

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA EM JUNTAS DE USO AUTOMOTIVO UNIDAS POR ADESIVO ESTRUTURAL URETÂNICO

EVALUATION TEMPERATURE EFFECT IN AUTOMOTIVE JOINTS USING URETHANE STRUCTURAL ADHESIVE

Quini, G. J.^{1,2}, Marinucci, G.²

¹ Masterpol Tecnologia em Adesivos Ltda - São Paulo/SP- Brasil

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- São Paulo/SP- Brasil

¹ e mail: josue@usp.br

RESUMO

O efeito dos agentes físicos sobre materiais compósitos poliméricos tem significativa importância na vida útil de juntas adesivas. Uma condição crítica para que pode alterar a resistência de uma junta é a variação de temperatura.

O presente estudo tem por objetivo apresentar resultados da aplicação de adesivos estruturais poliuretânicos para uso automotivo na fixação de peças em compósito, termoplástico e metais, em diferentes temperaturas. Os resultados mostraram que as juntas de compósitos formadas de RTM, SMC e termoplástico ABS apresentam fratura no corpo de prova, indicando que o adesivo proporcionou uma boa interação com estes substratos. No metal estudado, aço carbono galvanizado, a fratura foi coesiva, por ter atingido o limite de resistência do adesivo.

ABSTRACT

The effect of physical agents on polymeric composite materials has significant importance in the life of adhesive joints. A critical condition that can change the resistance of a joint is the temperature variation. This study aims to present results of applying polyurethane structural adhesives for automotive use in the bonding of composite parts, thermoplastic and metal at different temperatures. The results showed that the joints of composites formed from RTM, SMC and thermoplastic ABS have showed fracture in the body of evidence indicating that the adhesive provided a good interaction with these substrates. In joints of galvanized carbon steel, the fracture was cohesive, having reached the limit of resistance of the adhesive.

1. INTRODUÇÃO

O crescente uso de materiais poliméricos na indústria automotiva tem ocorrido não apenas em peças internas mas também tem sido empregados em estruturas externas como pára-choques, carenagens, portas, tetos entre outras. Este uso se dá devido à necessidade do aumento da resistência a corrosão e produção de veículos em menor escala, como por exemplo, tratores, caminhões, ônibus e veículos esportivos.

A produção destas peças requer combinações de materiais poliméricos compósitos, termoplásticos e metais, sendo necessário uni-las estruturalmente por meio de adesivos especiais capazes de aderir sobre esta variedade de substratos. Atualmente os materiais mais utilizados nestes processos são os compósitos de poliéster reforçado com fibras de vidro moldados pelos

processos de RTM e SMC, termoplásticos do tipo ABS e aços galvanizados. Os adesivos estruturais utilizados nestas aplicações precisam suportar diferentes temperaturas oriundas tanto do meio ambiente como geradas pelo próprio veículo quando em uso. Estas temperaturas podem variar significativamente entre países de clima temperado tropical em uma faixa de -40 a 50°C, e em peças próximas ao motor acima de 150°C.

A união de peças de automotivas através dos adesivos estruturais oferece benefícios significativos em relação aos sistemas convencionais de junção, como por exemplo, parafusos, insertos ou rebites¹. O adesivo distribui as cargas e tensões sobre a área total da união ao invés de concentrá-las, permitindo além da distribuição uniforme das cargas estáticas e dinâmicas, uma redução nos custos de produção e manutenção em relação aos sistemas mecânicos de fixação². Garante ainda melhor isolamento elétrico, redução da corrosão e também redução dos níveis de vibração em montagens com parafusos e rebites, sendo que industrialmente, em muitos casos, os métodos de aplicação de adesivo oferecem maior produtividade nos processos de montagem³.

2. OBJETIVOS

- ✚ Avaliar o desempenho do adesivo estrutural uretânicos em juntas automotivas de RTM, SMC, ABS e aço galvanizado, por meio do ensaio de cisalhamento;
- ✚ Avaliar comparativamente a resistência ao cisalhamento das mesmas juntas expostas continuamente em diferentes temperaturas;
- ✚ Avaliar o efeito na resistência ao cisalhamento após exposição a altas temperaturas por curto intervalo de tempo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os compósitos utilizados no presente estudo foram fabricados com matrizes de poliéster insaturado e fibras de vidro, moldadas por processos de transferência de resina (RTM), do inglês resin transfer molding, e pelo processo de prensagem (SMC), do inglês sheet molding compound. O termoplástico de ABS (Acrilonitrila/Butadieno/Estireno), foi preparado por termoformagem de placas de 2mm de espessura. Chapas de aço carbono de 1mm de espessura foram tratadas pelos processos de zincagem e cromatização para proteção anticorrosiva.

Os substratos utilizados neste trabalho foram cortados nas dimensões de 2,5 x 7 x 0,2 cm. As superfícies foram lixadas para a remoção da camada superficial. Os corpos de prova foram preparados utilizando o adesivo Masterpur Estrutural 300 colando-se uma área de 6,25cm². Os ensaios foram conduzidos após 72h da colagem, conforme norma ASTM D3163⁴.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito da temperatura da junta na resistência ao cisalhamento

Os materiais poliméricos apresentam restrição de uso quando submetidos a condições severas de temperatura, quase sempre sendo estabelecidos limites de temperatura máxima, por exemplo, 170 ou 200°C. Raramente são determinadas as condições de uso em criogenia.

Para a determinação da resistência ao cisalhamento em função da temperatura, os ensaios foram feitos nas temperaturas: -40, 25, 80, 120 e 177 °C.

4.1.1. Substratos de SMC

A resistência ao cisalhamento a 25°C representa um parâmetro inicial para ser comparada com os demais valores e será estabelecida como referência. Na FIG. 1 são mostrados os resultados da resistência ao cisalhamento em função da temperatura para o SMC.

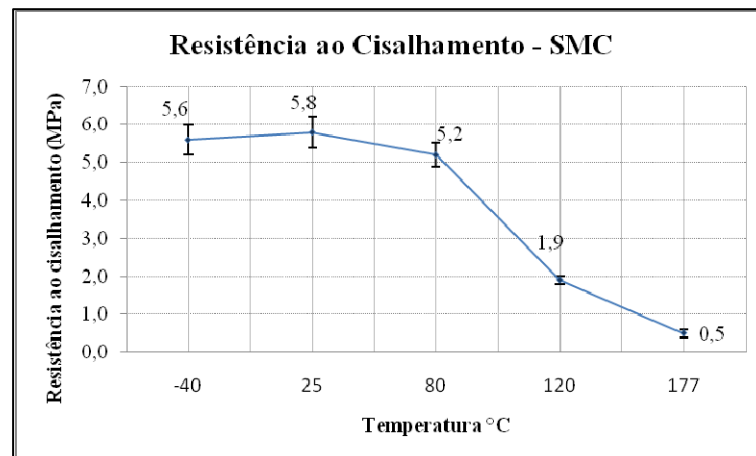


FIGURA 1 – Resistência ao cisalhamento de corpos de prova de SMC.

O ensaio realizado a -40°C mostrou uma redução da resistência da junta de 3,4% quando comparado com aquela a 25°C, com ocorrência de delaminação do substrato, porém devido à incerteza não foi significativa.

Em todos os ensaios acima de 25°C ocorreu um decréscimo da resistência ao cisalhamento. A temperatura de 80°C há redução de 10,3%, ocorrendo delaminação do substrato. A temperatura de 120°C a redução foi de 67,2%, com falha por delaminação, o que indica que o substrato teve algum comprometimento nas propriedades devido à temperatura. Para as condições de temperatura a 177°C houve falha coesiva, com a junta apresentando resistência de 0,5MPa, o

que representa uma redução de 91,4% da resistência. Como a falha foi coesiva, isto mostra que o adesivo uretânico apresenta limitação para trabalhos contínuos acima desta temperatura.

4.1.2. Substratos de RTM

De modo análogo ao SMC, foi feito um estudo utilizando substratos de RTM. Na FIG. 2 são mostrados os resultados do comportamento da resistência ao cisalhamento em função da temperatura para os substratos em RTM

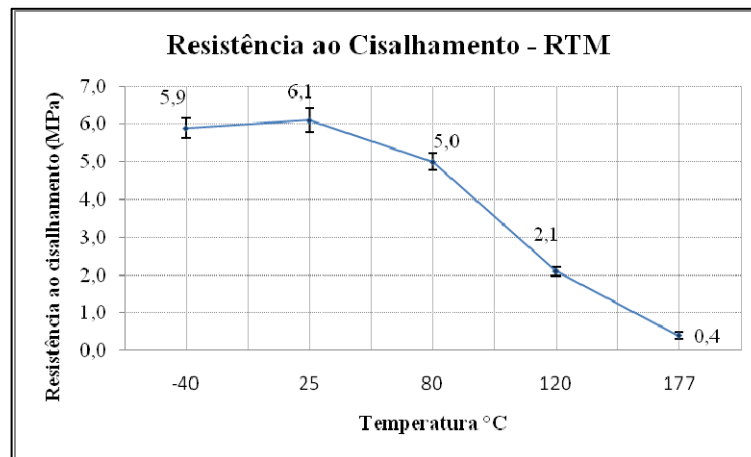


FIGURA 2 – Resistência ao cisalhamento de corpos de prova de RTM.

O ensaio realizado a -40°C mostrou uma redução da resistência ao cisalhamento de 3,3%, com ruptura do corpo de prova, muito próxima a condição de 25°C . Novamente, em todas as temperaturas acima de 25°C ocorreu um decréscimo da resistência ao cisalhamento. Na temperatura de 80°C houve uma redução de 18%, bem maior do que no SMC. Como a falha foi no corpo de prova, novamente tem-se que o adesivo não foi exigido. Porém a 120°C a redução foi pouco menor do que a ocorrida no SMC, com 65,6%, ocorrendo falha por ruptura do corpo de prova, o que indica que o substrato sofreu algum comprometimento nas suas propriedades, que resultou nesta redução. O ensaio realizado a temperatura para 177°C apresentou falha coesiva com uma resistência de 0,4MPa, o que representa uma redução expressiva de 93,4% da resistência. Como a falha foi coesiva, o adesivo uretânico mostrou não ser adequado para trabalhos em temperaturas tão elevadas, a exemplo do que ocorreu com o SMC.

4.1.3. Substratos de ABS

O estudo com corpos de prova em ABS foi feito nas mesmas condições anteriores exceto para exposições acima de 80°C, pois o substrato não resistiria a estas temperaturas. Encontram-se na FIG. 3 os resultados obtidos nas juntas em ABS nas temperaturas -40, 25 e 80°C.

O ensaio realizado a -40°C mostrou uma redução de 5,6%, porém ainda maior do que aquelas registradas para o SMC e RTM com ruptura do corpo de prova. Na temperatura de 80°C não houve variação da resistência ao cisalhamento, indicando que nesta temperatura a junta é pouco afetada com aumento da temperatura.

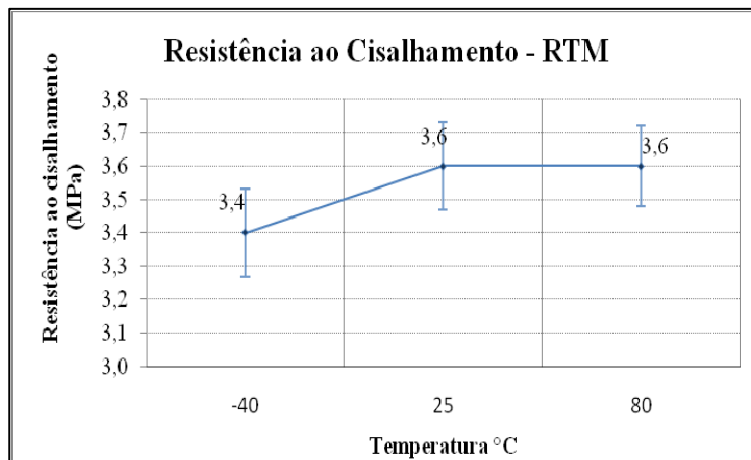


FIGURA 3 – Resistência ao cisalhamento de corpos de prova de ABS.

4.1.4. Substratos de aço carbono zincado cromado preto

O estudo foi feito com corpos de prova em aço carbono zincado e cromado preto nas mesmas condições anteriores. Encontram-se na FIG. 4 os resultados obtidos destas juntas nas temperaturas de -40, 25, 80, 120 e 177°C. Nos corpos de prova de metal pode-se avaliar isoladamente o efeito da temperatura sobre o adesivo uretânico, pois na faixa de -40 a 177°C.

O ensaio realizado a -40°C, diferentemente do observado nas juntas dos substratos de SMC, RTM e ABS, mostrou um aumento da resistência de 9,5%, com falha coesiva, porém ainda dentro da incerteza da medida. Nas temperaturas de 80 e 120°C foram registrados aumentos 3,7% e de 5,5% respectivamente, indicando reações de pós-cura do adesivo uretânico.

O ensaio realizado a temperatura de 177°C apresentou falha coesiva com uma resistência de 0,6MPa, o que representa uma redução de 94,2% da resistência da junta, resultado bastante semelhante ao observado nas juntas de SMC e RTM, favorecendo a conclusão de que o adesivo uretânico não apresenta resistência coesiva a essa temperatura.

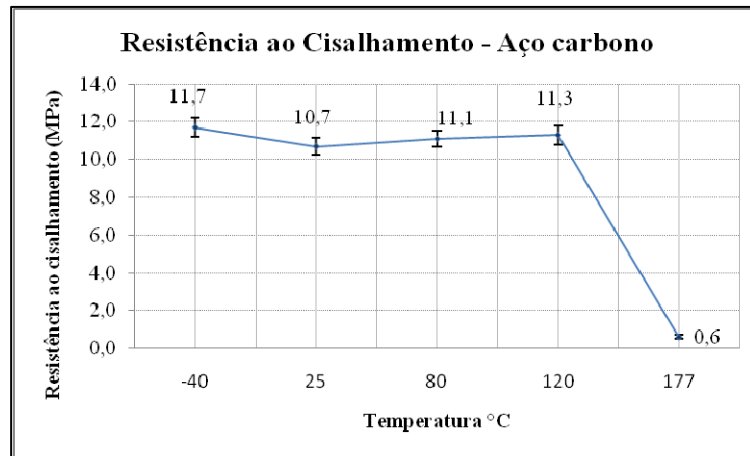


FIGURA 4 – Resistência ao cisalhamento de corpos de prova de Aço galvanizado.

4.2. Efeito da temperatura e tempo de exposição na resistência ao cisalhamento

Avaliou-se a resistência ao cisalhamento das juntas coladas após a exposição a temperaturas elevadas estabelecidas um período de tempo, seguida de estabilização a temperatura ambiente de 25°C. Este procedimento teve como intuito avaliar qual a interferência que um pico de temperatura pode exercer nas propriedades mecânicas de uma junta. Duas condições foram avaliadas: condição 1 - exposição por 500h a 90°C, e a condição 2 - 20min a 177°C. Encontram-se nas TAB. 1 e TAB. 2 os resultados obtidos.

Comparando estes resultados com a condição inicial a 25°C, constata-se que exceto para os corpos de prova em aço, houve uma redução da resistência ao cisalhamento, atribuída a um processo de fragilização dos substratos.

TABELA 1 - Resistência ao cisalhamento em corpos de prova em SMC, RTM, ABS e aço carbono zincado e cromado preto, para a condição 1.

Substrato	Resistência ao cisalhamento (MPa)	Incerteza expandida	Variação (%)	Forma de ruptura
SMC	5,5	0,43	-5,2	Corpo de prova
RTM	5,9	0,17	-3,3	Corpo de prova
ABS	3,4	0,11	-5,6	Corpo de prova
Aço carbono	11,4	0,57	6,5	Coesiva

Para o SMC que havia apresentado resistência de $5,8 \pm 0,40$ MPa a 25°C com falha por delaminação, obteve-se na condição 1 uma redução de 5,2% com ruptura do corpo de prova. Na condição 2 houve uma redução de 41,4%, com falha por delaminação. Para o RTM, na condição 1 houve uma redução da resistência ao cisalhamento de 3,3%, com ruptura do corpo de prova,

enquanto que na condição 2 ocorreu uma redução de 47,5% com falha por delaminação. Pode-se observar que os efeitos das condições 1 e 2 foram muito próximos para ambos os substratos.

TABELA 2 - Resistência ao cisalhamento em corpos de prova em SMC, RTM, ABS e aço carbono zincado e cromado preto, para a condição 2.

Substrato	Resistência ao cisalhamento (MPa)	Incerteza expandida	Variação (%)	Forma de ruptura
SMC	3,4	0,77	-41,4	Delaminação
RTM	3,2	0,56	-47,5	Delaminação
Aço carbono	13,2	0,36	23,4	Coesiva

Observa-se que para os substratos de compósitos, quanto maior for à temperatura de exposição, maior será o efeito da redução mecânica sobre a junta. O efeito da temperatura de 177°C foi muito mais deletéria do que uma exposição longa, 500h, a uma temperatura menor de 90°C.

Nos substratos de ABS apenas avaliou-se na condição 1, onde houve uma redução de 5,6% com ruptura do corpo de prova.

Nos substratos de aço zincado e cromado preto, como a resistência a tração deste material é muito superior ao do adesivo uretânico, foi possível avaliar isoladamente o comportamento mecânico do adesivo sem as interferências do substrato. O que se observou foi que nas condições 1 e 2, ao invés de tornarem o adesivo menos resistente, houve um efeito contrário, ou seja, tornaram-no ainda mais resistente, com um aumento de 6,5% para a condição 1 e 23,4% para a condição 2, o que indica que um processo de pós-cura à temperatura mais elevada melhorou seu desempenho. Também é importante observar que no ensaio feito à temperatura de 177°C, a resistência ao cisalhamento foi reduzida, porém com capacidade de resistir a um pico de temperatura de 177°C por 20min.

5. CONCLUSÃO

A exposição às temperaturas de -40, 80 e 120°C nas juntas de SMC, RTM e ABS, levaram a uma redução na resistência ao cisalhamento devido à fragilização dos substratos. Isto pode ser confirmado pelo modo de falha dos substratos que ocorreu por ruptura dos substratos ou por delaminação. Nas juntas em aço carbono houve um aumento da resistência ao cisalhamento nas temperaturas de -40, 80 and 120°C devido a reações de pós-cura no adesivo poliuretano. Na temperatura de 177°C houve uma redução de 90% da resistência ao cisalhamento devido à degradação do polímero.

Nos substratos de RTM e SMC, devido à natureza química semelhante não houve diferenças significativas entre os resultados obtidos, enquanto que comparativamente nas juntas de ABS os resultados foram bem menores devido à menor resistência oferecida pelo termoplástico. Nas juntas em aço galvanizado foi possível avaliar isoladamente o comportamento mecânico do adesivo devido à resistência do aço estar muito acima dos valores obtidos com o adesivo uretânico.

A exposição das juntas às temperaturas de 90°C e 177°C, seguida de estabilização a 25 °C, nas juntas de SMC, RTM e ABS levaram a uma redução da resistência ao cisalhamento. Nos casos onde as juntas eram de substratos metálicos houve um aumento da resistência ao cisalhamento, mais uma vez mostrando que ocorreram reações de pós-cura no adesivo uretânico.

Os resultados levam a concluir de que o adesivo estrutural poliuretano, além de apresentar uma excelente aderência em todos os substratos utilizados neste estudo, pode ser utilizado em uso contínuo nas temperaturas de -40°C a 120°C, embora dependendo do substrato uma redução da resistência da junta poderá ser observada devido à fragilização do substrato. Também pode ser verificado que para uma temperatura de pico de 177°C o adesivo resiste bem porém nem sempre ocorreu o mesmo com os substratos. Há ainda evidências de que o adesivo sofre pós-cura em altas temperaturas devido às observações de aumento na resistência ao cisalhamento das juntas metálicas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Masterpol Tecnologia em Adesivos Ltda pelo fornecimento do adesivo e demais materiais utilizados neste estudo.

BIBLIOGRAFIA

1. SHIELDS, J.; *Adhesives Handbook*, 2.ed. London, U.K., Butterworth & Co, 1976. cap. 1, Introduction, p.1-7.
2. SKEIST, I.; *Handbook of Adhesives*, 4.ed. New York, N.Y., Reinhold Publishing Corporation, 1965. Cap 41, Bonding Plastics, p. 481-495.
3. ASHCROFT, I.A.; WAHAB, M.M.A.; CROCOMBE, A.D.; HUGHES, D.J.; SHAW, S.J., The effect of environmental on the fatigue of bonded composite joints. Part 1: testing and fractography. *Comp.*, v. 32, p. 45-58, 2001.
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Determining Strength of Adhesively Bonded Rigid Plastic Lap-Shear Joints in Shear by Tension*. ASTM, 2001 (ASTM D3163-01)