

**PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DE RESINAS PLÁSTICAS USADAS EM
CHAPAS AMORTECEDORAS DE VIBRAÇÃO**

Antonio Augusto Gorni

Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente da
Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA

Editor Técnico das Revistas **Plástico Industrial** e **Corte e Conformação de Metais**

Trabalho apresentado no evento PlastShow 2006 – Feira e Congresso.
São Paulo, 9 a 11 de Maio de 2006.

RESUMO

O ruído é uma das desagradáveis conseqüências de um mundo cada vez mais mecanizado, fato que vem requerendo atenção cada vez maior por parte dos projetistas no sentido de se reduzir o nível de ruído gerados por máquinas e equipamentos. Uma das abordagens adotadas com sucesso está no uso de materiais que absorvem parte do ruído gerado, como é o caso das chapas absorvedoras de vibração ou chapas-sanduíche, constituídas de duas chapas metálicas externas separadas por um núcleo de resina plástica. A seleção do polímero mais adequado para o núcleo em termos de desempenho e custo depende tanto das condições de fabricação e uso do componente, como também dos aspectos econômicos envolvidos. O desenvolvimento da formulação da resina tem como objetivo o atendimento pleno e de forma economicamente competitiva aos requisitos em termos de amortecimento de vibrações, estampabilidade, soldabilidade, resistência à degradação térmica, à corrosão e à chama. Este trabalho tem como objetivo descrever as abordagens adotadas para que a resina possa apresentar propriedades balanceadas em relação a todos esses requisitos.

- INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde o ruído é um fenômeno acústico que produz sensação auditiva desagradável. Sua presença na sociedade moderna é cada vez maior, uma vez que a evolução tecnológica está colocando uma quantidade cada vez maior de bens de consumo duráveis ao alcance de extratos cada vez mais amplos da população. Ou seja, está ocorrendo um aumento cada vez maior do número de máquinas em operação, as quais inevitavelmente geram algum ruído quando em funcionamento. No caso do automóvel, um exemplo perfeito para este caso, as vibrações do motor, sistema de transmissão, ar condicionado e irregularidades do piso são transmitidas para o veículo através de diversos caminhos, como os suportes do motor, suspensões, painéis da carroceria e do assoalho, etc. As vibrações provenientes desses elementos é responsável por cerca de 90% da energia acústica que gera incômodo no interior de um automóvel. Não é a toa que a legislação européia limitou a geração de ruídos gerados por automóveis de 82 dB para 74 dB, o que corresponde a uma redução de 84% da energia acústica emitida por eles. [1-3].

Níveis cada vez maiores de ruído comprovadamente reduzem não só o conforto físico das pessoas como também afeta sua saúde. A surdez é apenas o sintoma mais visível desse problema. Os países mais desenvolvidos já impõem restrições aos níveis de ruído gerados por automóveis, aparelhos eletroeletrônicos e máquinas industriais para minimizar suas conseqüências danosas [1]. Outro aspecto não desprezível associado às vibrações é a redução na vida útil do componente que ela provoca ao acelerar os ciclos de fadiga a ele aplicados [4].

Os materiais usados na construção de uma máquina podem atuar no sentido de diminuir o ruído por ela gerado. A princípio todos eles apresentam capacidade de absorver parte da energia mecânica gerada por uma máquina na forma de vibrações através de seus mecanismos de amortecimento interno ou atrito interno, que se manifestam por uma resistência à deflexão periódica. A energia assim absorvida é transformada em calor. Essa capacidade de amortecimento pode ser expressa através do coeficiente de perda η , que é igual à razão da energia U dissipada por ciclo [5]:

$$\eta = \frac{\Delta U}{U} \quad (1)$$

A figura 1 agrupa os diversos materiais de energia ao longo do espaço coeficiente de perda x módulo de elasticidade, conforme a metodologia desenvolvida por Ashby. De maneira geral essas duas propriedades são inversamente proporcionais entre si. Assim sendo, materiais cerâmicos apresentam capacidade mínima de amortecimento, enquanto que os metálicos se espalham ao longo de uma larga amplitude. Já os materiais poliméricos tendem a apresentar alta capacidade de amortecimento, apresentando valores máximos quando na forma de espuma [5].

A capacidade de amortecimento de um material é determinada pelo intervalo de tempo δ entre o momento de aplicação da força sobre o material e o momento em que ele efetivamente se deforma. Este atraso é mais visível em materiais que apresentam comportamento mecânico viscoelástico, como é o caso dos polímeros. Por esse motivo o valor da tangente de δ é um dos parâmetros usados para se medir a capacidade de amortecimento de um material. Este parâmetro, que simboliza o “atrito interno” do material, é definido por

$$\tan \delta = \frac{E''}{E'} \quad (2)$$

onde E' é o chamado módulo de armazenagem (componente elástica) e E'' é o módulo de perda (componente plástica) ou de dissipação viscosa [6].

O amortecimento mecânico origina-se do fato de que a migração de átomos, de defeitos cristalinos e da energia térmica serem processos dependentes do tempo. As discordâncias são virtualmente imóveis nos materiais cerâmicos, o que explica sua capacidade praticamente nula de amortecimento. As elipses alongadas observadas no caso dos metais indicam os variáveis níveis de ação dos mecanismos de bloqueio de discordâncias, como átomos de soluto e precipitados, os quais variam conforme o nível de resistência mecânica da liga. Nos polímeros ocorre escorregamento entre as cadeias poliméricas quando o material é solicitado, mecanismo físico que absorve energia. Resinas com maiores valores de módulo de

do comando de válvulas; na área eletroeletrônica: gabinetes de aparelhos de ar condicionado, carcaças de alto-falantes, motores e transformadores, gabinetes de lavadoras de roupas, coifas para cozinha, carcaças de compressores para refrigeradores; construção civil: telhas, batentes, portas, escadas, etc. [1]. A figura 2 mostra algumas aplicações para chapas absorvedoras de vibração numa carroceria automotiva, enquanto que a figura 3 mostra os níveis de pressão sonora no ouvido do motorista para carros equipados com cárteres feitos com chapas de aço convencional ou absorvedora de vibrações [2].

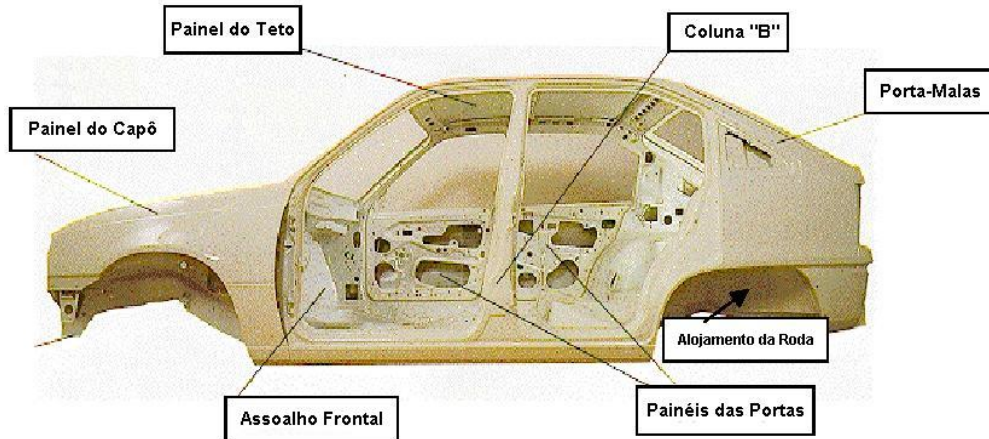


Figura 2: Aplicações para chapas absorvedoras de vibração em estruturas de carrocerias automotivas [2].

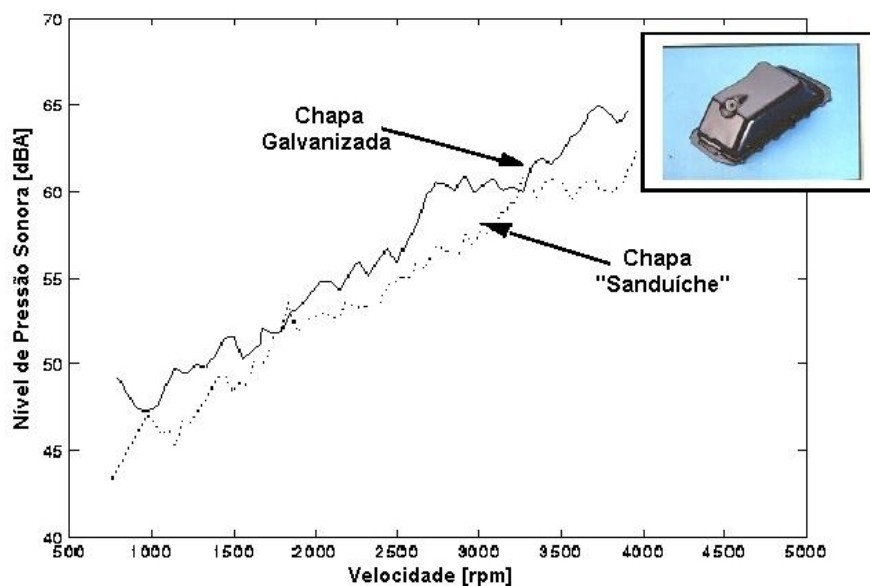


Figura 3: Comparação entre os níveis de pressão sonora no ouvido do motorista para um carro equipado com cárter feito com chapa de aço convencional ou absorvedora de vibrações (sanduíche) [2].

Recentemente a ThyssenKrupp Budd desenvolveu uma variante de chapa-sanduíche que, de acordo com a empresa, possui menor custo de fabricação que as chapas absorvedoras de vibrações convencionais. Neste caso o núcleo polimérico está na forma de espuma, possui espessura bem maior que a das chapas-sanduíche convencionais e é aplicado durante a conformação da peça final. O processo inicia-se com o posicionamento de dois blanques de aço com 0,3 mm de espessura na matriz de estampagem, seguindo-se sua pré-estampagem. A seguir o injeta-se o material que constituirá o núcleo da chapa-sanduíche, que nessa etapa do processo se encontra líquido, usando-se uma injetora convencional. A pressão da resina líquida termina de conformar as chapas metálicas conforme o molde usado, de forma bastante similar ao processo de hidroconformação. Este é aquecido, o que possibilita a cura da resina que constitui o núcleo do componente polimérico, atribuindo-lhe as propriedades desejadas. Finalmente a peça é removida e desrebarbada. O núcleo da peça, com espessura de aproximadamente 2,4 mm, é formado por uma espuma sintática com densidade igual a 0,5 kg/m³. De acordo com a ThyssenKrupp Budd,

chapas desse tipo, adequadamente dimensionadas, podem ser no mínimo tão leves quanto suas contrapartes feitas de alumínio. As aplicações potenciais para esse produto na área automotiva são painéis frontais, do teto, das portas e da parte interna do capô; alojamento do “estepe”; porta-malas de veículos utilitários esportivos, etc. [8].

- PROPRIEDADES DESEJADAS PARA AS RESINAS USADAS EM CHAPAS AMORTECEDORAS DE VIBRAÇÃO

Há uma ampla variedade de resinas que podem ser usadas como núcleo de chapas absorvedoras de vibração. Os detalhes de suas formulações ainda são tratados como segredo industrial e há poucas informações específicas sobre elas na literatura. Por outro lado, é possível afirmar que as seguintes resinas já foram usadas em escala comercial nesse tipo de aplicação:

- Nippon Steel – Termoplásticas: poliisobutileno, poliéster, poliacrilato. Termofixas: poliéster.
- NKK - Termoplásticas: polietileno modificado, polipropileno modificado (para alta adesão e capacidade de amortecimento). Termofixas: resina acrílica termofixa modificada (idem) [9];
- Kawasaki Steel – Termofixas: poliéster endurecido com isocianato, peso molecular de 30.000 g [10].

A **capacidade de amortecimento das vibrações** é a principal característica desejada nas resinas a serem usadas como núcleo para esse tipo de chapa. Conforme mostra a figura 4, para um dado polímero essa capacidade depende da temperatura em que ele se encontra, atingindo um valor máximo nas proximidades de sua temperatura de transição vítrea, onde ocorre rápida queda nos valores de E' à medida que a temperatura é elevada [7]. Portanto, a temperatura de uso é um fator vital na seleção do tipo ideal de polímero a ser usado como núcleo na chapa amortecedora de vibrações. As resinas termoplásticas tendem a apresentar melhores características de amortização de vibrações em função de seu comportamento viscoelástico mais pronunciado em relação às termofixas [1].

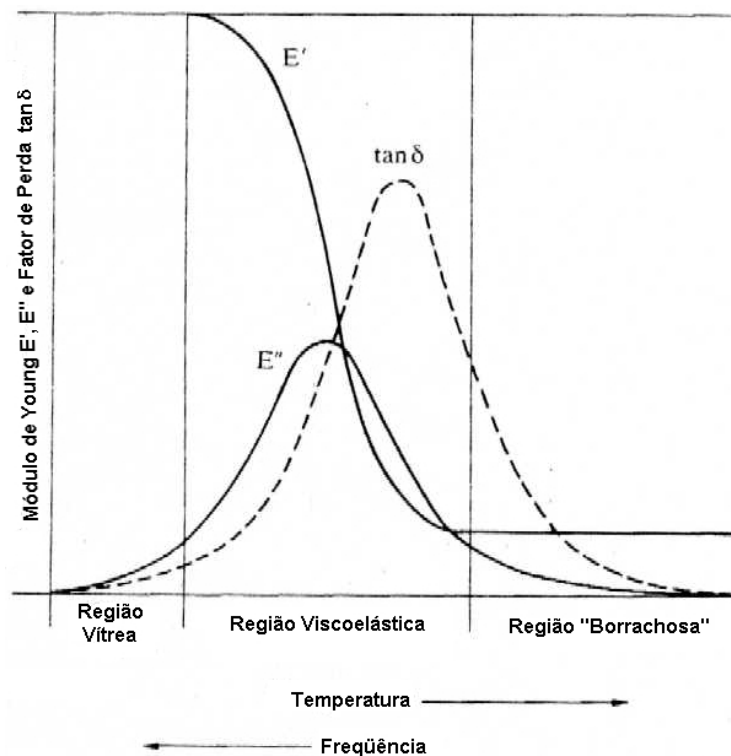


Figura 4: Diagrama esquemático mostrando o comportamento viscoelástico de uma resina em função da temperatura ou frequência [7].

A **estampabilidade** das chapas amortecedoras de vibração é função direta do grau de adesão entre o núcleo de resina e as duas camadas externas de metal sob condições de cisalhamento. Um eventual descolamento entre o núcleo polimérico e as chapas metálicas externas pode levar à uma diminuição na capacidade de amortecimento e na sua resistência à fadiga, já que as solicitações mecânicas passarão a se concentrar em apenas uma das chapas externas [1].

Uma das primeiras resinas usadas nas chapas absorvedoras de vibrações foi o polímero termoplástico poliisobutileno. Contudo, os termoplásticos tendem a apresentar menor adesão interfacial com as chapas metálicas externas e menor resistência ao calor, problemas que degradam o desempenho global desse tipo de produto. Já as resinas termofixas não apresentam este tipo de problema, conforme mostra a figura 5. Por esse motivo alguns fabricantes de chapas-sanduíche, como a Nippon Steel, preferiram passar a usar resinas termofixas como núcleo desse material, pois apresentam desempenho aceitável sob o ponto de vista da absorção de vibrações desde que possuam fator de perda η igual ou superior a 0,1 [7].

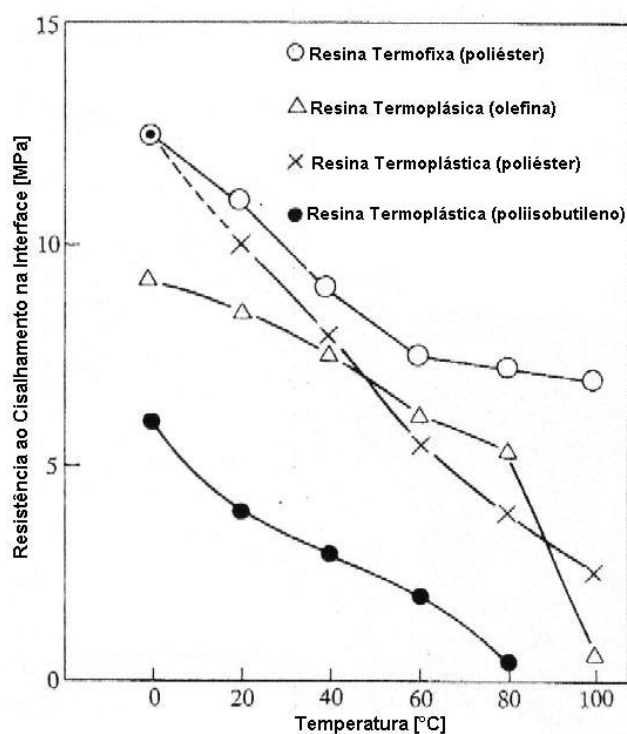


Figura 5: Evolução da resistência ao cisalhamento na interface para vários tipos de resina em função da temperatura [7].

Uma experiência efetuada para se determinar os níveis mínimos de resistência na interface metal-polímero necessários para chapas a serem submetidas a diversas operações de conformação foi feita assumindo-se quatro operações básicas, mostradas na figura 6: embutimento profundo, resistência ao enrugamento do corpo, resistência ao enrugamento da flange e dobramento nas extremidades.

Os resultados obtidos em termos da conformabilidade da chapa absorvedora de vibrações versus a resistência na interface metal-polímero podem ser vistos na figura 7, a qual mostra que o nível mínimo dessa resistência depende do processo de conformação específico. No caso do embutimento profundo a resistência na interface precisa ser de pelo menos 50 kgf/cm², enquanto que é necessário um mínimo de 150 kgf/cm² para se obter resistência ao enrugamento em flanges e mais de 180 kgf/cm² para se evitar enrugamento no corpo [7].

Altos valores da espessura do núcleo polimérico também tendem a provocar problemas de enrugamento na estampagem de peças, os quais revelam problemas na energia de ligação na interface metal-polímero. A prática demonstrou que se consegue um nível adequado de amortização de vibrações e supressão desse problema quando se limita a espessura do núcleo a 100 μ m (0,1 mm) [11].

O pré-tratamento das chapas externas ou uso de filmes adesivos na interface entre elas e o núcleo de polímero também pode elevar a resistência ao cisalhamento dessa interface, concorrendo para aumentar a estampabilidade da chapa absorvedora de vibrações [8].

A figura 8 permite uma comparação direta entre as características de amortecimento de vibrações e a resistência à desagregação da chapa, ou seja, o nível de resistência na interface chapa-polímero.

Como se pode observar, há uma clara tendência de incompatibilidade entre as duas propriedades. Contudo, de acordo com a Kawasaki Steel, seus desenvolvimentos na área de engenharia de polímeros lograram desenvolver uma resina de poliéster termofixo que conseguiu reverter essa tendência e apresentar simultaneamente altos níveis de amortecimento de vibrações e alta resistência à desagregação da chapa [10].

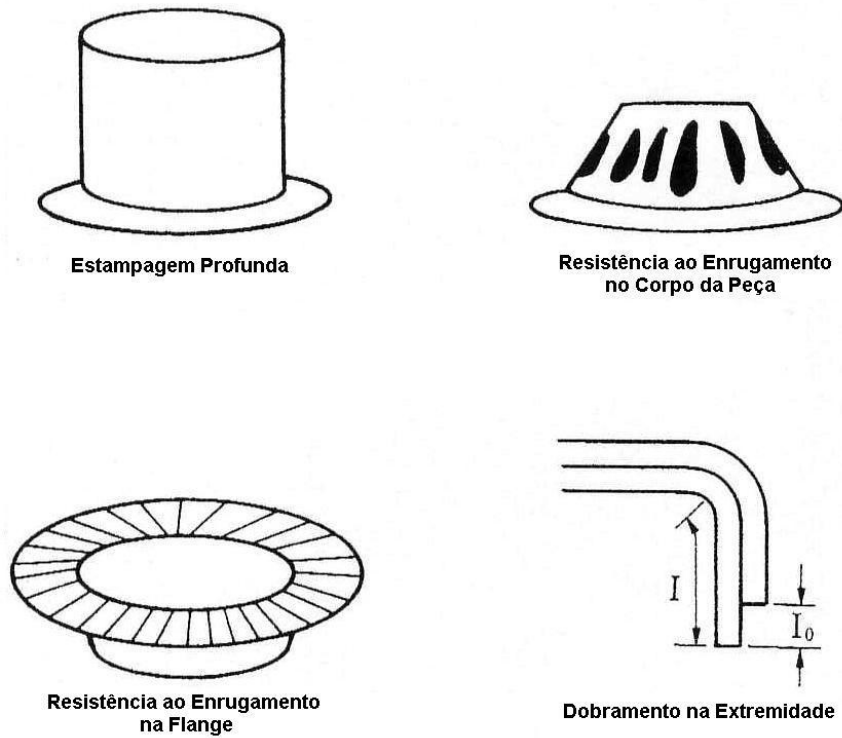


Figura 6: Ensaio de conformabilidade selecionados para se estudar os níveis mínimos de resistência na interface metal-polímero necessários.

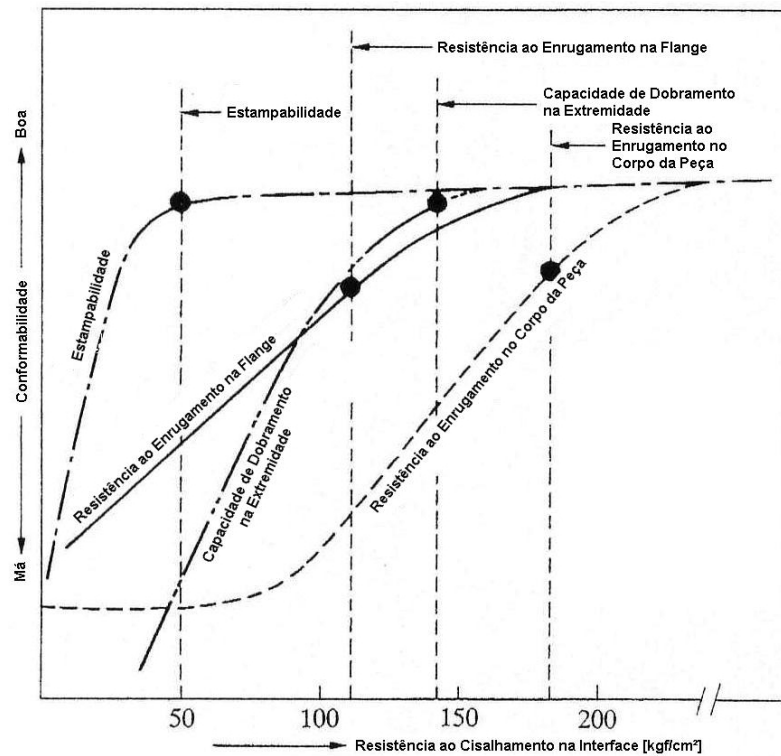


Figura 7: Relação entre conformabilidade das chapas absorvedoras de vibração e a resistência ao cisalhamento na interface metal-polímero [7].

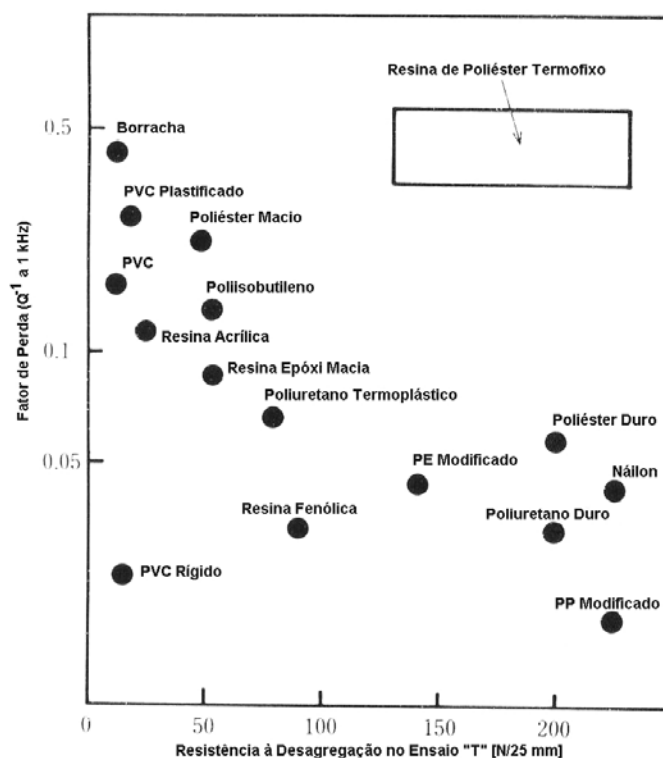


Figura 8: Relação entre a resistência à desagregação determinada pelo ensaio em “T” e capacidade de absorção de vibrações de chapas absorvedoras de vibrações com diferentes polímeros usados em seu núcleo [10].

Outra característica fundamental para o processamento adequado de chapas metálicas é sua **sol-dabilidade**. Os processos de soldagem requerem que o material a ser processado seja eletricamente condutor, condição que a princípio não é atendida pela resina polimérica que constitui o núcleo da chapa absorvedora de vibrações. A primeira solução para esse problema foi o uso de circuitos que ligavam as duas chapas metálicas externas, mas esse recurso possui difícil aplicação prática nas linhas industriais. Outra possibilidade consiste em se criar rebarbas nas superfícies internas das chapas metálicas externas que promovem contato elétrico entre elas, mas essa solução apresentou desempenho inconsistente. A abordagem mais promissora foi conferir condutividade elétrica ao núcleo de resina através da incorporação de pó metálico à resina, mas esta abordagem tem de ser concebida de forma a não alterar as demais características do polímero [1,7].

Pode-se conseguir um aumento significativo da condutividade elétrica global da resina através da adição de pelo menos 10% em volume de partículas de negro de fumo com granulometria menor ou igual a 1 μm . Contudo, conforme mostra a figura 9, isso leva a uma grande perda na capacidade de amortecimento da chapa-sanduíche, o que indica que a presença dessas partículas afeta significativamente as características viscoelásticas da resina [7].

Em função desse resultado desfavorável decidiu-se partir para outra abordagem, que consiste na incorporação ao polímero de partículas condutoras com granulometria grosseira, de tamanho entre 30 e 100 μm . A idéia aqui é aumentar a condutividade elétrica do polímero somente na direção da espessura do filme, através do contato direto entre uma partícula e outra. Isto permite reduzir a quantidade de partículas a ser incorporada à resina, reduzindo as eventuais alterações que possam ocorrer em seu comportamento viscoelástico e, conseqüentemente, na sua capacidade de absorver vibrações mecânicas. Neste caso a soldabilidade é grandemente influenciada pelo tipo e tamanho da partícula.

A tabela I mostra o efeito sobre a soldabilidade de uma chapa absorvedora de vibrações decorrente da adição de diversos tipos de cargas condutoras à resina de poliéster que foi usada como núcleo. Como se pode observar a partir desses dados, partículas de titânio, níquel, ferro, negro de fumo e aço inoxidável atomizado com água aumentaram a condutividade do polímero e garantiram a soldabilidade das chapas absorvedoras de vibração. A figura 9 mostra que a incorporação de partículas grosseiras não afeta a capacidade de amortecimento da resina. Experimentos complementares mostraram que no caso das partículas de aço inoxidável com granulometria entre 32 e 54 μm conseguiu-se boa soldabilidade com

adições tão pequenas quanto 1% em peso; além disso, a capacidade de amortecimento do polímero só é afetada para adições superiores a 40% em peso. Já a resistência na interface é mantida desde que a razão entre a espessura da camada de resina e o diâmetro da partícula condutora seja mantida dentro de uma faixa de valores entre 1,0 e 1,2 [7].

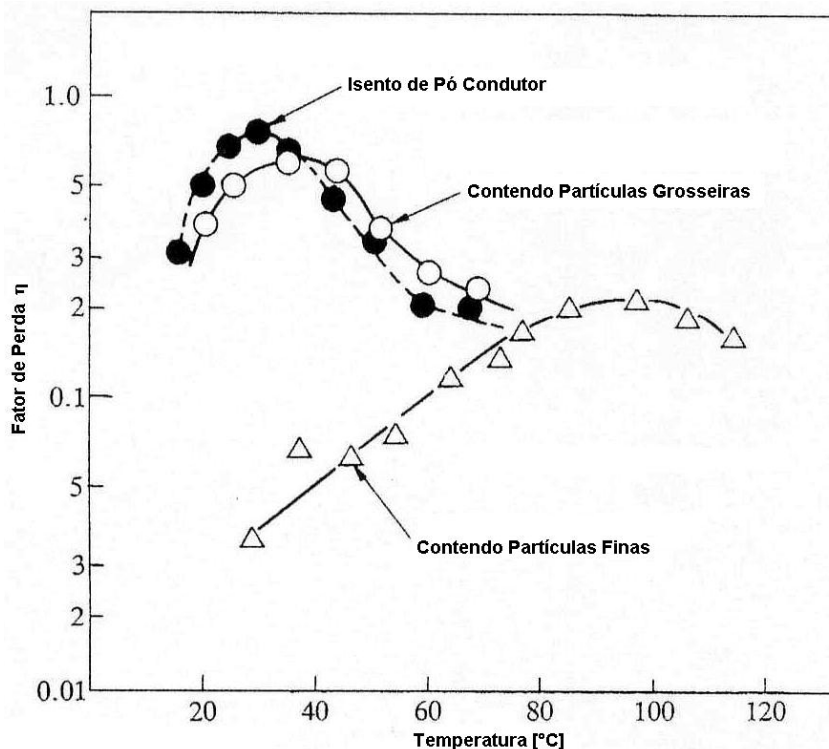


Figura 9: Alteração na capacidade de absorção de vibrações da resina em função da incorporação de partículas eletricamente condutoras [7].

Carga Condutora	Resistência [$\mu\Omega.cm$]	Soldabilidade	Resistência Interface	Capacidade Amortecimento
Pó de Ti (32-54 μm)	54,0	OK	OK	OK
Pó de Ni (32-54 μm)	6,9	OK	OK	OK
Pó de Cu (32-54 μm)	1,69	X	OK	OK
Pó de Fe (32-54 μm)	10,1	OK	OK	OK
Óxido de Fe (<20 μm)	?	X	OK	OK
Negro de Fumo (<1 μm)	1,2	OK	X	X
Pó de Al (32-54 μm)	2,67	X	OK	OK
Pó de Aço Inox (32-54 μm) ¹	57,0	O	OK	OK
Pó de Zn (32-54 μm)	6,0	X	OK	OK
Mica Condutora	?	X	OK	OK
Pó de Aço Inox (32-54 μm) ²	57,0	X	OK	OK

Tabela I: Relação entre o tipo de carga em pó condutora incorporada à resina de poliéster com teor de 30% em peso e a soldabilidade, resistência na interface e capacidade de amortecimento das chapas-sanduíche [7]. Notas: 1) Atomizado com água; 2) Atomizado com gás; OK = no campo da soldagem indica que a amostra foi adequadamente soldada sob força de eletrodo de 200 kgf, corrente de soldagem de 6 kA e 14 ciclos de tempo de soldagem; nos demais campos indica que as alterações observadas nessas propriedades foram desprezíveis.

A figura 10 mostra os fenômenos que ocorrem durante a soldagem em pontos de uma chapa absorvedora de vibrações com núcleo polimérico onde se adicionou partículas condutoras grosseiras. Inici-

almente fluem diminutas correntes elétricas através do pó condutor, sendo a resina amaciada pela reação exotérmica. A seguir ela flui, forçada pela força compressiva exercida pelos eletrodos, permitindo o contato direto entre as duas chapas metálicas externas. A partir daí a corrente elétrica flui de forma similar à soldagem de chapas convencionais, formando-se o ponto de solda. O fluxo inicial das correntes diminutas nos estágios iniciais da soldagem é o principal que define a soldabilidade da chapa absorvedora de vibrações. Outros aspectos importantes são: a minimização ou mesmo supressão de resina residual existente entre o pó metálico e as chapas metálicas externas; aumento da área de contato entre as partículas de pó metálico; e controle da reação exotérmica dentro de um grau adequado [10].

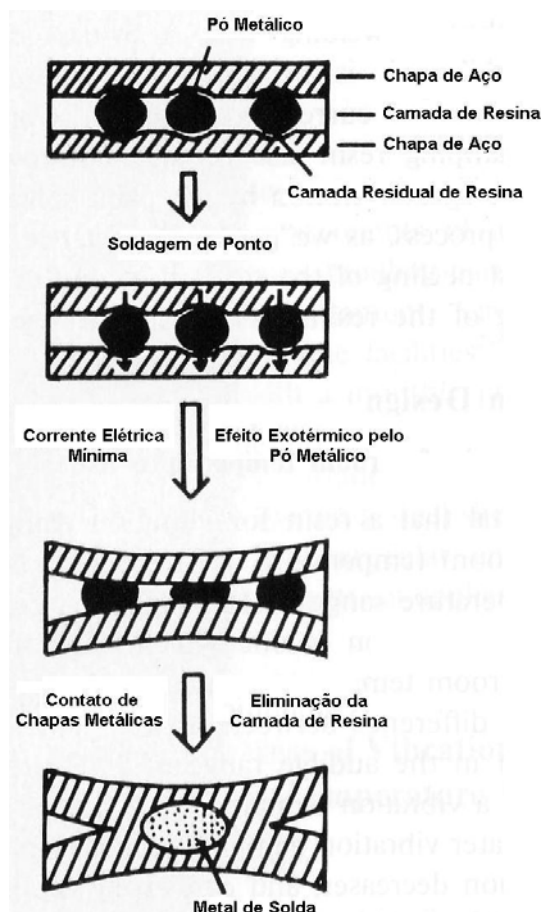


Figura 10: Evolução esquemática do processo de soldagem em ponto de uma chapa absorvedora de vibração [10].

A **resistência à degradação térmica** da resina usada nas chapas amortecedoras de vibração é muito importante. Muitas vezes os componentes feitos com essa chapa devem ser submetidos à pintura ou união por colagem. Por esse motivo seu núcleo polimérico deve ser capaz de suportar o calor da estufa usada para secar a tinta ou curar o adesivo sem sofrer degradação que venha a afetar suas propriedades. Geralmente o processo de secagem da tinta requer aquecimento sob temperaturas entre 180 e 200°C durante 30 a 40 minutos, sendo feita após a estampagem da peça. Durante esse processo a chapa amortecedora de vibrações não pode se desagregar, a resina não pode fluir e as características de resistência na interface e capacidade de amortecimento não podem sofrer degradação [1,7].

A figura 11 mostra os resultados de perda de resistência à desagregação de chapas absorvedoras de vibração que foram observados após exposição das mesmas a diversas temperaturas durante um período de 30 minutos. Pode-se observar que a resina de poliéster termoplástico não suportou temperaturas acima de 200°C, enquanto que a resina de poliéster termofixo somente apresentou perdas da ordem de 20% para temperaturas de 240°C [7].

Esses resultados aparentemente indicam que mesmo resinas termoplásticas são capazes de suportar a temperatura máxima de 200°C usada nas estufas para secagem de pintura, o que está em desacordo com o observado na prática industrial. Contudo, experiências complementares, feitas com chapas absorvedoras de vibração previamente conformadas, mostraram que as versões com núcleo de resina termo-

plástica de poliéster desagregou-se sob temperaturas da ordem de 160°C, enquanto que a resina termofixa de poliéster resistiu sem desagregação a temperaturas de até 180°C. Isso mostrou que as tensões residuais decorrentes da conformação mecânica enfraqueceram a interface entre metal e polímero, levando à desagregação de chapas-sanduiche contendo núcleo de resina termoplástica durante sua exposição ao calor [7].

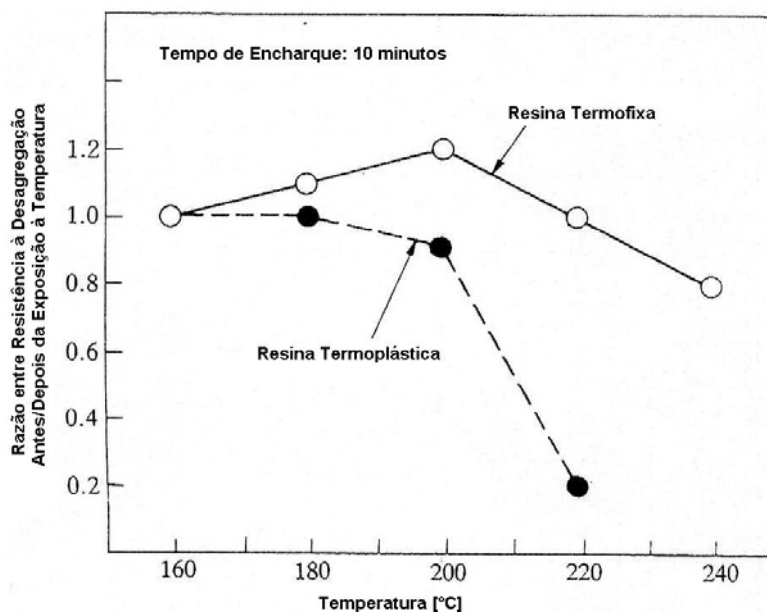


Figura 11: Perda de resistência à desagregação observada para chapas absorvedoras de vibração após exposição à temperatura por 30 minutos [7].

A resina usada no núcleo da chapa-sanduiche deve possuir caráter hidrofóbico a fim de assegurar a **resistência à corrosão** do material, independentemente do fato de as chapas metálicas externas possuírem revestimento. Também sob este aspecto a aderência entre o núcleo polimérico e as chapas metálicas é muito importante: quanto maior ela for, menor a propagação de corrosão [1].

Em alguns casos poderá haver necessidade simultânea de resistência à corrosão e à degradação térmica como, por exemplo, no uso da chapa absorvedora de vibrações para a fabricação de cárteres de óleo para automóveis. Como se sabe, esse componente opera sob temperaturas relativamente altas e sempre há risco de uma eventual penetração de óleo no interior da chapa-sanduiche. O ideal é que essas condições severas de operação não afetem as características da chapa-sanduiche, mantendo suas características de absorção de vibração. Contudo, a associação de ataque químico sob alta temperatura pode eventualmente levar à degradação da resina usada no núcleo da chapa-sanduiche, a qual se inicia com seu inchamento. A reticulação das cadeias moleculares, típica dos polímeros termofixos, mostrou-se ser um recurso bastante eficiente no sentido de garantir a resistência da resina a esses tipos de agressão, conforme mostra a figura 12 [1,9].

A **rigidez mecânica** do polímero usado é um critério importante para o dimensionamento das peças que forem feitas com a chapa absorvedora de vibrações. Os cálculos necessários devem levar em conta a viscoelasticidade do polímero e, portanto, a dependência de suas características em função do tempo e temperatura. Por exemplo, uma chapa-sanduiche simétrica, com núcleo polimérico com espessura de 45 μm e chapas metálicas externas com espessura de 0,4 mm apresenta rigidez da ordem de 60 a 70% de uma chapa metálica maciça com 0,8 mm de espessura. Uma solução para se aumentar o nível de rigidez da chapa-sanduiche consiste em reduzir o nível de solicitações em cisalhamento sobre o núcleo polimérico, evitando com que a linha neutra da chapa incida sobre ele. Na prática isso significa usar chapas-sanduiche assimétricas. Esse recurso infelizmente diminui a capacidade de amortecimento da chapa, que contudo mantém-se em níveis aceitáveis desde que se mantenha uma razão de diferença máxima entre as espessuras das chapas metálicas externas de 2:1 [1,2].

Um requisito particularmente crítico para o núcleo polimérico de chapas absorvedoras de vibração usadas em auto-peças é sua **resistência à chama**, o que também inclui aspectos ligados à geração de fumaça e sua toxicidade. Isso requer a avaliação das resinas usadas através da execução de ensaios padronizados [8].

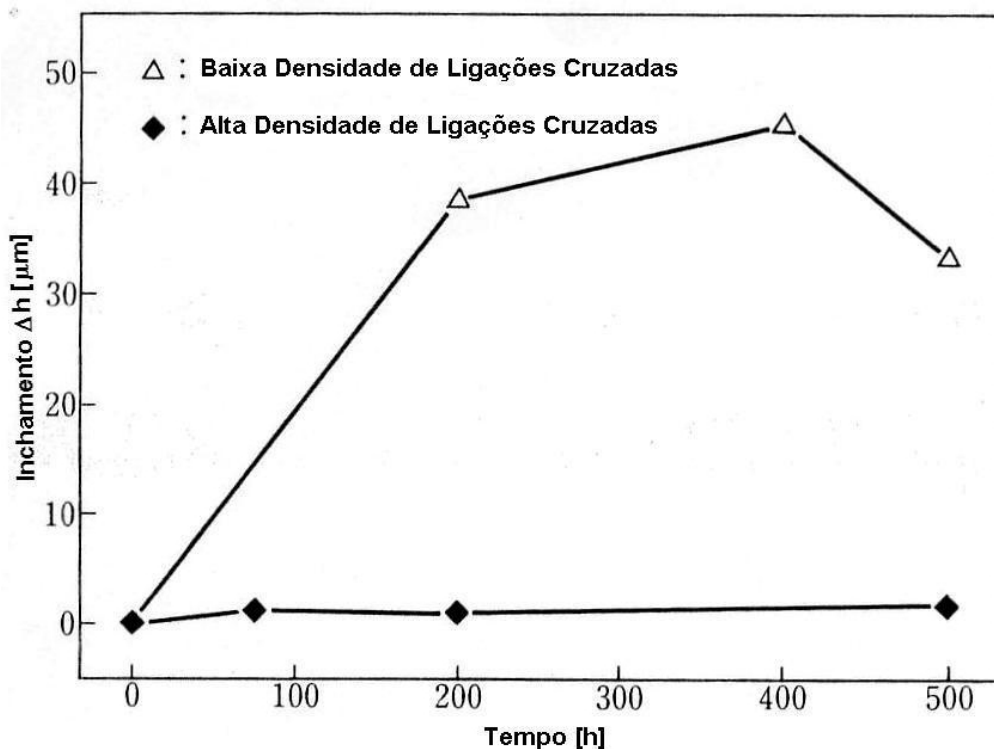


Figura 12: Efeito da densidade de ligações cruzadas sobre o inchamento do polímero usado como núcleo das chapas absorvedoras de vibração [9].

- CONCLUSÕES

As chapas absorvedoras de vibração, constituídas de duas chapas metálicas externas separadas por um núcleo de resina plástica, representam hoje um recurso bastante eficaz para se reduzir o nível de vibrações e ruído nas mais variadas aplicações onde se usam chapas finas laminadas a frio. A seleção da resina mais adequada para o núcleo em termos de desempenho e custo depende tanto das condições de fabricação e uso do componente como também dos aspectos econômicos envolvidos. O desenvolvimento de sua formulação dependerá do atendimento aos requisitos do amortecimento de vibrações, estampabilidade, soldabilidade, resistência à degradação térmica, à corrosão e à chama. Contudo, deve-se frisar que, apesar das enormes vantagens proporcionadas por esse novo material compósito, sua aplicação comercial ainda é muito tímida, sendo praticamente nula no Brasil. Isso indica que ainda há muito trabalho a ser feito no sentido de se produzir chapas absorvedoras de vibração com desempenho satisfatório e capazes de competir economicamente com outras soluções aplicadas para a redução de ruídos.

- BIBLIOGRAFIA

1. MATHIEU, S. Le Monde du Silence: Solconfort, Une Tôle Sandwich Antivibratoire. **La Revue de Metallurgie-CIT**, Oct. 1994, 1481-1493.
2. RAO, M.D. Recent Applications of Viscoelastic Damping for Noise Control in Automobiles and Commercial Airplanes. **Journal of Sound and Vibration**, 262:3, 2003, 457-474.
3. JEANNEAU, M. & PINCHANT, P. The Trends of Steel Products in the European Automotive Industry. **La Revue de Metallurgie-CIT**, Nov. 2000, 1399-1408.
4. WANG, Y.C. e outros. Deformation of Extreme Viscoelastic Metals and Composites. **Materials Science and Engineering A**, 370, 2004, 41-49.

5. FERRANTE, M. **Seleção de Materiais**. Editora da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996, 317 p.
6. CANEVAROLO, S.V. **Análise Térmica Dinâmica-Mecânica**. In: Técnica de Caracterização de Polímeros. Artliber Editora/Associação Brasileira de Polímeros, São Paulo, 2004, 263-284.
7. ENDOH, H. e outros. Development of Vibration Damping Steel Sheet with Superior Service Performance. **Nippon Steel Technical Report**, 44, Jan. 1990, 29-36.
8. GREVE, B.N. Sandwich Panel Construction for Lightweight Vehicle Designs. **ThyssenKrupp TechForum**, Dec. 2004, 44-49.
9. MUROGA, O. et al. Properties of Vibration Damping Steel Sheet and its Application. **NKK Technical Review**, 57, 1989, 1-8.
10. MUKAIHARA, F. et al. Development of Spot Weldable Vibration Damping Steel Sheets for Room Temperature Use. **Kawasaki Steel Technical Report**, 26, June 1992, 100-107.
11. BARZOUKAS, H. & JOUET, A. Les Tôles Sandwich: Procédés de Fabrication et Propriétés d'Emploi. **La Revue de Metallurgie-CIT**, Mars 1989, 253-259.

CURRÍCULO DO AUTOR

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos, 1981

Mestre em Engenharia Metalúrgica pela Escola Politécnica da USP, 1990

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas, 2001

Analista de Processos da Companhia Siderúrgica Paulista desde 1982

Editor Técnico das Revistas Plástico Industrial (desde 1998) e Corte e Conformação de Metais (desde 2005), da Aranda Editora

Autor de mais de 160 trabalhos técnicos publicados no Brasil e exterior, nas áreas de aciaria, fundição, laminação a quente, tratamentos térmicos, polímeros, modelamento matemático e inteligência artificial

4 patentes concedidas na área de laminação a quente

Prêmios da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM): COSIPA (1992, 1996), Luiz Dumont Villares (1997 e 1999), Paulo Lobo Peçanha (1999), Usina Presidente Vargas (2000)

Outros Prêmios (ligados à área de patentes): Prêmio Talento Brasileiro, Fase Estadual (1994 e 1998); Prêmio Estadual FIESP de Conservação e Uso Racional de Energia (1998); Prêmio Governador do Estado (1999).

Home Page: www.gorni.eng.br