

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580026896. X

[51] Int. Cl.

B29C 35/04 (2006. 01)

B29C 73/00 (2006. 01)

C08J 5/12 (2006. 01)

C08J 5/24 (2006. 01)

[43] 公开日 2007 年 7 月 18 日

[11] 公开号 CN 101001733A

[22] 申请日 2005. 6. 9

[21] 申请号 200580026896. X

[30] 优先权

[32] 2004. 6. 9 [33] AU [31] 2004903096

[86] 国际申请 PCT/AU2005/000829 2005. 6. 9

[87] 国际公布 WO2005/120794 英 2005. 12. 22

[85] 进入国家阶段日期 2007. 2. 8

[71] 申请人 工业合成工程有限公司

地址 澳大利亚西澳大利亚

[72] 发明人 迈克尔·A·海伍德

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 封新琴 巫肖南

权利要求书 4 页 说明书 13 页 附图 2 页

[54] 发明名称

聚合物复合材料的成型或固化方法

[57] 摘要

根据本发明, 提供了一种聚合物复合材料成型或固化的方法, 该方法包括以下步骤: 在热蒸汽的存在下将聚合物复合材料成型或固化。

1. 一种聚合物复合材料成型或固化方法，该方法包括以下步骤：

在热蒸汽的存在下将聚合物复合材料成型或固化。

2. 根据权利要求1的聚合物复合材料成型或固化方法，其中该蒸汽以水蒸汽的形式提供。

3. 根据权利要求2的聚合物复合材料成型或固化方法，其中水蒸汽以干蒸汽、湿蒸汽、饱和蒸汽或过热蒸汽的形式提供。

4. 根据权利要求3的聚合物复合材料成型或固化方法，其中在生成之后将蒸汽转向分离器以除去液态水并且制得干蒸汽。

5. 根据前述权利要求任一项的聚合物复合材料成型或固化方法，其中该方法包括另外的步骤：

将复合材料置于腔室内；和
用蒸汽充满腔室。

6. 根据权利要求1-4任一项的聚合物复合材料成型或固化方法，其中该方法包括另外的步骤：

将复合材料置于蒸汽填充的腔室内。

7. 根据权利要求5或6的聚合物复合材料成型或固化方法，其中复合材料悬浮在腔室内。

8. 根据权利要求5-7任一项的聚合物复合材料成型或固化方法，其中用蒸汽充满腔室的步骤包括以下步骤：

将蒸汽泵送到腔室内。

9. 根据权利要求8的聚合物复合材料成型或固化方法，其中将蒸汽注入腔室。

10. 根据权利要求5-7任一项的聚合物复合材料成型或固化方法，其中用蒸汽充满腔室的步骤包括以下步骤：

在汽化期间使蒸汽膨胀到腔室内。

11. 根据权利要求10的聚合物复合材料成型或固化方法，其中汽化步骤在该腔室或者在第二个腔室内进行。

12. 根据前述权利要求任一项的聚合物复合材料成型或固化方法，其中该方法包括另外的步骤：

在聚合物复合材料成型或固化步骤之前将聚合物复合材料的至少一个层叠合在模具上。

13. 根据前述权利要求任一项的聚合物复合材料成型或固化方法，其中该方法包括另外的步骤：

用基本气密的材料层覆盖复合材料；和
降低所述材料层内的压力。

14. 根据权利要求 13 的聚合物复合材料成型或固化方法，其中该基本气密的材料层是柔性的并且能够与复合材料和提供有复合材料的模具的形状相一致。

15. 根据权利要求 13 或 14 的聚合物复合材料成型或固化方法，其中基本气密的材料层由塑料、硅氧烷或氟弹性材料制成。

16. 根据权利要求 13 - 15 任一项的聚合物复合材料成型或固化方法，其中基本气密的材料层是塑料袋。

17. 根据权利要求 13 - 16 任一项的聚合物复合材料成型或固化方法，其中基本气密的材料层带有通过其施加真空的阀。

18. 一种聚合物复合材料成型或固化方法，该方法包括以下步骤：
将聚合物复合材料的至少一个层放置在腔室内；
用热水蒸汽充满腔室以将复合材料加热；和
由此使聚合物复合材料成型或固化。

19. 根据权利要求 18 的聚合物复合材料成型或固化方法，其中在至少 80°C 的温度下在大气压下提供水蒸汽。

20. 根据权利要求 18 的聚合物复合材料成型或固化方法，其中在至少 100°C 的温度下在大气压下提供水蒸汽。

21. 一种修复具有破损部分的部件的方法，该方法包括以下步骤：
将未固化的复合材料施用在该部件的至少破损部分上；
将热蒸汽施加在复合材料上；和
由此使聚合物复合材料成型或固化。

22. 根据权利要求 21 的修复部件的方法，其中蒸汽以水蒸汽的形式提供。

23. 根据权利要求 21 或 22 的修复部件的方法，其中该部件包含聚合物复合材料并且可以采用飞机、船或车辆的形式。

24. 根据权利要求 21 或 22 的修复部件的方法，其中该部件以建筑、结构体、船舶、车辆、飞机或水运工具或者这些的任意部分，包括桥梁、起重架和机翼的形式提供。

25. 根据权利要求 24 的修复部件的方法，其中所述材料能够被该复合材料粘合并且在固化周期期间在指定的升高的固化温度下保持它们的完整性。

26. 根据权利要求 21 - 25 任一项的修复部件的方法，其中该方法包括另外的步骤：

用基本气密的材料层覆盖复合材料；和
降低所述材料层内的压力。

27. 根据权利要求 21 - 26 任一项的修复部件的方法，其中该方法包括另外的步骤：

在未固化的复合材料周围构造隔热腔室。

28. 一种修复具有破损部分的部件的方法，该方法包括以下步骤：

将未固化的复合材料施用在该部件的至少破损部分上；

用基本气密的材料层覆盖复合材料；

在未固化的复合材料和基本气密的材料层周围构造隔热腔室；

降低所述材料层内的压力；

将热蒸汽施加在复合材料上；和

由此使聚合物复合材料成型或固化。

29. 根据权利要求 21 - 28 任一项的修复部件的方法，其中该方法包括另外的步骤：

将松散材料机械地从部件表面上除去。

30. 根据权利要求 21 - 29 任一项的修复部件的方法，其中该方法包括另外的步骤：

将填隙复合物施用在部件的任何缝隙中以降低空气进入的可能性。

31. 根据权利要求 21 - 30 任一项的修复部件的方法，其中该方法包括另外的步骤：

将粘合剂薄膜施用在部件上以增强部件与复合材料之间的粘合性。

32. 根据权利要求 31 的修复部件的方法，其中粘合剂以环氧粘合剂的形式提供。

33. 根据权利要求 21 - 32 任一项的修复部件的方法，其中该方法包括另外的步骤：

将非-粘性的隔离膜施用在复合材料上。

34. 根据权利要求 21 - 32 任一项的修复部件的方法，其中该方法包括另外的步骤：

在复合材料的周围施用通气层以提供排气路径。

35. 一种修复具有破损部分的部件的方法，该方法包括以下步骤：

将粘合剂薄膜施用在部件上以增强部件与复合材料之间的粘合性；

将未固化的复合材料施用在该部件的至少破损部分上；

将非-粘性的隔离膜施用在复合材料上；

在复合材料的周围施用通气层以提供排气路径；

用基本气密的材料层覆盖复合材料；

在未固化的复合材料片的周围构造隔热腔室；

降低所述材料层内的压力；和

将蒸汽施加在未固化的复合材料上，由此使复合材料成型或固化。

36. 一种用于进行根据权利要求 1 - 20 任一项的方法的装置。

37. 一种用于进行根据权利要求 21 - 35 任一项的方法的装置。

38. 一种基本如上文中参照实施例 1、2 和 3 描述的将聚合物复合材料成型或固化的方法。

39. 一种基本如上文中参照实施例 4、5、6 和 7 描述的修复具有破损部分的部件的方法。

聚合物复合材料的成型或固化方法

发明领域

本发明涉及一种用于聚合物复合材料成型(forming)或固化的方法和装置。更特别地,本发明涉及一种用于在蒸汽的存在下将聚合物复合材料成型或固化的方法和装置。

背景技术

术语“聚合物复合材料”通常是指通过用在各种工业—航天、汽车运动、汽车、船舶、土木建筑中使用的树脂将纤维材料浸渍并且通常成型为层压制品或层的材料。用于这类复合材料的纤维是各种各样的并且包括碳纤维、芳纶(Kevlar)纤维和玻璃纤维,并且树脂通常选自热塑性或热固性树脂例如环氧、氰酸酯、酚醛树脂等。

热固性树脂浸渍的纤维通常是软的、柔性的、些微粘性的材料,其包括单向的纤维或织布。必须在升高的温度和压力条件下将聚合物复合材料的组分成型或固化,以使材料压缩并且形成聚合物复合材料。

在热塑性复合材料的情况下,加热起到了使得在室温下为固体的热塑性树脂能够流动的作用。压力和温度的组合使得熔融树脂能够浸渍纤维并且使热塑性聚合物复合材料成型为所希望的形状。该热塑性聚合物复合材料然后在冷却时固化形成所希望的部件。

由层压制品制成的复合结构体以及由层压制品和轻质芯(蜂窝结构体、泡沫、木材等)制成的复合三明治结构体可能遭受作为生产方法的直接结果的许多缺陷。常见的问题包括树脂放热反应、模具表面点蚀、抑制的树脂流动、内部孔隙、空隙和对于芯粘结差的表层。

空隙和孔隙被认为是使得热固性聚合物复合材料的机械性能退化的最严重缺陷。空隙是在固化周期期间气态的挥发物膨胀的结果。水分是在预浸渍的热固性复合材料(预浸渍体)中发现的挥发物的主要来源。预浸渍体容易从周围的气氛中吸收水分,水分含量是相对湿度、环境温度和预浸

渍体的树脂含量的函数。当在固化周期期间热固性聚合物复合材料组分的温度增加时，得自于这些挥发物的蒸汽压增加。当树脂胶凝时，这些气袋被捕集在聚合物复合材料中，形成了可以充当疲劳或断裂开始的位置的球形空隙。

孔隙是一种与空隙类似的现象，并且是在叠合(lay up)期间在预浸渍体的层之间捕集的空气的结果。这些气袋不能通过简单的真空固结(consolidation)而除去并且在固化期间保持固定在树脂基质中。

现有的工业固化和成型方法涉及到烘箱或者作为加压烘箱的高压釜。通过施加压力，许多以上问题被减少到最小。然而，作为高压釜方法的直接结果，引入了一些没有的并且更加严重的问题。

热固性树脂固化反应是放热的并且在固化期间生成的热造成了严重的问题（例如复合材料燃烧），除非将热量分散在周围。高压釜中使用的相对低比热的空气或氮气确保了在复合材料固化期间极少的能量被气体吸收。因此，必须使高压釜温度在 $100^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ 之间的任何位置在缓慢速率，通常为 $1 - 3^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ 下匀变(ramp)。缓慢的匀变确保了复合材料与周围气体之间的温差足以安全地吸热。缓慢的匀变速率要求提供了对于大体积的部件生产而言可能不充足的长的周期时间。所需的缓慢匀变速率还是差的气体热导率的副产物。如果热源的数目少并且分散不均匀，则过快地升高温度可能造成贯穿高压釜腔室有热梯度。当一个比另一个更快地结束固化时，该热梯度可能在聚合物复合材料组分中产生热应力。

热塑性聚合物复合材料成型方法需要输入热能以将热塑性复合材料的温度升至热塑性树脂熔融和流动的点上。一般而言，这在烘箱中完成，其中由气体或空气的传热速率强加的限制可能造成长的匀变时间。作为选择，该方法在挤出机中完成，这由于热塑性复合材料与金属加热元件之间的接触而因此使得有快速的匀变速率。然而，由于其中将树脂强制通过小的热孔的挤出行为限制了可以被掺入部件中的纤维增强材料的数量，因此在生产热塑性聚合物复合材料中挤出机的使用是极其受限制的。该增强材料的数量在被普通看作是热塑性部分的那些与热塑性聚合物复合材料部分之间显著不同。

高压釜中典型的固化周期涉及到直到最终固化温度的缓慢匀变。当组分的温度增加时，树脂粘度成比例地降低。降低的粘度使得气体流动增加，

导致了夹带的空气和挥发物的除去。该过程持续到组分的固化反应开始，使得与增加的温度可能使粘度降低相比更快地升高粘度。刚好在反应开始之前，该高压釜过程暂时保持温度并且使高压釜压力升高以使得任何残余的挥发物固结回到溶液中。在此之后即刻，反应生成了其中组分变成无定形半固体并且不能将更多的气体除去的“凝胶”状态。这些基本的工艺参数的优化使得能够降低空隙程度。然而，该方法受到被需要用于避免放热反应的缓慢匀变速率和被需要用于使残余挥发物冷凝的高压的阻碍。此外，由于降低了聚合物组分当暴露于升高的温度下时的机械性能，因此在周期的压力升高阶段期间重新冷凝到复合材料的挥发物不利地影响了聚合物复合材料组分。

试图解决空隙问题的高压釜方法引入了其自身的显著问题。除了资本昂贵之外，高的高压釜压力可能压碎三明治结构体的芯。高的压力还需要制造大的压力容器，这对于购买和维护而言是昂贵的并且需要显著的基础设施水平。在商业的航空制造领域中，构造高压釜和相关基础设施的资金成本容易调节。航空是其中规定了低的部件数目和极其严密的制造公差的一种工业。然而，汽车工业和海上复合材料制造领域已经严重地受到所认识到的基于高压釜的固化要求的限制。除了最初的资金成本之外，高压釜工艺由于因为差的热循环形成的温度梯度而因此需要极其昂贵的工具配备系统，和与将高压釜本身以及其中的部件加热相关的高能量成本。在许多工业中，惰性氮气的使用还有助于与高压釜制造相关的成本。加入氮气确保了将自燃的复合材料保留在惰性环境中。在非-航空环境中，这些高的资本和运转成本需要高的产量，因为价值增加的固化方法更加难以符合消费者。然而，由于缓慢的匀变速度占整个固化时间的 30 - 70%，因此在高压釜固化环境内高的产量是不可行的。

一种选择性方法涉及到将袋中的复合材料浸入热的液体溶液中以进行固化。试图克服与缓慢匀变速率相关的问题的该技术产生了另外的问题。

为了使大的部件固化，需要重的结构体以容纳完全浸渍所需数量的液体。另外，需要重的装置以保持在固化周期期间浸渍的部件。

仍然进一步地，该方法在高于 100℃ 的温度下有问题。将沸腾抑制剂加入水中仅仅将沸点升至约 107℃。因此，对于需要更高固化温度的部件而言，则使用油浴。由于当从溶液中取出时油粘附在覆盖部件的真空袋上，因此

油是可耗尽的，并且在逐个部件的基础上而言是昂贵的。另外，非常少的油可被暴露在高至 177℃ 的温度气氛下而不会氧化，该氧化生成了可能损坏真空袋和装置的腐蚀成分。

仍然进一步地，如果真空袋遭受泄漏，加热流体将进入真空袋，可能损坏部件。

在土木工程领域中，基础设施的构造和修复、聚合物复合材料结构体的质量要求与航空工业类似。然而，相反的是结构体的大小以及现场修复和制造的需要已经排除了航空质量的复合材料的使用。近年来，显著数量的桥梁、建筑、水坝以及其他混凝土和钢结构的修复已经在全世界采用。这些修复集中于使用湿铺料(wet layup)的或者二次粘结的碳纤维/环氧复合材料体系。这些湿铺料的或者二次粘结的体系产生了劣质的最终粘结强度和不可靠的修复。另外，当这些结构体在热的天气中变暖时，环境固化的环氧化物的使用生成了具有降低的性能的材料。

基础设施和土木工程市场被迫使用劣质的聚合物复合材料的原因是高压釜和烘箱不能被带至现场或者在有限的通路区域中使用。另外，在桥梁的侧面上使用高压釜是不可能的，因为在这种环境中不能产生加压的密封。该限制的可携带性妨碍了在基础设施修复中使用高质量的复合材料。类似地，土木建筑工业不能使用聚合物复合材料部件以生成大的结构，因为其不能到达足够尺寸的烘箱或高压釜或者足够尺寸的含有流体的罐。另外，将大的结构运送到现场将极其困难，即使它们能够进入合适的固化装置。如上所述，所有的现有技术方法需要使用大并且昂贵的装置并且不能携带。

需要提供一种对本工业中已经公知的那些提供了有用的选择的用于复合材料固化的方法和装置。

前述的发明背景意在有助于理解本发明。然而，将理解的是该论述并不承认或者允许所提到的任何材料是在本申请的优先权日下在澳大利亚的普通公知技术的一部分。

发明披露

根据本发明，提供了一种聚合物复合材料成型或固化的方法，该方法包括以下步骤：

在热蒸汽的存在下将聚合物复合材料成型或固化。

在本说明书的上下文中，术语“蒸汽”意在限定在 25℃ 和 1atm 下作为固体或液体存在的物质的气相。

优选地，该蒸汽以水蒸汽的形式提供。水蒸汽可以干蒸汽（不含有以机械悬浮形式保持的水的蒸汽）、湿蒸汽（含有以悬浮的形式保持的水的蒸汽）、饱和蒸汽（在对应于其压力的沸点温度下的蒸汽）或过热蒸汽（被加热至比对应于其压力的沸点更高的温度的蒸汽）的形式提供。

在本发明的一个形式中，在生成之后可以将蒸汽转向分离器以除去液态水并且制得干蒸汽。

在当复合材料低于 100℃（在大气压下）的时间期间，水冷凝在复合材料上而赋予了大量的能量，这使得有高的匀变速率。不受理论的限制，水冷凝的潜热使得能够获得更快的匀变时间。这使得在不需要缓慢匀变速率的情况下能够将未固化的复合材料立即暴露在固化温度下。该冷凝潜热不能伴随着气体例如氮气和空气而获得。

由于水蒸汽开始引入或者水蒸汽的迅速除去，因此水蒸汽的使用使得复合材料的温度能够迅速改变。

另外，水蒸汽的使用否定了对于重型提升装置的需要并且减少了现有技术中公知的浮力问题。

不受理论的限制，我们认为由于在不同的部件部分上不同的固化速率，因此本发明的方法减少了在部件上产生的热应力的影响范围。

在本发明的一个形式中，本发明的方法包括另外的步骤：

将复合材料置于腔室内；和

用蒸汽充满腔室。

通过从单独的腔室中将热蒸汽注入或膨胀或者用冷蒸汽或空气代替热蒸汽，本发明的方法能够使腔室的温度迅速增加或降低。当固化周期需要尖锐的温度‘尖峰’以有助于消除挥发物并且因此消除空隙或者迅速的温度降低以有助于控制放热时，可以利用这些性质。

在本发明的一个选择性形式中，本发明的方法包括另外的步骤：将复合材料置于蒸汽填充的腔室内。

优选地，使复合材料悬浮在腔室内。

在本发明的一个形式中，用蒸汽充满腔室的步骤包括以下步骤：将蒸汽泵送到腔室内。

在将蒸汽泵送到腔室内的情况下，优选将蒸汽注入腔室。

在本发明的第二个形式中，用蒸汽充满腔室的步骤包括以下步骤：在汽化期间使蒸汽膨胀到腔室内。

该汽化步骤可以在该腔室内或者在第二个腔室内进行。

优选地，本发明的方法包括另外的步骤：在聚合物复合材料成型或固化步骤之前将聚合物复合材料的至少一个层叠合在模具上。

优选地，本发明的方法包括另外的步骤：用基本气密的材料层覆盖复合材料；和降低所述材料层内的压力。

优选地，该基本气密的材料层是柔性的并且能够与复合材料和其上布置有复合材料的模具的形状相一致(conform to the shape of the composite and the mould where it is provided)。该基本气密的材料层可以由塑料、硅氧烷或氟弹性材料制成。优选地，该基本气密的材料层是塑料袋。该基本气密的材料层可以带有通过其施加真空的阀。

根据本发明，提供了一种聚合物复合材料成型或固化方法，该方法包括以下步骤：

将聚合物复合材料的至少一个层放置在腔室内；

用热水蒸汽充满腔室以将复合材料加热；和

由此使聚合物复合材料成型或固化。

优选地，在至少 80℃ 的温度下在大气压下提供水蒸汽。更优选地，在至少 100℃ 的温度下在大气压下提供水蒸汽。

根据本发明的第二个方面，提供了一种修复具有破损部分的部件的方法，该方法包括以下步骤：

将未固化的复合材料施用在该部件的至少破损部分上；

将热蒸汽施加在未固化的复合材料上；和

由此使聚合物复合材料成型或固化。

优选地，该蒸汽以水蒸汽的形式提供。

在本发明的一个形式中，该部件以聚合物复合材料的形式提供。通过将未固化的复合材料放置在破损区域上并且使蒸汽通过该复合材料，可以将该方法用于修复飞机、船或者包含聚合物复合材料的其他部件的破损部分。

在本发明的一个选择性形式中，该部件以建筑、结构体、船舶(vessel)、

车辆、飞机或水运工具或者这些的任意部分，包括桥梁、起重架(crane booms)和机翼的形式提供。该部件可以包括除了聚合物复合材料之外的材料，但所述材料应该能够被该复合材料粘合并且在固化周期期间在指定的升高的固化温度下保持它们的完整性。

优选地，该方法包括另外的步骤：

用基本气密的材料层覆盖部件；和
降低所述材料层内的压力。

更优选地，该方法包括另外的步骤：在未固化的复合材料周围构造隔热腔室(insulated chamber)。

根据本发明，提供了一种修复具有破损部分的部件的方法，该方法包括以下步骤：

将未固化的复合材料施用在该部件的至少破损部分上；
用基本气密的材料层覆盖复合材料；
在未固化的复合材料和基本气密的材料层周围构造隔热腔室；
降低所述材料层内的压力；
将热蒸汽施加在复合材料上；和
由此使聚合物复合材料成型或固化。

优选地，该方法包括另外的步骤：将松散材料机械地从部件表面上除去。

优选地，该方法包括另外的步骤：将填隙复合物(gap filling compound)施用在部件的任何缝隙中以降低空气进入的可能性。

优选地，该方法包括另外的步骤：将粘合剂薄膜施用在部件上以增强部件与复合材料之间的粘合性。

在本发明的一个形式中，该粘合剂材料以环氧粘合剂的形式提供。

优选地，该方法包括另外的步骤：将非-粘性的隔离膜施用在复合材料上。

优选地，该方法包括另外的步骤：在复合材料的周围施用通气层以提供排气路径。

根据本发明，提供了一种修复具有破损部分的部件的方法，该方法包括以下步骤：

将粘合剂薄膜施用在部件上以增强部件与复合材料之间的粘合性；

将未固化的复合材料施用在该部件的至少破损部分上；
将非-粘性的隔离膜施用在复合材料上；
在复合材料的周围施用通气层以提供排气路径；
用基本气密的材料层覆盖复合材料；
在未固化的复合材料片的周围构造隔热腔室；
降低所述材料层内的压力；和
将蒸汽施加在未固化的复合材料上，由此使复合材料成型或固化。

根据本发明的第三个方面，提供了一种用于进行根据本发明的第一或第二方面的方法的装置。

附图简述

现在将仅仅通过实施例、参照其三个实施方案和附图来描述本发明，其中：

图 1 是根据本发明的第一个实施方案固化的复合材料的温度对时间的图；

图 2 是根据本发明的第一个实施方案固化的复合材料的组分和引入的蒸汽的温度对时间的图；

图 3 是其中根据本发明的第一个实施方案固化并且在实施例 4 中描述的复合材料的试验程序的负载对挠曲的比较图；和

图 4 是在实施例 4 中使用并且描述的多个木材片的布置的示意图。

实施本发明的最好方式

本领域那些技术人员将理解的是，除了具体描述的那些之外，可将在此描述的本发明改变和改进。将理解的是本发明包括所有这些改变和改进。本发明还单独或者全部包括在本说明书中提及或指出的所有步骤、特征、组成和复合物，以及这些步骤或特征的任意两种或多种的任意和全部组合。

举例来说，本发明的方法在水蒸汽存在下将复合材料固化的上下文中描述，尽管不应该将其看作是限制前述内容的概括性。

本发明的方法涉及到将真空的袋中的模具上的预浸渍体置于装满蒸汽的腔室内。该真空袋将未固化的复合材料预浸渍体拉到模具表面上，同时防止蒸汽被预浸渍体吸收。

为了确保完全固化，可以将热电偶插入预浸渍体层之间以监控是否将未固化的复合材料暴露在固化温度下以由预浸渍体生产者确定的时间。作为选择，对于玻璃转化温度的开发并不重要的应用而言，热电偶数据可用于指示当放热反应结束的时候，其表明大部分聚合物点已经反应并且复合材料被充分固化。

采用本发明的方法，可以将大的部件例如车辆、飞机、水运工具和建筑部件放置在腔室—封闭的腔室中并且将蒸汽注入或膨胀。对于在液体浴中固化而言，必须将部件置于含有已经处于浴中的液体的浴中，这需要重的提升装置用于放置并且在固化期间压住有浮力的部件。

对于大的生产项目例如桥和桥梁、机翼、建筑表面装饰和起重臂而言，可以使用连续的传送机，因为蒸汽腔室不必如同液体浴或高压釜那样被严格密封，这可以使得与其中借助于液压装置将部件降入液体中的液体浴固化相比更迅速的部件生产。

采用液体浴固化，可能不能将部件放置在腔室中并且然后引入热的液体，因为部件的下部将首先固化，造成在固化期间在部件中产生热应力。

采用高压釜或液体浴固化，不能将密封容器施加在大的结构体例如建筑或桥上以提供用于固化的热，因为产生充足的密封既不实际也不经济。另外，将高压釜或浴调动到现场的成本将起到妨碍作用。

在室温和大气压下将部件叠合于腔室中并且将蒸汽注入腔室的情况下，将有一段部件低于 100°C 的时间。部件与周围蒸汽的温差将造成某些蒸汽冷凝在部件上。当部件温度通过 100°C 时，部件上的水分将汽化成蒸汽。

不受理论的限制，我们认为在整个固化周期期间出现了两个过程，第一个是水蒸汽冷凝在部件上同时部件低于 100°C 。当蒸汽冷凝在部件上时，蒸汽中叠合的潜热能被释放并且有助于以尽可能快的时间将部件带至该温度下。比热为 4.19kJ/kgK 的冷凝水与周围蒸汽（约 1.93kJ/kgK 并且取决于蒸汽的数量）组合确保了通过树脂放热反应产生的任何过量的热被迅速地吸收到复合材料部分的外面。

当部件温度接近于 100°C 时，由于通过引入的过热蒸汽将部件上冷凝的水分重新汽化，因此加热可能中止。该第二加热步骤由蒸汽的传热系数引起。

装满水蒸气的蒸汽具有比空气和氮气更高的导热率，正如此，与采用

高压釜固化相比热梯度的问题较少。将部件迅速带至温度下并且调节的能力被认为在空隙的消除中起了重要作用。

未固化的复合材料上的水分吸收是空隙形成的主要原因，并且即使在现有技术的液体浴技术中使用真空袋，水分也仍然可以通过袋中的小孔等接触到部件，正如真空袋本身通过真空配件吸入每一物质的性质那样。采用本发明的方法，部件仅仅与小浓度的水分接触在其中其低于 100°C 的一段时间，这可能仅仅几分钟。对于显著的水分渗过真空袋层而言，这将是不足的时间。在 100°C 之上，蒸汽不会冷凝在部件上。

以下实施例用于更全面地描述采用上述发明的方式，以及阐述被构思用于进行本发明的各个方面的最好方式。将理解的是这些实施例决不限于限制本发明的真正范围，而是被示出用于解释目的。

实施例 1

将包含两个 2.5kW 加热元件的 200L 罐中的浅池水加热至汽化点。将全部含于 5kPa 绝压下的 Wrightlon 6400 真空袋中的、由覆盖有 Wrightlon 5200 隔离膜和 Airweave N10 通气物/放气物(breather/bleeder)的 Toray G83c 平织碳纤维预浸渍体组成的复合材料试片浸入封闭的蒸汽腔室中，并且使其固化如由预浸渍体生产者制定的所需时间。在叠合期间将热电偶插入试片每一端的层之间，以得到在固化期间贯穿复合材料部件的温度分布曲线和达到固化温度所用的时间的读数，人工记录数据并且将结果示于图 1 中。

两个热电偶表现出非常类似的结果，这表明贯穿封闭的腔室有优良的温度分布。在蒸汽浸渍之后约 160 秒复合材料部件到达固化温度，这表明蒸汽能够迅速地将部件带至固化温度。该阶段之后恒定的温度分布表明该方法能够调节复合材料的温度并且吸收树脂放热产生的热。

实施例 2

将包含六个均匀分布在罐底部周围的 2.5kW 加热元件的 2700L 腔室(尺寸为 2.4m 长 x 1.2m 宽以及 1.2m 深的隔热罐)中的浅池水加热至汽化点。借助于提升夹将全部含于 5kPa 绝压下的 Wrightlon 6400 真空袋中的、由覆盖有 Wrightlon 5200 隔离膜和 Airweave N10 通气物/放气物的 Ayres 铝蜂窝状芯材料和 Toray G83c 平织并且单轴的碳纤维预浸渍体组成的完全复合的

汽车底盘(car chassis)悬浮在腔室内, 并且使其固化如由预浸渍体生产者制定的所需时间。固化成功并且将该底盘用于 2003 Formula SAE 赛车。

实施例 3

将实施例 1 中使用的 200L 罐用作腔室, 在大气压下将过热蒸汽注入其中。将全部含于 2kPa 绝压下的 Wrightlon 6400 真空袋中的、由覆盖有 Wrightlon 5200 隔离膜和 Airweave N10 通气物/放气物的 Toray 2510 平织碳纤维预浸渍体组成的试片放置在该腔室中, 并且在 180°C 下经受过热蒸汽。该试片当其固化时经历了放热反应, 但周围的蒸汽吸收了产生的过量的热, 在 90 秒内实现了胶凝并且在 20 分钟下成功地使复合材料固化。部件和引入的蒸汽的温度对时间的图示于图 2 中。

实施例 4

将具有风化和腐蚀破损特征的、代表木质桥梁、支架或构件的切割的木材片处理以将松散材料从表面上除去。为了确保在木质梁与复合材料之间优良的粘结性, 可以将木材连续地吹风和砂磨以产生楔形表面。在木材的两个部分周围施用高温迅速固化的环氧糊剂以构造‘真空环’。该糊剂由将高温环氧树脂与部分胶态硅石和 Q-细胞微球体混合而制备, 以得到一旦定形则可以砂磨的稠的糊剂。在轻微砂磨之前, 将该真空环固化过夜以提供光滑的平面。

用填缝枪将柔性的、迅速固化的填缝复合物施用在木材的任何裂缝中, 以减少在真空固结期间空气沿着裂缝的传播。真空固结是在固化期间的过程中的一个重要步骤, 因为确保了在木材与预浸渍体之间良好的粘结。如果在固化期间使空气到达预浸渍体与木材之间, 则可能损害粘结。将高温环氧粘合剂薄膜 (Cytec FM73M-OST) 包裹在木材周围。该粘合剂薄膜提供了所必需的环氧树脂数量, 确保了在木材与预浸渍体材料之间牢固的、坚韧的并且持久的粘结。该薄膜被配制成与其粘结的预浸渍体的热性能匹配, 因此使用的粘合剂薄膜的选择将主要取决于预浸渍体的选择。

将木材包裹在由 Toray G83c 平织碳纤维预浸渍体组成的未固化复合材料中。将真空袋密封带施加在真空环的周围以在真空袋与木材之间提供气密封。将预浸渍体包覆在非-粘性的隔离膜 (Wrightlon 5200 隔离膜) 中, 以

确保在固化期间树脂不会粘结在通气的织物上。将通气物（Airweave N10 通气物/放气物）包裹在复合材料周围，以在真空固结期间提供给将被排出的空气的路径。将木材和复合材料部分包裹在气密的真空袋薄膜（Wrightlon 6400 真空袋薄膜）中并且连上排气孔，将真空（5kPa 绝压）施加在袋上。

将被称作‘蒸汽袋’的以厚的编织耐火聚酯形式的扁平的隔热织物片松散地包裹在木材上，以使得木材的末端伸出通过袋的末端。在将织物包裹在木材上的情况下，采用钩环体系例如 Velcro® 将其本身连接以形成覆盖复合材料包裹的木材的柔性圆柱体。在木材退出该圆柱体的柔性圆柱体的末端，采用缝合成束带(sewn in cinches)而将圆柱体在木材周围拉紧以形成松散密封的袋。将袋装满蒸汽约 2 小时以使复合材料固化并且使其粘结在木材上。

采用带有 100kN 负载元件的 Instron 8501 在 1.2m 的跨距上 3 点弯曲测试木材，并且发现具有为类似未破损的木材片两倍的强度。试验程序的负载对挠曲的比较图可以在图 3 中找到，其中实心部分是指未破损的木材片，裂开部分是指被纵向切割以制得三个相同尺寸的片的木材片，并且破修复是指如该实施例中描述的那样修复的裂开部分。3 个木材片的示意图可以在图 4 中看到。

实施例 5

在发动机底板(engine bay)内的区域中将由 Ayres 铝蜂窝状芯材料和 Toray G83c 平织并且单轴的碳纤维预浸渍体组成的敞开的有轮的赛车底盘损坏。该损坏需要将断裂的纤维和未粘结的碳纤维区域除去。在取出破损部分之后，将该区域清洗并且将新的未固化的 Toray G83c 平织并且单轴的碳纤维预浸渍体叠合在受损区域上。将该区域用 Wrightlon 5200 隔离膜和 Airweave N10 通气物/放气物覆盖并且封装在 5kPa 绝压下的 Wrightlon 6400 真空袋中。然后采用一段中密度聚氨酯泡沫将该区域覆盖，其中通过雕刻形成空洞以在泡沫与袋之间提供大的空气填充空隙。在修复区域的对面，放置风扇以保持恒定的冷空气流过未受损的底盘区域。将泡沫内的孔隙充满蒸汽约 4 小时，使得复合材料固化。固化效果是使得将底盘修复至足以用于其预期设计负载的强度。

实施例 6

将测量为 150 x 150 x 30mm 的六片混凝土用由覆盖有 Wrightlon 5200 隔离膜和 Airweave N10 通气物/放气物的 SP Systems SE84LV 平织碳纤维预浸渍体组成的未固化的复合材料覆盖，并且封装在 2kPa 绝压下的 Wrightlon 6400 真空袋中。将袋置于腔室中，向其中引入蒸汽。在 2 小时后，将复合材料固化并且将混凝土样品进行弹性底座拉伸测试(tensile dolly pull off tests)，其展现出复合材料与混凝土之间的粘结性比混凝土的拉伸强度更大。

实施例 7

将中空的名义尺寸为 3m x 150mm x 50mm 的铝梁在 3 面上用由覆盖有 Wrightlon 5200 隔离膜和 Airweave N10 通气物/放气物的 Toray G83c 平织碳纤维预浸渍体组成的未固化的复合材料覆盖。将未固化的复合材料封装在由 Wrightlon 6400 真空袋薄膜制备的袋中，将袋密封并且经受真空以产生 5kPa 的绝压。将蒸汽引入中空铝梁的中心，并且通过蒸汽将铝梁和复合材料加热 2 小时以使得复合材料固化。将复合材料从铝梁的外面取出以形成固化的复合材料通道。

例如本领域那些技术人员明显知道的那些改进和变化被认为处于本发明的范围内。

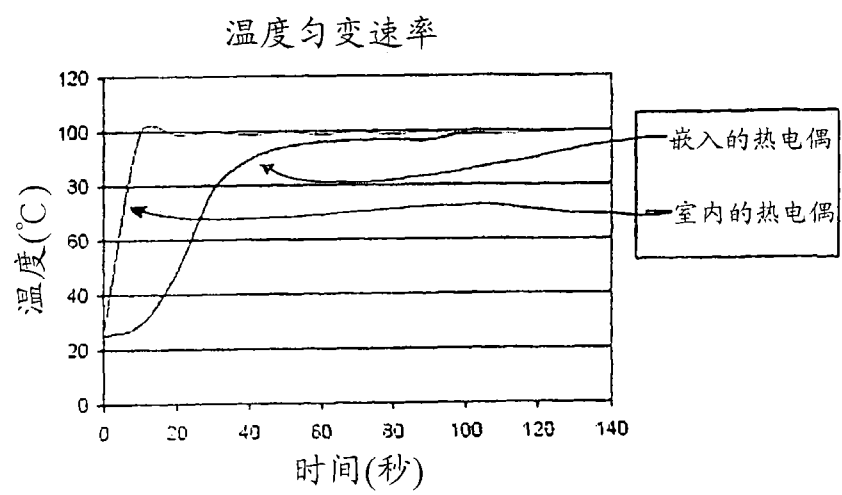


图 1

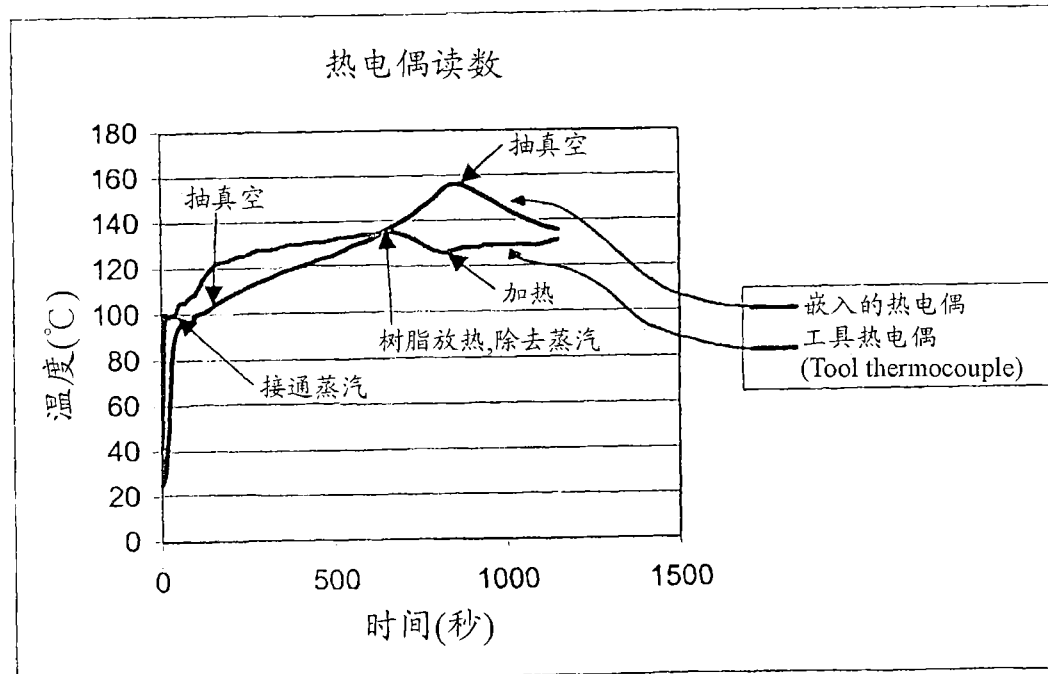


图 2

