

RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE JUNTAS DE AÇO AO CARBONO COLADAS

Delfim Ferreira Monteiro, Fernando . F. Oliveira, António Augusto Fernandes, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Rua dos Bragas, 4099 PORTO, Codex, Portugal

Sumário: Neste trabalho faz-se uma abordagem do uso de adesivos estruturais como processo de ligação de metais; referem-se em particular os adesivos à base de resinas epoxy, propriedades e aplicações.

A influência das características do aderente e do adesivo, da geometria da junta, das condições ambientais e do tratamento da superfície de colagem, no comportamento à fractura de juntas metálicas, são passados em revista

É feito um levantamento dos diferentes tipos de ensaios dinâmicos usados na avaliação do comportamento das juntas e são apresentados os resultados de um programa experimental concebido para analisar o comportamento ao impacto de juntas de aço ao carbono.

Abstract: This paper reviews the use of structural adhesives as a joining method of metallic materials. The effect of adherent and adhesive characteristics, joint geometry, durability and varying environmental conditions and surface pretreatment are analysed.

The impact behaviour of bonded steel joints evaluated with wedge type specimens is reported.

1. INTRODUÇÃO

Os adesivos estruturais foram desenvolvidos inicialmente na indústria aeronáutica e aeroespacial, por permitirem a obtenção de boas relações resistência / peso, tanto em estruturas de aviões comerciais como em naves espaciais, mísseis e foguetes [1,2]. Atendendo à sua resistência mecânica e fácil aplicação, podem ser usados para ligar quase todos os materiais e nas mais diversas aplicações; assim os adesivos estruturais assumem-se cada vez mais como um método de ligação alternativo à soldadura por pontos e à rebiteagem. Existem já exemplos de aplicações bem sucedidas dos adesivos, como é o caso do "Renault Espace" em que mais de um milhar de peças foram coladas, mesmo em zonas do automóvel com requisitos de resistência ao choque severos [3]. Esta tecnologia apresenta contudo limitações que se referem a seguir: A resistência de uma junta adesiva é " direccional", isto é, depende da direcção de aplicação da solicitação externa; os adesivos usados na colagem de metais (aço por exemplo), têm uma elevada resistência ao corte, baixa resistência ao arrancamento e à clivagem, e uma boa resistência à tracção; as superfícies exigem uma preparação mais cuidada do que os outros processos, assim como uma escolha adequada do adesivo; a resistência química das juntas pode sofrer degradação pela acção do calor, da humidade e de agentes químicos e após a cura é muito difícil a descolagem das peças para reparação (a cura é uma operação que origina a solidificação do adesivo pela ocorrência da reacção de polimerização da resina base com o agente de cura, entre outros aditivos).

Os adesivos epoxy possuem boas propriedades químicas e mecânicas, sendo geralmente comercializados sobre a forma de um ou dois componentes. A sua cura pode ser processada a partir de 5°C não sendo necessário aplicar grande pressão, bastando um simples posicionamento das peças a colar. O endurecimento destes adesivos depende do tipo de endurecedor podendo ocorrer à temperatura ambiente ou mediante aquecimento. Além disso, são resistentes à deformação plástica, às condições atmosféricas e ao choque.No entanto, devido à sua estrutura molecular, largamente reticulada, apresentam uma grande rigidez após polimerização.

Uma junta colada está condicionada por diversos factores, que afectam a sua resistência tais como: as características mecânicas dos aderentes (módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, tensão de cedência e tensão de rotura); a geometria da junta (forma da junta, espessura dos aderentes, espessura do adesivo e comprimento de sobreposição); as características mecânicas do adesivo (módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, tensão de rotura ao corte e à tracção); tratamento superficial (rugosidade e desengorduramento da superfície e eliminação de óxidos); condições ambientais (temperatura, humidade relativa, agentes químicos e radiação) e as solicitações externas (forças, deslocamentos, rotações ou momentos) [2].

O melhor compromisso entre a resistência da junta e a ausência de defeitos é obtido para espessuras da cola entre 0.2 e 0.3mm.

A resistência de uma junta aumenta com a espessura do material base, para diferentes tipos de juntas [4]. A partir de um certo valor a resistência ao corte mantém-se constante.

A resistência da junta aumenta, normalmente, com a melhoria do tratamento da superfície de colagem, dependendo do maior ou menor grau de sensibilidade do adesivo à presença de contaminantes e do nível de rugosidade da superfície. A norma ASTM D2651 [5] especifica tratamentos adequados para a superfície dos aços.

O efeito da água numa junta colada com um adesivo epoxy, manifesta-se pela perda de adesão entre o adesivo e aderente metálico, ainda não devidamente explicada [1,2,6,7,8,9,10].

A presença simultânea de tensões e de condições ambientais adversas constituem uma acção que limita a durabilidade das juntas adesivas [11]. Especialmente no caso dos adesivos epoxy, a exposição a ambientes húmidos e a temperaturas relativamente elevadas possibilita a formação de microcavidades e o efeito plasticizante da humidade [12,13]. Também, o binómio temperatura/tempo de cura é fundamental para a resistência da junta [14].

Podem ocorrer três tipos de fractura: A fractura coesiva, que ocorre quando o provete rompe dentro da camada adesiva, que corresponde à resistência máxima de adesão; a fractura adesiva, quando o provete fractura na interface adesivo/aderente; a fractura mista, isto é, adesiva/coesiva, sendo conveniente, neste caso, registar as percentagens de fractura; em alguns casos pode também ocorrer fractura do próprio aderente [15].

O conhecimento dos modos de solicitação ao choque de juntas coladas, a localização das deformações na estrutura e a avaliação das energias em jogo é imprescindível para a definição da performance da junta. Para a caracterização da junta é necessário, deste modo, definir um conjunto de ensaios que garantam a fiabilidade da junta em serviço [3].

Keisler [3], passa em revista algumas técnicas de ensaio de juntas ao impacto com velocidades de aplicação da carga até 10⁴mm/s. Em juntas coladas simples sobrepostas, e em juntas ao rasgamento, o ensaio de impacto pode ser feito em máquina tipo queda de peso ou máquinas servohidráulicas, usando dispositivos apropriados de fixação do provete e de embate do impactor, sendo possível fazer o registo das curvas força versus tempo e força versus deslocamento [14].

2. MATERIAIS E METODOLOGIA EXPERIMENTAL.

2.1. Adesivos

Os adesivos usados foram o Terokal 5045 e terokal 5050. Ambos são produtos experimentais pelo que os dados técnicos podem sofrer alterações. São constituídos à base de uma resina epoxy e de um endurecedor que é um solvente livre, tixotrópico, tratando-se portanto de adesivos bicomponente. São fabricados pela "TEROSON" [16].

2.2. Material base

É chapa de aço ao carbono de espessuras 1, 1.5 e 2mm. Os provetes ensaiados ao rasgamento (impact wedge method) foram preparados de acordo com a Norma ISO/DIS 11343-92 [17]. As propriedades mecânicas do aderente foram obtidas através da realização de ensaios estáticos de tracção na máquina "TINIUS OLSEN" (FEUP), e indicam-se na Tabela I. Os provetes foram preparados de harmonia com a Norma NP-NE 10002-1 de 1990.

Tabela I Principais propriedades mecânicas do substrato [14].

ESPESURA DA CHAPA DE AÇO (mm)	TENSÃO DE RUTURA À TRACÇÃO - Rm (Mpa)	TENSÃO LIMITE CONVENCIONAL DE PROPORCIONALIDADE A 0,2 % - Rp (Mpa)	EXTENSÃO À RUTURA - A ₅ (%)
1	303,8	169,5	41,7
1,5	294,5	143	49,8
2	425,3	251	31,2

A geometria e dimensões dos provetes destinados ao ensaio de rasgamento por impacto, com cunha simétrica, são ilustradas na Figura 1.

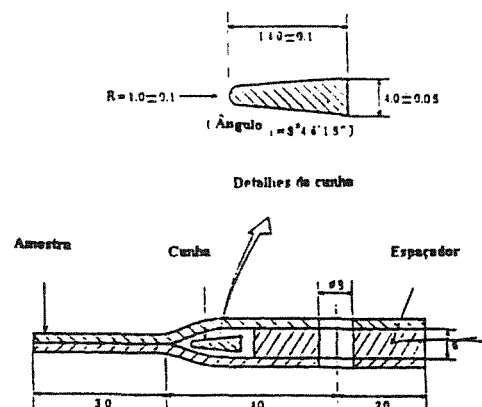


Fig. 1. Provette usado no caso do impacto por cunha simétrica [17]

A largura da amostra deve ser de preferência de 20 mm e a espessura da camada adesiva entre os dois aderentes de 0.3mm. Prepararam-se as amostras individualmente, para cada uma das espessuras do substrato, e colaram-se ao longo de um comprimento de 30 mm. De salientar que só os provetes com 1.5mm de espessura foram submetidos a envelhecimento em câmara climática.

2.3. Equipamento experimental

Na realização dos ensaios de impacto foi utilizada uma máquina de ensaio de impacto ROSAND IFW5HV, que se mostra na Figura 2, tendo sido utilizada na realização dos ensaios de envelhecimento a câmara climática da WEISS 500 SB/ + 10 IV/40 DV (FEUP), apresentada na Figura 3.

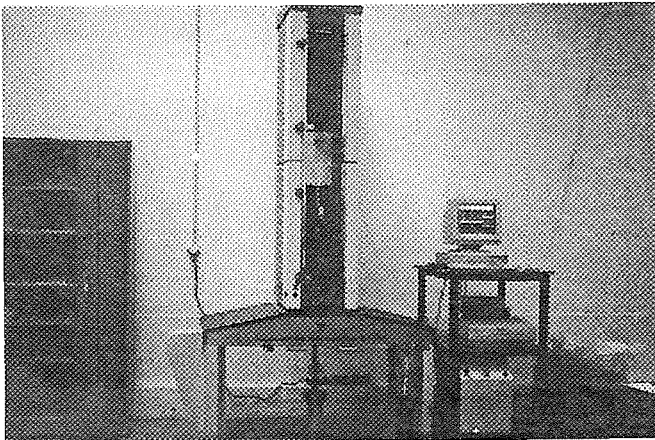


Fig. 2. Máquina de ensaio por impacto



Fig. 3. Câmara climática

A operação da máquina Rosand é feita de acordo com procedimentos indicados pelo fabricante [18].

Foi concebido e executado um dispositivo de fixação dos provetes e de embate do impactor (calha) ilustrado na figura 4.

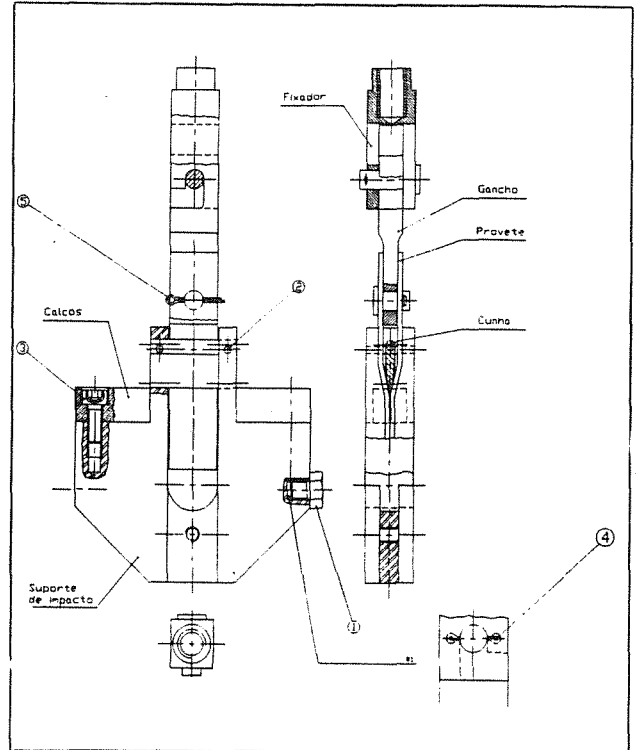


Fig. 4. Dispositivo de ensaio ao impacto por rasgamento

Os parâmetros de ensaio foram os seguintes:

- Velocidade de ensaio----- 2m/s;
- Energia disponível----- 11.66 joules;
- Massa----- 5.83Kg;
- Registo:
 - Força----- 10KN;
 - Tempo----- 50ms;
 - Altura----- 0.2m.

A câmara climática pode ser programada directamente, ou controlada por interface, depois de pré- instalado o respectivo software num PC. Deste modo é possível armazenar tanto os programas como os resultados obtidos.

2.4. Metodologia.

Os parâmetros usados foram os seguintes:

- 1) Espessura do material base
 - A- 1mm;
 - B- 1.5mm;
 - C- 2mm.
- 2) Adesivos
 - D- Terokal 5045;

E- Terokal 5050.

3) Tratamento superficial

F- Estado de fornecimento;

G- Desengorduramento com Ridolene 1402;

H- Desengorduramento com Ridolene + Lixagem com escova de aço inoxidável adaptada a um berbequim eléctrico + Desengorduramento com Ridolene.

4) Envelhecimento

L- 21 dias;

M- 42 dias.

Provete tipo "cunha (impact wedge method)"

Após a preparação das amostras destinadas ao ensaio de rasgamento, estas foram devidamente referenciadas.

A cola foi aplicada com uma espátula e as juntas apertadas com grampos, adquirindo a sua resistência inicial ao fim de sete horas. Para controlar a espessura da camada adesiva e por consequência, a resistência da junta usaram-se esferas de vidro calibradas de 0.25mm de diâmetro, misturadas no adesivo.

O tempo de cura à temperatura ambiente foi de 5 dias, para ambos os tipos de adesivos.

No caso de provetes envelhecidos, usou-se o seguinte ciclo climático: 4h a 80°C/80% HR, 2h intervalo, 4h a -40°C, 4h a 80°C/80% HR, sendo HR a humidade relativa. Esta aceleração do envelhecimento permite uma análise comparativa da vida útil dos diferentes adesivos [14].

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE PARAMÉTRICA DO COMPORTAMENTO AO IMPACTO.

4.1. Ensaio de envelhecimento.

Na figura 5 é ilustrado o ciclo de envelhecimento a que foram sujeitos os provetes usados no programa experimental.

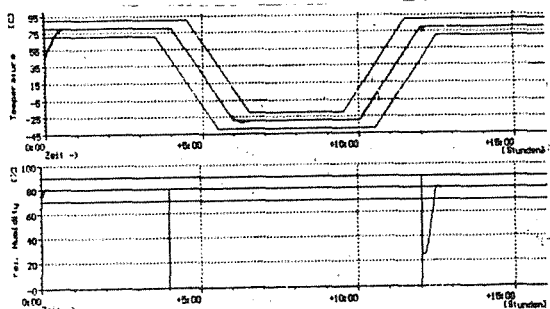
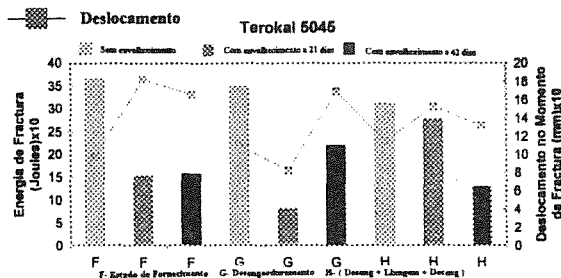


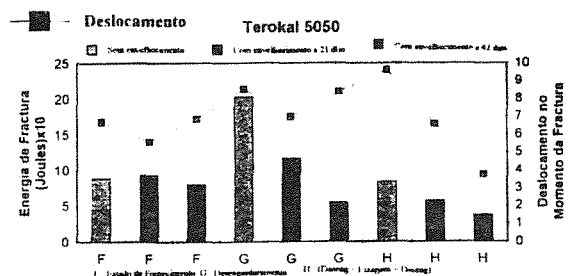
Fig. 5. Ciclo real de temperatura e humidade utilizado nos ensaios

4.2. Ensaio de Rasgamento (impact wedge method).

A figura 6 ilustra a influência das condições ambientais (temperatura e humidade) no comportamento ao impacto de juntas coladas com ambos os tipos de adesivos.



a) TEROKAL 5045



b) TEROKAL 5050

Fig. 6. Valores médios das energias de fractura (Joules) e do deslocamento no momento da fractura (mm), espessura do aderente 1.5mm.

A cola Terokal 5045 apresenta fractura essencialmente coesiva antes de envelhecida e após envelhecimento, sobretudo em juntas sujeitas a tratamento de desengorduramento + lixagem + desengorduramento. No entanto, juntas coladas no estado de fornecimento revelam fractura essencialmente adesiva após envelhecimento, assim como juntas desengorduradas e sujeitas a 21 dias de exposição climática. Esta cola é bastante tolerante à presença de contaminantes, verificando-se, geralmente, um abaixamento da energia de fractura com o desengorduramento, principalmente em juntas envelhecidas a 21 dias. Quando envelhecidas a 42 dias há casos que revelam aumento do valor da energia de fractura. A energia de fractura baixa após envelhecimento, com maior intensidade ao fim de 21 dias verificando-se uma relativa estabilização dos valores da energia de fractura, quando se associa o desengorduramento à lixagem, sendo a rugosidade da superfície uma função determinante na resistência final da junta. O deslocamento no momento da fractura tem uma evolução semelhante à da energia de fractura exceptuando juntas coladas no estado de fornecimento. De salientar uma subida da energia de fractura e uma diminuição das deformações, com o aumento da

espessura do aderente, sobretudo nos estados de desengorduramento e de desengorduramento + lixagem + desengorduramento, para ambos os tipos de adesivos. Apresentam-se na Figura 6 curvas força versus deslocamento correspondentes a juntas coladas com Terokal 5045 e Terokal 5050.

O adesivo Terokal 5050 exhibe fractura essencialmente adesiva antes e após envelhecimento, o que mostra a falta de adesão. Revela sensibilidade à presença de contaminantes, notando-se uma melhoria da energia de fractura, sobretudo nos estados de fornecimento e de desengorduramento, respectivamente sem envelhecimento e quando exposta a 21 dias de ciclo climático. A evolução do deslocamento no momento da fractura é muito semelhante à da energia de fractura, à excepção de juntas coladas no estado de fornecimento. Todavia, esta cola sofre uma degradação das propriedades após envelhecimento, sobretudo após 21 dias de ciclo climático.

Na figura 7 é ilustrado um registo de ensaio ao impacto. Consta-se que a força cai a zero, dentro de um determinado valor do deslocamento independentemente das condições de colagem ou de envelhecimento. A fractura deve ser descrita como frágil [17]. Os factores preponderantes a considerar na análise da resistência ao impacto são a energia de fractura e também o deslocamento no momento da fractura, embora numa fractura frágil a frente da fenda se desloque mais rapidamente que a cunha. A cola Terokal 5045 apresenta melhores performances que a cola 5050, embora ambos os adesivos apresentem uma fraca resistência ao arrancamento. Mesmo assim, é de preferir a cola Terokal 5045 que é de mais fácil aplicação.

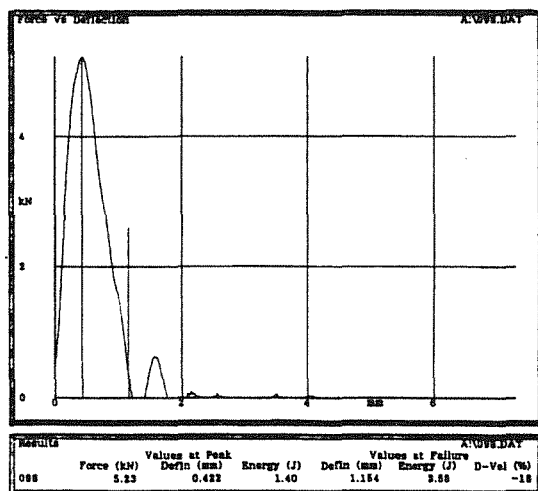


Fig.7. Registo de ensaio ao impacto de junta colada com Terokal 5045

5. CONCLUSÃO

Apesar da fraca resistência ao arrancamento (rasgamento) evidenciada por ambos os adesivos, a cola Terokal 5045 possui energias e deslocamentos no momento da fractura muito superiores aos apresentados pela cola Terokal 5050. A fractura é sempre frágil, embora a cola 5045 exhiba um comportamento mais dúctil do que a cola Terokal 5050. A cola 5045 exhibe, geralmente, fractura essencialmente coesiva o que significa a existência de uma adesão quase total.

Normalmente, as performances aumentam com a melhoria do tratamento da superfície de colagem e com o aumento da espessura do material base

6. REFERÊNCIAS.

[1] Shields. J. , "Adhesives Handbook, " 1971 Butherworths, London.

[2] Mark H. F. , Gaylord N. G. , Bikales N. M. " Encyclopedia of Polymer Science and Technology", vol 1, Interscience Publishers, Jonh Wiley & Sons, Inc.- New York.

[3] Keisler. C. , " Etude de la resistance à l' impact d' assemblage collés. Influence des étates de surface". Thèse de Docteur- Universite de Bordeaux, I, (1992).

[4] Couvrat Pratices- " Le collage structurel moderne (Théorie et Pratique)." London New York (Paris). 1992.

[5] ASTM D2651- Standard Pratices for preparation of metal surfaces for adhesive bonding (p-166,167,169) 1984.

[6] Schmidt R. G. ,Belle J. P. ,Adv. Polym. Sci. ,75,33 (1985).

[7] Ennis B. C. ,Pearce P.J. , Morris C. E. H., J. Appl. Polym. Sci. ,37,15 (1985).

[8] Kwei. K. ,J. Appl. Polym. Sci. , 10,1647 (1966).

[9] Jonhcock P. , Tudgey G. F. , Br. Polym. J. ,13(3) (1983).

[10] Falconer D. J. , Mac Donald N. C. , Walkes P. , chem. Ind. ,London, 86, 1230 (1964).

[11] May A. Clayton, "Epoxy Resin- Chemistry and technology", 2ª ed, Marcel Dekker, Inc; cap 7 " Epoxy resin adhesives. ", Armand. F. Lewis.

[12] Apicella A. Nicolais L. , Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. ,20,138-144 (1981).

[13] Pogany. G. A. , Polymer, 17(8) (1976).

[14] Monteiro. D. F. , " Análise do comportamento à fractura de juntas de aço efectuadas com adesivos estruturais ". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, (1995).

[15] Hortshorn. S. R. ,Strutural adhesives- Chemistry and technology, Plenum Press, New York (1986).

[16] Catálogos TEROSON « Terokal 5045 e Terokal 5050 ».

[17] ISO/DIS 11343- Adhesives, « Determination of peel resistance of hight-strength adhesives bonds un impact conditions (impact wedge méthod)» , (1992).

[18] Magalhães G. A. , Moura Marcelo, «Manual de utilização da Máquina de impacto ROSAND». Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, (1994).