

INTRODUÇÃO ÀS LIGAÇÕES ADESIVAS ESTRUTURAIS

EDUARDO A. S. MARQUES
RICARDO J. C. CARBAS
A. FRANCISCO G. TENREIRO
LUCAS F. M. DA SILVA

AUTORES

Eduardo A. S. Marques · Ricardo J. C. Carbas · A. Francisco G. Tenreiro · Lucas F. M. da Silva

TÍTULO

INTRODUÇÃO ÀS LIGAÇÕES ADESIVAS ESTRUTURAIS

EDIÇÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
Tel. 220 939 053 · E-mail: geral@quanticaeditora.pt · www.quanticaeditora.pt
Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO

CHANCELA

Engebook – Conteúdos de Engenharia

DISTRIBUIÇÃO

Booki – Conteúdos Especializados
Tel. 220 104 872 · Fax 220 104 871 · E-mail: info@booki.pt · www.booki.pt

APOIO

SIKA Portugal · www.sika.pt

REVISÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

DESIGN

Delineatura – Design de Comunicação · www.delineatura.pt

IMPRESSÃO

Novembro, 2021

DEPÓSITO LEGAL

489607/21



A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.

Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2021 | Todos os direitos reservados a Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor e do Autor, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

CDU

621 Engenharia mecânica em geral.

621.7 Tecnologia mecânica em geral: processos, ferramentas, máquinas, equipamentos

ISBN

Papel: 9789899017856

E-book: 9789899017863

Catálogo da publicação

Família: Engenharia Mecânica

Subfamília: Materiais / Metalúrgica

ÍNDICE

PREFÁCIO	IX
1. INTRODUÇÃO ÀS LIGAÇÕES ADESIVAS	11
1.1. Definição de conceitos básicos	14
1.2. Contextualização histórica	15
1.3. Principais características das ligações adesivas.....	16
1.3.1. Vantagens das juntas adesivas.....	16
1.3.2. Limitações das juntas adesivas	17
1.4. Exemplos de aplicações de juntas adesivas.....	19
1.4.1. Indústria automível e ferrovia	19
1.4.2. Indústria aeronáutica e aeroespacial	20
1.4.3. Indústria naval.....	21
1.4.4. Construção civil.....	22
1.4.5. Calçado	23
2. TEORIA DA ADESÃO	25
2.1. Forças de adesão	27
2.2. Molhagem	28
2.3. Teorias da adesão.....	32
2.3.1. Teoria mecânica.....	32
2.3.2. Teoria da adsorção física e química	33
3. PREPARAÇÃO SUPERFICIAL	35
3.1. Seleção de um tratamento de preparação superficial.....	38
3.2. Processos de tratamento superficial.....	40
3.2.1. Processos passivos	40
3.2.1.1. Limpeza química	40
3.2.1.2. Processo de abrasão	41
3.2.1.3. Granalhagem.....	42
3.2.2. Processos ativos.....	43
3.2.2.1. Processo de tratamento ativo de metais.....	43
3.2.2.2. Processos de tratamento ativo de polímeros	44
4. SELEÇÃO DE ADESIVOS E PRINCIPAIS FAMÍLIAS DE ADESIVOS	47
4.1. Estrutura molecular.....	49
4.2. Forma física	51

4.3. Desempenho mecânico.....	52
4.4. Método de endurecimento ou implementação.....	52
4.4.1. Endurecimento por reação química.....	53
4.4.2. Endurecimento por processos físicos.....	53
4.5. Composição química.....	54
4.5.1. Adesivos estruturais.....	54
4.5.1.1. Epóxidos.....	54
4.5.1.2. Poliuretanos.....	55
4.5.1.3. Acrílicos.....	56
4.5.2. Comparação do desempenho dos diferentes adesivos estruturais.....	57
4.6. Processo de seleção de adesivos.....	58
4.6.1. Ensaio de caracterização mecânica.....	58
4.6.1.1. Ensaio de tração e compressão.....	59
4.6.1.2. Ensaio ao corte.....	60
4.6.1.3. Energia de fratura.....	61
4.7. Influência da temperatura.....	61
4.8. Efeito da humidade.....	62
4.9. Efeito da taxa de deformação.....	63
5. PROCESSOS DE MANUFATURA DE JUNTAS ADESIVAS.....	65
5.1. Armazenamento.....	68
5.1.1. Tempo de armazenamento.....	68
5.2. Doseamento e mistura de adesivos.....	69
5.2.1. Doseamento de adesivos.....	70
5.2.2. Mistura.....	70
5.3. Processo de aplicação de adesivos e a influência da sua forma física.....	71
5.4. Montagem e fixação de juntas adesivas.....	73
5.4.1. Controlo da espessura.....	75
5.4.2. Montagem da junta.....	75
5.5. Endurecimento do adesivo.....	76
5.5.1. Processos de cura por aplicação de calor.....	76
6. CONTROLO DE QUALIDADE.....	79
6.1. Controlo das matérias primas.....	82
6.1.1. Controlo das propriedades mecânicas e físicas.....	82
6.1.1.1. Determinação da temperatura de transição vítrea.....	82
6.1.2. Controlo da energia superficial.....	83
6.2. Controlo da manufatura de juntas adesivas.....	85
6.3. Controlo de estruturas coladas.....	86
6.3.1. Tipos de defeitos presentes em juntas adesivas.....	86
6.3.2. Testes destrutivos.....	87
6.3.2.1. Ensaio em componentes (proof tests).....	87
6.3.2.2. Análise fractográfica.....	88
6.3.3. Testes não destrutivos.....	88
6.3.3.1. Teste de batimento.....	89
6.3.3.2. Ultrassons.....	89
6.3.3.3. Emissão acústica.....	90
7. SAÚDE E SEGURANÇA.....	91
7.1. Precauções gerais para o manuseamento de adesivos.....	94
7.1.1. Equipamento de proteção individual.....	95

7.2.	Perigos associados aos tipos de adesivos mais comuns	97
7.2.1.1.	Epóxidos.....	97
7.2.1.2.	Poliuretanos.....	97
7.2.1.3.	Acrílicos	97
7.3.	Precauções com processos de preparação de superfície.....	98
8.	PROJETO DE JUNTAS ADESIVAS	99
8.1.	Carregamentos típicos de juntas adesivas.....	101
8.2.	Principais configurações geométricas de juntas adesivas.....	102
8.2.1.	Modos de falha de juntas adesivas e a sua influência no processo de projeto.....	103
8.2.1.1.	Falha adesiva.....	103
8.2.1.2.	Falha coesiva no adesivo.....	103
8.2.1.3.	Falha coesiva no aderente	104
8.3.	Previsão de forças de rotura de juntas adesivas.....	104
8.3.1.	Previsão de forças de rotura usando métodos analíticos	104
8.3.2.	Volkersen.....	105
8.3.3.	Goland e Reissner.....	108
8.3.4.	Hart-Smith.....	109
8.4.	Crítérios de rotura	110
8.4.1.	Falha no adesivo	110
8.4.1.1.	Cedência generalizada do adesivo	110
8.4.2.	Falha nos substratos.....	111
8.4.2.1.	Cedência dos substratos	111
8.4.2.2.	Modelo de Adams.....	112
8.4.2.3.	Rotura interlaminar de substratos compósitos.....	112
8.5.	Previsão de forças de rotura usando métodos numéricos.....	113
8.6.	Parâmetros com efeito no desempenho mecânico das juntas adesivas	114
8.6.1.	Efeito da espessura da camada adesiva	114
8.6.2.	Efeito do comprimento de sobreposição	115
8.6.2.1.	Comprimento de sobreposição e resistência dos adesivos	115
8.6.2.2.	Comprimento de sobreposição e resistência dos substrato.....	116
8.6.3.	Substratos de material compósito.....	117
8.6.4.	Efeito da temperatura e das tensões térmicas	118
8.7.	Otimização do desempenho de juntas adesivas	119
8.7.1.	Uso de filetes de adesivo e modificações dos substratos.....	119
8.7.2.	Juntas adesivas mistas	120
8.7.3.	Juntas adesivas híbridas.....	121
8.7.4.	Uso de reforços localizados.....	122
9.	DURABILIDADE	123
9.1.	Efeitos ambientais.....	125
9.1.1.	Envelhecimento por absorção de humidade.....	125
9.1.2.	Temperatura.....	127
9.2.	Condições de carregamento.....	128
9.2.1.	Iniciação de dano e curva S-N	129
9.2.2.	Propagação de fenda e Lei de Paris	130
9.3.	Fluência.....	132
	LEITURAS RECOMENDADAS	CXXXV
	ÍNDICE DE FIGURAS	CXXXVII

1.1. DEFINIÇÃO DE CONCEITOS BÁSICOS

No estudo de juntas adesivas é necessário definir com precisão os conceitos e componentes mais importantes. O adesivo é então a substância que inicialmente preenche a lacuna entre os materiais a colar, que a eles adere e solidifica. Quando a aplicação é de natureza não-estrutural, o adesivo toma por vezes o nome de vedante, o que indica uma função mais orientada para a vedação de gases ou líquidos e menos adequada para o suporte de carga. Os materiais a serem colados são chamados de substratos. Após a colagem são chamados de aderentes, embora na prática estes dois termos sejam por vezes usados de forma intermutável. Entre o adesivo e o aderente, existe também a formação de uma interface. A interface é o plano de contacto entre a superfície dos dois materiais (conforme mostrado na Figura 1.1.).

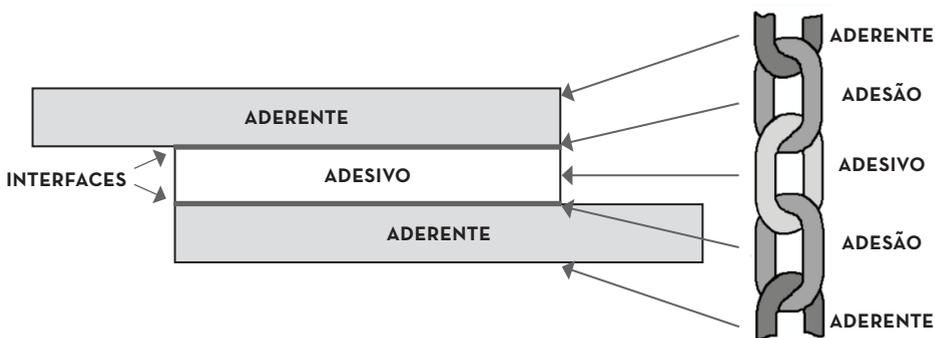


Figura 1.1. Componentes principais de uma junta adesiva.

Os adesivos operam explorando os fenómenos de adesão. Estudaremos este assunto em mais pormenor no capítulo seguinte deste livro, mas por agora podemos definir a adesão como um processo de atração entre duas substâncias, resultante de forças intermoleculares entre elas estabelecidas. Em contraste, no interior do adesivo e do substrato encontramos as forças de coesão, as quais mantêm o material coeso. Uma junta adesiva é o conjunto formado pelo adesivo, os aderentes e a interface, mas poderá também incluir camadas intermédias como primários ou revestimentos. Um primário é uma substância que é utilizada para inibir a corrosão e para melhorar o nível de adesão com o adesivo e o aderente.

Numa junta ideal, devidamente projetada e manufacturada, o aderente deverá ser sempre o componente mais fraco. Por outras palavras, pretende-se que a presença da junta nunca reduza a resistência da estrutura que a contém.

1.3. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS LIGAÇÕES ADESIVAS

As ligações adesivas apresentam características muito peculiares que as distinguem de outros métodos de ligação ditos convencionais, tais como as ligações soldadas, aparafusadas ou rebitadas.

1.3.1. Vantagens das juntas adesivas

Quando devidamente implementadas, as ligações adesivas apresentam a capacidade única de proporcionar uma distribuição de tensões mais uniforme, com uma redução das concentrações de tensão (evitando ligações pontuais que apresentam um elevado nível de tensão), uma vez que a ligação obtida é praticamente contínua, conforme mostrado na Figura 1.3.

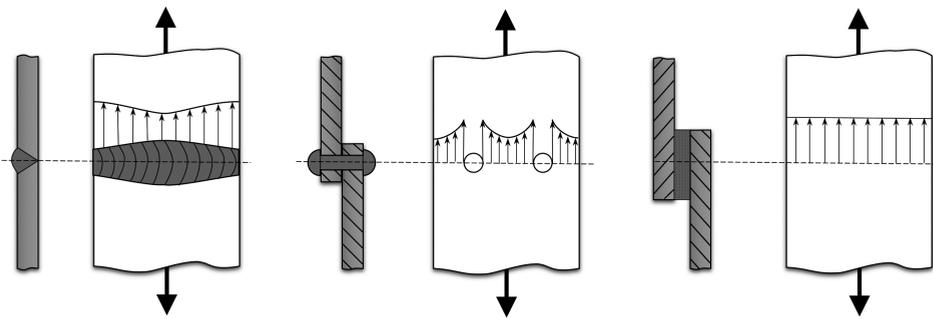


Figura 1.3. Comparação das distribuições de tensões obtidas com juntas soldadas, rebitadas e juntas adesivas.

Esta distribuição de tensão uniforme confere também às juntas adesivas uma excelente resistência à fadiga. A Figura 1.4. demonstra que uma junta adesiva consegue ter um desempenho à fadiga próximo do exibido pelo metal base, algo que não sucede com uma junta rebitada.

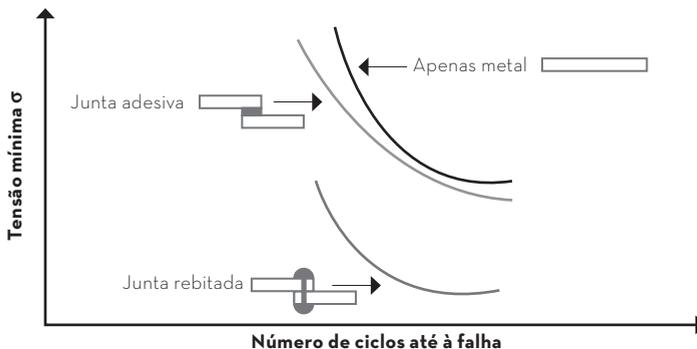


Figura 1.4. Comparação do desempenho à fadiga do material base, juntas rebitadas e juntas coladas.

Os adesivos permitem a construção de estruturas mais leves, sem elementos adicionais como parafusos e soldas e apresentam uma maior flexibilidade em termos de conceção e de processos de fabrico, prestando-se facilmente à implementação em processos automatizados. Uma

Na interface, os adesivos ligam-se aos aderentes através de ligações químicas e o tipo de forças envolvidas dependem da natureza química das superfícies dos materiais em questão. As ligações que se podem formar dividem-se em ligações primárias e secundárias.

As ligações primárias são aquelas onde existe partilha ou transferência de eletrões entre os átomos envolvidos e como tal incluem as ligações iónicas, covalentes e metálicas. São ligações muito fortes (100-1000 kJ/mol) mas que operam a distâncias muito curtas, apenas eficazes em alguns angstroms de distância (10^{-10} m). Em contraste, as ligações secundárias não dependem da partilha ou transferência de eletrões, mas sim da interação entre os dipolos atômicos e moleculares. Entre estas contam-se as forças de van der Waals e as ligações de hidrogénio. São forças capazes atuar em distâncias relativamente longas, mas muito mais fracas (<100 kJ/mol).

A Figura 2.2. mostra como a energia de ligação destas forças primárias e secundárias varia com a distância.

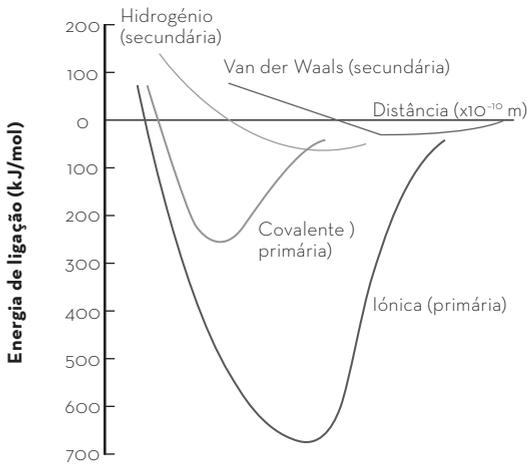


Figura 2.2. Energia de ligação das forças primárias e secundárias envolvidas no processo de adesão.

2.2. MOLHAGEM

Além das forças de ligação presentes, outro fator importante para o nível de adesão é a molhagem do substrato pelo adesivo, ou seja, a maneira como este se espalha sobre a superfície a colar.

Um dos parâmetros que mais influencia a molhagem é a rugosidade de uma superfície. No entanto, não existe um valor ótimo universal para a rugosidade e, conseqüentemente, torna-se necessário adaptar a preparação da superfície ao material que será colado, considerando também o tipo de adesivo que será aplicado.

Num cenário ideal, os adesivos líquidos seriam sempre capazes de molhar completamente todas as superfícies a colar, mas isto nem sempre ocorre e o adesivo é por vezes repellido pela superfície. Um fenómeno análogo pode ser visto nas folhas de certas plantas quando estas recebem orvalho ou chuva. As gotas de água assumem a forma de uma esfera, em vez de criar uma película uniforme e bem espalhada na superfície das folhas, como mostra a Figura 2.5. Este fenómeno ocorre porque a superfície é hidrofóbica, repelindo moléculas de água. Este grau de molhagem (ou a molhabilidade) é na prática determinado por um balanço de forças entre o adesivo e as forças coesivas.



Figura 2.5. Gotas de água na superfície de uma folha.

Num líquido, como é o caso de um adesivo não endurecido, as forças de atração entre as moléculas estão numa condição de equilíbrio em todas as direções. Mas na superfície do líquido este tipo de equilíbrio não pode existir, porque não há moléculas vizinhas do lado de fora da superfície e as moléculas são sujeitas apenas a uma força que as puxa para dentro do líquido (ver Figura 2.6). Para trazer novas moléculas à superfície, deverá ser realizado trabalho, fazendo assim com que as moléculas à superfície tenham uma energia superior àquelas do interior. Esta energia extra das moléculas que estão à superfície que é designada por 'energia livre de superfície' ou simplesmente por 'energia de superfície', expressa como energia por unidade de área (com unidades mJ m^{-2}). Mais precisamente, esta é a energia necessária para criar uma unidade de área numa superfície.

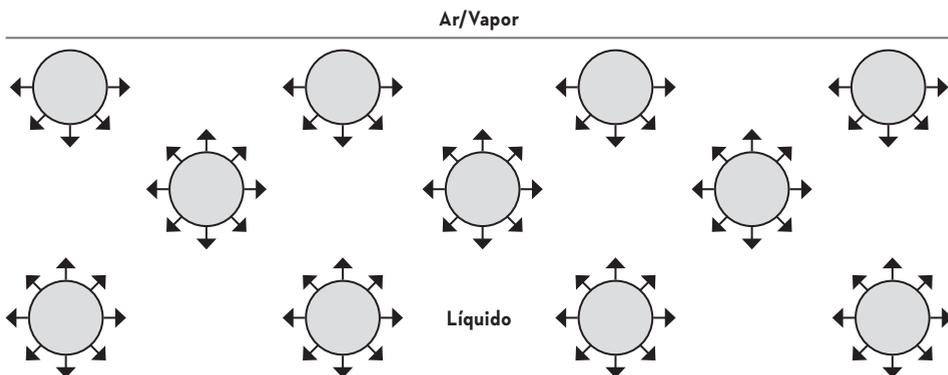


Figura 2.6. Equilíbrio entre ar e líquido na superfície de um líquido.

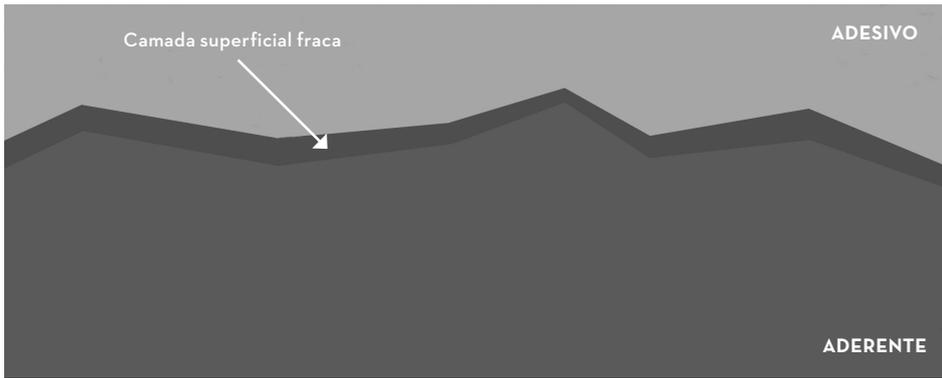


Figura 3.1. Camada fraca na superfície de um substrato.

3.1. SELEÇÃO DE UM TRATAMENTO DE PREPARAÇÃO SUPERFICIAL

Para selecionar o tratamento de superfície ideal, é primeiro necessário conhecer a natureza e as principais características físicas e químicas dos materiais selecionados. De facto, este é um dos principais desafios associados às atividades de preparação de superfície, uma vez que a ligação adesiva pode ser aplicada a um vasto número de materiais, cada um com o seu conjunto de técnicas de preparação apropriadas. O tipo de preparação de superfície determinará inequivocamente o comportamento da junta, algo que pode ser facilmente observado na Figura 3.2. Nesta figura é mostrado um trabalho experimental, onde três preparações de superfície diferentes são usadas para a colagem de um plástico, sendo evidente que o tipo de fratura e o comportamento mecânico obtido muda significativamente com o tipo de preparação escolhido.

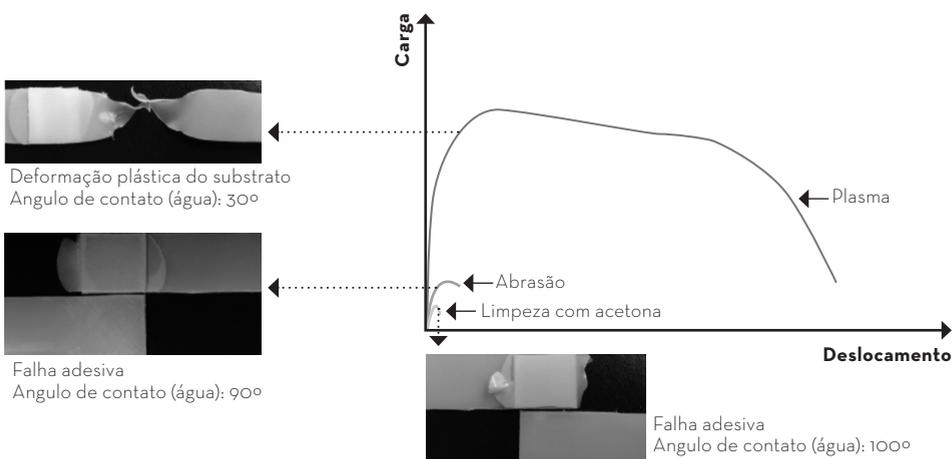


Figura 3.2. Influência de preparação superficial na resistência de uma junta adesiva.

Os materiais poliméricos apresentam três tipos de estruturas moleculares distintas, dando origem aos polímeros termoendurecíveis, termoplásticos e elastômeros. Também nos adesivos podemos encontrar esta classificação. As estruturas típicas destes tipos de polímeros podem ser encontradas na Figura 4.2.



Figura 4.2. Estruturas moleculares típicas de polímeros termoplásticos, elastômeros e termoendurecíveis.

Os termoendurecíveis são polímeros que apresentam cadeias poliméricas compactas, que, devido à sua proximidade, estão unidas por muitas ligações químicas (estrutura altamente reticulada). Os termoendurecíveis são materiais que não derretem com a temperatura, o que significa que podem operar a temperaturas relativamente elevadas e sem danos. A esmagadora maioria das ligações adesivas estruturais recorre a adesivos termoendurecíveis, uma vez que estes apresentam propriedades mecânicas e de durabilidade superiores.

Em contraste com os termoendurecíveis, os termoplásticos apresentam uma estrutura molecular muito mais aberta, com menos ligações entre as diferentes cadeias poliméricas. As cadeias estão assim muito mais livres para se moverem e para deslizar umas em relação às outras. A principal consequência desta liberdade é o facto de os termoplásticos poderem derreter e tornar-se líquidos acima de uma dada temperatura (a temperatura de fusão). Os adesivos termoplásticos têm uma resistência relativamente baixa e são altamente flexíveis, não sendo especialmente adequados para aplicações estruturais. Assim sendo, os adesivos termoplásticos são preferencialmente usados em aplicações com baixas cargas, como a montagem de painéis, revestimentos e cabos.

Os elastômeros são os polímeros com o mais alto grau de liberdade na sua estrutura molecular, apresentando longas cadeias poliméricas que só estão interligadas por ligações amplamente espaçadas. Como resultado, um adesivo de elastômero é muito flexível e pode ser esticado até comprimentos várias vezes mais longos do que o seu comprimento inicial. A resistência de adesivos baseados em elastômeros é bastante baixa, mas a sua elevada flexibilidade é muito útil em aplicações onde é fundamental absorver vibrações ou permitir movimentos relativos entre componentes.

5.4.1. Controlo da espessura

A espessura do adesivo é talvez um dos parâmetros geométricos mais importantes que devem ser controlados durante o fabrico e que tem uma grande influência no desempenho mecânico da junta. Para este fim, os moldes são utilizados em conjunto com outros componentes, tais como calços, fios ou placas com espessura calibrada igual à espessura adesiva desejada. Contudo, outras abordagens podem também ser consideradas, tais como a introdução de esferas de vidro para controlar a espessura (Figura 5.10.). O diâmetro das esferas deverá ser praticamente igual à espessura do adesivo pretendida. Contudo, deve notar-se que as esferas podem afetar a resistência da junta, uma vez que podem atuar como um defeito dentro da camada adesiva.

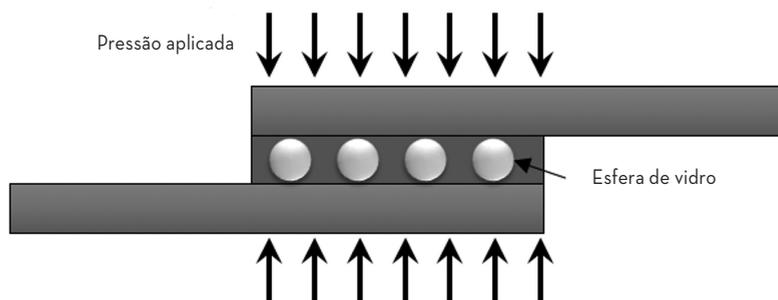


Figura 5.10. Uso de esferas de vidro para controlo de espessura.

Alternativamente, podem ser usados componentes chamados de calços ou espaçadores (*packing shims* em inglês) que forçam a separação física dos substratos. Estes componentes tem a vantagem adicional de poderem ser desenhados para controlar a forma do filete de adesivo (conforme exibido na Figura 5.11.) algo que, como veremos no Capítulo 8, pode resultar em melhorias no desempenho mecânico da junta.

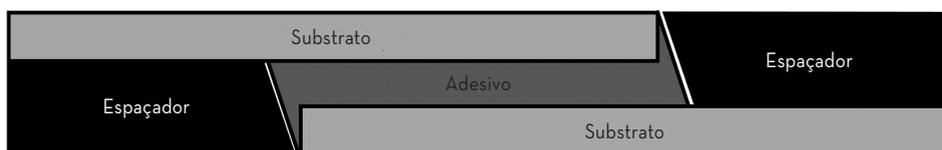


Figura 5.11. Uso de espaçadores para controlo simultâneo de espessura da camada adesiva e forma do filete.

5.4.2. Montagem da junta

Com um dos substratos localizados no molde ou gabarito e o adesivo aplicado, resta apenas sobrepor o outro substrato na junta para completar a montagem da mesma. É nesta fase que o ar pode facilmente ficar preso na camada adesiva e como tal a aplicação dos substratos deve ser realizada de uma forma que minimize a criação de vazios dentro da camada adesiva. Consequentemente, recomenda-se a aplicação do substrato superior num movimento progressivo, em que uma das extremidades do substrato contacta

6.3.2.2. Análise fractográfica

A análise da superfície da fratura (fractografia) é uma metodologia para a avaliação da qualidade das juntas adesivas que sofreram rotura. A presença de vazios, fraca adesão, contaminantes e regiões com insuficiente, podem ser detetados através da fractografia. A análise fractográfica pode consistir numa simples verificação visual a olho nu ou pode ser parte de um procedimento avançado de controlo de qualidade, apoiado por equipamento avançado, como por exemplo sistemas de espectroscopia de raios-X (EDS), análise por microscopia eletrónica de varrimento (SEM) ou microscopia de força atómica (AFM). Utilizando SEM é também possível analisar com precisão os mecanismos de falha (Figura 6.8).

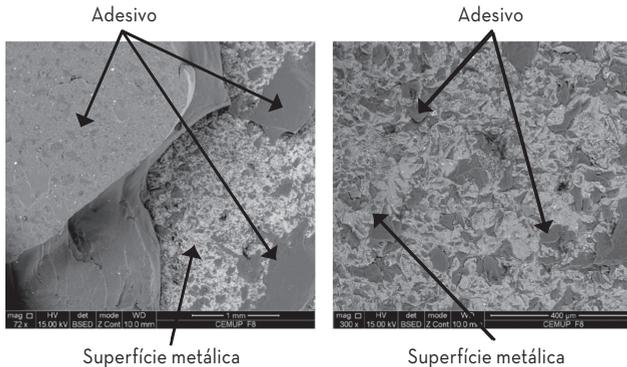


Figura 6.8. Exemplo de imagens obtidas com recurso a uma análise SEM da superfície de rotura mista de uma junta adesiva.

6.3.3. Testes não destrutivos

Uma verificação visual da qualidade de uma junta adesiva completa e intacta pode ser realizada a olho nu ou com a ajuda de um instrumento simples (por exemplo, utilizando uma lupa). Como mostrado na Figura 6.9., verificações visuais são fundamentalmente mais apropriadas para a identificação de defeitos ou falhas que são perceptíveis no exterior da junta.

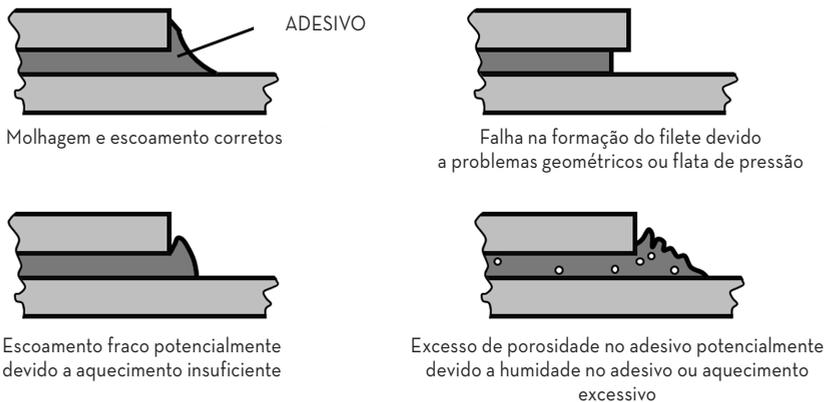


Figura 6.9. Defeitos em juntas adesivas visualmente detetáveis.

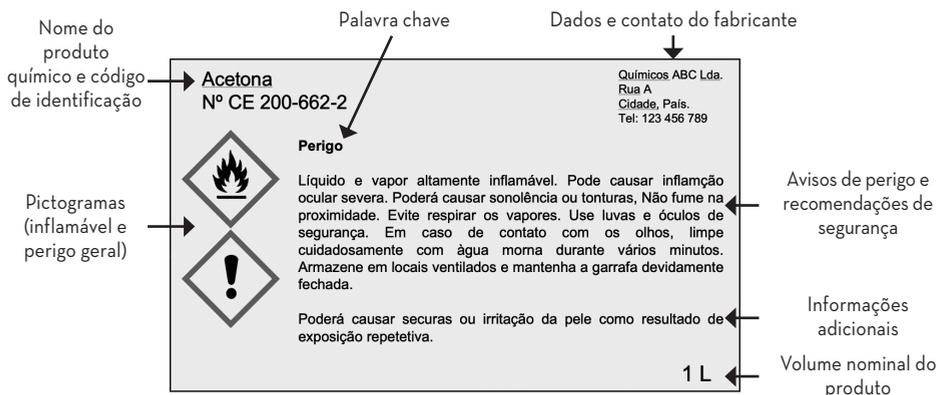


Figura 7.2. Indicações típicas encontradas na embalagem de um produto químico.

7.1.1. Equipamento de proteção individual

O uso de equipamento de proteção individual (EPI) é essencial para proteger os que operam com adesivos dos perigos associados aos adesivos e a todos os outros equipamento e produtos envolvidos no processo de colagem. Existem diversos pictogramas que alertam o utilizador da necessidade de utilizar um dado tipo de EPI, como os mostrados na Figura 7.3.



Figura 7.3. Símbolos dos principais equipamentos de proteção e segurança.

Existem vários tipos de tarefas associadas a trabalhos de ligação adesiva que têm o potencial de causar lesões oculares graves. A utilização de óculos de segurança é obrigatória nas operações em que um risco desta natureza tenha sido identificado e não possa ser totalmente eliminado ou reduzido. A escolha de óculos de segurança adequados dependerá principalmente da natureza do risco e das tarefas a realizar.

Grande parte do trabalho de aplicação de adesivos é de natureza manual e expõe as mãos dos operadores a diversos perigos, sendo indispensável o uso de luvas de segurança apropriadas. Existem pelo menos dez tipos diferentes de luvas de segurança, sendo essencial saber como diferenciá-las, uma vez que cada tipo será adequado para proteger de um conjunto muito específico de riscos. Entre estes tipos de luvas encontram-se as luvas anti-corte, as luvas de látex natural, as luvas de látex nitrílico, luvas de malha de aço, luvas de

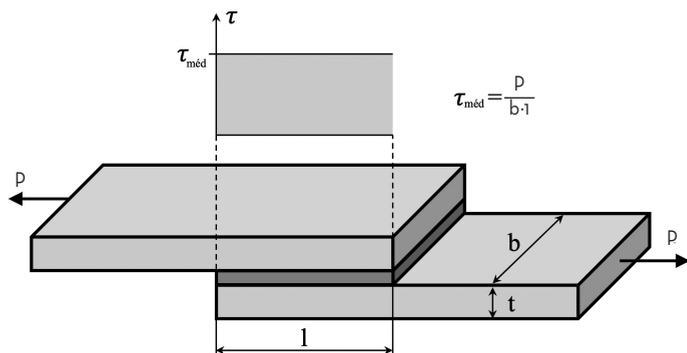


Figura 8.3. Determinação da tensão de corte média atuante numa junta de simples sobreposição.

No entanto, este modelo pressupõe que o aderente não se deforma (nem elasticamente nem plasticamente) e que existe uma distribuição uniforme e constante de tensão de corte ao longo da camada adesiva, o que não é verdade para todos os adesivos. Na prática, a previsão da resistência das juntas assumindo uma tensão uniforme na camada adesiva só é possível para adesivos elásticos (muito flexíveis e altamente deformáveis).

8.3.2. Volkersen

Em 1938, Volkersen demonstrou que, para a maior parte dos adesivos, a tensão de corte não está distribuída de forma uniforme. Em termos simples, Volkersen mostrou que, numa junta carregada e com aderentes deformáveis, a camada adesiva terá também de se deformar para acompanhar os aderentes. Uma vez que as extremidades dos aderentes se encontram mais carregadas, cria-se um diferencial de deformações, o qual força o adesivo a deformar-se também de forma desigual, sendo que é nas extremidades do comprimento de sobreposição que a tensão de corte atinge o valor máximo. A Figura 8.4. destaca claramente este efeito e mostra a distribuição da tensão de corte resultante, com picos nas extremidades de sobreposição.

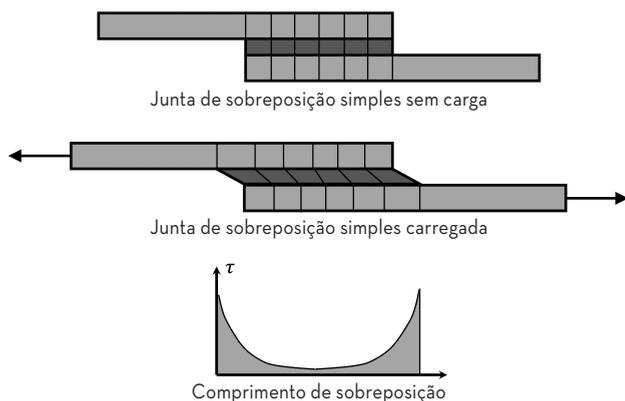


Figura 8.4. Deformação diferencial de uma junta adesiva determinada com recurso ao modelo de Volkersen e respetiva distribuição de tensão de corte.

em que o adesivo se torna mais flexível pela presença de água entre as suas cadeias moleculares. Já a hidrólise consiste na degradação das cadeias poliméricas por efeito de uma reação química com a água ou com substâncias nela dissolvidas. Estes dois fenómenos são indesejáveis porque provocam uma degradação notória do desempenho da junta adesiva. O efeito da presença de água no comportamento à tração de um adesivo é mostrado de forma esquemática na Figura 9.1. É notório o aumento da ductilidade causado pela plastificação, seguido pelo processo de hidrólise.

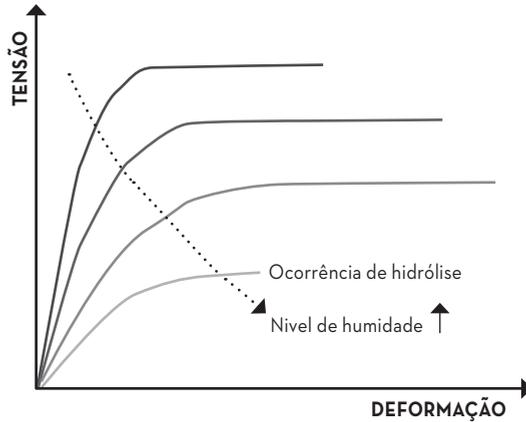


Figura 9.1. Efeito do nível de humidade no desempenho de um adesivo.

Para analisar a durabilidade de uma junta em ambientes húmidos, o coeficiente de difusão da água na camada adesiva deve ser calculado. Esta etapa é normalmente realizada com um conjunto de procedimentos experimentais suportado por modelos numéricos. A componente experimental desta atividade é realizada utilizando placas de adesivo imersas em água e pesadas regularmente. Ao registar o aumento de peso em função do tempo, podemos controlar o processo de absorção de água e determinar a taxa à qual ocorre, modelado através da lei de Fick, conforme representado na Figura 9.2.

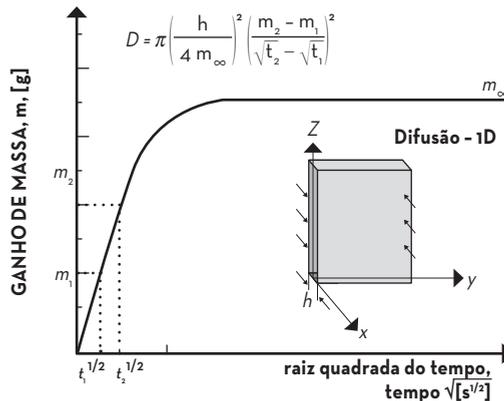


Figura 9.2. Processo de determinação do coeficiente de difusão de adesivo ajustando a equação de Fick a dados de ganho de massa experimentais.



ADESIVOS ESTRUTURAIS SIKA

A Sika® apresenta uma gama diversificada de adesivos estruturais concebidos para substituir soldaduras, rebites e fixadores mecânicos, melhorando ao mesmo tempo a resistência e durabilidade da fixação.

Os adesivos estruturais Sika®

- Ajudam a diferenciar o seu produto com melhor qualidade e uma vida útil mais longa;
- Ajudam a reduzir o peso do seu produto;
- Ajudam a reduzir os custos de fabrico;
- Melhoram a estética geral do seu produto.



SAIBA MAIS
WWW.SIKA.PT

A CONSTRUIR CONFIANÇA



INTRODUÇÃO ÀS LIGAÇÕES ADESIVAS ESTRUTURAIS

EDUARDO A. S. MARQUES
RICARDO J. C. CARBAS
A. FRANCISCO G. TENREIRO
LUCAS F. M. DA SILVA

Sobre a obra

A presente obra é proposta como uma ferramenta de suporte ao ensino e aprendizagem do tema das ligações adesivas estruturais, uma tecnologia de importância crescente e que começa agora a encontrar lugar em cursos de Engenharia Mecânica. O texto serve como uma primeira e concisa abordagem ao assunto das ligações adesivas, debruçando-se sobre os conceitos teóricos de base sobre o tema, sem descuidar a importante componente prática, com exemplos de processos de fabrico, procedimentos de ensaio e metodologias de projeto, sempre suportados em figuras exemplificativas. Esta obra está dividida em nove capítulos, incluindo a teoria da adesão, tratamentos superficiais, seleção de adesivos, processos de manufatura, controlo de qualidade, saúde e segurança, projeto e durabilidade.

Sobre os autores

Eduardo A. S. Marques é Investigador contratado pós-doutoral no Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI) e docente convidado no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Obteve o seu doutoramento na área das ligações adesivas estruturais para aplicações aeroespaciais na FEUP, em 2016, dedicando-se agora a estudar o efeito de elevadas taxas de deformação, temperaturas extremas e elevada humidade relativa no comportamento de diversos materiais e estruturas coladas.

Ricardo J. C. Carbas é atualmente Investigador pós-doutoral na Unidade de Processos Avançados de Ligação (UPAL), uma unidade de investigação do Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI). Obteve doutoramento em juntas coladas funcionalmente graduadas, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), em 2013, e realiza regularmente trabalhos de consultoria para empresas nacionais e internacionais.

A. Francisco G. Tenreiro é doutorando de Engenharia Mecânica, desenvolvendo a sua investigação na área dos ensaios não destrutivos de juntas adesivas. Durante a sua tese de mestrado participou na conceção e desenvolvimento de um novo equipamento de ensaio do tipo barra de Hopkinson para a caracterização de juntas coladas sujeitas a taxas de deformação elevadas. É autor de diversos artigos de investigação neste campo.

Lucas F. M. da Silva é Professor Catedrático no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e editor-chefe do *The Journal of Adhesion*. É o diretor da Unidade de Processos Avançados de Adesão (AJPU) do Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI).

Apoio

A CONSTRUIR CONFIANÇA



Também disponível em formato e-book



www.engebook.pt

engebeck