

真空灌注工艺

简介

真空灌注工艺是指树脂通过真空的力量来灌注的。材料是平铺在模具上，树脂在抽完真空以后导入。要达到完全的真空，树脂通过管子逐层渗透到铺层，此工艺需根据不同厂家和材料进行分类。

传统的手糊工艺，将加强层平铺在模具上，用毛刷、辊子或其他功能一样的浸润压实，能够提高的方法就是利用真空袋将多余的树脂吸出来，真空袋能够很大地提高树脂对玻璃丝的渗透率，主要结果是让产品更强更轻。如果对真空袋不是很熟悉的话，我们建议阅读我们的手册，关于真空袋设备及技术应用，及真空成型工艺应用的经验及原理。

真空灌注的优点

真空灌注比传统的真空袋法工艺有一定的改进，主要优点如下：

- 更高的树脂纤维比
- 减少浪费的树脂
- 树脂用量的一致性；
- 减少准备时间；
- 清洁

真空灌注工艺的纤维树脂比比真空袋法好。传统的手糊工艺是含100%的纤维加树脂，单独的树脂是很易碎的，所以过多的树脂实际上更容易碎。真空袋能够减少这方面的问题，但是也不能解决其他额外的问题。

真空袋法对于手糊来说，确实是一大提高，但还是和手糊有关。因为这样，碾压一直处于饱和的状态。真空气压使多余的树脂吸出，但大多数的清除还要靠加强层，树脂，时间等其他因素。

真空灌注的不同方式是，当抽成真空状态时，纤维都还是干的。从以上的观点，树脂是通过真空的力量导入，比刚开始就将多余的树脂吸入的好。真空灌注开始时没有让树脂导入。实际上，多余的树脂通过真空管导出，结果就是只有最少的树脂导入，这样就可以减轻重量，提高强度，最大化地节约树脂与纤维。部件通过真空灌注成型的可以达到很平整的水平。

由于通过真空灌注成型，树脂用量变得可计算了。当标准的手糊树脂用量，因不同的操作这而变化，真空灌注的树脂用量却是一致的。既使当制造一个大产品，树脂用量也是高度的可重复。这样的结果是减少树脂的浪费，更重要的是减少浪费钱。

真空灌注需要注意的另一个重要因素：时间。经常发生问题是真空灌注的时间。有很多树脂的储存期约 30 分钟，尽管有些树脂（比如环氧树脂）的储存期是 2 小时，即使如此，这个时限（储存期）也是真空灌注的关键因素。大的项目很容易达到 2 小时的时限，即使小的，表面简单项目在出现真空泄漏时很不容易被发现，当安装好真空袋时，树脂就可能在部件间流动了。

真空灌注没有时间方面的限定，因为抽真空时，加强层还是干的，直到所有的树脂都完成。安装真空袋以后，泄漏很快会被找出来，如果有些地方不合适的，可能重新灌真空和重调。直到它不灌输树脂时，

时间才能停。直到那片刻，才可以做再次的变动。

最后，真空灌注是个很干净的工艺。不需要刷子或镊子，也不需要喷涂或喷射。不需要开模具，将饱和的铺层，用手试着不会滴下来。另外，这样会减少树脂的气味。因为树脂的气味是从存放树脂的容器里传出来的。真空灌注是对环境干净，安全又很好的工艺，虽然工作时还是要求通风的环境，穿戴防护用品及安全设备也是很重要的。

潜在的缺陷

想所有的手糊工艺一样，真空灌注不是没有缺陷。当灌注时，一定要注意以下事项：

- 复杂的真空系统
- 容易损坏部件
- 试验及错误

虽然设立真空系统比较复杂，但是对时间的要求是自由的。真空袋法只要求真空管。真空灌注不仅要求真空管能够导入树脂，并且要求在袋子里面扩展开来。真空的布置及树脂导入每个部件都是不一样的，没有一个相同的方法来设定。必须考虑到它的存放及其他的脱模事宜。

这样会导致下一个缺陷，这样的件很容易碎。很有代表性的是，开始灌注时，应该是一点一点慢慢的，并且在出现问题时可以纠正。例如，当出现一点真空泄漏时，甚至是最少的空气进入时，也会将整个产品报废了。这样有可能会导致，树脂堆积成层，有些没有完全浸泡；或者甚至出现树脂堵塞，不流动了。虽然这样会导致一些问题，

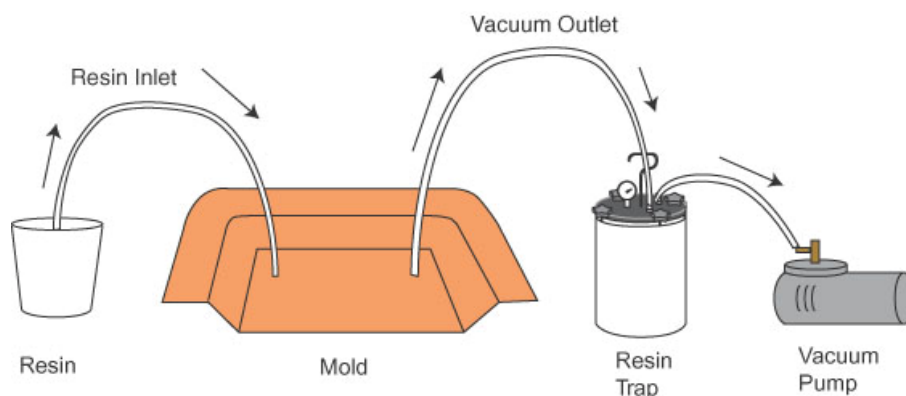
但这些问题还是可以改进的，也并不是所预期产生的。最好的保护措施就是在建立铺层时一定要认真。

对于此工艺的复杂性和问题的处理，真空灌注将有一套试验及问题纠正的工艺。最重要的一步是，当第一次要灌注时，要留意只能是很少一部分或稍多一部分的树脂导入，直到是完全正确了为止。在每次的试验中要多注意在试验中得到的数据，并仔细做好相关的文件记录，保持记录每次树脂的流动速度，决定树脂在哪里流动出现问题，然后针对问题去找解决方案。甚至于最小部分的变动也可能产生不同的结果。用小批量且便宜的材料，并且大小一样的样块进行练习，主要是想通过错误学习到问题的关键。当我们投入大批量的生产项目时，有多种不一样的真空要求及树脂要求要特别注意。在生产时，至少要有 6 个月的试验及准备期，方可设立生产。

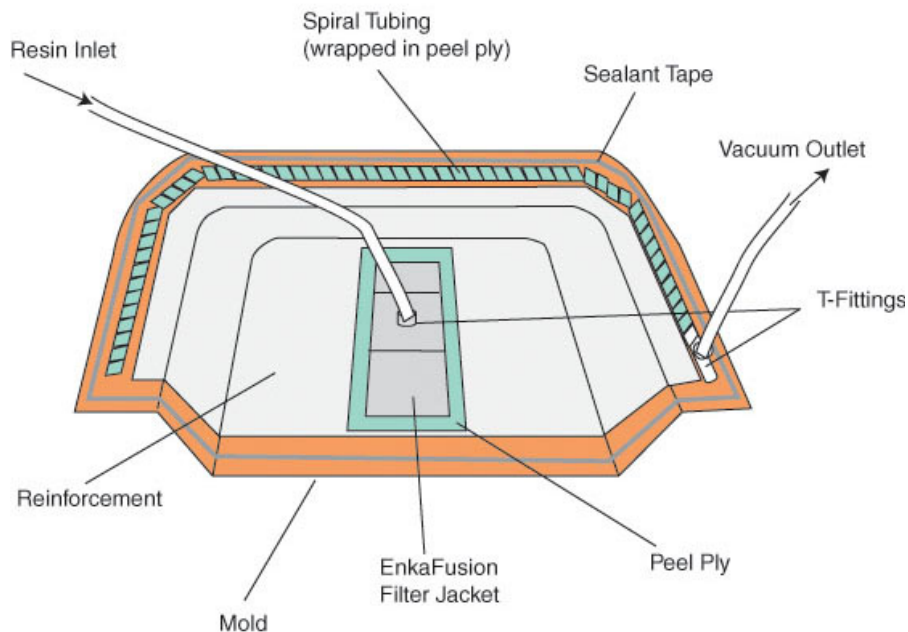
真空灌注的设立及设备

当准备真空灌注时，很重要的是要明白一些总的概念，如材料如何使用及如何安排。在概念中要明白，每个项目的指导都不是唯一，我们将对不同的情况进行讨论。

首先，按下面插图所列的顺序及内容，进行真空灌注。



对于手册的方案，我们只能对铺层有一个大致的想法，但对树脂如何导入中间铺层将是中心问题。树脂是通过真空的力量扩展。最后的安排是材料看起来像这样。备注：对于此插图所示的，并不是真空袋本身。



有了最终的目标，让我们更进一步，一步一步地认识都有哪些材料并如何去使用

步骤一 模具

准备模具

铺加强层

铺导流材料

步骤二：树脂及真空管路

铺树脂导流管

铺真空管路

步骤三 真空袋

建立真空袋

不能让树脂进入真空泵中（树脂俘获）

步骤四 真空泵

连接真空泵

确认有真空

步骤五 灌注准备

准备好树脂

准备树脂桶

步骤六 树脂灌注

树脂加催化剂，开始灌注树脂

夹住树脂导入管

步骤七 试验及改进项

对真空灌注的帮助

传统工艺上的变更

步骤一 模具

准备模具

跟其他手糊工艺类似，真空灌注成型工艺也是需要质量好的模具。

模具必须是达到硬度要求并且表面要像镜面一样。更好的是，模具周围要有至少 150mm 的法兰边，能够铺密封带及螺旋管。模具清洁干净并打完脱模剂的。除非模具是释放内脱模剂的。

建立铺层

选择加强层对于手糊是非常重要的，但是对于灌注成型的更是要

额外考虑。当织物都可以灌注时，不同的试验及编织不同的走向，会直接影响到树脂的流动速度，以下有些总的在选择材料方面的建议，但不是唯一，因为可能有很多经历和试验。

在真空灌注里，玻璃织物是最经常使用的加强层，大多数的玻璃织物具有很强的渗透性，可以让树脂很快流过。总的来说，松散的织物更利于树脂流动，尽管有卷边。

当使用非纺织的毡，连续毡会比短切毡好，当二者的渗透性都很好时，短切毡就会阻碍了树脂的流动速度，但连续毡就会避免此问题了。

根据结构通常选用编织物做为灌注，这些编织物为非纺织的，但不会像纺织品一样会起卷。这些材料不仅要加快树脂的流动，而且对产品有增加强度的作用。

碳纤维和 KEVLA 也可以用在真空灌注的加强层，但它们的导入很慢。为了解决此问题，可以额外增加乙炔基和环氧树脂来提高树脂的流动速度。这是一个好的解决流动速度的试验方案。

当工件是一个形状比较复杂的模具，干的加强层是不容易铺平的，3M™ Super 77 快干喷胶 1404 是可以推荐来解决此问题的。在模具表面轻轻喷上一层，再把加强层铺上铺平。这样可以保证材料有足够的粘贴在固定的位置，使用适量，此胶不会影响到树脂的灌注或其他的工序。

设置导流层或中间层

中间导流层

真空灌注最突出的特点是中间导流层，在真空灌注工艺里，树脂进入铺层是要有引导才能导入，树脂会沿着小缝隙钻进去。不大理想的是，很多加强层有不能很好的渗透树脂，影响了树脂的流动，中间导流层就是起到加快树脂流动的作用了。

虽然有存在一些可以不需要中间导流层也可以将树脂导入的可能，但很少能够成功的。中间导流层就平铺在加强层的中间，做为树脂轻松导入的管道。这些材料基本上就是部件的一部分了。

中间导流层有好几种类型：

ENKA 尼龙导流网属于导流时间最快的，它的导向的结构比较随意，是用尼龙丝缠的，此导流网可以让树脂流动尽可能地快。

强芯毡具有最强的兼容性，此材料应用于大批量的中间导流，它可以同时在六个方向让树脂渗入铺层，并且同时可以增加厚度。使用**SORIC** 一体的铺层，从经验上讲，能够比其他的玻璃纤维节约 35%的树脂。作为核心部分，强芯毡不需具备结构上的要求。

DIVINYMAT 也是具备中间导流结构的材料，此材料与乙烯基的发泡板类似，而且可以通过开槽，钻孔等方式帮助树脂渗透到铺层，并且可以增加强度和硬度。此外，此材料背面有棉麻织物，具有很好的兼容性，（另外，比起对树脂的导流速度来讲的话，发泡板（闭孔）只会阻塞树脂，所以不被推荐使用）

步骤二 树脂及真空管路

在铺真空袋之前，必须先认真仔细地铺好树脂及真空的管路

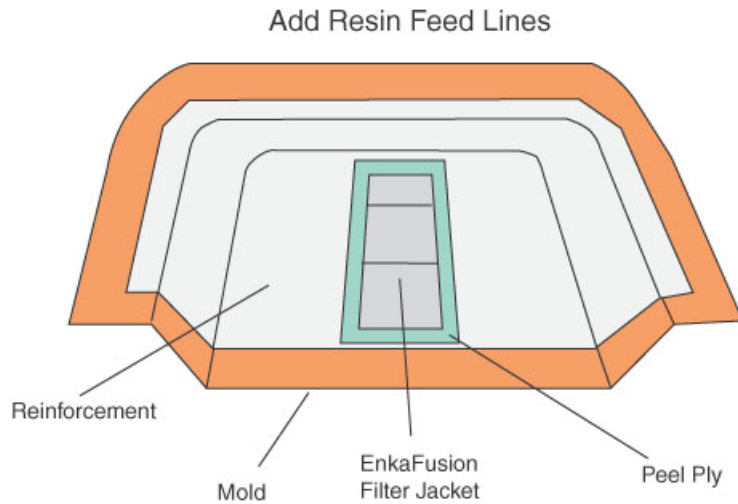
建立树脂导入管

树脂将从树脂桶或立式的容器里导出，在铺真空袋之前，必须将树脂从管路里导入到铺层。虽然树脂的导入的管子与供应真空的管子一样，也可以让树脂导入，但为了提高树脂导入的速度，还有一些特别的材料可以使用，可以让树脂更快地渗透。

EnkaFusion Filter Jacket 的导流网几乎适用于所有的真空灌注项目，此材料是用在铺层的最上一层，当要脱模时，可以从部件上脱下来。同时，此材料具有可很好的导流性，可用在树脂和真空管路上 T 型位置的连接。

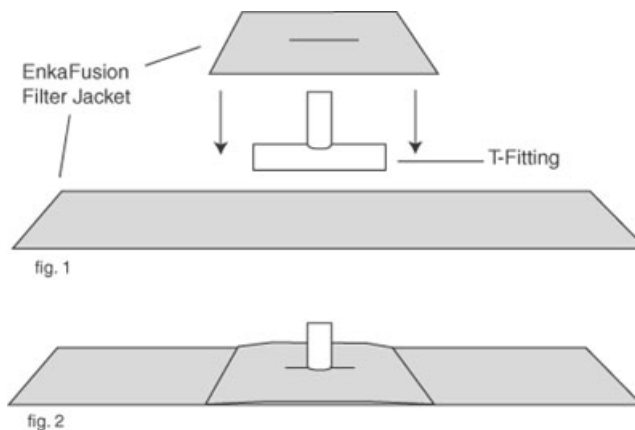
EnkaFusion Filter Jacket 的导流网有 100mm 宽树脂流通口，通常是平铺在铺层上，并且要超出铺层。它与导流网类似，但比它窄，还含有织物衬底，此织物的设计可以保持着树脂直到灌注满了。关于此观点，倘若要保持树脂大范围流动的一致性的话，树脂一开始就要通过织物流向铺层。**EnkaFusion Filter Jacket** 的这种方式，对于树脂的导入具有显著的作用。当作为表面使用时，请确认脱模布是在滤布的下面，否则的话，将会和产品粘在一起，脱不下来了。

螺旋管，是种塑料的带子，卷成管子的形状，由于它的结构，空气和树脂可以通过管子进入或出来，穿透整个产品。此特点刚好作为树脂和真空导入的输送管。当作为树脂导入时，树脂会快速地导入，同时沿着此管渗透。这样可以使铺层在一段时间里快速渗透，可以确认的是，此螺旋管也是很容易剥离的。



以上插图展示的是 EnkaFusion Filter Jacket 的导流网，用在树脂导入。

另外，在铺管路时，可使用小片的 EnkaFusion Filter Jacket 的导流网铺在最表面，可用在树脂管路上 T 型位置的连接。这样可锁定 T 型位置的树脂，确保树脂的流动速度。可在最表面层切开一个小口，捅破到下一层，如图 1 所示的三片相关材料，图 2 所示的完成后的三明治结构。



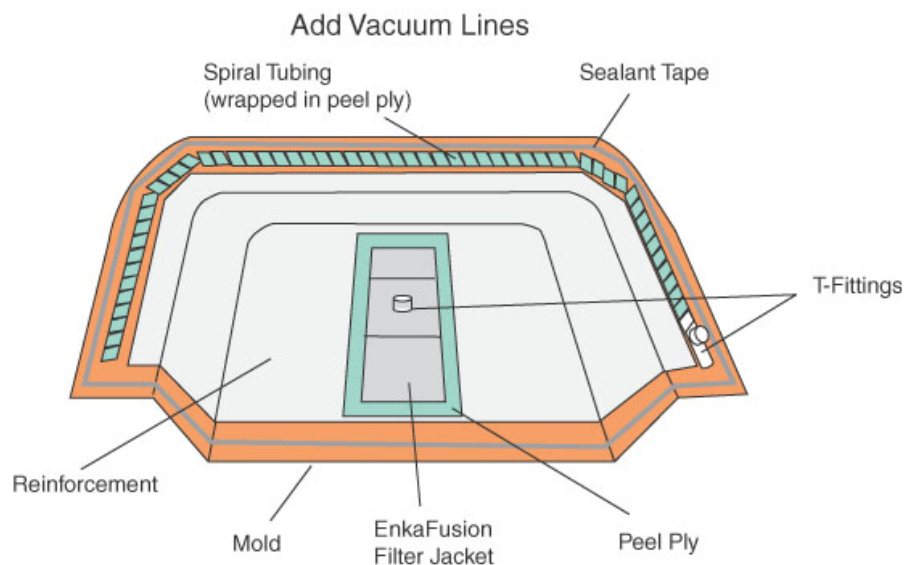
建立真空管路

通常真空袋法使用透气毡，可以吸收多余的树脂，也可以让真空渗透到铺层，此材料通常不用在树脂灌注上。

相反的，在真空灌注工艺上，真空管路是需要密封在袋子里的，

螺旋管具有此特点。为了达到完全灌注，树脂必须渗透到铺层的每个角落里，因为通常的做法是，从铺层的中间开始灌注，螺旋管通常是装在法兰边四周上，一次以后，螺旋管就可以剥落了

当使用螺旋管时，一定要拉直了才能用，不能让其缩着。最简单的密封方式就是使用小的密封带，当有气泡时，可用此粘在管子上，然后再粘在模具上。



步骤三 铺真空袋及粘树脂管路

铺真空袋

铺完干的材料以后，就可以铺真空袋了，袋子必须是不能漏气的，不漏气的，但有足够的空间让其吸附所有的材料及管路。太大或太小的袋子只会导致的树脂堆积或灌注不当。

真空袋铺好以后，就可以粘上树脂导入和真空管。当在切管子时，要非常小心，不能将袋子弄破，通常这些会导致漏气。

当真空泵打开前，要先将树脂导入管先夹紧。在树脂导入前，必须先将真空抽出，而此时的树脂导入管是个临时的漏气管，所以必须

要先密封。最简单地夹住此管的办法就是，将此管折起来，粘上#1605-A，放在原有的位置。

不能让树脂进入真空泵

树脂俘获器

介绍一个关键的设备，1500 的树脂俘获器。树脂俘获器是个密封的，里面缠上真空管连接着真空泵和铺层，避免多余的树脂进入真空泵，破坏了泵。当完全设定以后，真空管将连着铺层，直接进入树脂俘获器。另一个管子将树脂俘获器分离，接到真空泵上。

在真空工艺上，真空的压力是用于将树脂导入到铺层，当树脂已经将干的铺层纤维全部润湿的时候，树脂还在一部分一部分渗入到铺层的，这是正常的现象，树脂快速地进入真空管路，继续灌注。

当泵的空气还在流动时，树脂俘获器会将多余的树脂吸到俘获器里。如果部件比较大的话，需要准备几个树脂俘获器，以便一个被吸满了以后，另一个可以接着用。

备注：在使用树脂俘获器前，先用脱模腊将里面的凹槽涂上，以便将里面固化树脂清除干净。

步骤三 真空泵

连接真空泵

当所有的部件都准备好时，就可以连接真空泵了。因为树脂是通过真空的压力导入的，有一个强压力的泵将会更好，通常，力量大的泵可以帮助灌注者更快。

确认有效的真空

连接上后，打开真空。不管任何的真空袋，漏气是最大的问题，甚至于最小的漏气，也会影响了工作的进程，或甚至会导致产品报废。因为真空灌注工艺是没有时间限制的，为了考虑影响，必须要找出所有的漏气的地方，甚至连一些通常不大可能会被发现的也要找出来。在此步骤上，通常有些工具可以利用，1503 手提式超声波测漏仪，这是一款很小的，手提的，用于检测漏气的，同时可以让漏气的地方发出声音。当显示灯有显示漏气的地方时，戴上厂家提供的耳机，就很容易听到声音。因为此声音也会有显示出来，所以此工具通常也应用在吵杂的车间。

为了节约预算，简单的听诊器也可以用在测漏仪上，虽然跟这个超声波的测漏仪不能相配，及精确度也不高。但 1504 的听诊器可以提高测漏的精确度，也可以减少成本。

准备灌注

准备树脂

树脂的选择是真空工艺的另一个关键问题，通常有种误解，那就是要求有种特别的“灌注型”树脂，很简单，那是不对的。实际上任何树脂都要可以用作灌注，尽管它们有很多不同的指导方法，在使用时要慎重考虑。其中重要的一点就是要测试树脂的粘度。一般来说，低粘度的有利于灌注，它可以很快地渗透到加强层上。但也不是说高粘度的树脂不能使用，只是它们需要更多的树脂管路和更多的导流层。

乙烯基树脂是最经常使用在真空灌注上的，它的粘度是 275，非

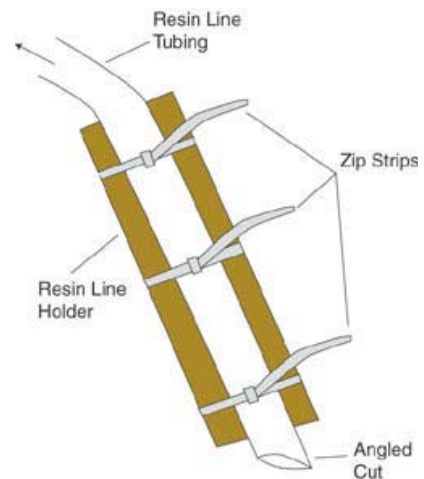
常适合此工艺。实际上，有很多厂家就叫此树脂为灌注型树脂。

聚脂树脂，它的粘度为 475，也比較容易被灌注。

环氧树脂，它的粘度为 900-975，配合固化剂使用，这样的话，灌注会慢些。不管怎么样，这也不会成为大问题，高品质的真空灌注产品，有很多成功地使用了环氧树脂及多样化的加强层。因为此树脂可以长时间在保持在罐子里，灌注时间慢不是个大问题。在铺层时，考虑多铺些管路及导流层就可以了。

树脂桶

因为此工艺没有用到刷子或辊子，我们必须要保证每一步导入都要有树脂，并且让管子留在里，否则让空气进入管路，产品就有可能报废。这些简单的工具有：桶、树脂管的固定器、拉链锁、快速夹钳。树脂管的固定器是个长的，硬的材料，可以粘树脂管，让其通过拉链锁。只要粘上，就可以确保树脂管保持在直线上。这样可以避免管子自然的弯曲和卷起来，同时也有助于在角落里切掉多余的管子。另外，管子里保持着真空在桶里，可以防止树脂流动。粘上固定器后，管子就用夹子夹在桶上。这样可以保证管子保持在准确的位置上。



灌注树脂

加树脂促进剂及灌注

其他东西准备好时，就可以调树脂了。请再次确认管子是否还是在桶里面，确认后，移开气阀，松开夹子，让树脂导入。树脂应该是快速地通过管子渗透到铺层。

当树脂渗透到铺层时，树脂的导入管将会被快速地填满。当管子满时，树脂将会渗透到加强层。灌注的速度是受很多因素影响的，但桶脂应该要保持在流动的。直到铺层灌满树脂时才行。

夹住树脂导入管

当所有的铺层都渗透时，就没有必要导入更多的树脂了。如果桶已经干了，那么空气就会进去了。为了避免这样，在不需要树脂时，就要用夹子夹住管子。这个方法跟在树脂未导入时是一样的，要将管子折起来。当完成这些工作以后，最重要的就是要检查是否又有潜在的漏气。

当树脂管夹住后，灌注已经完成了。但此时还是不能关真空泵，要保持一样的真空压直到树脂完全固化，否则空气又会进入。

试验及改进

真空灌注的

象其他的铺层方法，这里可以介绍一些别的改进项点，可以对进一步的试验节省时间，并可以提供些有用的数据。

测温枪

在灌注时，有个有用的信息就是树脂的温度，温度可以告诉你，

树脂何时开始固化，产品什么时候达到最高的放热曲线，什么时候产品的温度回到室温。

为了测定温度，可以 1502 的测温枪。这个简单的装置可以指定一个区域，就可以显示出温度，通常使用于有规律地检测温度，包括树脂桶，树脂导入，树脂流动部分的温度。

秒表和记号

当灌注时，特别是真空在工作时时，要监控这树脂的流动速度和所需时间。这对于秒表和记号来说，是很简单的。当树脂刚导入时，就可以开始计时了。在有规律的间隔时间里，在树脂流通的位置，在袋子上作上标记，这样可以做为灌注时的试验信息，可以参考每次有小变化时，是否会影响到灌注。

铺层结构的多样性

对于基本理论和供应不是很了解的情况下，有就必要讨论一下有关模具材料方面的事宜。总的来说，没有一个是完全正确的做法，只有总体的选择是对的就可以了。

当在选择材料时，就是要了解为什么树脂是按来走向的。当真空撤下来时，所有的空气都会转移到铺层，让真空有更多的空间。这是因为压力会使其进入铺层，很自然地，压力会使真空进入这些空间。在真空工艺，有个错误的概念，就是树脂是通过真空泵导入部件的，但实际上，是由于真空压力而工作。只要真空达到时，理论上泵就可以停止，（尽管此方法不被推荐使用）但是灌注仍在继续。

为了保证树脂能够完全地渗透到铺层，建议用以下两个建议来保

证的流动。

- 用真空来保证树脂有足够的空间导入
- 树脂通过的路径只有最小的阻碍

利用以上两个方法，熟练地操作，可以保证用最少的树脂可以让树脂渗透到铺层。为了让树脂在袋子里面可以得到扩散，可以按以下两个图示来操作。

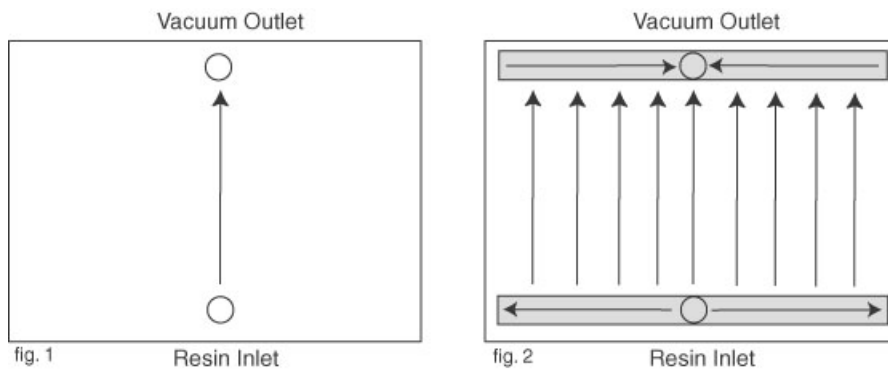


图 1、树脂和真空没有其他载体，可以在袋子里扩散。这样的结果，只能是树脂从一个点到另一个点，所以多数树脂只能停留在一个地方，可能导致报废。

图 2，树脂和真空管子都被延伸了，真空管的延伸可用螺旋管，同时，树脂导入管也可用螺旋管或 ENKA 的滤布。在这个例子里，树脂将会快速地从这块灰色的地方穿透。当树脂被灌注时，导入管将很快被填满。当导入管满时，树脂将会到达最近的真空管，因为当真空管延伸的好时，将会直接最快地渗透到铺层。如箭对所指的方面，树脂很就会渗透到铺层。

提示：

不管对材料做什么特别的安排，但有些还是要特别注意的。

- 请确认树脂在真空管和模具间及真空泵间，是否存在当灌注满

时，还会有可能使树脂从真空管里导入。

- 有些材料稍后要从产品中拿走的，如导流层和螺旋管，否则，将会埋到产品里的。

普通的变化有：

下面例子是，螺旋管既做为树脂导入管，也作为真空导入管。树脂从一头进入，通过管子快速填满。这样的话，树脂是一开始就流向铺层。同时，这样铺层会比较简单，树脂需要通过比较远的距离，使用什么材料及设备，可以使这个距离变成一个重要的因素。不管怎么样，里层和外层必须要保持一致性。

大的项目

既然已经了解了注入理论，很容易将应用扩展到大的部件。树脂通过管子导入，它将会有些阻碍，最后减速停止。为了防止这个问题，大的部件要求要有多条的树脂和真空的通道。总的来说，树脂通道不超过 760—910mm，如果超过这个尺寸就应该分成开。但是，当使用渗透性不好的材料或高粘度的树脂时，这个尺寸要减小。这是在大项生产前必须要通过实验弄清材料的技术条件。

总结

真空工艺可能看起来很复杂，但这是没必要的，试验不同的材料和不同的真空网络布置，即使是小的变化也可能会有不同的成果。也有可能几次的尝试都不能成功，在实验经验的基础上，会变得合理。

出发点

我们制作 590 的真空材料只是大家熟悉的，但也不是唯一的，我

们建议在准备树脂灌注时要先试验一下真空袋及模具的室温。

这成套工具包含足够的材料建立 3 个注入试验项目由 610 x 330mm 决定每。在完成这些 3 以后"实践" 碾压您将通晓 EnkaFusion 尼龙席子、Lantor Soric, EnkaFusion 过滤器夹克和 Divinymat 三明治核心。您能判断在树脂旅行和 conformability 上的区别作为衣服您的未来注入应用。另外, 您能安装您的真空和树脂线和得到一些经验控制您的树脂桶和树脂流程。

This kit contains:

#505-A Resin Bucket 1 Gallon (x3) #1605-A Flow Regulator (x2)

#512-B Resin Line Holder (x3) #1606-A Spring Clamp

#893 Vacuum Tubing 5'pieces (x3) #906-A T-Fittings (x6)

#1601 Zip Strips (x6) #1400 Filter Jacket 18" (x3)

#1400 Filter Jacket 5" (x3) #1403 Spiral Tubing 5' pieces (x3)

#582 Peel Ply 5'x5" pieces (x3) #582 Peel Ply 20"x5" pieces (x3)

#1024 DIVINYMAT® 24"x16" #1409 Lantor Soric® 24"x16.37"

#1401 Nylon Matting 24"x13" Instruction Sheet

为了使用此工具包, 你要有自己的真空泵, 真空袋及真空管子, 同时, 你还要有树脂及加强层, 最后, 你还要有模具并要带有大的法兰边。

工具包会提供你所需要的东西:

One laminate using EnkaFusion Nylon Matting as a Flow Media

One laminate using Lantor Soric® as a Flow Media

One laminate using Divinymat® Sandwich Core as a Flow Media

It includes all of the supplies for resin bucket setup and resin lines, EnkaFusion Filter Jacket, spiral tubing vacuum extensions, and enough peel ply to handle 3 jobs this size.

如果你可以有真空袋，可以有树脂灌注，这套工具可以帮助你决定如何选择中间导流层，如何铺层，如何使用螺旋管，将来如何在你的项目里取得成功。

在一系列的试验之后，你会计划你的中间导流及树脂管路的建立，你将会利用熟练地运用到此手册里知识，能够少走弯路，并且能够结合问题来共同获得真空灌注工艺的成功。