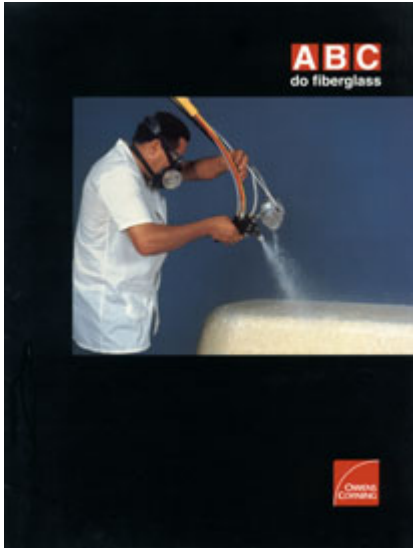


**A B C**

do fiberglass





Substâncias simples são aquelas formadas por átomos de um mesmo elemento. O oxigênio, o hidrogênio e o cloro são exemplos de substâncias simples.

As substâncias compostas, ao contrário das simples, são constituídas por átomos de elementos diferentes. A água (contém átomos de oxigênio e de hidrogênio) e o cloreto de sódio (contém átomos de cloro e de sódio) são substâncias compostas.

Os materiais compostos são obtidos misturando substâncias simples ou compostas. Salmoura é um exemplo de material composto resultante da mistura de duas substâncias compostas, água e cloreto de sódio. A salmoura é um material composto não estrutural. O aço é um material composto que mistura várias substâncias simples como ferro, carbono e outros metais. Ao contrário da salmoura, o aço é um material composto estrutural.

Repetindo, as substâncias simples são formadas por um único elemento, enquanto as compostas resultam da combinação de elementos ou átomos diferentes. Os materiais compostos são obtidos misturando substâncias diferentes, simples ou compostas.

Os compósitos são uma classe especial de materiais compostos. Em sentido amplo, os compósitos são definidos como materiais compostos estruturais constituídos por duas ou mais fases macroscópicas e com propriedades mecânicas iguais ou melhores que as de cada componente considerado isoladamente. Assim, os compósitos formam um grupo especial de materiais compostos. As propriedades que caracterizam os compósitos e os colocam numa classe especial dentro dos materiais compostos são:

- a) os compósitos são materiais estruturais
- b) que tem fases distintas e visíveis macroscopicamente
- c) e cujas propriedades mecânicas são superiores às de cada componente considerado isoladamente.

A fase contínua dos compósitos é conhecida como matriz. A descontínua pode ser chamada de carga, de agregado ou de reforço, dependendo do tamanho e do formato de suas partículas. A madeira e o concreto são dois compósitos muito conhecidos. Especificamente, a madeira é um compósito constituído por fibras de celulose (fase descontínua) envolvida por uma matriz (fase contínua) de linina. O concreto é um compósito formado por agregado (fase descontínua) em uma matriz de cimento.

Vemos então que em sentido amplo o conceito de compósitos abrange materiais como madeira e concreto. Porém, em sentido restrito, os compósitos são entendidos como materiais estruturais formados por uma fase contínua polimérica (plástico) reforçada por uma fase descontínua fibrosa. Assim, em sentido restrito, quando falamos em compósitos queremos dizer materiais compostos constituído por plásticos reforçados com fibras.

O Fiberglass (matriz plástica reforçada com fibras de vidro) é um membro muito especial e distinto da família dos compósitos.

Fiberglass é um material estrutural leve, que não enferruja e que pode ser moldado em peças complexas, pequenas ou grandes, em grandes, médias ou pequenas escalas de produção. As peças grandes produzidas em pequenas escalas geralmente são feitas pelos processos de laminação manual ou a pistola. A Owens Corning, pioneira e líder mundial na produção e comercialização de fibras de vidro, preparou este "ABC DO FIBERGLASS" para divulgar os processos de laminação manual e a pistola e para dar aos laminadores iniciantes uma introdução abrangente e sistemática sobre essa tecnologia básica. Os processos de laminação manual ou a pistola são também conhecidos como processos de moldagem por contato (isto é, sem pressão) ou processos de molde aberto.

As fibras de vidro são usadas para reforçar vários tipos de plásticos. Porém, na grande maioria dos casos, os plásticos usados como matriz para compósitos de Fiberglass são feitos com resinas poliéster insaturadas. Essas resinas são muito usadas em compósitos moldados por contato porque elas são fáceis de ser transformadas em plástico. As resinas poliéster insaturadas são processadas no estado líquido e curam (isto é, transformam em plástico) à temperatura ambiente em moldes simples e baratos. A cura à temperatura ambiente e sem exigir moldes caros é muito importante, porque viabiliza a produção em pequena escala de peças grandes e complexas.



Existem vários processos para produzir peças em poliéster reforçado com fibras de vidro. Neste ABC DO FIBERGLASS, porém, trataremos apenas dos processos de laminação manual ou a pistola. Vamos começar apresentando os materiais de consumo e as matérias primas. Depois mostraremos os detalhes desses dois processos. As matérias primas, como as fibras de vidro, o catalisador, o acelerador, o poliéster, etc, diferem dos materiais de consumo porque fazem parte das peças acabadas. Os materiais de consumo, como o desmoldante, os solventes para limpeza, as lixas, os pincéis e outros, apesar de usados nos processos, não integram o produto final.

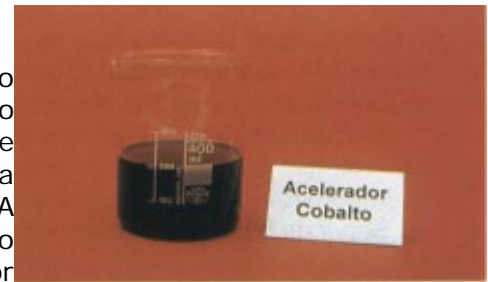
Vamos começar com as resinas. Os poliésteres insaturados podem ser classificados em ortoftálicos, tereftálicos, isoftálicos ou bisfenólicos. Essa classificação é feita tomando por base os ingredientes usados para fazer essas resinas. Por exemplo, as resinas ortoftálicas são feitas com ácido ortoftálico, as isoftálicas com ácido isoftálico e assim por diante. Essas resinas têm alto peso molecular e normalmente são sólidas à temperatura ambiente. Depois de sintetizadas elas são diluídas em um solvente reativo (estireno, como veremos a seguir) e a mistura líquida resultante (estireno e resina) é embalada e vendida para ser processada por laminação manual ou a pistola, como veremos neste ABC. Quando dizemos que a resina poliéster é líquida queremos dizer que a mistura resina e estireno é líquida. A resina em si, sem o estireno, é sólida à temperatura ambiente. Como regra geral, as resinas ortoftálicas são usadas em ambientes secos, sem contato permanente com água ou outros líquidos. As isoftálicas e as tereftálicas podem ser usadas em ambientes úmidos moderadamente agressivos. As bisfenólicas, de maior inércia química, são usadas em ambientes muito agressivos. Todas são diluídas em estireno, são processadas no estado líquido e podem ser curadas sem pressão e à temperatura ambiente. A cura a frio acontece quando a resina é ativada por catalisadores e aceleradores adequados. A cura transforma a resina poliéster insaturada em plástico termofixo, isto é, um tipo de plástico infusível e insolúvel. A foto mostra a resina líquida impregnando mantas de fibras de vidro.





Para a cura acontecer à temperatura ambiente, o sistema resina e estireno precisa ser ativado por catalisadores e aceleradores específicos. O catalisador mais usado para cura a frio é o peróxido de metil-etil-cetona, mais conhecido como MEKP. O MEKP é um líquido incolor que tem a função de iniciar a cura de poliésteres insaturados. A grande vantagem do MEKP sobre outros catalisadores é a facilidade com que ele pode ser misturado à resina. Essa facilidade de mistura permite o uso do MEKP no processo de laminação a pistola, no qual ele é misturado à resina imediatamente antes da laminação. O MEKP é muito reativo e por razões de segurança, para minimizar a probabilidade de incêndio e explosão, ele é fornecido diluído em plastificante. Em geral o MEKP é diluído (50%) em dimetilftalato. Para assegurar cura adequada, e supondo diluição de 500/0 em dimetilftalato, o teor de MEKP não deve ser menor que 1% nem maior que 3% do peso da resina.

O acelerador que faz dupla com o MEKP é um líquido escuro conhecido como "cobalto". O produto normalmente encontrado no mercado contém 6% de cobalto, e nessa concentração, ele deve ser usado em teores que variam entre 0,1% e 0,5% do peso da resina. Se a temperatura ambiente for muito baixa o DMA (dimetil anilina) pode ser usado como acelerador auxiliar para o cobalto. Esse sistema triplo, consistindo de um catalisador (MEKP) e dois aceleradores (cobalto e DMA), não é de uso muito comum. O usual é usar apenas a dupla MEKP e Cobalto para curar poliésteres à temperatura ambiente.



"Fiberglass"	
Teores	
Cobalto	— 0,1% a 0,5%
MEKP	— 1,0% a 3,0%

ABC do Fiberglass

Owens Corning



O estireno é um líquido incolor que serve duas finalidades. A primeira é a que já mencionamos, reduzir a viscosidade da resina para que ela fique líquida à temperatura ambiente. A segunda é interligar as moléculas de poliéster na cura, transformando dessa maneira a resina de líquido em sólido. Assim, o poliéster é sólido antes de ser diluído em estireno, fica líquido após essa diluição, e se torna outra vez sólido após curar por interligação com o estireno. A foto mostra o estireno interligando duas moléculas de poliéster. Como já dissemos, os poliésteres são fornecidos no estado líquido, diluídos em estireno.





As cargas minerais são usadas principalmente para substituir parte da resina e das fibras de vidro e assim reduzir o custo do produto final. As principais cargas minerais usadas para essa finalidade são calcita (carbonato de cálcio moído) e areia. A areia é uma carga inerte que não interfere significativamente no desempenho da peça acabada. A calcita, porém, não é inerte e só deve ser usada em peças para ambientes secos. Outras cargas, como talco, carbonato de cálcio precipitado, argila, etc, são também usadas, mas por terem granulometria muito fina elas aumentam muito a viscosidade da resina e são usadas em

teores muito baixos, perdendo assim o interesse econômico. Existem cargas que são usadas porque dão aos laminados propriedades especiais, como é o caso da alumina hidratada, que tornam as peças retardantes de chamas e auto-extinguíveis. Em resumo, para reduzir custos, o laminador deve escolher entre carga de areia ou de calcita. A calcita deve ser pré misturada na resina. A areia, por ser muito abrasiva, deve ser aplicada a pistola sem ser misturada na resina

Vamos falar sobre o gelcoat. O gelcoat tem três funções.

- Substituir a pintura convencional, dando às peças acabamento liso, brilhante e colorido.
- Proteger a superfície da peça contra a ação das intempéries e do meio ambiente.
- Servir de base para pintura nas peças que, por uma razão qualquer, devam ser pintadas.

O gelcoat é uma matéria prima muito complexa, obtida pela mistura de vários ingredientes como resina poliéster, carga mineral; absorvedor de UV, pigmentos, agente tixotrópico, desaerante e aditivo auto-nivelante. Devido a essa complexidade e também por ser muito visível e aparente, o gelcoat é responsável pela grande maioria dos problemas encontrados na laminação. A seguir falamos sobre os principais ingredientes usados para fazer gelcoats.

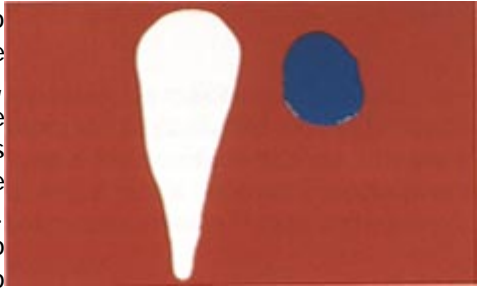


Os pigmentos são aglomerados de partículas sólidas insolúveis no sistema resina-estireno e servem para dar cor e opacidade aos gelcoats. Os aglomerados presentes nos pigmentos reduzem o brilho das peças. Para minimizar esse problema, os pigmentos devem ser moídos e dispersos em pastas antes de ser usados para fazer gelcoats. Os pigmentos diferem muito em termos de resistência a luz e a produtos químicos e o fabricante de gelcoat deve usar apenas produtos adequados ao uso final da peça.

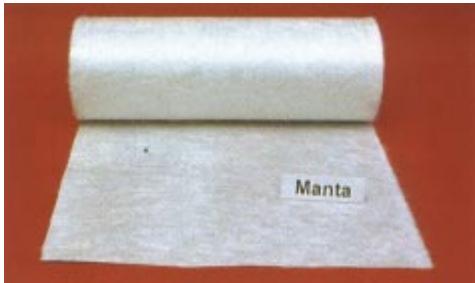
Deve ser lembrado que os pigmentos são insolúveis na resina e por isso dão cor e opacidade aos gelcoats. Isso quer dizer que os gelcoats pigmentados são opacos, isto é, não permitem a passagem de luz. A foto mostra uma pasta de pigmento disperso em veículo de poliéster isento de estireno. Essa pasta é conhecida como 'pasta não reativa'. Os corantes, ao contrário dos pigmentos, são solúveis na resina e permitem a fabricação de gelcoats coloridos e transparentes. Assim para fazer gelcoats coloridos e transparentes, os pigmentos devem ser substituídos por corantes.



O agente tixotrópico é usado para evitar que o gelcoat líquido escorra quando aplicado em paredes inclinadas. O agente tixotrópico é muito importante porque, como veremos adiante, os gelcoats são aplicados em camadas espessas (0,5 mm), e por isso têm grande tendência a escorrer em paredes inclinadas. A foto mostra um gelcoat branco, sem agente tixotrópico, ao lado de outro azul, que contém esse aditivo. Outro aditivo muito importante nos gelcoats é o chamado absorvedor de UV, que serve para dar proteção contra a ação dos raios solares. Essa proteção é essencial porque o gelcoat forma a superfície externa e visível das



peças. Como dissemos, existem ainda outros ingredientes usados para fazer gelcoats, como os desaerantes (facilitam a remoção do ar ocluído durante a laminação) e os aditivos auto-nivelantes, que servem para alisar e reduzir a aparência de casca de laranja da superfície das peças.



Deixando o gelcoat, vamos agora falar sobre as fibras de vidro. Essas fibras servem para reforçar e dar estabilidade dimensional às peças de Fiberglass. A laminação manual é feita com mantas ou com tecidos. As mantas tem gramagens nominais de 225 g/m<sup>2</sup>, 450 g/m<sup>2</sup> ou 600 g/m<sup>2</sup>. As mantas de 225 g/m<sup>2</sup> (espessura 0,5 mm por camada) são usadas sobre o gelcoat, porque facilitam a remoção de ar nessa parte crítica do laminado. As de 450 g/m<sup>2</sup> (1,0 mm por camada) são de uso geral e podem também ser usadas sobre o gelcoat. As de 600

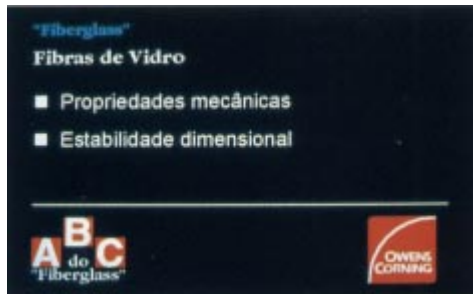
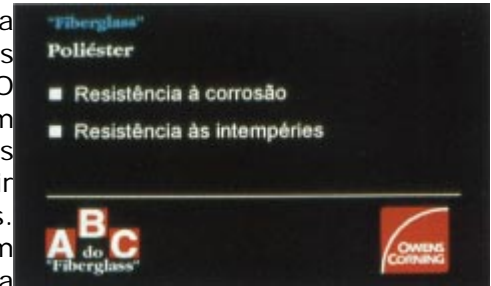
g/m<sup>2</sup> (1,4 mm por camada) são muito pesadas para ser usadas sobre gelcoat e servem para aumentar a produtividade na laminação de peças de grande espessura.

Os tecidos usados para laminação manual tem gramagens de 200g/m<sup>2</sup>, 300 g/m<sup>2</sup>, 600/m<sup>2</sup> ou 800 g/m<sup>2</sup>. Os tecidos de malha aberta, como os de 600 g/m<sup>2</sup> ou 800 g/m<sup>2</sup>, não devem ser usados próximos ao gelcoat, porque seu desenho marca a superfície da peça. Para evitar essa marcação, devem ser laminadas pelo menos duas mantas sobre o gelcoat antes da colocação desses tecidos. Os tecidos servem para aumentar a resistência dos laminados a cargas de impacto. São muito usados na construção de cascos de embarcações.



A laminação a pistola é feita com fibras contínuas conhecidas como roving. As fibras do roving devem ser cortadas antes de ser impregnadas com resina poliéster. O roving tem custo mais baixo que as mantas e os tecidos e por isso são muito usados nos processos de laminação com moldes abertos.

Os poliésteres têm boa resistência a ambientes agressivos e a intempéries, mas não podem ser usados em aplicações estruturais sem ser reforçados com fibras de vidro. O compósito resultante da combinação de fibras de vidro com resinas poliéster tem boa estabilidade dimensional e excelentes propriedades mecânicas, sendo muito usado para substituir metais em aplicações estruturais. É claro que as propriedades mecânicas do Fiberglass melhoram com o aumento do teor de fibras. O teor de fibras depende da técnica de laminação e do tipo de fibra usado. Por exemplo, quando o laminado é feito com mantas ou com roving picado, esse teor pode variar entre 20% e 40% por peso, dependendo da vontade do laminador.



Se o laminador não se esforçar para obter esses teores extremos, mas deixar que a resina aceite a quantidade de vidro que lhe é natural, os laminados feitos com fibras picadas terão teor médio de vidro igual a 30%. Os cálculos para estimar custos e propriedades mecânicas de laminados feitos com fibras picadas consideram um teor de vidro igual a 30%. Os laminados feitos com tecidos de 600 g/m<sup>2</sup> ou 800 g/m<sup>2</sup>, tem teor de vidro iguais a 40% e 50% respectivamente. Terminamos aqui nossos comentários sobre as matérias primas usadas nos processos de laminação manual ou a pistola. Vamos

agora falar sobre os materiais de consumo.

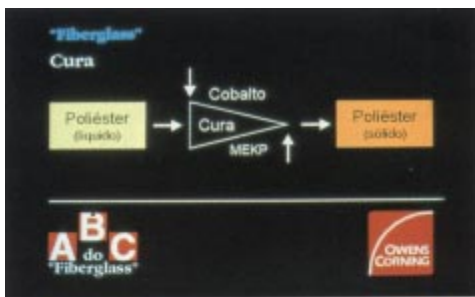
Os desmoldantes são usados para impedir que a peça cole no molde. Existem três tipos de desmoldantes disponíveis no mercado. O primeiro é o álcool polivinílico, também conhecido como PVAL.

O PVAL forma um filme ou barreira sobre a superfície do molde. Esse filme impede que a peça cole no molde. As grandes vantagens do álcool polivinílico são sua infalibilidade como desmoldante e o fato dele ser facilmente removível da superfície da peça. A desvantagem é que ele é destruído na desmoldagem e por isso deve ser reaplicado todas as vezes que for feita uma nova laminação. O segundo desmoldante é formado por uma mistura de cera de carnaúba, cera de abelha, parafina e solventes. Esse desmoldante é conhecido na indústria simplesmente como "cera desmoldante" e é muito usado nos processos de laminação com molde aberto. Ao contrário do PVAL, a cera não forma filme sobre o molde e por isso não é infalível como desmoldante. A cera não deve ser usada isoladamente em moldes novos e ainda não amaciados. Também ao contrário do PVAL, uma aplicação de cera serve para fazer várias desmoldagens. As ceras são difíceis de remover da superfície das peças, o que pode ser um problema em peças a ser pintadas. O terceiro tipo de desmoldante é conhecido como semipermanente e ainda não é muito popular no Brasil. O desmoldante semipermanente adere à superfície do molde e não contamina as peças. Esse fato é muito apreciado em peças a ser pintadas, que devem ter superfícies sem desmoldantes para não afetar a aderência da tinta. Os desmoldantes semipermanentes tem esse nome porque aderem ao molde e permitem múltiplas desmoldagens com uma única aplicação.

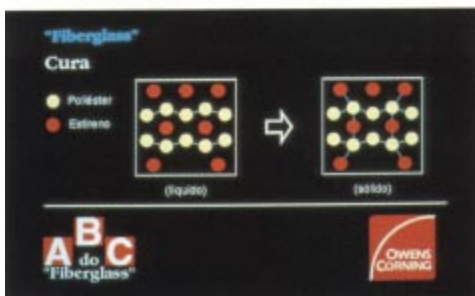




Os solventes servem para limpar roletas, pincéis e outros equipamentos e ferramentas usados na laminação. Os mais comuns são acetona e thinners, os mesmos thinners usados como solventes de tintas. Os solventes não devem ser usados para reduzir a viscosidade das resinas ou dos gelcoats. Essa redução de viscosidade deve ser feita apenas com solventes reativos, como o estireno. Os processos de molde aberto usam também facas, espátulas, pincéis, roletas, lixas e outros materiais e ferramentas. Mais adiante veremos as aplicações desses materiais de consumo.



Devido sua grande importância no entendimento dos processo de molde aberto, vamos enfatizar o mecanismo de cura dos poliésteres. A cura acontece quando o estireno reage com as insaturações da resina. As figuras ao lado ajudam a entender o processo. A cura começa quando a resina líquida é ativada pela adição do cobalto (acelerador) seguido do MEKP (catalisador). O cobalto atua no MEKP, que por sua vez atua no estireno e no poliéster e assim tem início a cura. O estireno reage e interliga com as moléculas de poliéster, formando com elas uma estrutura reticulada tridimensional. Enquanto o estireno permanece sem reagir com o poliéster, ele atua como solvente e a massa é líquida. Após a adição do cobalto e do MEKP, a interligação tem início e a massa passa gradualmente do estado líquido ao estado sólido. Essa transformação não acontece imediatamente após a ativação, porque a resina vem aditivada de fábrica com uma substância conhecida como inibidor, que retarda a ação da dupla cobalto-MEKP. A interligação começa somente depois do inibidor ser consumido. O tempo transcorrido entre a adição do MEKP e o início da interligação, quando a resina atinge um estado gelatinoso, é conhecido como tempo de gel ou tempo de gelificação. O tempo de gel depende dos teores de catalisador e de acelerador adicionados pelo laminador. Depende também da temperatura ambiente e do teor de inibidor que o fabricante colocou na resina, O laminador deve aplicar a resina após sua ativação e antes do tempo de gel, enquanto a massa ainda está líquida. Na cura ocorre grande liberação de calor, que provoca substancial aumento de temperatura e pode causar



empenamento na peça quando ela esfria. A cura deve acontecer com a peça no molde e a desmoldagem deve ser feita apenas quando ocorrer o esfriamento total do laminado.



Os moldes para laminação manual ou a pistola podem ser feitos de madeira ou de Fiberglass. Os de madeira têm custo baixo e vida curta. Devem ser usados apenas para pequenas produções, para fazer no máximo umas 50 peças. Os feitos em Fiberglass custam mais caro que os de madeira, mas podem ser usados para produzir um grande número de peças. Informações detalhadas sobre como construir, manter e reparar moldes de Fiberglass, podem ser encontradas na apostila **MOLDES ABERTOS PARA LAMINAÇÃO MANUAL OU A PISTOLA**, publicada pela Owens Corning. Os moldes devem reproduzir com fidelidade todos os detalhes desejados para a superfície das peças. As reentrâncias e as saliências, bem como todos os detalhes e os acabamentos especiais, devem ser construídos neles para que possam ser transferidos às peças. Os moldes de Fiberglass devem ser enrijecidos com nervuras de aço ou de madeira para evitar deformações. Para facilitar a desmoldagem, eles devem ser construídos com bicos para aplicar ar comprimido.



Podemos agora iniciar a descrição dos processos, começando com a laminação manual de uma caixa d'água usando molde de Fiberglass.

O processo começa com a aplicação do desmoldante. Aqui mostramos a aplicação de cera no molde. A cera é espalhada manualmente e polida antes da evaporação dos solventes. O polimento é feito para aumentar o brilho. Devem ser aplicadas várias demãos sucessivas de cera, sempre polindo a demão anterior antes de aplicar a seguinte. Depois de encerado, o molde pode ser usado várias vezes (talvez umas 5 vezes) antes de ser necessária uma nova aplicação de cera.





Em seguida o gelcoat é ativado. Como a cura vai acontecer à temperatura ambiente, o gelcoat deve ser ativado com Cobalto e com MEKP. O Cobalto é difícil de ser misturado na resina e por isso deve ser adicionado antes do MEKP, em uma quantidade grande de gelcoat. A mistura pode ser feita com batedores simples, tipo hélice. Sabemos que para a cura acontecer é necessário que o gelcoat seja ativado com Cobalto e com MEKP. Portanto o gelcoat contendo apenas Cobalto (sem MEKP) não corre o risco de curar à temperatura ambiente. As fotos ao lado mostram a adição e mistura do cobalto em gelcoat branco.



O gelcoat, agora acelerado com o cobalto, é transferido para um vasilhame menor, onde será catalisado.

O gelcoat começa a curar imediatamente após a adição do MEKP. Por isso a catalisação é feita adicionando MEKP apenas no material que vai ser aplicado de imediato. O MEKP mistura com facilidade no gelcoat e não requer o uso de batedores. A mistura pode ser feita por agitação manual, usando espátula de madeira, bagueete de vidro ou outro objeto que sirva essa finalidade.





No processo manual o gelcoat é aplicado com pistolas de caneco, do mesmo tipo das usadas para aplicar tintas em pintura convencional. Essas pistolas devem ter o bico grande para facilitar a aplicação de materiais de alta viscosidade como os gelcoats. Algumas vezes o gelcoat é aplicado sem pistola, com pincéis ou rolos de pintor. Isso pode ser feito, mas em nossa opinião melhores resultados são obtidos com o uso de pistolas.

O gelcoat deve cobrir a superfície do molde com uma camada de 600 g/m<sup>2</sup> a 1000 g/m<sup>2</sup>, aplicada de uma só vez. Essa demão deve ser aplicada de maneira uniforme em várias passadas da pistola, em camadas finas, para facilitar o escape do ar ocluído. Deve ser lembrado que o gelcoat, ao contrário das tintas, é aplicado em camadas de grande espessura (0,3 a 0,5mm), que dificulta o escape de ar. Por isso o gelcoat deve ser aplicado com várias passadas da pistola.



A espessura é conferida com o gelcoat ainda líquido, antes da gelatinização, e deve ficar em torno de 0,5 mm. Se o gelcoat tiver espessura muito pequena, inferior a 0,3 mm, ele corre o risco de enrugar ao ter contato com o estireno da resina do laminado estrutural. Por outro lado, se a espessura for maior que 0,5 mm, a peça fica muito suscetível a empenamento e a trincas superficiais.

O laminado estrutural pode ser aplicado após o gelcoat atingir um grau de cura que lhe permita resistir ao ataque do estireno contido na resina de laminação. Se o laminado estrutural for aplicado antes da hora (antes do tempo de toque), o estireno pode atacar e enrugar o gelcoat. Para saber se a laminação pode ser feita com segurança, o laminador deve fazer um teste rápido, conhecido como teste de toque. O teste de toque é feito tocando o gelcoat com a ponta do dedo. Se o gelcoat marcar o dedo, ele ainda não está suficientemente curado para resistir ao ataque do estireno da resina de laminação. Nesse caso o laminador deve esperar um pouco mais antes de iniciar a laminação. O laminado estrutural pode ser aplicado logo após o gelcoat atingir o chamado tempo de toque, isto é, quando não manchar o dedo ao ser tocado.





Vamos mostrar a aplicação do laminado estrutural. Da mesma maneira que o gelcoat, a resina de laminação também deve ser ativada com cobalto e com MEKP. Primeiro o cobalto é adicionado em uma quantidade grande de resina.

Parte dessa resina é transferida para vasilhames menores, onde a ativação é completada com adição de MEKP. A catalisação com MEKP é feita apenas no material a ser usado de imediato. Se uma quantidade muito grande de resina for catalisada por engano, ela pode curar antes de ser aplicada e nesse caso deve ser descartada como perdas. A laminação manual de peças grandes exige que a catalisação seja feita várias vezes, em quantidades pequenas de resina previam ente acelerada com cobalto.







A laminação da primeira camada estrutural é iniciada banhando a superfície do molde (coberta por gelcoat) com resina devidamente catalisada e acelerada. Isso pode ser feito com pincel ou com rolo de lã. A manta de fibras de vidro deve ser aplicada antes da gelatinização dessa camada de resina. A manta é previamente cortada com faca ou tesoura antes de ser colocada no molde.



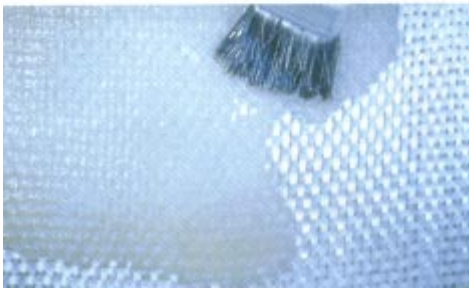
Aqui vemos a manta sendo posicionada sobre o molde. A laminação prossegue aplicando o poliéster com pincéis ou com rolos de lã. O laminado deve ser compactado com roletes para impregnar as fibras e eliminar as bolhas de ar. A espessura final da peça é obtida aplicando várias camadas ou lâminas de manta. E por isso que as estruturas de Fiberglass são conhecidas como "laminados" e sua moldagem é chamada de "laminação".







Os tecidos de fibras de vidro devem ser usados em aplicações que exigem alta resistência a impacto. A laminação dos tecidos é feita da mesma maneira que a das mantas. O tecido é cortado e aplicado do mesmo modo que a manta. Apesar de mais fáceis de impregnar que as mantas, os tecidos também devem ser roletados para eliminar bolhas de ar. Os tecidos pesados e de malha aberta, como os de 600 g/m<sup>2</sup> ou de 800 g/m<sup>2</sup>, não devem ser aplicados diretamente sobre gelcoats. Esses tecidos devem ser aplicados somente quando existir pelo menos 2 mm de laminado construído com manta (duas camadas de manta com 450 g/m<sup>2</sup>) entre eles e o gelcoat. Esses 2 mm de laminado de fibras picadas evita a marcação do gelcoat pelo desenho do tecido.



Os rolos, os roletes e os pincéis usados no processo devem ser lavados com thinner ou com acetona para eliminar os resíduos de resina. Essa limpeza deve ser feita antes da resina curar.



Depois de laminada, a peça é deixada no molde para completar a cura. A eliminação das rebarbas pode ser feita com a peça no molde, logo após a resina gelificar e atingir um estágio intermediário de cura. Nessa condição a rebarba pode ser cortada facilmente com facas ou espátulas. A laminação está terminada. A resina, ao curar, libera uma grande quantidade de calor. A peça deve permanecer no molde até esfriar, quando então ela pode ser desmoldada. A desmoldagem prematura causa empenamento e afeta o acabamento



A desmoldagem é feita inserindo cunhas de madeira entre o molde e a peça. Algumas peças mais complicadas só saem do molde com aplicação de ar comprimido. As estruturas de Fiberglass são leves e fáceis de ser manuseadas. Podemos notar que a superfície interna da caixa d'água reproduz com precisão os detalhes do molde. A caixa moldada com gelcoat sai do molde acabada e na cor desejada, sem necessitar pintura.



Vamos agora abrir um parênteses para mostrar uma modalidade um pouco mais sofisticada de laminação manual. Essa variante do processo manual usa roving contínuo em lugar de manta. As figuras mostram o roving sendo cortado em picotadores pneumáticos e as fibras sendo espalhadas sobre o molde.

O processo é essencialmente o mesmo usado para a laminação manual clássica. O desmoldante e o gelcoat são aplicados no molde, uma camada de resina é laminada depois do tempo de toque, e finalmente as fibras de roving (substituem as mantas) são laminadas.



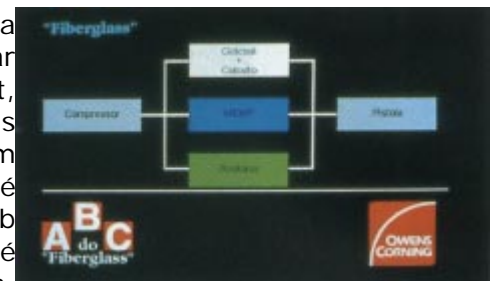


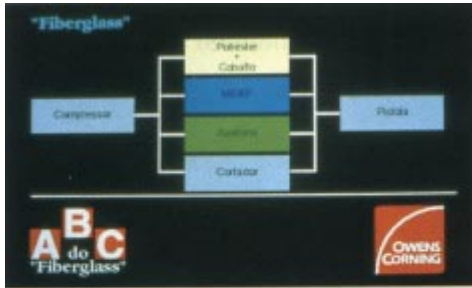
A resina é aplicada com pincéis ou rolos de lã. Comparado com manta, o roving picado tem custo mais baixo e é mais fácil de laminar em moldes complexos. A espessura das peças feitas com manta depende do número de camadas e da gramagem das mantas. Assim, uma peça feita com 3 mantas de 450 g/m<sup>2</sup> tem espessura igual a 3,5 mm, sendo 3,0 mm de laminado estrutural (cada manta de 450 g/m<sup>2</sup> adiciona 1,0 mm à espessura do laminado) e 0,5 mm de gelcoat. Se a laminação for feita com roving, a espessura final da peça depende da habilidade do operador.



Vamos ver como é feita a laminação à pistola. Nesse processo as fibras de vidro, a resina e o gelcoat são aplicados com máquinas pneumáticas especialmente construídas para essa finalidade.

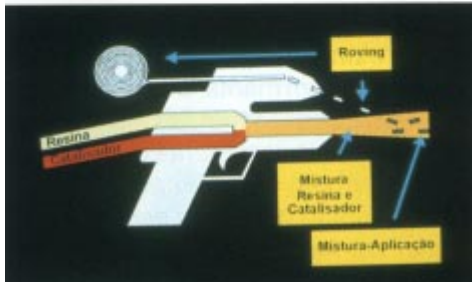
Começamos com as máquinas gelcoateadeiras, usadas para aplicar o gelcoat. Essas máquinas são acionadas por ar comprimido e têm três tanques, um para armazenar o gelcoat, outro para o MEKP e o terceiro para a acetona. Essas máquinas não têm tanque para armazenar o cobalto, porque usam gelcoat pré-acelerado. O gelcoat e o MEKP são bombeados até a pistola de aplicação onde são misturados e atirados sob pressão contra o molde. A mistura do gelcoat com o MEKP é geralmente feita dentro da pistola que, para não ser entupida, deve ser lavada com acetona após a laminação. As bombas dosadoras usadas para bombear o MEKP e o gelcoat são ligadas por um braço escravo que garante a precisão de dosagem qualquer que seja a vazão do sistema.





As máquinas laminadoras aplicam as fibras e a resina do laminado estrutural. Elas diferem das gelcoateadeiras por terem um cortador pneumático para cortar as fibras contínuas de roving. A resina pré-acelerada, o catalisador, as bombas dosadoras unidas pelo braço escravo e a pistola de laminação seguem essencialmente o mesmo conceito das gelcoateadeiras. Em geral as laminadoras fazem a mistura do MEKP com a resina fora, e não dentro, da pistola. Essas pistolas de mistura externa dispensam o uso de acetona para limpeza. Nas gelcoateadeiras, ao contrário das laminadoras, a mistura do MEKP é geralmente feita dentro da pistola. Isso deve ser assim porque os gelcoats são muito sensíveis e exigem uma grande homogeneização na mistura com o MEKP, o que é difícil de ser conseguido em máquinas de mistura externa. Voltando à máquina laminadora, o fluxo de resina pré-acelerada encontra o fluxo de catalisador dentro (mistura interna) ou fora da pistola (mistura externa) onde eles se misturam. Ao sair da pistola o jato de resina catalisada encontra as fibras picadas e o conjunto é atirado contra o molde. A partir daí a resina, agora

ativada, entra em processo de cura e começa a passar gradualmente do estado líquido ao estado sólido.



Vamos moldar uma banheira para ilustrar o processo de laminação a pistola. Primeiro o molde deve ser encerado com várias demãos de cera desmoldante. As várias demãos de cera que devem ser polidas antes da evaporação dos solventes. A superfície do molde deve estar bem polida e brilhante para transferir essas qualidades à peça moldada.





Em seguida é aplicado o gelcoat. Como na laminação manual, o gelcoat deve ser aplicado em uma demão, com várias passadas da pistola para facilitar a remoção de ar. Observe como o gelcoat, de cor branca, cobre a superfície do molde. O teor de catalisador é ajustado acertando a posição do braço escravo que conecta as bombas de MEKP e de gelcoat. Como a catalisação acontece dentro da pistola, no momento da aplicação, o teor de catalisador pode ser ajustado para cura rápida. Entretanto devemos tomar cuidado para que esse teor não seja maior que 3% nem menor que 1,5%. O laminador deve aplicar entre 600 gramas e 1000 gramas de gelcoat por metro quadrado. Com essas quantidades e levando em conta a evaporação do estireno que ocorre na aplicação e na cura, a espessura final do gelcoat deve ficar entre 0,3 mm e 0,5 mm. A medição da espessura deve ser feita imediatamente após a aplicação, estando o gelcoat ainda úmido e em condição de aceitar uma passada extra da pistola para que a espessura final, após a cura, fique entre 0,3 mm e 0,5 mm. Notar que para os gelcoats o teor mínimo de catalisador (MEKP diluído em 50% de dimetilftalato) deve ser maior que 1,5%. Para o laminado estrutural esse teor mínimo pode ser igual, a 1% do peso da resina.



Como na laminação manual, o gelcoat deve permanecer no molde até o tempo de toque, quando então ele estará suficientemente curado para receber o laminado estrutural. A resina de laminação é fornecida com a viscosidade certa para ser aplicada a pistola a temperatura ambiente. Pode acontecer, porém, que em baixas temperaturas essa viscosidade fique muito alta e dificulte o processo de laminação. Nesse caso, o laminador pode acrescentar até 10% de estireno para baixar a viscosidade da resina. Essa diluição deve ser feita com cautela

porque excesso de estireno prejudica as propriedades do laminado, que fica quebradiço e suscetível a deterioração pelos raios solares. Além disso, o excesso de estireno aumenta a taxa de evaporação da resina e polue em demasia o ambiente de trabalho. A diluição da resina deve ser feita apenas com estireno e nunca com solventes não reativos como thinner ou acetona.



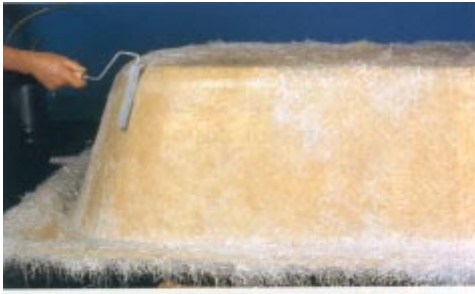
Estamos prontos para laminar as camadas estruturais da banheira. Primeiro é aplicada uma demão de resina, sem fibras de vidro. Essa resina serve para impregnar as fibras de baixo para cima e assim facilitar a remoção das bolhas de ar. Em seguida é laminada a primeira camada estrutural com resinas e fibras. O poliéster impregna com rapidez as fibras, impedindo que elas caiam mesmo quando aplicadas em paredes verticais.

A roletagem deve ser iniciada imediatamente em seguida, antes que a resina comece a gelatinizar. O rolete comprime e assenta o laminado contra a superfície do molde, eliminando dessa maneira as bolhas de ar. O operador deve aplicar camadas uniformes e com teores corretos de fibras, de resina e de catalisador. A vazão da resina é acertada na laminadora, ajustando a pressão do ar que aciona a bomba dosadora. O teor de catalisador é acertado ajustando a posição do braço





escravo, O cobalto, como já dissemos, esta pré-misturado na resina. Depois de laminada a primeira camada estrutural, passamos à segunda.



A segunda camada estrutural pode ser aplicada logo após a roletagem da primeira. Como no processo manual, a espessura do laminado é construída em camadas sucessivas. Essas camadas devem ter espessuras de aproximadamente 1,5 mm cada. Camadas mais espessas dificultam a remoção de ar e podem cair quando aplicadas em paredes verticais. A roletagem deve ser feita com esmero para assentar as fibras nas reentrâncias e nas saliências do molde. A roletagem compacta e elimina as bolhas de ar do laminado. Em locais difíceis de roletar a compactação deve ser feita com pincéis.



A uniformidade da espessura depende da habilidade do operador. Se for seguida a recomendação para aplicar 1,5 mm por camada, um laminado de 3,3 mm de espessura requer duas aplicações da pistola de laminação e uma aplicação da gelcoateadeira.



Também como no processo manual, as rebarbas devem ser cortadas antes que a resina alcance um grau de cura muito avançado. Essa rebarbação pode ser feita com faca ou espátula, acompanhando as bordas do molde.

Quando comparadas às peças de aço de mesma geometria, as feitas em Fiberglass são muito flexíveis e podem sofrer grandes deformações. Essas peças podem ser enrijecidas com nervuras para facilitar o manuseio e impedir a ocorrência de deformações excessivas. As nervuras podem ser laminadas sobre formas de papelão ou de outro material leve e resistente ao ataque de estireno. As formas são colocadas nos locais apropriados e em seguida cobertas com fibras e resina, que são assentadas com roletes ou com pincéis, como já falado. Para minimizar empenamento e distorção, as nervuras devem curar com a peça no molde.



A cura segue seu curso normal e a peça pode ser desmoldada quando esfriar. A desmoldagem é feita com cunhas de madeira ou com ar comprimido, do mesmo modo que no processo manual. As peças feitas em Fiberglass são leves e fáceis de ser desmoldadas



superfície lisa da banheira, feita em gelcoat, reproduz com fidelidade os detalhes do molde. Observe que a borda inferior direita não foi rebarbada no molde, antes da cura completa da resina. Quando isso acontecer, a rebarbação deve ser completada com disco de corte, porque um laminado curado não pode ser cortado com faca ou com espátula.



O acerto final das bordas é feito com lixadeira e eventuais cortes ou furos são feitos com ferramentas diamantadas. Se desejado, o brilho superficial pode ser acentuado polindo a peça com massa usada para polir automóveis.



Está pronta a banheira. Como a caixa d'água laminada a mão, ela tem cor inerente e não precisa ser pintada.



®

**OWENS CORNING**  
**AV. BRASIL, 2567 DISTRITO INDUSTRIAL**  
**13505-600 RIO CLARO SP**  
**TEL 0800 707 3312 FAX 19 3527 3105**

