的所用压缩空气低端峰值功率可低至所示数值的1/16。点A和点B不包括散热器的主动冷却，但是在一些实施方式中，可包括主动冷却，特别是其中机器连续地、准连续的或高频率地操作时。

[0115] 再次参考图13A和13B，点A'和点B'表示用于在点A和点B处的操作的谨慎估算的峰值功率水平，当散热器表面的主动冷却也考虑在内时，假定通过主动冷却系统实现玻璃片材温度的300℃的热负载当量下降，该主动冷却系统具有7.5-1的热-到-机械(或电气)效率比例，在用于点A'的2.1秒的时间限制之内和用于点B'的1秒之内。(这些点大致对应于在本文所述的实验设备中实际钢化的玻璃片材。)尽管在图13A和13B中的区域R之内的4个点在一定程度上显示了通过本公开的方法和设备可获得的改善的显著性，但应理解在附图中能显著地理解全部益处，因为定量地显示了功率需求。例如，空气鼓风机的峰值功率(如通过曲线N所示)不能有效地打开和关闭，通常需要门空气道来阻断大风扇，当无需空气时，其仍然旋转(但在降低的负载下)。根据本公开容易获得的通过点A'和点B'作为示例表示的流体冷却系统例如冷水装置的峰值功率需求通常可更有效地容纳，且有效的峰值功率将显著更低，只有接近完全连续操作时才接近点A'和点B'。因此，总能量需求的不同将趋于比用于峰值功率需求的差异更大，其在附图中显示。在一些实施方式中，本文所述的方法具有下述峰值功率：小于120KW/m^2，小于100KW/m^2，小于80KW/m^2，从而热强化2mm厚度或更小的玻璃片材。

[0116] 在使用本文所述的设备的过程中实施的条件下的传导的量可通过下述来测定。首先，如在本公开中，在通过传导的热强化的环境中，必须沿着传导方向评估气体的热导率，其沿着热斜率。在或靠近待(或正在)冷却的片材表面的高温下的空气具有比在更低温度下的空气显著更高的热导率，例如在或接近室温下的空气((干燥)室温空气(25℃)的标称热导率是约0.026W/m·K)，其在或接近散热器表面。一种近似假定在使用的开始冷却时，在整个间隙上的空气在两面对着的表面的平均温度下。例如，玻璃片材可为在670℃的温度下，而例如散热器表面可起始于30℃。因此，间隙中空气的平均温度将为350℃，在该温度下干燥气体的热导率是约0.047W/m·K;比其在室温下的热导率更高大于75％，其足够高来通过如下所述的实际尺寸的间隙传导大量的热能。

[0117] 为了阐述，通过间隙距离g的传热速率的传导分量$Q_{传导}$可通过下式来表示，间隙距离g具有面积A_g(沿着垂直于间隙距离g方向的任何地方的方向)：

[0118] $$Q_{传导} = \frac{A_g k(T_S - T_{HS})}{g} \qquad (13)$$

[0119] 其中k是沿着热传导的方向(或相反的方向)评估的间隙中材料(气体)的热导率，T_S是玻璃表面的温度，且T_{HS}是散热器表面的温度(或热源表面，用于其它实施方式)。如上所述，为了严格地评估k需要对气体的热导率进行积分，沿着(或逆着)传导热流动的方向，因为气体的热导率随着温度变化，但为了良好近似，可将k看作当气体在两表面温度T_S和T_{HS}的平均值时用于间隙中气体的k数值。

[0120] 以传热系数的单位重新构造公式(13)(热流动功率/平方米/开尔文度的单位)得到：

[0121] $$\frac{Q_{传导}}{A_g(T_S - T_{HS})} = \frac{k}{g} \qquad (14)$$

[0122] 因此，用于越过间隙的有效传热系数是间隙中介质的热导率(在这种情况下，空气)(单位为W/mK)除以间隙长度(单位为米)，得到瓦特/平方米/温差度的数值。

[0123] 表IV显示用于空气和氦气填充的间隙的仅因传导造成的传热系数(k/g)，从10微米至最高达200微米，分别以10微米的步进。图14(现有技术)显示来自约35年之前的工业标准曲线(添加了在2mm处的参比线)，这显示在某些假定的条件下，完全钢化玻璃片材所需的传热系数，作为单位为mm的厚度的函数。从表IV与图14的比较可知，约40微米的空气-填充间隙可允许通过传导完全钢化2mm厚玻璃。使用氦气(或氢气，具有相似热导率)作为气体，可使用约200微米的间隙来完全钢化2mm厚玻璃。

[0124] 表IV

[0125]

空气			氮气		
热导率	(W/m/K)	0.047	热导率	(W/m/K)	0.253
间隙(m)	传热系数		间隙(m)	传热系数	
	$W/m^2/K$	$cal/s/cm^2$		$W/m^2/K$	$cal/s/cm^2$
0.00001	4700	0.11226	0.00001	25300	0.604291
0.00002	2350	0.05613	0.00002	12650	0.302145
0.00003	1566.67	0.03742	0.00003	8433.33	0.20143
0.00004	1175	0.028065	0.00004	6325	0.151073
0.00005	940	0.022452	0.00005	5060	0.120858
0.00006	783.333	0.01871	0.00006	4216.67	0.100715
0.00007	671.429	0.016037	0.00007	3614.29	0.086327
0.00008	587.5	0.014032	0.00008	3162.5	0.075536
0.00009	522.222	0.012473	0.00009	2811.11	0.067143
0.0001	470	0.011226	0.0001	2530	0.060429
0.00011	427.273	0.010205	0.00011	2300	0.054936
0.00012	391.667	0.009355	0.00012	2108.33	0.050358
0.00013	361.538	0.008635	0.00013	1946.15	0.046484
0.00014	335.714	0.008019	0.00014	1807.14	0.043164
0.00015	313.333	0.007484	0.00015	1686.67	0.040286
0.00016	293.75	0.007016	0.00016	1581.25	0.037768
0.00017	276.471	0.006604	0.00017	1488.24	0.035547
0.00018	261.111	0.006237	0.00018	1405.56	0.033572
0.00019	247.368	0.005908	0.00019	1331.58	0.031805
0.0002	235	0.005613	0.0002	1265	0.030215

[0126] 对于相同的传热系数，使用氦气或氢气作为气体实现更大约5倍的间隙尺寸。换句话说，在相同间隙尺寸下，使用氦气或氢气作为间隙中的气体增加可用于淬冷的传热系数，且增加约5倍。

[0127] 除了比通过对流更多地通过传导通过气体进行冷却以外，另一种实施方式包括比通过对流更多地通过传导通过气体加热(加热和/或冷却)。不管是对于加热还是冷却，关于传导和对流的相对贡献，越过间隙(或多个间隙)的传热速率的对流$Q_{对流}$分量可通过下式来表示：

[0128] $$Q_{对流} = e\dot{m}C_p\left(\frac{T_S + T_{HS}}{2} - T_i\right) \qquad (15)$$

[0129] 其中 $\dot{m}$ 是气体的质量流量，Cp是气体的比热容，T_i是气体流入间隙时的进口温

度，且e是间隙中的气体流动和片材表面以及散热器/热源的表面(间隙的“壁”)之间的热交换效率。e的数值从0(表示不存在表面和气体热交换)变化到1(表示气体完全到达表面温度)。e的数值可通过传热领域的技术人员来计算，使用例如e-NTU方法。

[0130] 但是，典型地如果片材表面和散热器/热源表面之间的间隙较小，e的数值将非常接近1，这意味着气体几乎完全加热-从而平均地等于每一侧面上的两表面温度的平均-在气体离开间隙之前。假定e＝1(略微高估了对流传热速率)，且通过散热器/热源的表面将气体供应到间隙，可假定间隙中的气体的初始温度与散热器/热源的表面的温度相同($T_i = T_{HS}$)。然后，因对流造成的传热速率可简化成：

[0131] $$Q_{对流} = \dot{m}C_p\left(\frac{T_S - T_{HS}}{2}\right) \qquad (16)$$

[0132] 为了在间隙区域中主要通过传导来冷却片材(或加热，假设加热时来自热源的辐射的量不过高)，需要：

[0133] $Q_{传导} > Q_{对流}$ (17)

[0134] 组合(17)与公式(13)和(16)得到下述条件：

[0135] $$\frac{k}{g} > \frac{\dot{m}C_p}{2A_g} \qquad (18)$$

[0136] 该公式在成立时，将基本上确保在讨论的间隙的区域中，主要通过传导来冷却(或加热)片材。因此，气体的质量流量$\dot{m}$应小于$2kA_g/gC_p$，或$2k/gC_p$/平方米间隙面积。在一些实施方式中，$\dot{m} < B \cdot (2kA_g/gC_p)$，其中B是对流冷却和传导冷却的比例。如本文所使用，B是小于1且大于0的正的常数。对流冷却和传导冷却的这个比例可为数值从小于1到$1x10^{-8}$的任意数值。在一些实施方式中，B小于0.9，0.8，0.7，0.6，0.5，0.4，0.1，$5x10^{-2}$，$1x10^{-2}$，$5x10^{-3}$，$1x10^{-3}$，$5x10^{-4}$，$1x10^{-4}$，$5x10^{-5}$，$1x10^{-5}$，$5x10^{-6}$，$1x10^{-6}$，$5x10^{-7}$，$1x10^{-7}$，$5x10^{-8}$，或$1x10^{-8}$。在一些实施方式中，最小化$\dot{m}$，这与使用气体流动来相对于散热器表面支撑和控制片材位置的需要相一致。在其它实施方式中，应选定m来控制相对于片材的热交换表面自身的位置。

[0137] 比通过对流更多地通过传导来冷却的玻璃片材的图解横截面参见图15。热玻璃片材200具有其第一和第二(主要)表面200a，200b，其分别越过各间隙204a和204b面向各第一和第二散热器201a，202a的各第一和第二表面201b，202b。通过第一和第二表面201b，202b添加气体230(如通过箭头所示)供应间隙204a，204b，和辅助将玻璃片材居中或以其它方式设置在散热器201a，202a之间。空气或其它气体可离开，通过散热器201a，202a的边缘，如通过箭头240所示。通过根据之前的段落和其它上文的描述来选择间隙204a，204b的尺寸以及气体和气体230的流量，可比通过对流更多地通过传导来冷却玻璃片材200。

[0138] 在一些实施方式中，间隙204a，204b构造成具有越过间隙的厚度或距离，从而比通过对流更多地通过传导来冷却玻璃片材。在一些实施方式中，间隙204a和204b可具有约100微米或更大的厚度(例如，约100微米-约200微米，约100微米-约190微米，约100微米-约180微米，约100微米-约170微米，约100微米-约160微米，约100微米-约150微米，约110微米-约200微米，约120微米-约200微米，约130微米-约200微米，或约140微米-约200微米)。在其它

实施方式中,间隙204a和204b可具有约100微米或更小的厚度(例如,约10微米-约100微米,约20微米-约100微米,约30微米-约100微米,约40微米-约100微米,约10微米-约90微米,约10微米-约80微米,约10微米-约70微米,约10微米-约60微米,或约10微米-约50微米)。

[0139] 散热器201a,202a可包括实心(solid)构造或多孔构造。合适的材料包括但不限于铝、青铜(bronze)、碳或石墨、不锈钢等。散热器尺寸可设计来充分地解决玻璃片材的尺寸,且高效地和有效地传热,且不显著改变散热器温度。在其中散热器201a和/或202a是多孔的情况下,它们仍然可包括用于流动气体的额外的开口或孔,或可使用多孔的结构来提供流动,或两者兼备。在一些实施方式中,散热器还包括通道,其允许流体流动来控制散热器的温度,如图17A-17C和下文所更加详细描述。

[0140] 无需现有技术的高气体流动速率可实现在散热器面中使用非常小的开口或空,以在间隙之内提供气体。在一些实施方式中,开口可小于2mm,小于1.5mm,小于1mm,小于0.5mm,小于0.25mm,或小于或等于200,150,100,50,30,20,或10微米,当沿着最小方向(例如,直径)测量时。在一些实施方式中,开口是约10微米-约1mm,约20微米-约1mm,或约50微米-约1mm。开口间隔可为约10微米-约3mm,约20微米-约2mm,或约50微米-约1mm,测量的开口的边缘-到-边缘。小的开口或孔可用作单独的流动限制器,提供高性能的气体轴承类型动力学,例如片材支撑的高水平的刚度以及一致性,以设置片材和控制间隙尺寸,这获得高均匀性的热强化效果以避免或减少应力双折射。此外,因为可使用非常小的孔或开口,可最大化越过间隙朝向片材表面的散热器表面处的固体物质的相对量,由此增加传导热流。根据一种实施方式,使用这种开口作为将气体提供到间隙的唯一路径,且构造开口来处于靠近垂直于散热器表面的方向可优化气体轴承类动力学,因为来自开口的流动可不受来自例如其它更大开口的、来自除了通过邻近片材的散热器表面以外的来源的气体流动损坏,也不受其它横向流动损坏。

[0141] 图16和图17A-17C显示根据本公开的设备300的一种示例性实施方式。图16显示设备300的示意性横截面图,其中可通过进入传导散热器的气体来冷却玻璃片材。设备包括热区310,冷区330,和转变气体轴承320,通过转变气体轴承320,玻璃制品可从热区310移动到冷区330,从而玻璃和轴承之间无接触或基本上无接触。热区310具有分别从热区充气室318添加的气体轴承312,轴承312具有通过轴承312插入孔的卡盘加热器314,其用于将热区气体轴承312加热到最高达所需的起始加工温度。将玻璃片材(热区)400a保持在热区气体轴承312之间,保持长到足以使其具有所需预冷却温度的持续时间。

[0142] 在一些实施方式中,在热区中加热片材可主要通过通过薄气体阻挡层的来自散热器的热量传导来进行。热区中所用的传导加热可类似于下述但与下述相反-即,将热量挤压进入玻璃片材-如上所述的冷却过程。

[0143] 在一些实施方式中,热区气体轴承312和玻璃片材400a之间的间隙316可较大,为0.05″(1.27mm)-0.125”(3.175mm)或更大的量级,因为玻璃片材400a可相对缓慢地加热,且从热气体轴承312进入玻璃片材400a的热辐射足以用于此目的。在其它实施方式中,热区间隙数值可小至150微米/侧面或500微米/侧面。更小间隙可为优选的,因为它们能使得轴承具有更好的“刚度”-即,使玻璃居中的能力,因此当玻璃处于其软化状态时平坦化玻璃。在一些实施方式中,工艺可在初始加热步骤中再成形玻璃片-平坦化它们。在一些实施方式中,顶部和底部热区轴承可在致动器上,这允许以连续方式改变间隙宽度,或者这允许使玻

璃在间隙较大时进入热区，然后当玻璃仍然较软时，压缩间隙来平坦化玻璃。

[0144] 加工温度取决于多种因素，包括玻璃组合物、玻璃厚度、玻璃性质(CTE等)以及所需水平的强化。通常，起始加工温度可为玻璃化转变温度和Littleton软化点之间的任意数值，或在一些实施方式中，甚至更高。例如，对于SLG，加工温度可为约640-约730℃或约690-约730℃。在一些实施方式中，加工温度可为约620-约800℃，约640-约770℃，约660-约750℃，约680-约750℃，约690-约740℃，或约690-约730℃。

[0145] 将玻璃片材400a加热到其所需的起始加工温度，且随后可使用任意合适的方式将其从热区310移动到冷区330。在一些实施方式中，将玻璃片材400a从热区310移动到冷区330可通过下述来实现：例如(1)倾斜整个组装件，从而作用于玻璃片材上的重力迫使玻璃片材移动到冷区，(2)阻断来自热区310的最左边出口的气体流动(在该实施方式中，密封侧面)，由此迫使从所有气体轴承散出的气体从冷区的最右端出口排出，这导致在玻璃片材400a上施加流体力，且使玻璃片材移动到冷区330，或(3)通过(1)和(2)的组合)。转变气体轴承320可通过转变轴承充气室328来供应气体。转变气体轴承320表面之后的固体材料厚度可较薄和/或具有较低热质量和/或较低热导率，这实现减少的从热区310到冷区330的热传导，其通过独立的充气室338来添加。转变气体轴承320可用作两个区310和330之间的热间断或转变，且可用作从热区的较大间隙316到达冷区330的较小间隙336的转变。一旦玻璃片材(冷区)400b移动进入冷区330和进入通道330a，通过机械障碍(未显示)，使玻璃片材停止从右侧出口排出。一旦玻璃片材400b充分冷却，其中心经历玻璃转变(在这种情况下，例如1mm厚SLG，到低于约490℃，对应于在本实施例中在表面处的约325℃)，可除去障碍门，且可从设备300除去玻璃片材400b。如有需要，可将玻璃片材400b留在冷区330中，直到接近室温，然后取出。

[0146] 在图16所示的实施方式中，冷区330包括通道330a，其用于通过开孔330b接收玻璃片材400b(其在热区中加热到在玻璃片材的玻璃化转变温度以上的温度)，传送玻璃片材400b，以及在冷区中冷却玻璃片材400b。在一种或多种实施方式中，通道330a包括传送系统，其可包括气体轴承、辊轮、传送带或其它装置来物理地传输玻璃片材通过冷区。因为冷却主要在固体和固体之间进行，可需要解决在对流主导的冷却中不存在的问题。例如，为了钢化较大的薄片材，可将片材(1)快速引入冷区，任选的以高于对流基淬冷中常用那些速度的速度，或者(2)以准连续模式操作该工艺，其中以连续流的方式一个接一个地加热和冷却多个片材，在它们之间存在较少空间，且其中主动冷却散热器，从而散热器达到热平衡，从而大片材的前端和后端边缘具有相似的热历史。

[0147] 在一些实施方式中，冷区330包括邻近通道330a设置的一个或多个散热器331。当利用两个散热器时，可在通道330a的相对侧面上设置散热器，其越过通道间隙330a彼此面对。在一些实施方式中，散热器包括多个开口331a，其形成气体轴承332的一部分，且冷区330的冷气体轴承332的表面用作两个散热器表面。在一些实施方式中，散热器和/或其表面可分节。如上所述，在一些实施方式中，散热器可为多孔的。在其它实施方式中，散热器可为多孔的，且开口是多孔散热器的孔。多个开口332b、气体来源和通道间隙330a可处于流体连通状态。在一些实施方式中，气体流经开口331a，从而在通道间隙330a中形成气体缓冲。一些实施方式的气体缓冲阻止玻璃片材400b接触散热器331表面。气体还用作用来比通过对流更多地通过传导来冷却玻璃片材400b的气体。在一些实施方式中，流经开口的气体冷却

散热器。在一些实施方式中,流经开口的气体同时比通过对流更多地通过传导来越过进入散热器的间隙冷却玻璃,且冷却散热器331。在一些情况下,可使用独立的气体或流体来冷却散热器331。例如,散热器331可包括通路334,用于使冷却流体从那里流过以冷却散热器331,如相对于图17A更详细地描述。通路334可为封闭的。

[0148] 当使用两个散热器时(即,第一散热器和第二散热器),可使用一个或多个气体来源来将气体提供到通道间隙330a。气体来源彼此可包括相同气体或不同气体。因此,通道间隙330a可包括一种气体或来自不同气体来源或相同气体来源的气体混合物。示例性气体包括空气、氮气、二氧化碳、氦气或其它稀有气体、氢气以及它们的各种组合。当气体进入通道330a且就在气体开始传导地冷却玻璃片材400b之前,可通过气体的热导率来描述气体。在一些情况下,气体可具有下述热导率:约0.02W/(m·K)或更大,约0.025W/(m·K)或更大,约0.03W/(m·K)或更大,约0.035W/(m·K)或更大,约0.04W/(m·K)或更大,约0.045W/(m·K)或更大,约0.05W/(m·K)或更大,约0.06W/(m·K)或更大,约0.07W/(m·K)或更大,约0.08W/(m·K)或更大,约0.09W/(m·K)或更大,约0.1W/(m·K)或更大,约0.15W/(m·K)或更大,或约0.2W/(m·K)或更大)。

[0149] 所述方法获得高传热速率。使用空气作为气体时,仅通过传导可获得高达350,450,550,650,750,1000,和1200kW/m^2或更高的传热速率。使用氦气或氢气时,可获得5000kW/m^2或更高的传热速率。

[0150] 一个或多个实施方式的散热器331可为固定的,或可为可移动的,从而改变通道间隙330a的厚度。玻璃片材400b的厚度可为约0.4倍厚度-约0.6倍通道间隙300a的厚度,其定义为散热器331的相向表面之间的距离。在一些情况下,通道间隙构造成具有足够厚度,从而比通过对流更多地通过传导来冷却加热的玻璃片材。在一些实施方式中,通道间隙可具有厚度,从而当玻璃片材400b传送通过通道时,玻璃片材和散热器表面(间隙)之间的距离是约100微米或更大(例如,约100微米-约200微米,约100微米-约190微米,约100微米-约180微米,约100微米-约170微米,约100微米-约160微米,约100微米-约150微米,约110微米-约200微米,约120微米-约200微米,约130微米-约200微米,或约140微米-约200微米)。在一些实施方式中,通道间隙可具有厚度,从而当玻璃片材400b传送通过通道时,玻璃片材和散热器表面(间隙或多个间隙336)之间的距离是约100微米或更小(例如,约10微米-约100微米,约20微米-约100微米,约30微米-约100微米,约40微米-约100微米,约10微米-约90微米,约10微米-约80微米,约10微米-约70微米,约10微米-约60微米,或约10微米-约50微米)。通道间隙330a的总厚度取决于玻璃片材400b的厚度,但通常可表征为2倍的散热器表面和玻璃片材之间的距离加上玻璃片材厚度。在一些实施方式中,玻璃片材和散热器之间的距离或间隙336可不相等。在这种实施方式中,通道间隙330a的总厚度可表征为玻璃片材和每一散热器表面之间的距离以及玻璃片材厚度之和。

[0151] 在一些情况下,通道间隙的总厚度可为小于约2500微米(例如,约120微米-约2500微米,约150微米-约2500微米,约200微米-约2500微米,约300微米-约2500微米,约400微米-约2500微米,约500微米-约2500微米,约600微米-约2500微米,约700微米-约2500微米,约800微米-约2500微米,约900微米-约2500微米,约1000微米-约2500微米,约120微米-约2250微米,约120微米-约2000微米,约120微米-约1800微米,约120微米-约1600微米,约120微米-约1500微米,约120微米-约1400微米,约120微米-约1300微米,约120微米-约1200微

米,或约120微米-约1000微米)。在一些情况下,通道间隙的总厚度可为约2500微米或更大(例如,约2500微米-约10,000微米,约2500微米-约9,000微米,约2500微米-约8,000微米,约2500微米-约7,000微米,约2500微米-约6,000微米,约2500微米-约5,000微米,约2500微米-约4,000微米,约2750微米-约10,000微米,约3000微米-约10,000微米,约3500微米-约10,000微米,约4000微米-约10,000微米,约4500微米-约10,000微米,或约5000微米-约10,000微米)。

[0152] 可将散热器331中的开口331a设置成垂直于散热器表面,或者可设置成与垂直于散热器表面具有20度或更小(例如,约15度或更小,约10度或更小或约5度或更小)的角度。

[0153] 在一些实施方式中,散热器(冷轴承332)表面之后的材料可为具有高传热速率的任意合适材料,包括金属例如不锈钢、铜、铝、陶瓷、碳等。如图所示,与转变轴承320表面后面的材料相比,这种材料可为较厚的,从而散热器可容易地接受较大量的热能。图17A是类似于图16的设备的剖开横截面,但从右到左倒转,且额外包括靠近设备300冷区330的装载/卸载区340,其包括上面设置有玻璃片材400c的装载/卸载气体轴承342。此外,在所有的热区、转变轴承区和冷区310,320,和330,图17A的设备分别使用紧密通道间隙(没有在图中显示)。

[0154] 图17A中的插图显示冷区气体轴承332a的替代实施方式,其中通过气体轴承加料孔333之间的冷却剂通道334主动冷却气体轴承322a,其中加料孔向轴承322a表面中的开口进行加料。冷却通道334在组装在一起来形成散热器332a的散热器片段333b以及面向玻璃片材400b的它们的表面之间限定。冷却通道334可设置成非常靠近气体轴承332的固体材料中散热器331表面,且在散热器/气体轴承表面和冷却剂通道334的最靠近表面边缘之间的固体轴承材料区域具有与冷却剂通道334的最靠近表面边缘相同的宽度。因此,在一些实施方式中,在冷却剂通道334和面向玻璃400b表面之间的散热器331/气体轴承332a的固体材料中不存在横截面减小的区域。这与典型的对流气体冷却设备不同,因为高气体流量使得需要在气体喷嘴阵列的中间提供显著的空间,用于气体流动逃逸。当使用主动冷却时,通常需要在气体喷嘴设计的固体材料中具有减小的横截面的区域,相对于最靠近玻璃表面的固体材料。减小的横截面区域通常设置在主动冷却流体和处理中的玻璃片材之间,从而提供高体积路径,用于从片材返回大体积的加热的气体。

[0155] 图17B显示冷区气体轴承332b的另一种替代实施方式,其类似于图17A中的插图。在该实施方式中,在气体轴承加料元件335之间形成冷却剂通道334,其包括气体轴承加料孔333,和气体轴承面元件337a,其提供面向气体轴承332b表面的玻璃片材400b。图17C显示另一替代冷区气体轴承332c,其是类似于图17B的实施方式的结构,但在轴承板元件337b之间具有多孔元件339,所述多孔元件339形成面向玻璃片材400b的表面。

[0156] 本文所述的方法和设备可通常与几乎任何玻璃组合物一起使用,且有些实施方式可与玻璃层压件、玻璃陶瓷和/或陶瓷一起使用。在一些实施方式中,所述方法可与具有高CTE的玻璃组合物一起使用。在一些实施方式中,所用玻璃包括碱性铝硅酸盐玻璃,例如Corning's® Gorilla®玻璃,SLG,不含钠钙或不含碱性的玻璃等。在一些实施方式中,所用的玻璃具有下述CTE:大于约40x10^{-7}/℃,大于约50x10^{-7}/℃,大于约60x10^{-7}/℃,大于约70x10^{-7}/℃,大于约80x10^{-7}/℃,或大于约90x10^{-7}/℃

[0157] 本文所述的方法和设备可通常与任意厚度的玻璃一起使用。在一些实施方式中,

使用厚度为3mm或更小的玻璃片材。在一些实施方式中,玻璃厚度是约8mm或更小,约6mm或更小,约3mm或更小,约2.5mm或更小,约2mm或更小,约1.8mm或更小,约1.6mm或更小,约1.4mm或更小,约1.2mm或更小,约1mm或更小,约0.8mm或更小,约0.7mm或更小,约0.6mm或更小,约0.5mm或更小,约0.4mm或更小,约0.3mm或更小,或约0.28或更小。在一些实施方式中,玻璃是柔性玻璃片材。在其它实施方式中,玻璃包括两块或多块玻璃片材的层压件。

[0158] 来自本文所述的方法的玻璃的压缩应力作为玻璃厚度的函数而变化。在一些实施方式中,具有3mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少80MPa,例如至少100MPa,例如至少150MPa,例如至少200MPa,例如至少250MPa,例如至少300MPa,例如至少350MPa,例如至少400MPa,和/或不大于1GPa。在设想的实施方式中,具有2mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少80MPa,例如至少100MPa,例如至少150MPa,例如至少175MPa,例如至少200MPa,例如至少250MPa,例如至少300MPa,例如至少350MPa,例如至少400MPa,和/或不大于1GPa。在设想的实施方式中,具有1.5mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少80MPa,例如至少100MPa,例如至少150MPa,例如至少175MPa,例如至少200MPa,例如至少250MPa,例如至少300MPa,例如至少350MPa,和/或不大于1GPa。在设想的实施方式中,具有1mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少80MPa,例如至少100MPa,至少150MPa,例如至少175MPa,例如至少200MPa,例如至少250MPa,例如至少300MPa,和/或不大于1GPa。在设想的实施方式中,具有0.5mm或更小厚度的玻璃具有下述压缩应力:至少50MPa,例如至少80MPa,例如至少100MPa,例如至少150MPa,例如至少175MPa,例如至少200MPa,例如至少250MPa,和/或不大于1GPa。

[0159] 经历本文所述的方法的玻璃片材可通过经历离子交换来进一步增强提高它们的强度来进行进一步加工。对如本文所述热强化的玻璃进行离子交换可使如上所述的压缩应力增加至少20MPa,例如至少50MPa,例如至少70MPa,例如至少80MPa,例如至少100MPa,例如至少150MPa,例如至少200MPa,例如至少300MPa,例如至少400MPa,例如至少500MPa,例如至少600MPa和/或不大于1GPa,在一些这种设想的实施方式中。

[0160] 除了热强化薄玻璃片材以外,本文所述的方法和设备也可用于额外的过程。虽然特别需要冷却,但设备和方法可良好地等同地用于通过传导方法将热量转移进入玻璃片材。这种工艺或方法示于图18的流程图中。这里显示的方法700包括两个主要步骤。第一步即步骤710涉及简单地提供具有表面的制品。第二部即步骤720涉及加热或冷却制品表面的一部分,最多达且包括制品的整体表面。如在子部分720a中所示,通过气体比通过对流更多地通过传导来实施步骤720,所述气体来自热源或散热器源或者到达热源或散热器源,且在子部分720b中充分地实施以完成制品或制品表面一部分的热调整,以及在至少450kW/m^2子部分720b中部分面积的高传热速率下进行步骤720的冷却/加热的传导。

[0161] 例如,可通过下述来热调整制品,即,加热或冷却:冷却或加热制品表面的一部分最多达且包括制品的整体表面,所述部分具有面积,比通过对流更多地通过传导,所述传导通过气体来介导,所述气体到达散热器或热源或者来自散热器或热源,且不通过固体和固体接触,其足以完成制品或制品表面一部分的热调整,且在加热或冷却的至少一些时间中以下述速率进行传导:至少450,550,650,750,800,900,1000,1100,1200,1500,2000,3000,4000或甚至5000或更多kW/平方米。

[0162] 除了钢化以外,高的热功率转移速率使得能用于所有种类的热加工,包括在玻璃

钢化、边缘强化过程中加热和冷却，陶瓷、玻璃或其它材料的烧制或烧结等。此外，因为主要通过传导来提取热量或递送热量，对处理的制品中的热历史和热分布提供严格的控制，同时保留表面光滑度和质量。因此，能通过改变间隙、改变散热器/热源材料，改变散热器/热源温度、改变气体混合物，使用本公开的设备和方法来主动地改变来自强化过程的应力分布，同时沿着厚度方向和沿着片材所处的平面的方向。

实施例

[0163] 设备设置-如上所述，设备包括3个区-热区、转变区和淬冷区。将热区和淬冷区中顶部和底部热轴承(散热器)之间的间隙设定到所需间隔。设定热区、转变区和淬冷区中的气体流量，从而确保零件在空气轴承上的居中。将热区预热到所需T_0，玻璃制品将后续地从该温度进行淬冷。为了确保均匀地加热，在独立的预热设备中预热玻璃制品，例如间歇或连续炉子。通常，将玻璃片材预热大于5分子，然后在热区中装载。对于钠钙玻璃，在约450℃下进行预热。在预热阶段之后，将玻璃制品装载进入热区，并使其平衡，其中平衡是玻璃均匀地处于T_0下。T_0可通过所需的钢化来测定，但其通常保持在软化点和玻璃化转变温度之间的范围。平衡的时间至少取决于玻璃厚度。例如，对于约1.1mm或更小的玻璃片材，平衡可在约10秒中内进行。对于3mm玻璃片材，平衡可在约10秒30秒中进行。对于更厚的片材(最高达约6mm)，平衡时间可在60秒的量级(对于约6mm厚的制品)。一旦玻璃平衡到T_0，其快速在空气轴承上转移通过转变区，并进入淬冷区。玻璃制品在淬冷区中快速淬冷到低于玻璃化转变温度Tg的温度。玻璃片材可在淬冷区中保持从1秒，10秒或到几分钟或更大任意时间段，这取决于所需的淬冷程度和/或所需的取出时的玻璃温度。在取出时，任选的使玻璃冷却，然后进行加工。

[0164] 下面的实施例总结于表V。

[0165] 实施例1-将5.7mm厚度的钠钙硅酸盐玻璃板在450℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在690℃的T_0下保持60秒。在平衡到T_0之后，快速地转移到淬冷区，其具有91微米(其中间隙是玻璃片材表面和最近的散热器之间的距离)的间隙，其保持10秒。所得制品具有-312MPa的表面压缩，127MPa的中心张力，以及83μm的平坦度。

[0166] 实施例2-将5.7mm厚度的钠钙硅酸盐玻璃板在450℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在690℃的T_0下保持60秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有91微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒。所得制品具有-317MPa的表面压缩，133MPa的中心张力，以及90μm的平坦度。

[0167] 实施例3-将1.1mm厚度的钠钙硅酸盐玻璃板在450℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在700℃的T_0下保持10秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有56微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒。所得制品具有测定为661℃的表面假想温度，-176MPa的表面压缩，89MPa的中心张力，190μm的平坦度，以及10-20N的维氏裂纹引发阈值。

[0168] 实施例4-将0.55mm厚度的钠钙硅酸盐玻璃板在450℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在720℃的T_0下保持10秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有25微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒，这得到0.184cal/(cm^2-s-℃)的有效传热速率。所得制品具有-176MPa的表面压缩，63MPa的中心张力，以及125μm的平坦度。

[0169] 实施例5-将1.5mm厚度的Corning® Gorilla®玻璃板在550℃下预热10分钟，然

后转移到热区，其中玻璃板在790℃的T_0下保持30秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有226微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒。玻璃制品具有改善的平坦度，所述平坦度加工之前测定为113微米，加工之后测定为58微米。

[0170] 实施例6-将0.7mm厚度的钠钙硅酸盐玻璃板在450℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在730℃的T_0下保持10秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有31微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒，这得到0.149cal/(cm^2-s-℃)的有效传热速率。所得制品具有-206MPa的表面压缩，100MPa的中心张力，以及82μm的平坦度。在断裂时，观察到玻璃片材“划切”(使用标准术语，对于2mm厚度或更大片材划切-即5x5平方厘米的玻璃片材破碎成40或更多块)，这表明片材完全钢化。

[0171] 实施例7-将3.3mm厚度的Borofloat-33玻璃板在550℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在800℃的T_0下保持30秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有119微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒。所得制品具有120微米的平坦度。在断裂时，观察到玻璃片材“划切”(使用标准术语，对于2mm厚度或更大片材划切-即5x5平方厘米的玻璃片材破碎成40或更多块)，这表明片材完全钢化。

[0172] 实施例8-将3.2mm厚度的钠钙硅酸盐玻璃板在450℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在690℃的T_0下保持30秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有84微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒。所得制品具有-218MPa的表面压缩，105MPa的中心张力，以及84μm的平坦度。

[0173] 实施例9-将0.3mm厚度的钠钙硅酸盐玻璃板在450℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在630℃的T_0下保持10秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有159微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒。所得制品具有膜应力，其可通过灰场偏振仪来观察，这表明玻璃包括热应力。

[0174] 实施例10-将0.1mm厚度的Corning® Gorilla®玻璃板在550℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在820℃的T_0下保持10秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有141微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒，这得到0.033cal/(cm^2-s-℃)的有效传热速率。在断裂时，所得制品显示与残留应力玻璃一致的性能。

[0175] 实施例11-将1.1mm厚度的钠钙硅酸盐玻璃板在450℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在700℃的T_0下保持10秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有65微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒，这得到0.07cal/(cm^2-s-℃)的有效传热速率。所得制品具有测定为657℃的表面假想温度，-201MPa的表面压缩，98MPa的中心张力，158μm的平坦度，以及10-20N的维氏裂纹引发阈值。

[0176] 实施例12-将1.1mm厚度的Corning® Gorilla®玻璃板在550℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在810℃的T_0下保持10秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷区，其具有86微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒，这得到0.058cal/(cm^2-s-℃)的有效传热速率。所得制品具有测定为711℃的表面假想温度，-201MPa的表面压缩，67MPa的中心张力，以及20-30N的维氏裂纹引发阈值。

[0177] 实施例13-将1.1mm厚度的Corning® Gorilla®玻璃板在550℃下预热10分钟，然后转移到热区，其中玻璃板在800℃的T_0下保持10秒。在平衡之后，将其快速地转移到淬冷

区，其具有91微米的间隙，其中将玻璃板保持10秒。所得制品具有测定为747℃的表面假想温度，-138MPa的表面压缩，53MPa的中心张力，66μm的平坦度，以及20-30N的维氏裂纹引发阈值。

[0178] 表V

[0179]

实施例	厚度(mm)	组成	间隙(um)	T_0	气体	CS(MPa)	CT(MPa)	平坦度(um)	假想温度(℃)	维氏值(N)
1	5.7	SLG	91	690	氦气	-312	127	83	--	--
2	5.7	SLG	91	690	氦气	-317	133	90	--	--
3	1.1	SLG	56	700	氦气	-176	89	190	661.3	10-20
4	0.55	SLG	25	720	氦气	-176	63	125	--	--
5	1.5	GG	226	790	氦气	--	--	113之前/58之后	--	--

[0180]

6	0.7	SLG	31	730	氦气	-206	100	82	--	--
7	3.3	Borofloat 33	119	800	氦气	--	--	121	--	--
8	3.2	SLG	84	690	氦气	-218	105	81	--	--
9	0.3	SLG	159	630	氦气	--	--	--	--	--
10	0.1	GG	141	820	氦气	--	--	--	--	--
11	1.1	SLG	65	700	氦气	-201	98	158	657	10-20
12	1.1	GG	86	810	氦气	-201	67	--	711	20-30
13	1.1	GG	91	800	氦气	-138	53	66	747	20-30

[0181] 通过整体审阅说明书和所附权利要求，其它方面和优势将变得显而易见。

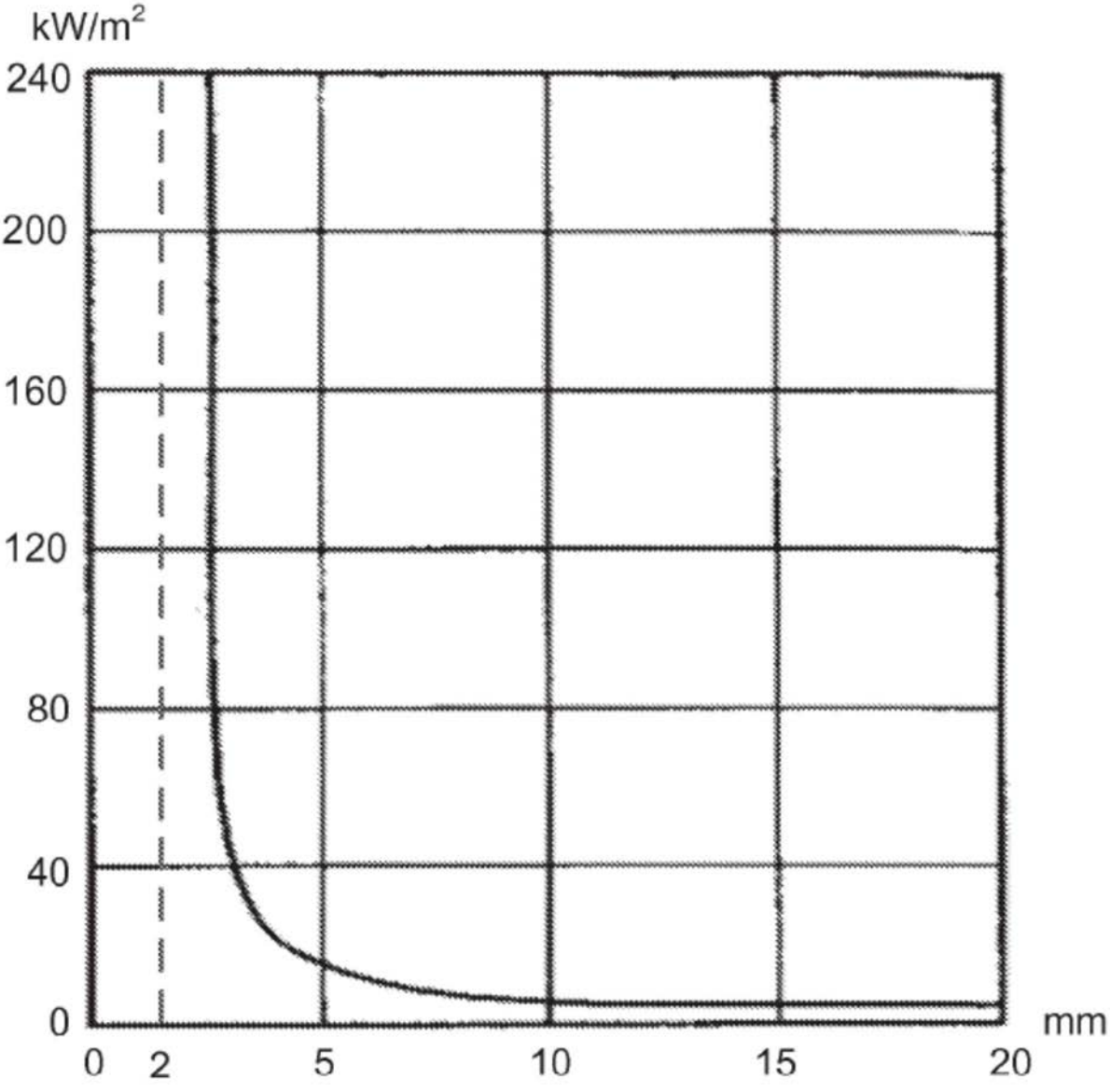


图1

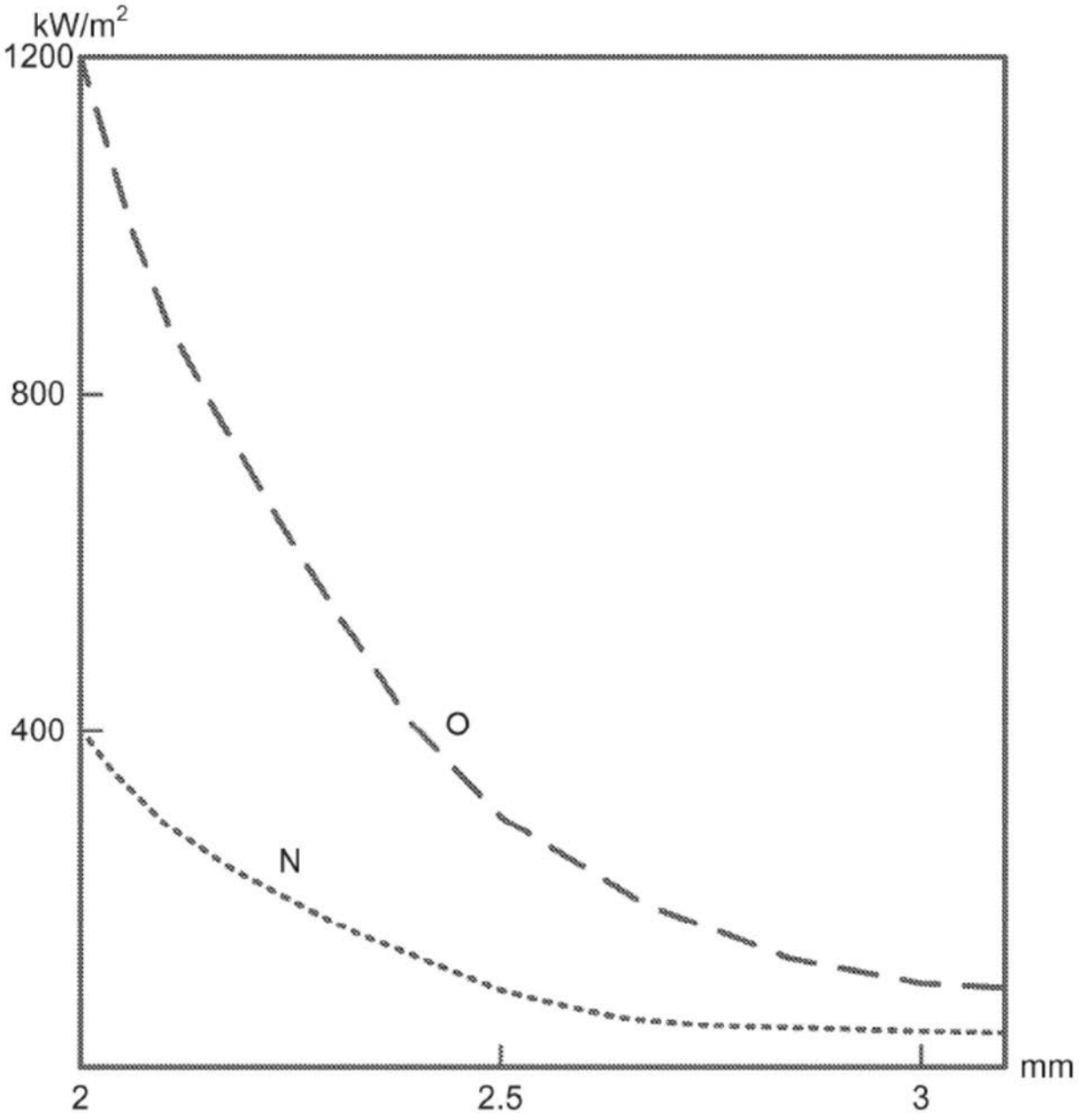


图2

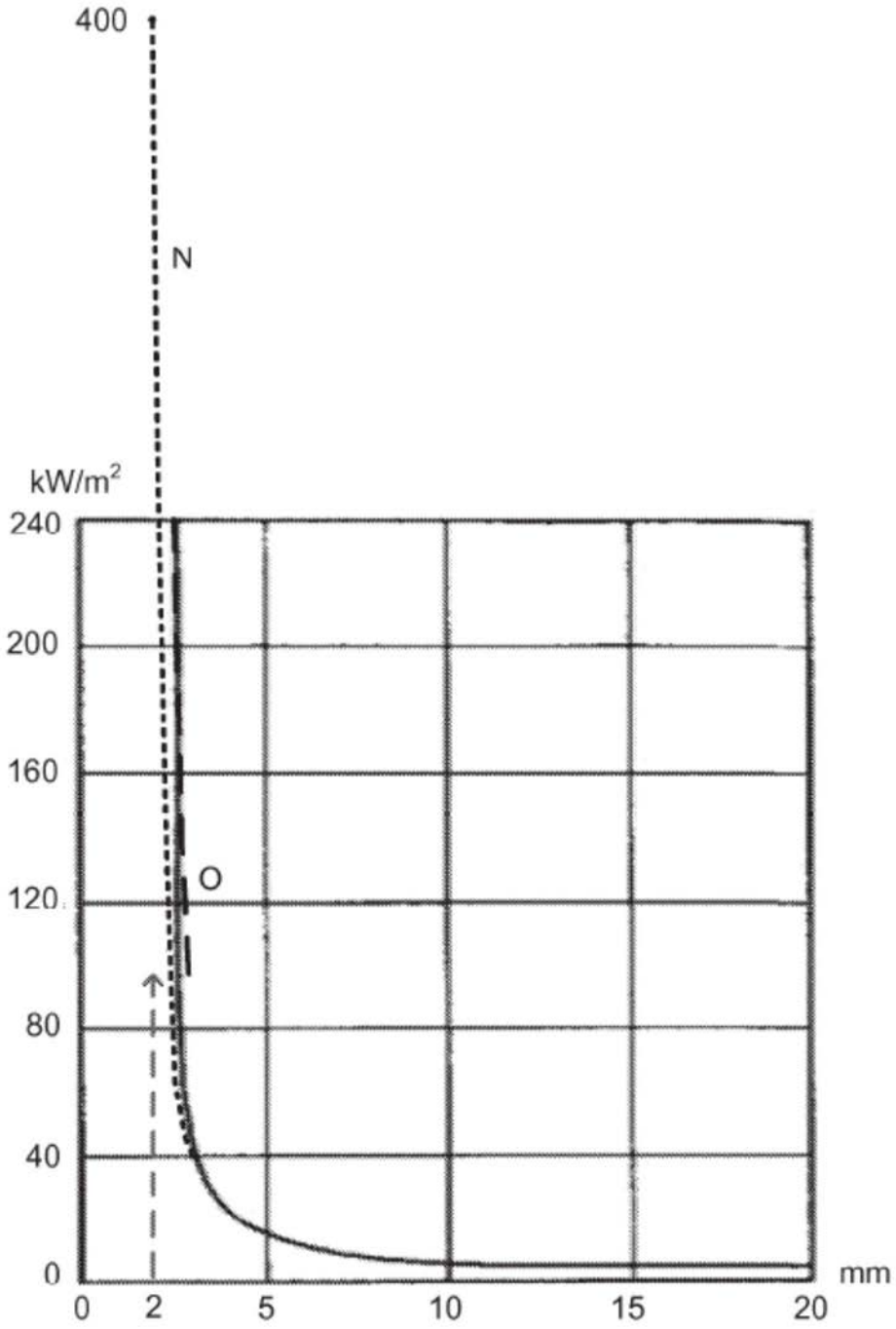


图3

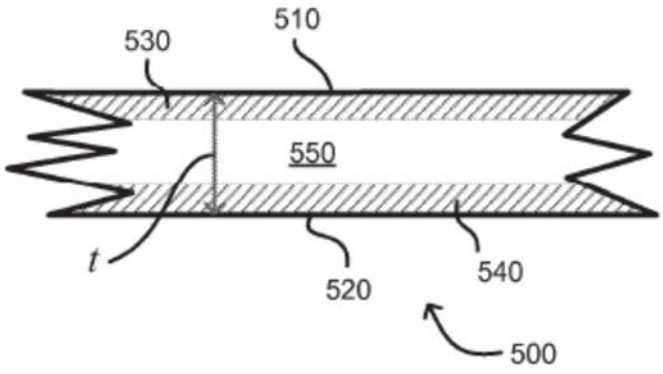

530
510
550
t
520
540
500

图4

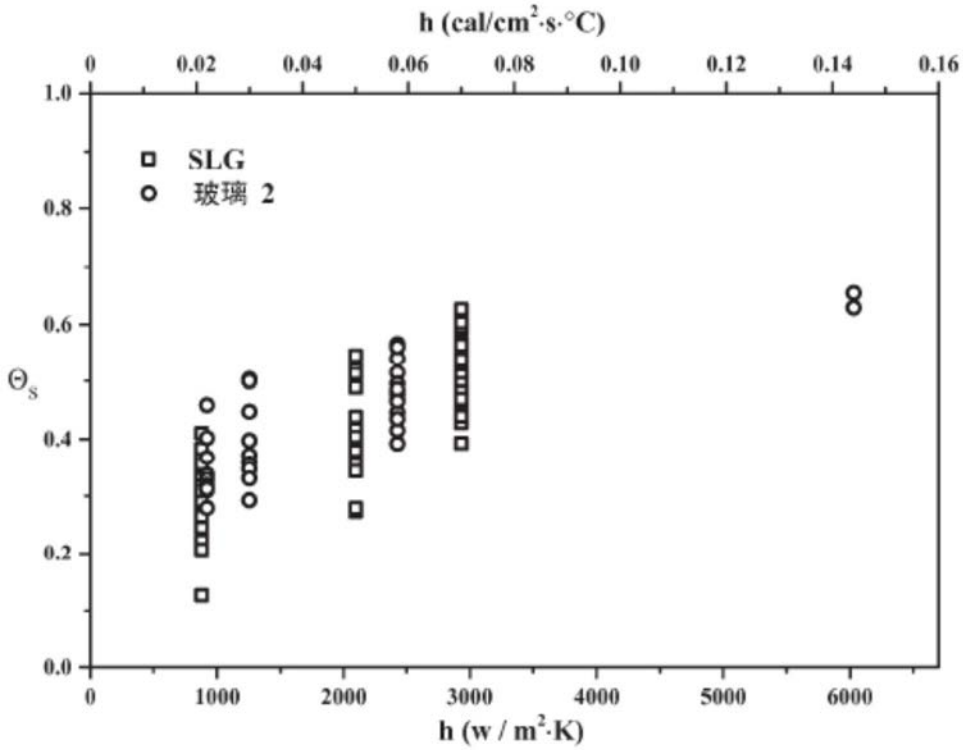

h (cal/cm²·s·°C)
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
0.12
0.14
0.16
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
Θs
SLG
玻璃 2
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
h (w / m²·K)

图5

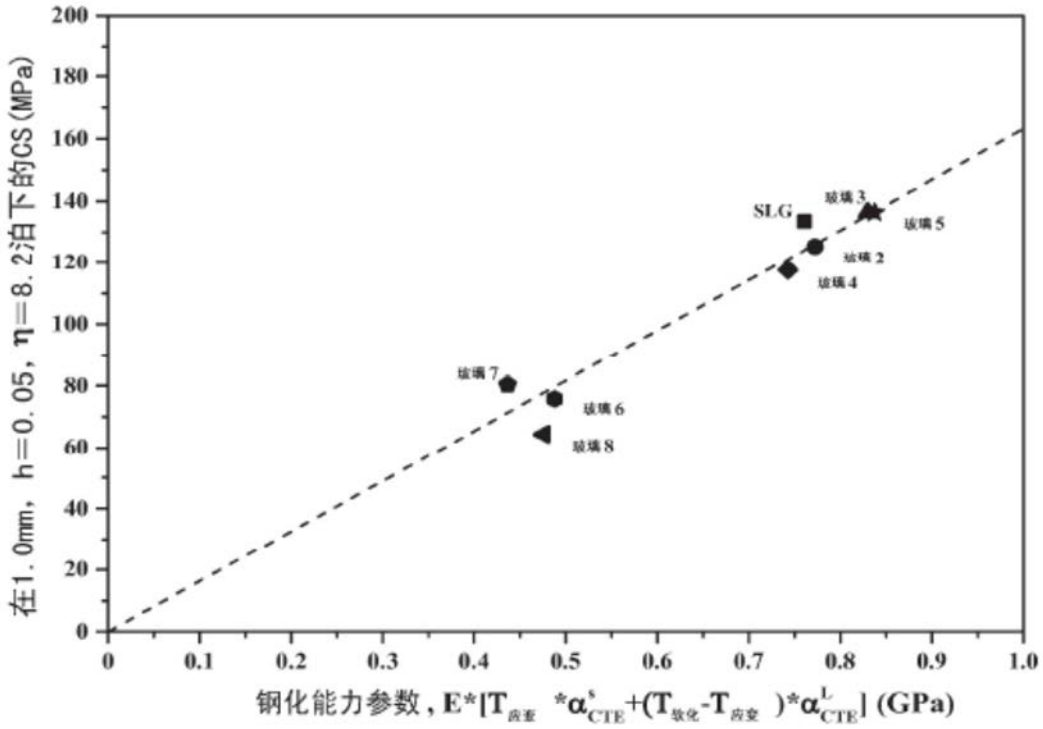

在1.0mm，h=0.05，η=8.2泊下的CS(MPa)
钢化能力参数，E*[T应变 *α^s_CTE+(T软化-T应变)*α^L_CTE] (GPa)
SLG
玻璃3
玻璃5
玻璃2
玻璃4
玻璃7
玻璃6
玻璃8

图6

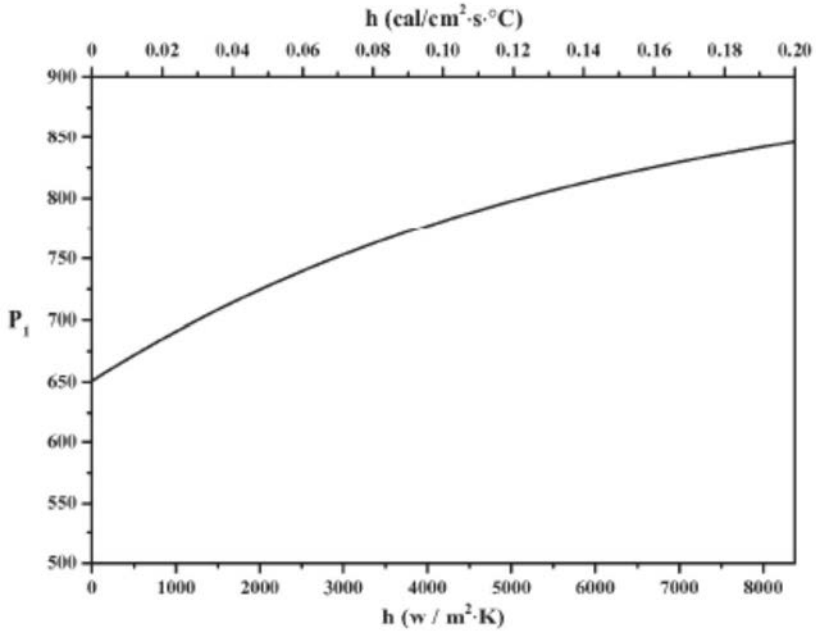

h (cal/cm²·s·°C)
P1
h (w / m²·K)

图7

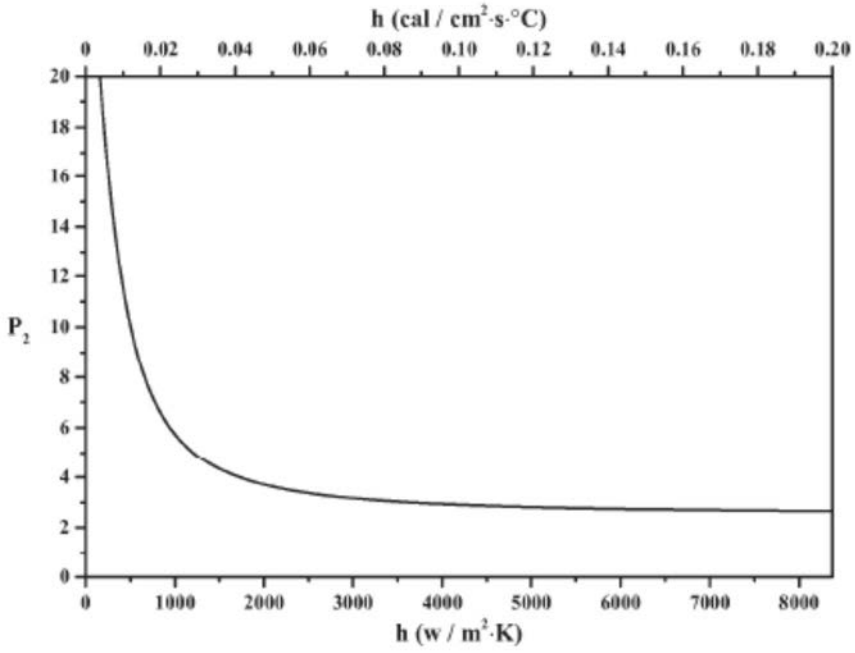

h (cal / cm²·s·°C)
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
0.12
0.14
0.16
0.18
0.20
P2
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
h (w / m²·K)

图8

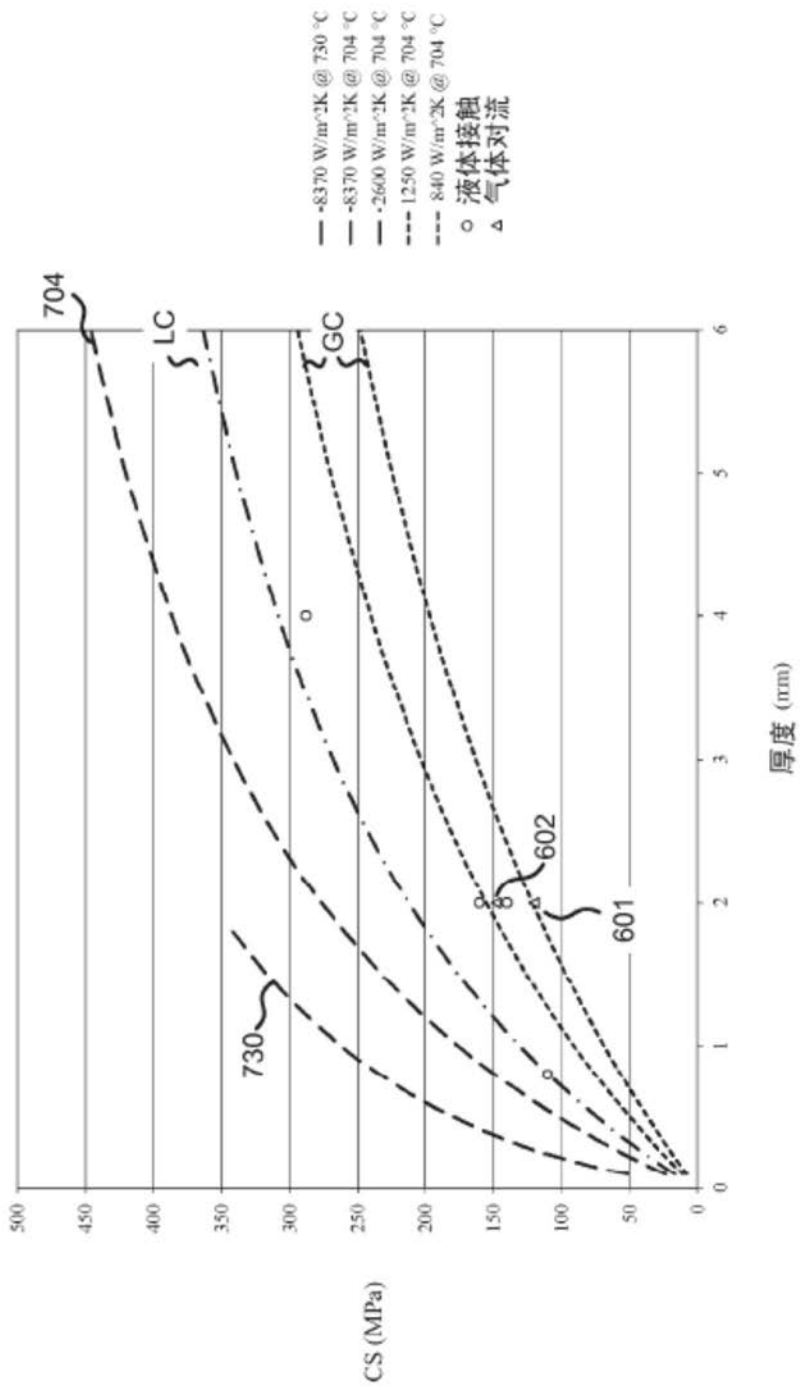

-8370 W/m^2K @ 730 °C
-8370 W/m^2K @ 704 °C
-2600 W/m^2K @ 704 °C
1250 W/m^2K @ 704 °C
840 W/m^2K @ 704 °C
液体接触
气体对流
704
LC
GC
730
602
601
CS (MPa)
厚度 (mm)

图9

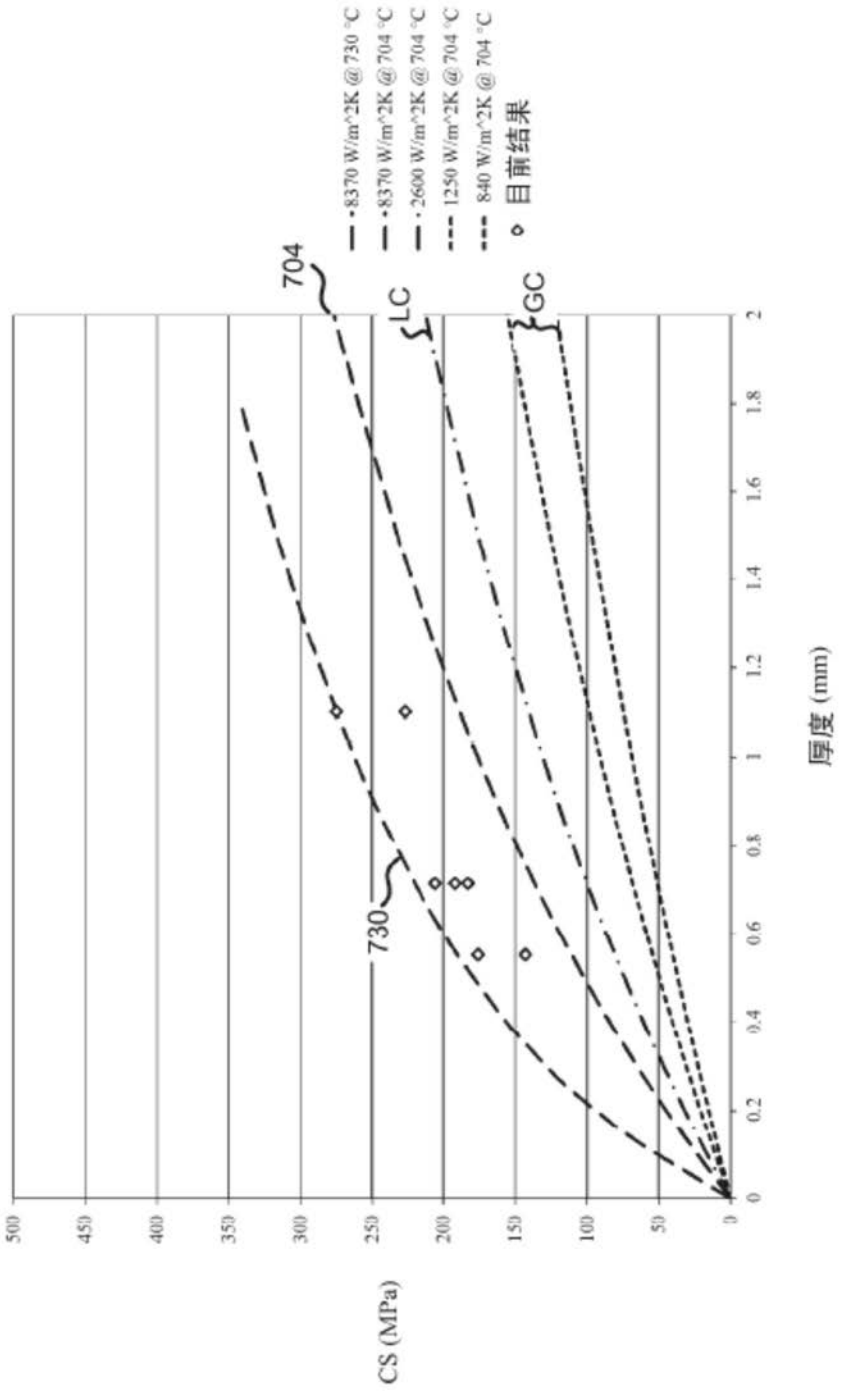

8370 W/m^2K @ 730 °C
8370 W/m^2K @ 704 °C
2600 W/m^2K @ 704 °C
1250 W/m^2K @ 704 °C
840 W/m^2K @ 704 °C
目前结果
704
LC
GC
730
CS (MPa)
厚度 (mm)

图10

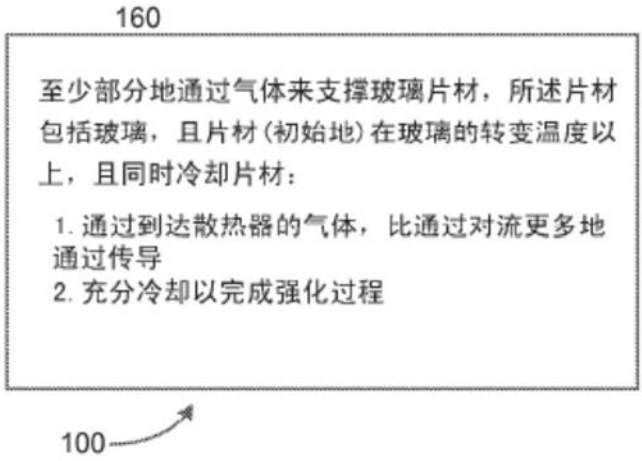

160
至少部分地通过气体来支撑玻璃片材，所述片材包括玻璃，且片材(初始地)在玻璃的转变温度以上，且同时冷却片材：
1. 通过到达散热器的气体，比通过对流更多地通过传导
2. 充分冷却以完成强化过程
100

图11

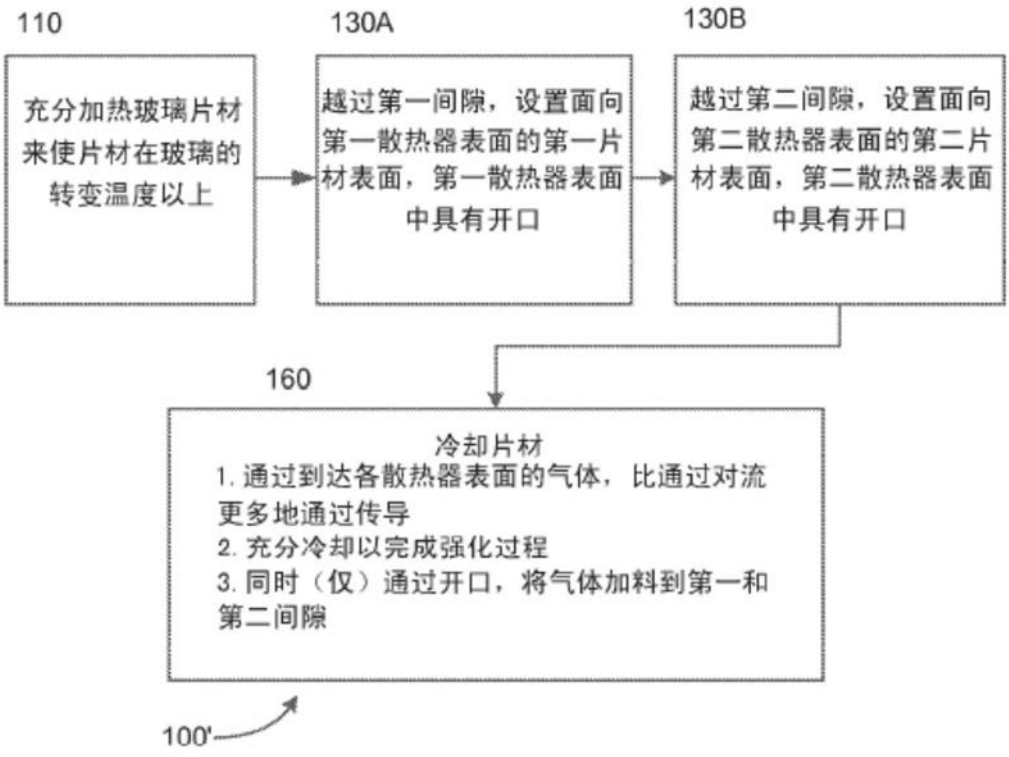

110
充分加热玻璃片材来使片材在玻璃的转变温度以上
130A
越过第一间隙，设置面向第一散热器表面的第一片材表面，第一散热器表面中具有开口
130B
越过第二间隙，设置面向第二散热器表面的第二片材表面，第二散热器表面中具有开口
160
冷却片材
1. 通过到达各散热器表面的气体，比通过对流更多地通过传导
2. 充分冷却以完成强化过程
3. 同时（仅）通过开口，将气体加料到第一和第二间隙
100'

图12

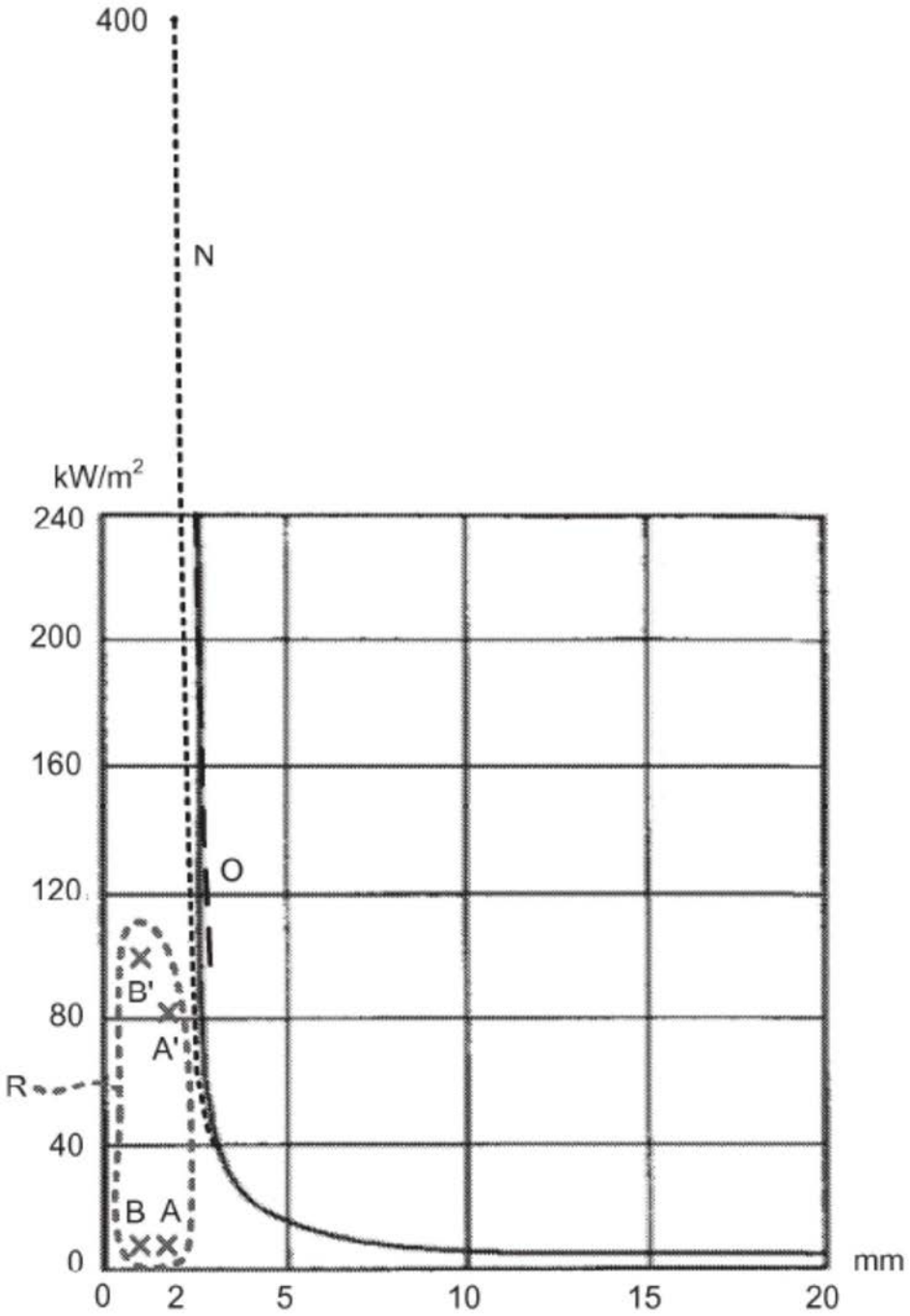


图13A

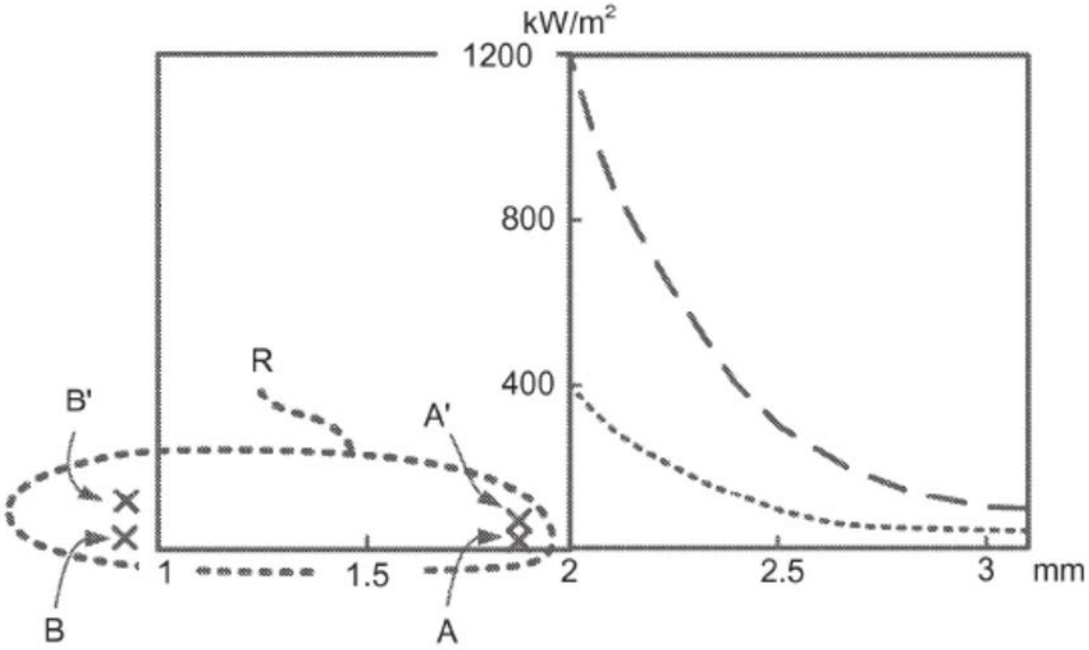


图13B

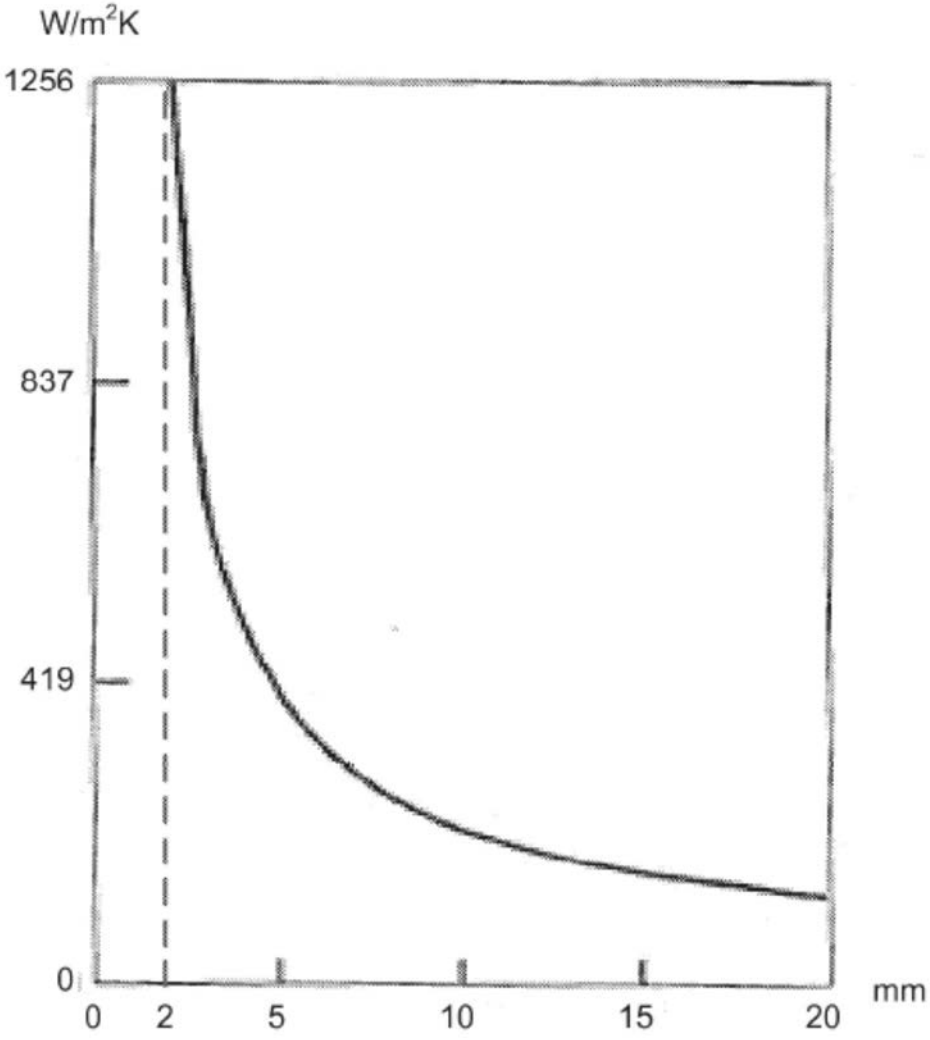


图14

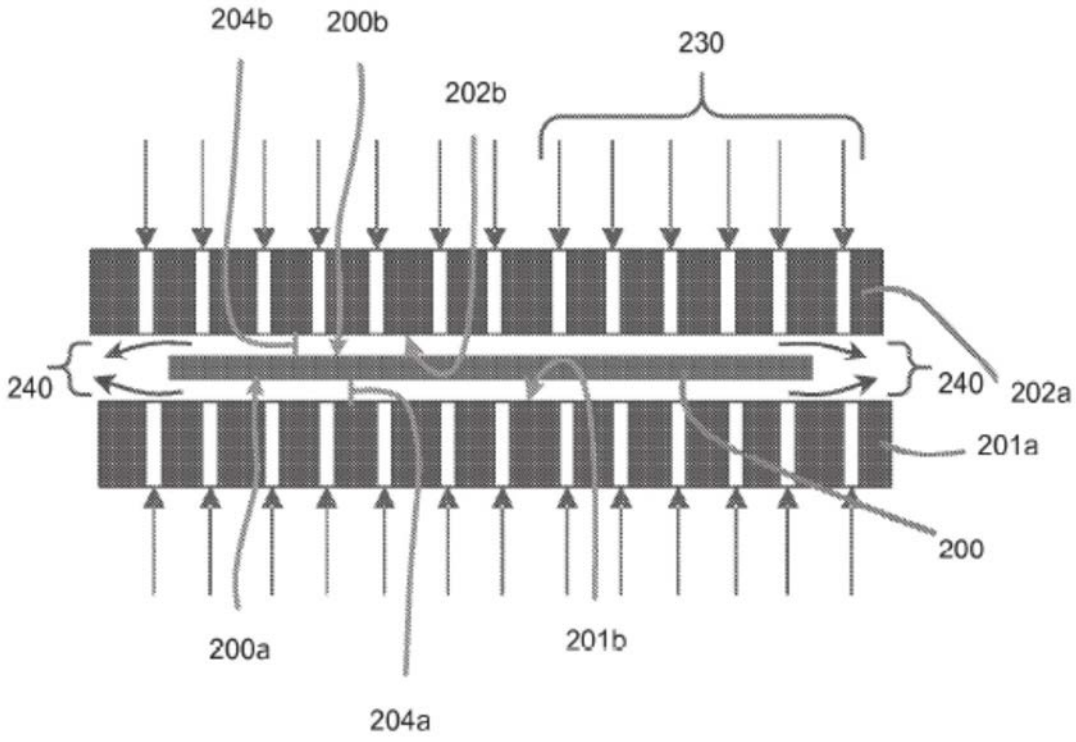


图15

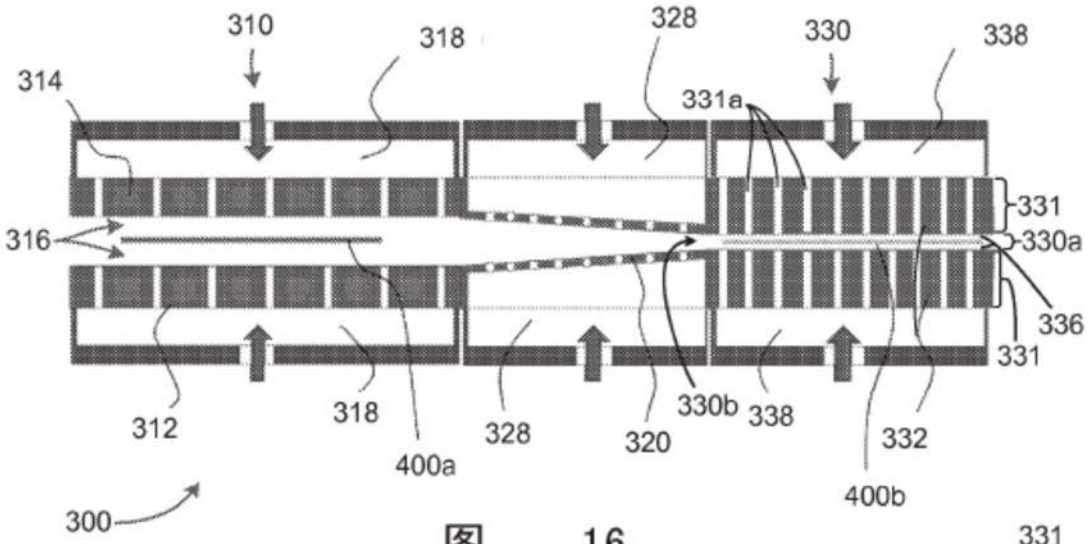

310
318
328
330
338
314
331a
331
316
330a
336
331
312
318
330b
338
328
320
332
400a
400b
300

图 16

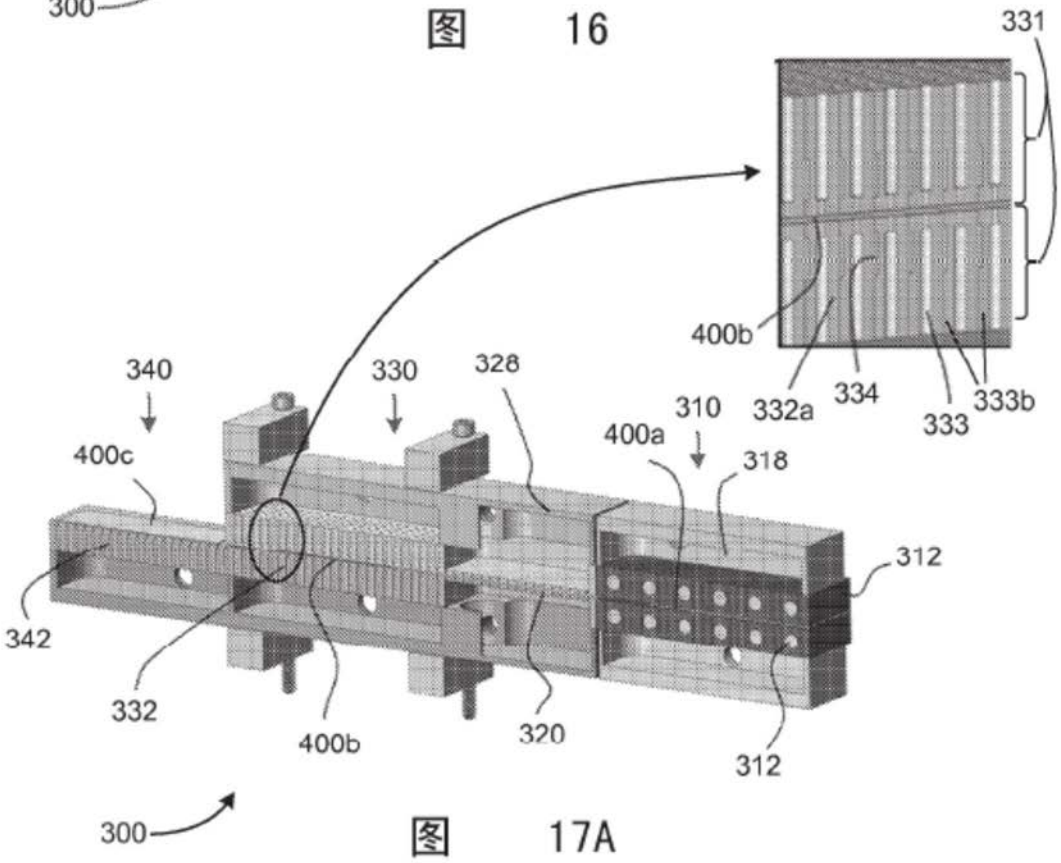

331
400b
340
330
328
332a
334
333
333b
310
400a
400c
318
312
342
332
400b
320
312
300

图 17A

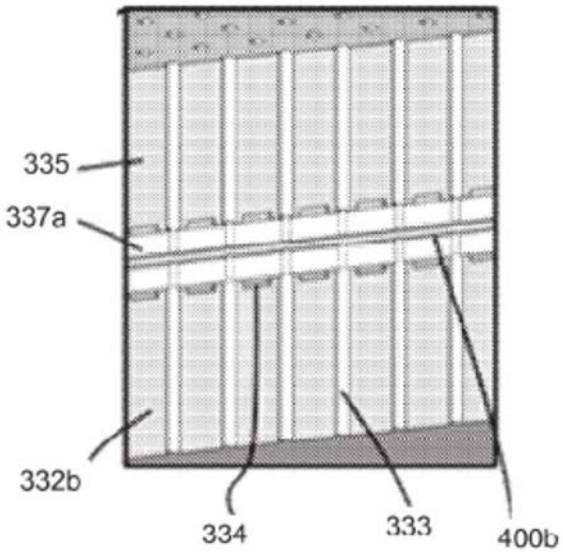


图17B

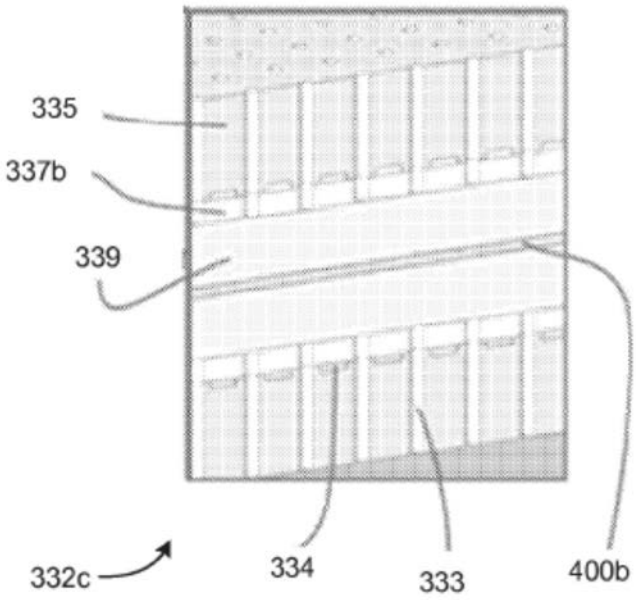


图17C

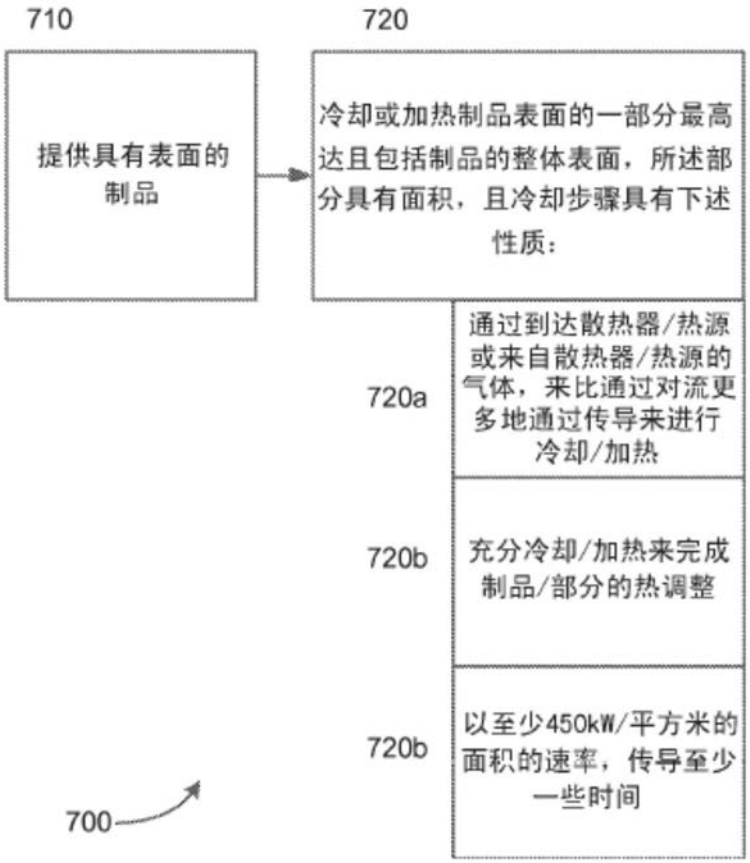

710
720
提供具有表面的制品
冷却或加热制品表面的一部分最高达且包括制品的整体表面，所述部分具有面积，且冷却步骤具有下述性质：
720a
通过到达散热器/热源或来自散热器/热源的气体，来比通过对流更多地通过传导来进行冷却/加热
720b
充分冷却/加热来完成制品/部分的热调整
720b
以至少450kW/平方米的面积的速率，传导至少一些时间
700

图18