|  |
| --- |
| http://paginas.fe.up.pt/~ee06160/thesis/FEUP.png  2015/2016 |
| Fabricação de um compósito laminado com pré-preg. |
| Ensaio de tração transversal e longitudinalmente às fibras |
|  |
| **Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**  **Unidade Curricular:** Introdução aos Materiais e Processos de Fabrico  **Docentes:** Lucas da Silva Teresa Duarte |
|  |

**Autores:**Gustavo Resende  
Miguel Pereira

**Compósitos**

Os compósitos são normalmente formados por dois componentes: um mais rígido, resistente e de forma alongada (as fibras) que assenta num mais macio denominado matriz. Essa matriz pode ser de diferentes naturezas: matriz metálica, matriz cerâmica, ou matriz polimérica (termoplástico ou termoendurecível), como é mais usual na indústria.   
Geralmente, os metais utilizados em compósitos de matriz metálica são de alumínio, magnésio ou titânio, e são ligados e tratados termicamente, de modo a melhorar as suas propriedades mecânicas. Os reforços não alteram significativamente a rigidez e a resistência do metal, mas melhoram a resistência ao desgaste e a estabilidade a alta temperatura. No caso das matrizes cerâmicas, existem quatro tipos de cerâmicos usados na fabricação de compósitos: cerâmicos vítreos, cerâmicos técnicos, cimento e carbono. No entanto, os cerâmicos são um material muito frágil. Logo, podem-se utilizar reforços (que vão atuar como obstáculos à propagação da fenda) de modo a melhorar esta propriedade mecânica, aumentando a tenacidade. Relativamente às matrizes poliméricas, podemos dividi-las naquelas formadas por polímeros termoplásticos e termoendurecíveis. Os termoplásticos possuem uma elevada ductilidades e as suas propriedades mecânicas dependem da temperatura e velocidade de deformação. Porém, o seu processamento é mais difícil do que o dos termoendurecíveis, tornando-se mais difícil impregnar as fibras, sendo necessárias elevadas pressões e tempos. Os termoendurecíveis são mais resistentes e mais rígidos do que os termoplásticos, mas também mais frágeis. As resinas epoxídicas são as que apresentam as melhores propriedades, mas por vezes não são escolhidas devido ao seu elevado custo.  
A estas matrizes, é costume adicionarem-se fibras (reforços), que apresentam uma elevada rigidez e uma densidade muito baixa. Essas fibras podem ser de vidro, carbono, orgânicas ou naturais. Se forem colocadas apenas longitudinalmente, as propriedades do compósito nesse sentido vão ser muito superiores às propriedades no sentido transversal. Isto porque, transversalmente, apenas a resina, cuja resistência e dureza é relativamente baixa, contraria a força aplicada. Dada esta propriedade anisotrópica, antes da fabricação do compósito, deve-se ter em conta a sua aplicação, de modo a colocar as fibras no sentido correto.

**Materiais usados**

Para a realização desta atividade laboratorial, foi utilizado um pré-impregnado de uma resina epoxídica juntamente com fibra de carbono. A resina de epóxido é uma matriz polimérica, com módulo de elasticidade entre os 2GPa e 5GPa, resistência à tração entre 50MPa e 100MPa, e extensão de rotura entre 2% e 8%. Para aumentar a sua rigidez, foram utilizadas fibras de carbono. Como serão realizadas duas curvas de tração - uma com a força a atuar transversalmente, outra longitudinalmente - é necessário realizar dois ensaios. No ensaio em que a força atua na transversal, são adicionados dois bocados de alumínio, a colocar na parte em que o provete entra em contacto com a máquina. Isto porque os dentes da máquina iriam imprimir no compósito concentrações de tensões não desejadas. No ensaio em que a força atua longitudinalmente, os pedaços de metal não são suficientes, pois o provete deslizaria em relação à máquina. Então, opta-se por usar um pino (que por si só é um concentrador de tensões e irá, à partida, provocar discrepâncias nos valores medidos).

**Descrição da fabricação do compósito**

Apenas uma pequena gama de estruturas pode ser construída utilizando-se diretamente a fibra mais a resina. Assim, são criados produtos intermédios que possam ser transformados nas diversas estruturas (semi- produtos). Estes Produtos intermédios são transformados e usados em diversas aplicações, incluindo estruturais. Apenas certas estruturas podem ser realizadas, diretamente, a partir de fibra e resina. Os semi-produtos podem ser compostos de moldação, pré-impregnados, pré-formas, termoplásticos reforçados de fibras curtas, longas e contínuas.

O provete adquirido já estava pré-impregnado. Apesar desta etapa não ter sido realizada experimentalmente, é necessário ter em atenção a eficiente impregnação das fibras no compósito (As fibras podem ser unidirecionais ou em tecido. Tipicamente, as fibras ocupam à volta de 50% em volume e o pré-impregnado tem à volta de 0,125 mm de espessura). Primeiro colocam-se as fibras e resina entre folhas de silicone (prensadas ou laminadas, para garantir uma boa molhagem das fibras). Depois comprime-se o compósito numa caixa de carga com várias atmosferas de pressão. Deste modo, realiza-se o pré-aquecimento do material de modo a aumentar a pegajosidade da resina (parcialmente curada, para que o pré-preg possa ser manuseado) para se colarem as diferentes camadas. Apos a última etapa, o compósito é comprimido e no final realiza-se a cura do compósito aumentando a sua rigidez. (A aplicação de pressão e temperatura pode ser realizada de vários modos tais como usando a autoclave, saco de vácuo e prensa de pratos quentes)

0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,2

**Propriedades mecânicas e comentários**

No primeiro caso, o provete tinha as fibras dispostas transversalmente à força de tração realizada. É, por isso, considerado um provete de resina uma vez que as fibras não realizam força coincidindo assim a resistência e o módulo de Young do compósito com os da resina. O módulo de young da resina tem valores de cerca de 8,9 GPa enquanto o da fibra apresenta valores de 310 GPa. No que toca a resistência da resina esta possui valores que rondam os 50 mpa enquanto a resistência da fibra é de cerca de 2400 MPa. Neste caso, a ductibilidade pode ser medida através da extensão após rotura e é de cerca de 3%.

Teoricamente, as propriedades do material no sentido transversal à fibra são iguais às propriedades da resina. No entanto, uma vez que o provete utilizado era de má qualidade, pois possuía um furo onde as tensões eram acumuladas, o valor da resistência calculado é inferior ao esperado.

Os valores da resina são iguais aos valores ótimos do compósito com fibras transversais à força.

No segundo caso, as fibras estão dispostas longitudinalmente relativamente à força de tração realizada contribuindo, desta vez, tanto as fibras como a resina para a força. Neste caso, devem analisar-se as propriedades do provete através da regra das misturas. Através do gráfico podemos verificar que o seu coeficiente de estricção é igual a 10%

**Previsão das propriedades mecânicas pela regra das misturas**

Apesar do compósito analisado ser uma mistura de dois componentes, nem todas as propriedades são uma combinação linear das propriedades da matriz mais o reforço.

Ao analisar a tenacidade da resina e a da fibra, podemos confirmar que em ambos os casos se apresenta baixa, contudo a tenacidade do produto final é alta.

A combinação das propriedades intrínsecas das fibras de reforço e da matriz podem ser obtidas através de processos de cálculo. A essa metodologia de cálculo dá-se a designação de micromecânica e é fundamental no entendimento do conjunto das propriedades dos compósitos.

A análise micromecânica de compósitos é baseada em sistemas simples. No caso da previsão da rigidez de compósitos com fibras perfeitamente alinhadas, com arranjo unidirecional (1-D), comportamento elástico e com adesão perfeita (Tal como o compósito usado no trabalho prático), faz-se uso da equação da Regra das Misturas.

Através das regras das misturas, sabendo que o compósito é constituído por 60% fibra e 40% resina podemos prever que o módulo de young do compósito ronde os 130 GPa e possuía uma rigidez de 1000 MPa no sentido longitudinal das fibras

Pela observação do gráfico, (Valores experimentais) podemos verificar que a rigidez do compósito no sentido longitudinal das fibras é igual a 50 Gpa e a sua resistência mecânica é igual a 900 MPa.

Regra das Misturas:

Comparando os valores reais com os teóricos conclui-se os resultados da atividade experimental dão inferiores ao suposto. Isto deve-se à concentração de tensões (de 3 sigma) nas extremidades do provete que se acumularam devido aos realizados no meio das duas “bolachas” de adesivo colocadas nas pontas de modo a conseguir uma melhor aderência e a não ferir o provete causando perfurações da fibra e diminuindo a sua resistência. Além deste desafio, as folgas entre as várias amarras do aparelho de tração fazem com que haja um deslocamento não concordante com o real