



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0621184-4 A2**



(22) Data de Depósito: 29/03/2006  
(43) Data da Publicação: 06/12/2011  
(RPI 2135)

(51) *Int.Cl.:*  
C08J 9/232  
B29C 44/04

**(54) Título:** MEMBRO ABSORVENTE DE ENERGIA, MÉTODO PARA FORMAR UM MEMBRO ABSORVENTE DE ENERGIA E VEÍCULO

**(30) Prioridade Unionista:** 10/01/2006 US 60/757.582

**(73) Titular(es):** Dow Global Technologies, INC.

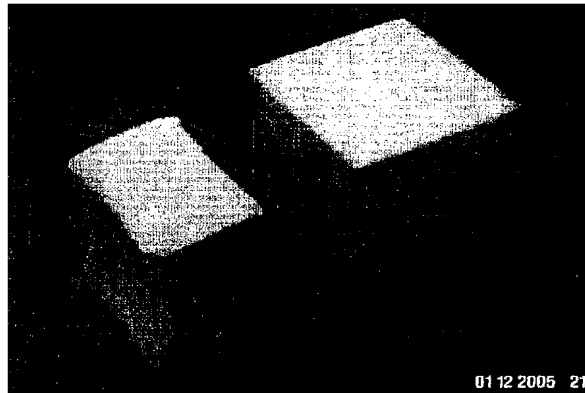
**(72) Inventor(es):** CHAU V. VO, MARISA L. CALHOUN, MYRON J. MAURER, STEVEN B. SWARTZMILLER

**(74) Procurador(es):** ANTONIO MAURICIO PEDRAS ARNAUD

**(86) Pedido Internacional:** PCT US2006011370 de 29/03/2006

**(87) Publicação Internacional:** WO 2007/081373de 19/07/2007

**(57) Resumo:** MEMBRO ABSORVENTE DE ENERGIA, MÉTODO PARA FORMAR UM MEMBRO ABSORVENTE DE ENERGIA E VEÍCULO. A invenção consiste num membro absorvente de energia, compreendendo um polímero celular termoplástico amorfo em contato com um elemento estrutural, sendo que cerca de pelo menos 50% das células do polímero celular amorfo são células fechadas e as células fechadas possuem uma pressão de gás de cerca de 0,5 atmosfera a cerca de 1,4 atmosferas à temperatura ambiente.



01 12 2005 21

"MEMBRO ABSORVENTE DE ENERGIA, MÉTODO PARA FORMAR UM MEMBRO ABSORVENTE DE ENERGIA E VEÍCULO".

Campo da invenção

5 A invenção refere-se a espumas poliméricas absorventes de energia em colisão para veículos, tais como automóveis.

Histórico da invenção

10 Espumas poliméricas são amplamente utilizadas numa variedade de aplicações de amortecimento. Espumas são comumente utilizadas em travesseiros, assentos, colchões, e aplicações similares nas quais maciez e conforto são fatores predominantes. As espumas são também utilizadas para amortecer o conteúdo de uma embalagem. Em embalagem, a espuma tipicamente enfrenta deformações apenas moderadas devido a choques ou quedas da embalagem, resultando em deformação somente elástica (ou seja, a  
15 espuma recupera-se elasticamente após deformação, que é tipicamente inferior a cerca de 10% de deformação). A espuma para embalagem também apresenta pouco ou nenhum requisito relativo às dimensões da espuma, devendo  
20 simplesmente amortecer o conteúdo, protegendo-o contra baixo impacto. Conseqüentemente, é bastante comum que pequenas embalagens à base de poliestireno e celulose expandido/a de baixo custo sejam utilizadas, mesmo sendo elas suscetíveis à deformação considerável devido à  
25 temperatura e umidade, respectivamente.

Nos últimos anos, vem se exigindo que os automóveis atendam a demandas cada vez mais severas no sentido de minimizar danos ao ocupante do veículo no caso de colisões. Para atender tais demandas, os automóveis  
30 incorporaram "air bags" para proteção contra colisões frontais. Mais recentemente, a atenção se voltou ainda mais para colisões laterais e lesões cranianas decorrentes de acidentes envolvendo capotamento do veículo. Foram então incorporados air-bags laterais e  
35 começou-se a empregar espumas que absorvessem energia não meramente por deformação elástica, mas também por deformação não elástica (ou seja, quando da colisão).

A grande maioria das espumas utilizadas para atenuar colisão de automóveis são as espumas termofixas de célula fechada, tais como as espumas de poliuretano e termoplásticas cristalinas de célula fechada, tais como espumas com microesferas de polipropileno e filamentos aglutinados de espuma de polipropileno (como por exemplo, STRANDFOAM, marca registrada da The Dow Chemical Company). Essas espumas absorventes de energia veicular tendem a ser caras e a apresentar um peso maior do que o necessário para a energia compressiva absorvida. Porém, pelo fato de serem, por exemplo, cristalinas ou termofixas, exibem a excelente estabilidade dimensional exigida pelos fabricantes de automóveis para garantir a adequada absorção em colisão, bem como para prevenir o desenvolvimento de quaisquer rangidos ou ruídos.

Outras espumas poliméricas, tais como as espumas de poliestireno, comuns na área de embalagens, conforme anteriormente descrito, já foram testadas, porém não conquistaram nada mais que mera aceitação comercial, principalmente devido à sua falta de estabilidade dimensional no ambiente severo de um automóvel. Por exemplo, o interior de um veículo pode atingir temperaturas de menos 20°C ou até inferiores no inverno, como por exemplo no Alaska, até temperaturas que se aproximam dos 100°C sob o forte sol do Vale da Morte (quando se pode facilmente fritar um ovo no teto de um automóvel).

Conseqüentemente, seria desejável prover uma espuma absorvente de energia veicular de baixo custo e baixo peso, com boa absorbância energética e que pudesse suportar o ambiente apresentado pelo interior de um automóvel.

#### Sumário da invenção

Um aspecto da invenção consiste num membro absorvente de energia compreendendo um polímero celular termoplástico amorfo em contato com um elemento estrutural, onde cerca de pelo menos 50% das células do polímero celular amorfo

são células fechadas e as células fechadas possuem uma pressão de gás de cerca de 0,5 atmosferas a cerca de 1,4 atmosferas à temperatura ambiente (ou seja, a cerca de 23°C).

5 Surpreendentemente, descobriu-se que uma espuma amorfa que possua a pressão de célula acima mencionada, ainda que possa ter uma baixa temperatura de transição vítrea (ex: poliestireno), pode ser incorporada a um componente estrutural veicular, tal como uma porta, para formar um  
10 membro absorvente de impacto sem deformação substancial (ex: que atenda às especificações automotivas de estabilidade dimensional).

Um segundo aspecto da invenção consiste num método para formar um membro absorvente de energia, compreendendo

15 (a) misturar uma resina termoplástica amorfa e um agente de expansão,

(b) formar uma espuma polimérica moldada da mistura da resina e do agente de expansão, em que a espuma possui cerca de pelo menos 50% de células fechadas,

20 (c) tratar a espuma moldada formada de tal maneira que as células fechadas tenham uma pressão de gás de cerca de 0,5 a cerca de 1,4 atmosferas, para formar uma espuma moldada formada e tratada e

(d) ligar a espuma moldada formada e tratada a um  
25 elemento estrutural para formar o membro absorvente de energia.

O método pode ser usado para formar membros absorventes de energia em veículos, tais como automóveis, ônibus, caminhões, trens, aeronaves, capacetes de ciclistas,  
30 barreiras contra colisões, bem como quaisquer outras aplicações em que se deseja atenuar a absorbância de energia de um impacto agudo.

Um terceiro aspecto da invenção consiste num membro absorvente de energia compreendendo um polímero celular  
35 termoplástico amorfo em contato com um elemento estrutural, onde cerca de pelo menos 50% das células do polímero celular amorfo são células fechadas e as células

fechadas possuem nelas um agente de expansão que compreende dióxido de carbono. Surpreendentemente, quando CO<sub>2</sub> é o principal agente de expansão, constatou-se que a estabilidade dimensional do membro absorvente de energia é substancialmente melhorada quando comparada com outros

Um quarto aspecto da invenção consiste num membro absorvente de energia compreendendo um polímero celular termoplástico amorfo em contato com um elemento estrutural, sendo que cerca de pelo menos 50% das células do polímero celular amorfo são células fechadas e o polímero celular termoplástico foi perfurado de forma que a distância máxima de difusão é no máximo de cerca de 60 mm. Também se descobriu surpreendentemente que o uso de perfurações na espuma do membro absorvente de energia resulta em excelente desempenho da estabilidade dimensional.

#### Breve descrição dos desenhos

A Figura 1 é uma fotografia de bloco de espuma de poliestireno que foi perfurada (bloco direito) em comparação com um bloco feito da mesma prancha de poliestireno expandido, porém sem perfuração (bloco esquerdo), o bloco esquerdo não tendo a pressão interna de célula necessária para o membro absorvente de energia da presente invenção; e

A Figura 2 é um gráfico da alteração da dimensão linear máxima versus a pressão das espumas aquecidas até 85°C sob diferentes pressões, utilizado para empiricamente determinar a pressão interna média de célula da espuma.

#### Descrição detalhada da invenção

##### Membro Absorvente de Energia

A presente invenção consiste num membro absorvente de energia compreendendo um polímero celular termoplástico amorfo, em contato com um elemento estrutural. O elemento estrutural do membro absorvente de energia é qualquer estrutura que suporte ou atue em harmonia com o polímero celular (alternativamente aqui designado "espuma") para

dissipar a energia de um impacto, tal como num acidente veicular. Exemplos de elementos estruturais são os painéis de porta, longarinas, pára-lamas e tetos veiculares; peles de capacetes; e parapeitos de segurança ("guard-rails"). Preferivelmente, o elemento estrutural é um painel de porta, longarina de porta, pára-lama ou teto de um automóvel ou caminhão. Fica entendido que o membro estrutural deve suportar e atuar como reforço para o polímero celular, não significando que o mesmo seja necessariamente um elemento estrutural de um dispositivo maior (ex: veículo), ainda que o possa ser.

O membro absorvente de energia também compreende um polímero celular termoplástico amorfo. Amorfo significa, conforme é geralmente entendido no estado da técnica, desprovido de uma estrutura cristalina definida e de um ponto de fusão bem definido. Porém, pode existir alguma estrutura ordenada muito pequena, mas devido às dimensões de tal ordenação, as técnicas para medi-la podem, por exemplo, não detectá-la ou a estrutura pode ser substancialmente diferente da de um material amorfo. Por exemplo, os domínios ordenados podem ter um tamanho tão pequeno que a difração de raios X resulte numa dispersão tão difusa que, se tais domínios estiverem presentes, poderiam ter um tamanho no máximo de cerca de 50 a 100 nanômetros. Mesmo que o polímero seja amorfo, uma pequena porção pode exibir alguma ordenação localizada, contanto que um ponto de fusão bem definido não esteja presente. De forma ilustrativa, um padrão de difração de raio X pode exibir pequenos picos discerníveis acima do ruído da técnica de raio X.

Entende-se que o polímero significa um polímero orgânico sintético e pode ser qualquer polímero amorfo termoplástico apropriado. Polímeros apropriados representativos incluem copolímeros poliestirênicos e polímeros poliestirênicos. Poliestirênico significa um polímero de um monômero de estireno, derivado de um monômero de estireno (ex: um estireno substituído), ou

uma combinação dos mesmos. Exemplos de estirenos substituídos são o-metilestireno, m-metilestireno, p-metilestireno, 2,4-dimetilestireno, 2,5-dimetilestireno, p-ter-butilestireno, p-cloroestireno. Preferivelmente, o

5 polímero poliestirênico é poliestireno.

Copolímero poliestirênico significa um copolímero de um monômero estirênico (estireno ou derivado de um monômero de estireno) descrito acima e de um comonômero que não seja um monômero estirênico. Comonômeros representativos

10 incluem acrilonitrila, poli(2,6-dimetil-1,4-fenileno éter), acrilato de metila, metacrilonitrila, maleimida, ácido acrílico, ácido metacrílico, anidrido maleico, anidrido itacônico, ou suas combinações. O comonômero é preferivelmente acrilonitrila, anidrido maleico ou suas

15 combinações. Mais preferivelmente, o comonômero é acrilonitrila.

Geralmente, a quantidade de monômero poliestirênico no copolímero poliestirênico é de cerca de pelo menos 50% em moles do copolímero. Tipicamente, a quantidade de

20 comonômero é de cerca de 1% a 50% em moles do copolímero poliestirênico. Preferivelmente, a quantidade de comonômero é de pelo menos 5%, mais preferivelmente de cerca de pelo menos 10%, ainda mais preferivelmente de cerca de pelo menos 20% e o mais preferivelmente de cerca

25 de pelo menos 25% em moles do copolímero poliestirênico.

Um copolímero poliestirênico preferido é um copolímero de estireno-acrilonitrila (SAN). O copolímero de SAN pode ter de 1 a 50% em peso de acrilonitrila. Preferivelmente,

30 acrilonitrila está presente numa quantidade de cerca de pelo menos 5%, mais preferivelmente de pelo menos 10%, e o mais preferivelmente de cerca de pelo menos 15% a cerca de no máximo 40%, mais preferivelmente de cerca de no máximo 35% e o mais preferivelmente de cerca de no máximo 30% em peso do copolímero de SAN.

35 O polímero pode ter qualquer peso molecular médio ponderal útil ( $M_w$ ). De forma ilustrativa, o  $M_w$  de um poliestirênico ou copolímero poliestirênico pode ser de

10.000 a 1.000.000. Preferivelmente, o  $M_w$  de um poliestirênico ou copolímero poliestirênico é de cerca de pelo menos 80.000, mais preferivelmente de cerca de pelo menos 100.000 e o mais preferivelmente de cerca de pelo menos 150.000 a preferivelmente de cerca de no máximo 400.000, mais preferivelmente de cerca de no máximo 350.000 e o mais preferivelmente de cerca de no máximo 300.000.

A distribuição de peso molecular  $M_w/M_n$  pode ser qualquer distribuição apropriada, que será, pelo menos em parte, dependente do polímero específico utilizado e que é prontamente determinada pelo habilitado na técnica. Ilustrativamente, a distribuição de peso molecular  $M_w/M_n$  de um poliestirênico ou copolímero poliestirênico é preferivelmente de cerca de pelo menos 1,0, mais preferivelmente de cerca de pelo menos 1,5 e o mais preferivelmente de cerca de pelo menos 2,0 a preferivelmente de no máximo 10,0, mais preferivelmente de cerca de no máximo 7,0 e o mais preferivelmente de cerca de no máximo 4,0.

Além disso, o polímero pode também conter outros aditivos, contanto que permaneça como um polímero termoplástico amorfo. Exemplos de outros aditivos incluem pequenas quantidades de agentes reticuladores (ex: divinil benzeno), corantes, protetores UV, antioxidantes, cargas, retardantes de chama, antiestáticos, agentes de controle de nucleação celular e similares.

O polímero no membro absorvente de energia é celular. Celular (espuma) é geralmente entendido no estado da técnica como um polímero que possui uma densidade aparente substancialmente reduzida compreendendo células fechadas ou abertas. Célula fechada significa que o gás no interior daquela célula é isolado de outra célula pelas paredes do polímero que formam a célula. Célula aberta significa que o gás naquela célula não é tão restrito e que pode fluir para a atmosfera sem atravessar nenhuma parede de polímero que forma a célula.

Cerca de pelo menos 50% das células da espuma são fechadas. É importante ter essa quantidade de células fechadas, devido à absorção de energia e comportamento da colisão para os quais essas células contribuem quando o membro absorvente de energia é impactado. Embora as células fechadas possam participar num grau maior na dissipação de energia de um impacto, descobriu-se surpreendentemente que uma pequena quantidade de células abertas é desejável para se obter a adequada pressão média de gás necessária para se obter estabilidade dimensional aceitável requerida para as espumas utilizadas, como por exemplo, em tetos veiculares. Uma norma representativa é a Norma GMN8351 da General Motors. Essa norma exige que um cubo de espuma de 50mm de cada lado seja ciclado três vezes através do tratamento mostrado na Tabela 1, não alterando, porém, nenhuma dimensão em mais de 3% após o tratamento.

Tabela 1:

	72 horas a 85°C
20	24 horas à TEMP e UMIDADE
	8 horas a -30°C
	40 horas a 85°C
	24 horas a TEMP e UMIDADE
	8 horas a -30°C
25	É preferido, pela razão acima citada, que cerca de pelo menos 55%, mais preferivelmente de cerca de pelo menos 60%, ainda mais preferivelmente de cerca de pelo menos 75% e o mais preferivelmente em cerca de pelo menos 90% das células da espuma sejam células fechadas.
30	Numa concretização preferida, todas as células abertas da espuma estão localizadas numa superfície da espuma, em uma ou mais paredes definindo orifícios dentro da espuma ou combinação dos mesmos. Essas células abertas podem ser formadas, por exemplo, aplanando-se a superfície da
35	espuma ou perfurando-se a espuma com um pino, que é descrito em maiores detalhes abaixo. É particularmente desejável que a espuma tenha uma distância máxima de

difusão de gás de uma célula fechada para a atmosfera de cerca de no máximo 60 mm. A distância máxima de difusão de gás é a distância linear que uma molécula ou átomo de gás precisa percorrer para atingir a atmosfera em torno da espuma e inclui atingir uma célula aberta tal como uma célula aberta dentro de uma parede de uma perfuração na espuma. Preferivelmente, a distância máxima de difusão de gás é de cerca de no máximo 50 mm, mais preferivelmente de cerca de no máximo 30 mm, ainda mais preferivelmente de cerca de no máximo 20 mm e o mais preferivelmente de cerca de no máximo 15 mm.

A espuma no membro absorvente de energia também desejavelmente possui a densidade mais baixa possível enquanto ao mesmo tempo provê absorção de energia suficiente, o que tipicamente é uma função do impacto específico esperado. Em membros absorventes de impacto destinados a aplicações para minimizar lesões cranianas, tais como contramedidas de revestimento de teto, capacetes, e similares, o polímero celular também exhibe vantajosamente uma resistência à compressão, no sentido do impacto esperado, de pelo menos 250 kPa, preferivelmente de pelo menos 290 kPa a 25% de deformação, até cerca de 700 kPa, especialmente até cerca de 600 kPa, conforme medida numa amostra com 25-50 mm de espessura a uma taxa de deformação de  $0,08 \text{ s}^{-1}$ . Para essas aplicações, o polímero celular possui vantajosamente uma densidade não superior a cerca de 3,5 libras/pé cúbico ( $56 \text{ kg/m}^3$ ), preferivelmente não superior a cerca de 2,5 libras/pé cúbico ( $40 \text{ kg/m}^3$ ), mais preferivelmente não superior a cerca de 2,35 libras/pé cúbico ( $37,6 \text{ kg/m}^3$ ). Preferivelmente, a densidade é de cerca de pelo menos 1,5 libras/pé cúbico ( $24 \text{ kg/m}^3$ ). Uma densidade especialmente preferida é de cerca de 1,75 a cerca de 2,2 libras/pé cúbico ( $28\text{-}35,2 \text{ kg/m}^3$ ). Descobriu-se que os polímeros celulares que possuem essas resistências à compressão e densidades tendem a ter valores HIC(d) particularmente baixos, medidos de acordo

com FMVSS 201(U). Um polímero celular especialmente preferido para uso em aplicações para minimizar lesões cranianas terá, quando testado conforme acima indicado, uma resistência à compressão a 25% de deformação de 290-  
5 600 kPa, uma densidade de 1,5 a 2,2 libras/pé cúbico (24-35,2 kg/m<sup>3</sup>) e um limite elástico de 3-10% de deformação. Em aplicações para proteger contra lesões pélvicas, tais como almofadas pélvicas e similares, o polímero celular também exhibe vantajosamente uma resistência à compressão,  
10 no sentido do impacto esperado, de pelo menos 250 kPa, preferivelmente de pelo menos 350 kPa a 25% de deformação, até cerca de 1000 kPa, especialmente até cerca de 900 kPa, medida numa amostra com 25-50 mm de espessura a uma taxa de deformação de 0,08 s<sup>-1</sup>. Para  
15 essas aplicações, o polímero celular vantajosamente possui uma densidade não superior a 5 libras/pé cúbico (80 kg/m<sup>3</sup>) e preferivelmente não superior a 4,5 libras/pé cúbico (72 kg/m<sup>3</sup>). Preferivelmente, a densidade é de pelo menos 2,0 libras/pé cúbico (32 kg/m<sup>3</sup>). Uma densidade  
20 especialmente preferida é de cerca de 2,1 a cerca de 4,0 libras/pé cúbico (34-64 kg/m<sup>3</sup>). Esses polímeros celulares mais rígidos tendem ainda a exibir uma tensão de compressão desejada quase constante numa faixa ampla de deformação. Um polímero celular especialmente preferido  
25 para uso em aplicações para proteção contra lesões pélvicas terá, quando testado conforme acima indicado, uma resistência à compressão a 25% de deformação de 300-900 kPa, uma densidade de 2,1 a 4,0 libras/pé cúbico (34-64 kg/m<sup>3</sup>) e um limite elástico de 3-10% de deformação.  
30 Em aplicações para minimizar lesões torácicas, tais como almofadas torácicas e similares, o polímero celular também exhibe vantajosamente uma resistência à compressão, no sentido do impacto esperado, de pelo menos 150 kPa, preferivelmente de pelo menos 200 kPa a 25% de  
35 deformação, até cerca de 700 kPa, especialmente até cerca de 500 kPa, medido numa amostra com 25-50 mm de espessura a uma taxa de deformação de 0,08 s<sup>-1</sup>. Para essas

aplicações, o polímero celular vantajosamente possui uma densidade não superior a 3,0 libras/pé cúbico ( $48 \text{ kg/m}^3$ ), preferivelmente não superior a 2,0 libras/pé cúbico ( $32 \text{ kg/m}^3$ ). Preferivelmente, a densidade é de pelo menos 1,25 libras/pé cúbico ( $20 \text{ kg/m}^3$ ). Uma densidade especialmente preferida é de cerca de 1,5 a cerca de 2,0 libras/pé cúbico ( $24\text{-}32 \text{ kg/m}^3$ ). Esses polímeros celulares mais flexíveis tendem ainda a exibir a tensão de compressão desejada quase constante numa ampla faixa de deformação.

5 Um polímero celular especialmente preferido para uso em aplicações para proteção contra lesões pélvicas terá, quando testado conforme acima indicado, uma resistência à compressão a 25% de deformação de 200-500 kPa, uma densidade de 1,5 a 2,0 libras/pé cúbico ( $24\text{-}32 \text{ kg/m}^3$ ) e um limite elástico de 3-10% de deformação.

10 O polímero celular vantajosamente exibe ainda uma eficiência compressiva de pelo menos 70% e preferivelmente de pelo menos 80% a 60% deformação, de pelo menos 60% e preferivelmente de pelo menos 75% a 65% de deformação, de pelo menos 55% e preferivelmente de pelo menos 70% a 70% de deformação e/ou de pelo menos 50% e preferivelmente de pelo menos 65% a 75% de deformação. As eficiências compressivas de 85% ou mais podem ser obtidas com a invenção a 60-65% de deformação. A

20 eficiência compressiva é computada comprimindo-se a espuma a uma taxa de deformação de  $0,08 \text{ s}^{-1}$  na forma descrita anteriormente, e registrando-se a carga e o deslocamento de cruzeta. A tensão transitória é calculada dividindo-se a carga instantânea pela área transversal original da amostra de espuma perpendicular ao sentido da

25 compressão. A deformação transitória é calculada dividindo-se a alteração de espessura pela espessura original. A eficiência compressiva é então calculada utilizando-se a relação:

30

$$\% \text{ Eficiência} = 100\% \cdot \left( \frac{\int_0^{\varepsilon} \sigma \cdot d\varepsilon}{\sigma_{\text{máx}} \cdot \varepsilon} \right)$$

onde  $\sigma$  representa a tensão instantânea, tipicamente em MPa,  $\varepsilon$  representa a deformação e  $\sigma_{\text{máx}}$  representa a tensão máxima obtida nas mesmas unidades como a tensão instantânea.

5 As células do polímero celular podem ter um tamanho médio (a maior dimensão) de cerca de 0,05 a cerca de 5,0 mm, especialmente de cerca de 0,1 a cerca de 3,0 mm, conforme medido segundo ASTM D-3576-98. Os polímeros celulares que possuem tamanhos médios maiores de célula, especialmente  
 10 de cerca de 1,0 a cerca de 3,0mm ou de cerca de 1,0 a cerca de 2,0mm na maior dimensão, são de interesse particular. Descobriu-se que os polímeros celulares com tamanhos maiores de célula freqüentemente possuem eficiências compressivas melhores a altos níveis de  
 15 deformação. A menor dimensão de célula preferivelmente está na faixa de cerca de 0,03 a cerca de 0,75 mm.

A invenção é especialmente útil para polímeros termoplásticos em que a temperatura de transição vítrea efetiva da espuma é de cerca de 75°C a cerca de 140°C. A  
 20 temperatura de transição vítrea efetiva da espuma, ao contrário da temperatura de transição vítrea do polímero termoplástico nativo é a temperatura de transição vítrea da espuma no membro absorvente de energia e é utilizada para considerar, por exemplo, o efeito plastificante que  
 25 um agente de expansão pode exercer sobre a temperatura de transição vítrea do polímero da espuma. A invenção é especialmente útil, pois permite que as espumas com baixa temperatura de transição vítrea, que poderiam por outro lado intumescerem ou explodirem mediante aquecimento,  
 30 sejam dimensionalmente estáveis a temperaturas mais elevadas. Preferivelmente, a temperatura de transição vítrea efetiva é de cerca de pelo menos 80°C, mais

preferivelmente de cerca de pelo menos 85°C, ainda mais preferivelmente, de cerca de pelo menos 90°C e o mais preferivelmente de cerca de pelo menos 95°C a preferivelmente de cerca de no máximo 135°C, mais preferivelmente de cerca de no máximo 130°C, ainda mais preferivelmente de cerca de no máximo 125°C, e o mais preferivelmente de cerca de no máximo 120°C.

A temperatura de transição vítrea efetiva da espuma pode ser determinada com o método ASTM D4065-01 Determinação de Propriedades Mecânicas Dinâmicas. Os módulos elástico e de perda da espuma são medidos com instrumentos de análise termomecânicos dinâmicos, tais como o Analisador Mecânico Dinâmico Rheometric Scientific RDA III ou o Analisador Termomecânico Dinâmico Rheometric RSA II fabricado pela Rheometric Scientific Inc., TA Instruments Group, New Castle, DE. Esses módulos são a função de temperatura e alteram-se rapidamente numa faixa específica de temperatura. As regiões de alteração rápida dos módulos são normalmente designadas regiões de transição e a Tg é determinar de acordo com o método.

Para obter o desempenho de estabilidade dimensional necessário, é crítico que a pressão média de gás das células fechadas seja de cerca de 0,5 a cerca de 1,4 atmosferas. Quando essa pressão de gás estava presente nas espumas do membro absorvente de energia, constatou-se que a maior alteração dimensional linear era geralmente inferior a cerca de 5%, tornando-as úteis para membros absorventes de energia. Entende-se que a pressão de gás anteriormente citada é a pressão de gás medida pelo método descrito abaixo, considerada como representando a pressão média de células fechadas sob condições ambientais. A pressão de gás média mais desejável das células depende de muitos fatores, tais como o polímero específico, a estrutura da espuma, o agente de expansão, a temperatura de transição vítrea efetiva, podendo ser prontamente determinada pelo habilitado na técnica sem experimentação indevida para uma dada espuma.

Entretanto, é desejável que a pressão de gás das células seja menor que a pressão atmosférica para minimizar o potencial de intumescimento da espuma, o que poderia resultar em choque contra outras estruturas de um veículo, causando, por exemplo, rangido ou deslocamento da espuma do membro estrutural. Preferivelmente, a pressão média de gás das células é inferior a 1,2, mais preferivelmente inferior a cerca de 1,1 atmosfera, e ainda mais preferivelmente a pressão é de cerca de no máximo 1,0 atmosfera, ainda mais preferivelmente de cerca de no máximo 0,99, e o mais preferivelmente de cerca de no máximo 0,95 atmosfera.

Da mesma forma, a pressão média de gás é preferivelmente de cerca de pelo menos 0,55 atmosfera, mais preferivelmente de pelo menos 0,6 atmosfera e o mais preferivelmente de cerca de pelo menos 0,7 atmosfera para proteger, por exemplo, contra excessiva contração no interior de um veículo num dia ensolarado. A pressão média de gás das células fechadas pode ser calculada, utilizando taxas de difusão de gás, avaliando-se o teor de gás num material celular em datas diferentes, caso se saiba a data inicial em que a espuma é fabricada (ex: ASTM D7132-05). Porém, devido pelo fato de a data inicial de fabricação da espuma nem sempre ser conhecida, o método empírico seguinte é utilizado na presente invenção. Para determinar a pressão interna média de gás das células fechadas de uma espuma do membro absorvente de energia, pelo menos 3 cubos da espuma com laterais de aproximadamente 50 mm de comprimento são individualmente colocadas num forno a 85°C sob vácuo (1 Torr ou menos), 0,5 atmosfera e à pressão ambiente (1 atm) durante 12 horas. A pressão é estabelecida tão rapidamente quanto possível após o cubo ser colocado no forno. Após o período de 12 horas, o forno é deixado esfriar até atingir temperatura ambiente sem alterar a pressão do forno. Após o cubo ser resfriado, ele é removido e determinada a alteração dimensional máxima em cada

direção ortogonal dos cubos. A alteração dimensional linear máxima é então determinada a partir das medições e plotadas contra a pressão e a curva ajustada com uma linha reta utilizando a análise de regressão linear com a  
 5 pressão interna média da célula sendo a pressão em que a linha ajustada possui alteração dimensional zero (vide Fig. 2).

A espuma do membro absorvente de energia, é invariavelmente formada utilizando-se um agente de  
 10 expansão físico ou químico e como tal tipicamente possui algum resíduo do agente de expansão nas células ou que é solubilizado no próprio polímero. A espuma pode ter qualquer agente de expansão apropriado tal como um hidrocarboneto alifático ou cíclico volátil,  
 15 hidrocarbonato clorado, hidrocarboneto fluorado, hidrocarboneto clorofluorado, álcool, cetona, éter, gás presente na atmosfera (oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, hidrogênio, hélio, e similares) ou suas combinações.

20 Exemplos de um hidrocarboneto volátil incluem etano, etileno, propano, propileno, butano, butileno, isobuteno, pentano, ciclopentano, isopentano, hexano, heptano, ou suas misturas. Exemplos de hidrocarbonetos clorados, hidrocarbonatos fluorados e hidrocarbonetos  
 25 clorofluorados incluem cloreto de metila, diclorodifluorometano, octafluorociclobutano, clorodifluorometano, 1,2-diclorotetrafluoroetano, 1,1-diclorotetrafluoroetano, pentafluoroetano, 2-cloro-1,1-difluoroetano, 2-cloro-1,1,1-trifluoroetano, 1,1,1,2-tetrafluoroetano, 1,1,1-trifluoroetano, 1,1,1-trifluoropropano, triclorotrifluoroetano, difluorometano, 2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoroetano, 2,2-difluoropropano, fluoreto de etila, 1,1-difluoroetano, 1,1,2,2-tetrafluoroetano, pentafluoroetano, perfluoroetano, 2,2-difluoropropano,  
 30 1,1,1-trifluoropropano, e 1,1,1,2,2,3,3,3-heptafluoropropano, 1,1,1,3,3-

pentafluoropropano e 1,1,1,3,3-pentafluorobutano, cloreto de etila ou uma mistura dos mesmos.

Exemplos de álcoois alifáticos tendo de um a cinco carbonos (C1-C5) incluem metanol, etanol, n-propanol, isopropanol ou uma mistura dos mesmos; exemplos de compostos contendo carbonila incluem acetona, 2-butanona, acetaldeído ou uma mistura dos mesmos. Exemplos de compostos contendo éter incluem dimetil éter, dietil éter, metil etil éter ou uma mistura dos mesmos.

Exemplos de outros agentes de expansão químicos adequados incluem azodicarbonamida, azodiisobutironitrila, benzenossulfonidrazida, 4,4-oxibenzeno sulfonil semi-carbazida, p-tolueno sulfonil semi-carbazida, azodicarboxilato de bário, N,N'-dimetil-N,N'-dinitrosotereftalamida, trihidrazino triazina e bicarbonato de sódio.

Ilustrativamente, poliestirênicos e copolímeros poliestirênicos tipicamente empregam clorofluoro hidrocarbonetos como agente de expansão de gás. Estes tendem a plastificar o polímero, resultando numa temperatura de transição vítrea efetiva mais baixa que pode impedir que a espuma seja dimensionalmente estável. Devido à sua taxa de difusão lenta, tendem a formar espumas nas quais a pressão média de gás é maior do que 1 atmosfera, mesmo após a espuma ter sido envelhecida por um longo período de tempo. Conseqüentemente, é preferido que pelo menos um agente de expansão ou um componente da mistura de agentes de expansão tenha uma taxa de difusão substancialmente mais rápida através da espuma do que o ar, para facilitar a formação de uma espuma com a pressão média de gás acima mencionada.

Neste contexto, substancialmente mais rápida significa que a taxa de difusão do agente de expansão é cerca de pelo menos 2 vezes mais rápida do que a taxa de difusão de ar. A difusão de ar é considerada como a taxa de difusão média de oxigênio e nitrogênio determinada pela presença de cada um deles no ar. Preferivelmente, a taxa

de difusão do agente de expansão é cerca de pelo menos 3 vezes, mais preferivelmente pelo menos 4 vezes, ainda mais preferivelmente pelo menos 5 vezes e o mais preferivelmente pelo menos 10 vezes mais rápida do que a taxa de difusão de ar.

Devido, por exemplo, a questões ambientais, uma concretização especialmente desejável da invenção é quando o polímero termoplástico amorfo é o poliestirênico ou o copolímero poliestirênico e o agente de expansão compreende dióxido de carbono, água ou uma combinação dos mesmos. Preferivelmente para a presente concretização, o agente de expansão é dióxido de carbono.

#### Formação do Membro Absorvente de Energia

O membro absorvente de energia pode ser feito conforme a seguir descrito. O polímero termoplástico amorfo e um agente de expansão são misturados. Qualquer método adequado de mistura do polímero e do agente de expansão pode ser usado, tais como os conhecidos no estado da técnica. Por exemplo, o agente de expansão pode ser injetado no polímero que foi aquecido numa extrusora, tal como descrito nas patentes americanas Nos. 3.231.524; 3.482.006, 4.420.448 e 5.340.844 ou o agente de expansão pode ser adicionado a microesferas de polímero, tipicamente sob pressão, conforme descrito na patente americana No. 4.485.193, e cada uma das patentes americanas esta patente cita na coluna 3, linhas 6-13.

Após o polímero e o agente de expansão serem misturados, o polímero e o agente de expansão são formados num formato, que pode ser um formato final ou um formato temporário e que pode ser preparado através de qualquer método adequado tais como os conhecidos no estado da técnica (ex: pranchas expandidas extrusadas, uma prancha de espuma e espuma com microesferas expandida). Por exemplo, ao utilizar a extrusão, uma prancha de espuma pode ser formada e posteriormente cortada com arame num formato final mais complexo ou a prancha pode ser cortada em formatos úteis que são então termoformados num formato

final mais desejado. O uso da termoformação pode também ser vantajoso já que pode criar um revestimento(pele) mais impermeável o que ajuda a manter as pressões de gás desejadas do membro absorvente de energia da presente  
5 invenção.

Essa termoformação, que é bastante conhecida no estado da técnica e descrita, por exemplo, nas patentes americanas Nos. 2.899.708; 3.334.169; 3.484.510; 3.923.948 e 4.359.160, pode ser executada a qualquer tempo após a  
10 formação de uma espuma moldada, sendo, porém, preferivelmente executada após a espuma moldada ter realizado uma pressão de gás específica (ou seja, após tratamento). A pressão média de gás nas células fechadas durante a termoformação podem ser qualquer uma descrita  
15 anteriormente, mas vantajosamente é uma pressão mais baixa, devido à compactação da espuma durante a termoformação, o que pode aumentar a pressão. Ilustrativamente, a pressão de gás da espuma é de cerca de no máximo 1 atmosfera, preferivelmente de cerca de no  
20 máximo 0,95 atmosfera, 0,9 atmosfera, mais preferivelmente de cerca de no máximo 0,85 e o mais preferivelmente de cerca de no máximo 0,8 a cerca de pelo menos 0,5.

Para reiterar, a espuma moldada é tratada de forma a  
25 realizar a pressão média de gás na célula fechada anteriormente mencionada da espuma do membro absorvente de energia. O tratamento pode ser realizado durante qualquer período de envelhecimento suficiente para que a espuma apresente a pressão média de gás apropriada. A  
30 quantidade de tempo suficiente depende de muitos fatores, tal como o polímero da espuma, tamanho da peça, agente de expansão utilizado e atmosfera de envelhecimento. Um habilitado na técnica poderá determinar um período de tempo adequado, sem experimentação indevida. Tipicamente,  
35 o tempo pode variar de 1 dia a 1 ano ou mais.

Num método preferido, é formada uma prancha de espuma extrudada que é então aplanada para criar células abertas

na superfície da prancha de espuma extrudada e/ou perfurada para criar uma espuma que tenha a distância de difusão de gás aqui descrita. É preferido que pelo menos tanto o topo como a parte inferior de uma prancha de espuma seja aplanada (ou seja, as superfícies grandes de uma prancha, ou, por exemplo, as superfícies de 4' x 8' de uma prancha de 4' x 8' x 1'). Descobriu-se surpreendentemente que é permitida uma redução da ordem de grandeza no tempo de tratamento sob condições ambientais, especialmente quando o agente de expansão compreende dióxido de carbono ou dióxido de carbono e água. Ao perfurar a prancha, as perfurações podem se estender pela profundidade da prancha ou formar furos cegos. As perfurações podem ser feitas de forma similar à descrita na patente americana No. 5.424.016, utilizada para liberar gases de hidrocarboneto inflamáveis acumulados (ex: isobutano e pentano) das pranchas de espuma.

Além disso, se desejado, o tratamento pode incluir uma temperatura acima da ambiente, porém abaixo de uma temperatura na qual a espuma possa se deformar, o que é imediatamente determinável dependendo do polímero específico utilizado. O tratamento pode também incluir o uso de atmosferas diferentes, por exemplo, a atmosfera pode ser ar seco quando se utiliza água como agente de expansão. A pressão da atmosfera que circunda a espuma moldada pode também ser abaixo da atmosférica (vácuo) ou a uma pressão elevada, contanto que o vácuo ou a pressão elevada não seja tão alto/a a ponto de causar deformação da espuma. Preferivelmente, para fins de conveniência, a pressão é pressão ambiente e a atmosfera é ar.

A espuma moldada tratada pode também ter um revestimento decorativo ou membrana impermeável ligado a uma porção da superfície ou em toda superfície da espuma. A membrana impermeável pode ser de qualquer material que limite ou interrompa a migração de gases para dentro ou para fora da espuma. Tais películas podem ser aplicadas através de

qualquer método adequado, tal como os conhecidos no estado da técnica (ex: pulverização catódica, deposição de vapor químico, lâminas, películas ou folhas aderentes utilizando um adesivo ou fusão térmica). Exemplos de  
5 membranas impermeáveis incluem folhas metálicas finas (ex: de prata, alumínio, folhas finas à base de ferro, tais como folhas de alumínio) bem como películas plásticas tais como película de tereftalato de polietileno (PET), películas de poliamida ou suas  
10 combinações.

Finalmente, para preparar o membro absorvente de energia, a espuma moldada tratada é ligada ao membro estrutural. A espuma moldada tratada pode ser diretamente moldada, por exemplo, numa cavidade do membro estrutural, ao se  
15 utilizar, por exemplo, espuma expansível com microesferas numa pele (revestimento) de capacete ou num painel de porta. A cavidade pode ser definida no elemento estrutural de forma a facilitar a ligação da espuma. A espuma pode também ser ligada ao elemento estrutural  
20 através de qualquer método apropriado, tais como os conhecidos no estado da técnica, inclusive, por exemplo, mecanicamente (ex: fixadores) ou quimicamente (ex: adesivos e aquecimento do membro estrutural até uma temperatura suficiente para obter a fusão da espuma com o  
25 membro estrutural quando a espuma é colocada em contato com o elemento estrutural e fusão aplicando-se um solvente à superfície da espuma e contactando-a com o membro estrutural).

#### ILUSTRAÇÕES

##### 30 Ilustração 1

Uma prancha de 100mm x 600mm x 1200mm (espessura x largura x comprimento) de FLOORMATE™ 200-A (espuma extrudada de poliestireno da The Dow Chemical Company, Midland, MI) foi armazenada por cerca de um ano sob  
35 condições ambientais após ser produzida. A espuma tinha uma densidade de cerca de 35 Kg/m<sup>3</sup> e era uma espuma de célula fechada, o que na prática geralmente significa que

pelo menos 90% das células são fechadas. O agente de expansão era dióxido de carbono, n-pentano e isopentano. Um cubo de 50 mm foi então cortado de uma seção transversal da prancha com uma serra de fita. Após as  
5 dimensões do cubo serem medidas com um calibrador, a amostra foi colocada num forno de convecção por vinte e quatro horas a 85°C. Após resfriamento, o cubo foi medido e a alteração percentual em cada dimensão determinada conforme mostra a Tabela 1. A pressão de gás das células  
10 fechadas foi medida conforme aqui descrito e mostrado na Tabela 1.

#### Ilustração 2

Uma prancha de 100 mm x 600 mm x 2200 mm (espessura x largura x comprimento) de espuma de poliestireno  
15 extrudada foi produzida em equipamento em escala de produção utilizando CO<sub>2</sub> como agente de expansão de forma similar à descrita através do exemplo comparativo 1 da patente americana No. 5.340.844. A espuma tinha uma densidade de cerca de 35 kg/m<sup>3</sup> e pelo menos 90% das  
20 células eram fechadas. Após ser extrudada, a prancha foi perfurada utilizando-se agulhas com 2 milímetros de diâmetro através da espessura da prancha. O espaçamento da perfuração foi de cerca de 10 milímetros no sentido da largura e 20 milímetros no sentido do comprimento. A  
25 prancha foi armazenada por cerca de 19 dias antes da perfuração e 13 dias sob condições ambientais após perfuração. Um cubo de 50 mm foi então cortado de uma seção transversal da prancha, medido e testado da mesma forma que a ilustração 1 com os resultados mostrados na  
30 Tabela 1. O cubo, após ser aquecido até 85°C durante 24 horas, é mostrado na Figura 1 à direita da foto, em comparação com o cubo da ilustração comparativa 1, que se encontra à esquerda da foto.

#### Ilustração 3

35 Uma prancha de 200mm x 600 mm x 2500 mm (espessura x largura x comprimento) de STYROFOAM™ FB-X (espuma de poliestireno extrudada da The Dow Chemical Company,

Midland, MI) foi armazenada por cerca de 8 meses sob condições ambientais após ser produzida. A espuma foi produzida utilizando agente de expansão HFC 134a. A espuma tinha uma densidade de cerca de 36,5 kg/m<sup>3</sup> e era uma espuma de célula fechada. Um cubo de 50 mm foi então cortado de uma seção transversal da prancha, medido e testado da mesma forma que a ilustração 1 com os resultados mostrados na Tabela 1.

#### Ilustração 4

10 Uma prancha de 50 mm x 600 mm x 2200 mm (espessura x largura x comprimento) de poliestireno extrudado foi produzida em equipamento em escala de produção utilizando CO<sub>2</sub> como agente de expansão de forma similar à descrita no Exemplo Comparativo 1 da patente americana No. 15 5.340.844, porém a uma temperatura de matriz levemente elevada para obter células abertas aumentadas nessa espuma. A espuma tinha uma densidade de cerca de 35,5 kg/m<sup>3</sup> e cerca de 50% de células abertas. A prancha foi armazenada durante 40 dias sob condições ambientais. Um 20 cubo de 50 mm foi então cortado de uma seção transversal da prancha, medido e testado da mesma forma que a ilustração 1, exceto que o tempo naquela temperatura foi de 13 dias, com os resultados mostrados na Tabela 1.

#### Ilustração 5

25 Uma seção de 89 mm x 356 mm x 610 mm (espessura x largura x comprimento) da prancha de STYROFOAM\* (espuma extrudada de poliestireno da The Dow Chemical Company, Midland, MI, \* marca registrada da The Dow Chemical Company) foi perfurada conforme descrito na ilustração 2, exceto que o 30 espaçamento das perfurações no sentido da largura era de cerca de 15 mm. Essa espuma foi preparada utilizando agente de expansão HCFC-142b. A espuma tinha uma densidade de cerca de 31,2 kg/m<sup>3</sup> e era uma espuma de célula fechada. Após perfuração, a prancha foi armazenada sob condições ambientes por cerca de 138 dias. Um cubo de 35 50 mm foi então cortado de uma seção transversal da prancha, medido e testado da mesma forma que a ilustração

1 com os resultados mostrados na Tabela 1. Mesmo não tendo pressão de célula particularmente baixa, essa espuma apresentava estabilidade dimensional aceitável, o que foi atribuído, pelo menos em parte, à perfuração da espuma e ao tempo de envelhecimento após perfuração da espuma, criando uma linha reta de forma similar à mostrada na ilustração 2 da Figura 2.

#### Ilustração Comparativa 1

Uma prancha de 100 mm x 600 mm x 2200 mm (espessura x largura x comprimento) de poliestireno extrudado foi produzida da mesma forma que a ilustração 2, exceto que a prancha não foi perfurada, sendo armazenada sob condições ambientais por cerca de 31 dias. Um cubo de 50 mm foi então cortado de uma seção transversal da prancha, medido e testado da mesma forma que a ilustração 1, com os resultados mostrados na Tabela 1. O cubo, após ser aquecido até 85°C durante 24 horas, é mostrado na Figura 1 à esquerda da foto, em comparação com o cubo da ilustração 2, que se encontra à direita da foto.

Com base nessa comparação, fica evidente que o uso de perfuração é vantajoso para realizar a necessária pressão interna na célula na presente invenção.

#### Ilustração Comparativa 2

Uma peça de FOAMULAR™ 600 com dimensões de 38 mm x 38 mm x 37 mm (espuma extrudada de poliestireno da Owens Corning, Toledo, Ohio) foi adquirida e armazenada por cerca de 441 dias sob condições ambientais. O agente de expansão era o HCFC-142b. A espuma tinha uma densidade de cerca de 37 kg/m<sup>3</sup>, sendo uma espuma de célula fechada. Esse cubo foi então medido e testado da mesma forma que a ilustração 1 com os resultados mostrados na Tabela 1.

#### Ilustração Comparativa 3

Uma prancha de 75 mm x 1219 mm x 2438 mm (espessura x largura x comprimento) de STYROFOAM FREEZERMATE™ (espuma extrudada de poliestireno da The Dow Chemical Company) foi produzida e armazenada por cerca de 398 dias sob condições ambientais após ser produzida. O agente de

expansão foi o HCFC-142b. A espuma tinha uma densidade de cerca de 30,2 kg/m<sup>3</sup>, sendo uma espuma de célula fechada. Um cubo de 50 mm foi então cortado de uma seção transversal da prancha, medido e testado da mesma forma que a ilustração 1 com os resultados mostrados na Tabela 1.

#### Ilustração Comparativa 4

Uma prancha de 89 mm x 1219 mm x 2438 mm (espessura x largura x comprimento) de STYROFOAM\* (espuma extrudada de poliestireno da The Dow Chemical Company, Midland, MI,

\* marca registrada da The Dow Chemical Company) foi produzida e armazenada por cerca de pelo menos 138 dias sob condições ambientais após ser produzida, com o mesmo tempo de armazenamento total da ilustração 5. O agente de expansão foi o HCFC-142b. A espuma tinha uma densidade de cerca de 32,2 kg/m<sup>3</sup> libras por pé cúbico (pcf) e cerca de 90% das células eram fechadas. Um cubo de 50 mm foi então cortado de uma seção transversal da prancha, medido e testado da mesma forma que a ilustração 1 com os resultados mostrados na Tabela 1.

Com base nos dados constata-se ser vantajoso o uso de dióxido de carbono com ou sem um agente de co-expansão ao preparar uma espuma para a invenção, devido aos tempos de envelhecimento muito reduzidos necessários para realizar a pressão interna na célula, conforme requerido pela invenção. Surpreendentemente, o uso de um agente de expansão de CO<sub>2</sub> do gráfico mostrado na Figura 2 (ilustrações 1 e 3) também exhibe uma inclinação reduzida da alteração dimensional com pressão, tornando a espuma menos suscetível à deformação excessiva sob pressões provavelmente experimentadas em uso. Da mesma forma, os dados mostram que o uso de perfurações também ajuda a obter a pressão necessária na célula (vide, ilustração 2 e ilustração comparativa 1) e reduz a inclinação da alteração dimensional com pressão (vide Fig. 2). Finalmente, uma espuma com células abertas substanciais exhibe a inclinação mais plana (Fig. 2, Il.4).

Tabela 1 - Ilustração e Ilustração Comparativa - Estabilidade Dimensional

Ilustração	Agente(s) Expansão	Pressão Célula (atm) *	Antes dimensões			Após dimensões			Estabilidade Dimensional			
			L <sub>1</sub> (mm)	W <sub>1</sub> (mm)	T <sub>1</sub> (mm)	L <sub>f</sub> (mm)	W <sub>f</sub> (mm)	T <sub>f</sub> (mm)	ΔL (%)	ΔW (%)	ΔT (%)	ΔV (%)
1	CO <sub>2</sub> /isopentano	0,85	48,93	50,28	51,19	47,74	49,50	50,68	-2,4	-1,6	-1,0	-4,9
2	CO <sub>2</sub>	1,00	50,31	48,76	49,09	50,83	48,55	48,92	1,0	-0,4	-0,4	0,2
3	HFC 134a	1,05	50,74	50,77	50,70	52,93	52,40	53,21	4,3	3,2	5,0	13,0
4	CO <sub>2</sub>	0,74	49,67	49,81	49,28	49,85	49,10	48,43	0,4	-1,4	-1,72	-2,77
5	HCFC-142B	1,35	50,19	48,50	48,59	55,69	48,56	48,59	10,9	0,12	0,00	11,1
Comp.1	CO <sub>2</sub>	0,25	51,25	51,54	47,42	22,79	45,24	46,37	-56	-12,2	-2,2	-61,8
Comp.2	HCFC-142b	ND.	36,80	38,03	37,68	36,75	39,30	42,41	-0,1	3,3	12,6	16,2
Comp.3	HCFC-142b	>1,5	51,37	52,05	50,30	56,03	52,02	63,18	9,1	-0,1	25,6	36,9
Comp.4	HCFC-142b	2,1	50,23	53,80	50,24	65,77	54,23	56,14	30,9	0,8	11,7	47,5

\*a pressão na célula foi medida conforme aqui descrito.

ND = não determinado.

REIVINDICAÇÕES

1. Membro absorvente de energia, caracterizado pelo fato de compreender um polímero celular termoplástico amorfo em contato com um elemento estrutural, onde cerca de pelo menos 50% das células do polímero celular amorfo são células fechadas e as células abertas têm uma pressão média de gás de cerca de 0,5 atmosfera a cerca de 1,4 atmosferas à temperatura ambiente.
2. Membro, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o elemento estrutural ser uma pele de capacete, painel de porta veicular, longarina de porta veicular ou pára-lamas veicular.
3. Membro, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de o elemento estrutural ser um painel de porta veicular, longarina de porta veicular ou teto veicular.
4. Membro, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o polímero celular termoplástico amorfo ser um polímero poliestirênico ou um copolímero poliestirênico.
5. Membro, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de o polímero celular termoplástico amorfo ser o polímero poliestirênico.
6. Membro, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de o polímero poliestirênico ser poliestireno.
7. Membro, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de o polímero celular termoplástico amorfo ser o copolímero poliestirênico.
8. Membro, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de o copolímero poliestirênico ser um copolímero de monômero estirênico e de um comonômero selecionado do grupo consistindo de acrilonitrila, poli(2,6-dimetil-1,4-fenileno éter), acrilato de metila, metacrilonitrila, maleimida, ácido acrílico, ácido metacrílico, anidrido maleico, anidrido itacônico e suas combinações.
9. Membro, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de o comonômero ser acrilonitrila.

10. Membro, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de a acrilonitrila estar presente numa quantidade de cerca de 1% a cerca de 35% em peso do polímero celular termoplástico amorfo.
- 5 11. Membro, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de a acrilonitrila estar presente numa quantidade de cerca de no máximo 15%.
12. Membro, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a acrilonitrila estar presente  
10 numa quantidade de cerca de no máximo 20%.
13. Membro, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o polímero celular termoplástico amorfo conter um resíduo de um agente de expansão.
- 15 14. Membro, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de o agente de expansão compreender um hidrocarboneto alifático ou cíclico volátil, álcool, cetona, éter, dióxido de carbono, água ou suas combinações.
- 20 15. Membro, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de o agente de expansão compreender etano, etileno, propano, propileno, butano, isobutano, butilenos, isobuteno, pentano, isopentano, ciclopentano, hexano, heptano, etanol, propanol,  
25 isopropanol, butanol, acetona, dimetil éter, dióxido de carbono, água ou suas combinações.
16. Membro, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de o agente de expansão compreender dióxido de carbono, água ou suas combinações.
- 30 17. Membro, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de pelo menos um agente de expansão ter uma taxa de difusão através do polímero termoplástico celular amorfo que é maior do que a taxa de difusão de ar através de dito polímero.
- 35 18. Membro, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de todos os agentes de expansão terem uma taxa de difusão através do polímero

termoplástico celular amorfo que é maior do que a taxa de difusão de ar através de dito polímero.

19. Membro, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de o agente de expansão ser dióxido de carbono, água ou suas combinações.

20. Membro, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o polímero celular termoplástico amorfo ter uma temperatura de transição vítrea efetiva de cerca de 85°C a cerca de 135°C.

10 21. Membro, de acordo com a reivindicação 20, caracterizado pelo fato de o polímero celular termoplástico amorfo ter uma temperatura de transição vítrea efetiva de cerca de 90°C a cerca de 125°C.

15 22. Membro, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de o polímero celular termoplástico amorfo ter uma temperatura de transição vítrea efetiva de cerca de no máximo 120°C.

20 23. Membro, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de cerca de pelo menos 70% das células do polímero celular amorfo serem células fechadas.

25 24. Membro, de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de cerca de pelo menos 90% das células do polímero celular amorfo serem células fechadas.

30 25. Membro, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a distância máxima de difusão das células fechadas para a atmosfera que circunda o polímero celular termoplástico amorfo ser de cerca de no máximo 20 milímetros.

26. Membro, de acordo com a reivindicação 25, caracterizado pelo fato de a distância máxima de difusão ser de cerca de no máximo 10 milímetros.

35 27. Membro, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a pressão média de gás nas células fechadas ser inferior a 1,2 atmosferas.

28. Membro, de acordo com a reivindicação 27,

caracterizado pelo fato de a pressão média de gás nas células fechadas ser de cerca de pelo menos 0,6 atmosfera.

29. Membro, de acordo com a reivindicação 28, caracterizado pelo fato de a pressão média de gás nas células fechadas ser de cerca de pelo menos 0,7 atmosfera.

30. Membro, de acordo com a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de a pressão média de gás nas células fechadas ser de cerca de pelo menos 0,75 atmosfera.

31. Membro, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 27 a 30, caracterizado pelo fato de a pressão média de gás nas células fechadas ser de no máximo 0,99 atmosfera.

32. Membro, de acordo com a reivindicação 31, caracterizado pelo fato de a pressão média de gás das células fechadas ser de no máximo 0,95 atmosfera.

33. Método para formar um membro absorvente de energia, caracterizado pelo fato de compreender:

(a) misturar uma resina termoplástica amorfa e um agente de expansão,

(b) formar uma espuma polimérica moldada da mistura de resina e do agente de expansão, sendo que a espuma possui cerca de pelo menos 50% de células fechadas,

(c) tratar a espuma moldada formada, de forma tal que as células fechadas tenham uma pressão de gás de cerca de 0,5 a cerca de 1,4 atmosferas para formar uma espuma moldada formada tratada, e

(d) ligar a espuma moldada formada tratada a um elemento estrutural para formar o membro absorvente de energia.

34. Método, de acordo com a reivindicação 33, caracterizado pelo fato de o agente de expansão ser dióxido de carbono, água ou suas combinações.

35. Membro, de acordo com a reivindicação 34, caracterizado pelo fato de o agente de expansão ser dióxido de carbono.

36. Membro, de acordo com a reivindicação 33,

- caracterizado pelo fato de a etapa de formar ser através de extrusão da mistura da etapa (a) e a etapa de tratar ser através de aplanamento de pelo menos uma superfície da espuma polimérica moldada e envelhecimento da espuma polimérica moldada aplanada por um tempo suficiente para formar a espuma polimérica moldada tratada.
- 5 37. Membro, de acordo com a reivindicação 36, caracterizado pelo fato de a espuma polimérica moldada ser ainda moldada através de termoformação.
- 10 38. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 33 a 37, caracterizado pelo fato de a etapa de tratar compreender perfurar a espuma polimérica moldada.
- 15 39. Membro, de acordo com a reivindicação 37, caracterizado pelo fato de a espuma polimérica moldada ser perfurada antes da termoformação.
40. Membro, de acordo com a reivindicação 39, caracterizado pelo fato de a espuma polimérica moldada ser perfurada após termoformação.
- 20 41. Membro, de acordo com a reivindicação 33, caracterizado pelo fato de a espuma polimérica moldada ser ainda moldada através de corte por arame.
42. Membro, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de a etapa de tratar compreender perfurar a espuma polimérica moldada.
- 25 43. Método, de acordo com a reivindicação 42, caracterizada pelo fato de a perfuração da espuma polimérica moldada ocorrer antes do corte por arame.
44. Membro, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de a perfuração da espuma
- 30 polimérica moldada ocorrer após o corte por arame.
45. Membro absorvente de energia, caracterizado pelo fato de compreender um polímero celular termoplástico amorfo em contato com um elemento estrutural, sendo que cerca de pelo menos 50% das células do polímero celular amorfo são
- 35 células fechadas e as células fechadas possuem um agente de expansão que compreende dióxido de carbono.

46. Membro, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de o polímero celular termoplástico amorfo ser perfurado.

5 47. Membro absorvente de energia, caracterizado pelo fato de compreender um polímero celular termoplástico amorfo em contato com um elemento estrutural, sendo que cerca de pelo menos 50% das células do polímero celular amorfo são células fechadas e o polímero celular termoplástico foi perfurado de forma tal que a distância máxima de difusão  
10 é de cerca de no máximo 60 mm.

48. Membro, de acordo com a reivindicação 47, caracterizado pelo fato de a distância máxima de difusão ser de cerca de no máximo 30 mm.

15 49. Membro, de acordo com a reivindicação 47, caracterizado pelo fato de as células fechadas terem um agente de expansão que compreende dióxido de carbono.

50. Veículo, caracterizado pelo fato de ter o membro absorvente de energia, conforme definido na reivindicação 1.

20 51. Veículo, caracterizado pelo fato de ter o membro absorvente de energia, conforme definido na reivindicação 45.

25 52. Veículo, caracterizado pelo fato de ter o membro absorvente de energia, conforme definido na reivindicação 47.

1/2

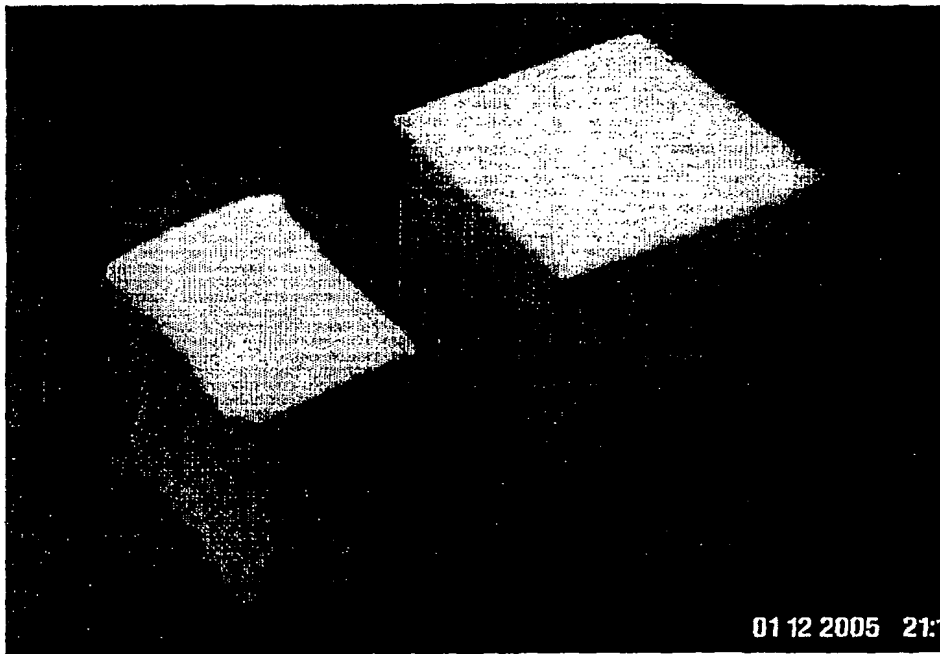


FIG.1

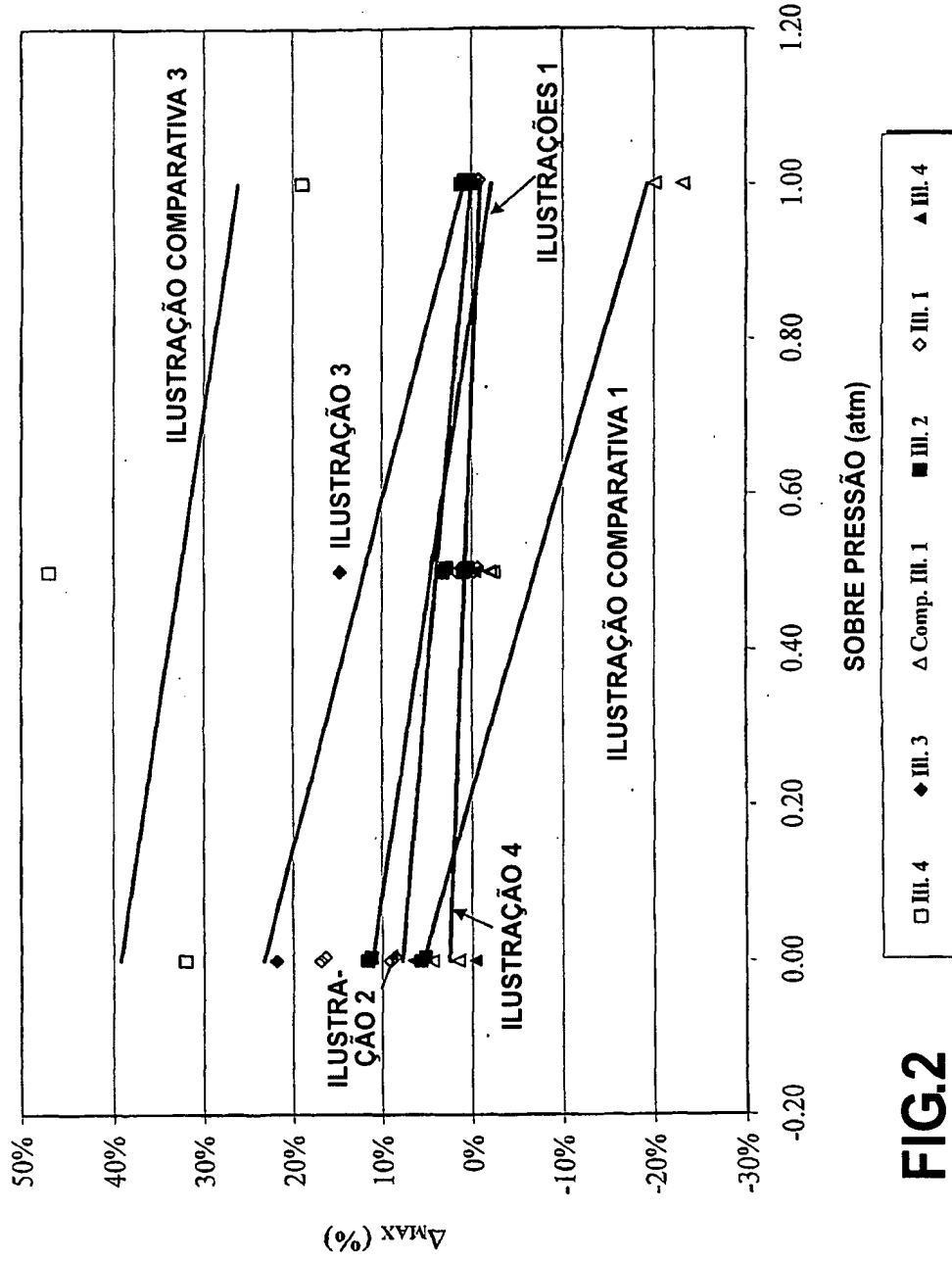


FIG.2

RESUMO

"MEMBRO ABSORVENTE DE ENERGIA, MÉTODO PARA FORMAR UM MEMBRO ABSORVENTE DE ENERGIA E VEÍCULO".

A invenção consiste num membro absorvente de energia, compreendendo um polímero celular termoplástico amorfo em contáto com um elemento estrutural, sendo que cerca de 5 pelo menos 50% das células do polímero celular amorfo são células fechadas e as células fechadas possuem uma pressão de gás de cerca de 0,5 atmosfera a cerca de 1,4 10 atmosferas à temperatura ambiente.