

11º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS

16 a 20 de Outubro de 2011
Campos do Jordão - SP



EFEITO COMBINADO DA RADIAÇÃO GAMA E *STRESS CRACKING* NO POLIESTIRENO

Fernando A. Amorim¹, Leonardo G. A. Silva², Marcelo S. Rabello^{1*}

1 - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB – marcelo@dema.ufcg.edu.br

2 - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, SP

Resumo: Este trabalho teve como objetivo de avaliar o efeito combinado da radiação gama com o *stress cracking* no poliestireno. Para tanto, foram utilizados três diferentes *grades* de poliestireno. O material foi submetido a ensaios mecânicos de tração e relaxação, análise do peso molecular viscosimétrico e determinação do teor de reticulação. Os resultados mostraram que houve aumento na resistência a tração do poliestireno nos corpos de prova que sofreram radiação gama, o poliestireno de maior massa molar apresentou melhores propriedades mecânicas e após sofrer o efeito da radiação gama chegou a ocorrer um aumento de até 5,67% na resistência ao contanto com o butanol.

Palavras-chave: Poliestireno; radiação gama; *stress cracking*; propriedades mecânicas

COMBINED EFFECT OF GAMMA RADIATION AND *STRESS CRACKING* IN POLYSTYRENE

Abstract: This study aimed to evaluate the combined effect of gamma radiation and *stress cracking* in polystyrene. Three different grades of polystyrene were analysed. The material was submitted to tensile tests and relaxation, analysis of molecular weight and determination of crosslinking. The results showed an increase in tensile strength in the specimens that had been exposed to radiation. The higher the molecular weight polystyrene showed better mechanical properties and after suffering the effects of gamma radiation there was an increase of 5.67% in the resistance to *stress cracking* effects.

Keywords: Polystyrene; gamma radiation, *stress cracking*, mechanical properties

Introdução

O poliestireno é um polímero que apresenta diversas aplicações na indústria de plástico, no entanto se mostra sensível quando submetido a altas radiações e ao *stress cracking*, reduzindo suas propriedades mecânicas e causando falha prematura^[1].

Quando o polímero é submetido a ação de uma radiação muito alta, ele responde de maneira complexa, desde quebra de ligações (cisão) ou a formação de reticulações no polímero. Se ocorrer a cisão nas moléculas a degradação está associada com a redução da massa molecular^[2].

A exposição simultânea a uma tensão e a um agente ativo, em polímeros, geralmente resulta em uma dramática redução do seu tempo de fratura; este tipo de falha é conhecida como *Environmental Stress Cracking* (ESC). Este comportamento depende principalmente da concentração do agente de *stress cracking*, temperatura, tempo de exposição e a força (tensão)

aplicada sobre o polímero^[3]. Atualmente acredita-se que cerca de 25 % de todos os problemas de falhas em peças poliméricas sejam causados por stress-cracking^[4].

Quando o fluido é absorvido localmente pelo polímero ocorre uma redução das interações entre as cadeias poliméricas causando um efeito localizado de plastificação. Nesta micro região plastificada tem-se uma facilidade na propagação da fissura de forma lenta e gradual, intensificado até resultar em falha catastrófica^[5].

Estudos realizados anteriormente utilizando o efeito combinado da radiação gama e stress cracking no poli(metil metacrilato)^[6] e policarbonato^[7] mostraram que a radiação gama provocou cisão nas cadeias dos polímeros reduzindo suas propriedades mecânicas e intensificando o efeito do *stress cracking*. O presente trabalho teve o intuito de estudar o efeito combinado da radiação gama e *stress cracking* no poliestireno (em três diferentes *grades*).

Experimental

Materiais

O material utilizado nesse trabalho foi o poliestireno atático ou “General Purpose” (GPPS). Utilizou-se três diferentes *grades* deste material: N1921, N1841 e N2380 (Índice de fluidez de 20, 11 e 2 g/10min, respectivamente) fornecido pela INNOVA.

Como agente ativo nos testes de *stress cracking* foi utilizado o butanol, e como solvente para o polímero no ensaio de viscosimetria e teor de gel foi utilizado o tolueno, ambos produzidos pela VETEC.

Moldagem

O Poliestireno foi moldado por injeção, no formato de corpos de prova para testes de tração tipo I, segundo a norma ASTM D-638, utilizando-se uma injetora de rosca, da marca FLUIDMEC, modelo H3040 operando a 165-180°C (dependendo do *grade*) com temperatura do molde de 40°C.

Radiação Gama

As amostras de PS foram irradiadas à temperatura ambiente em presença de ar em um irradiador de Co60 Gammacell-220, com taxa máxima de 2,39 kGy/h. O material foi submetido a doses de 10 a 80 kGy.

Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado na Máquina Universal EMIC linha DL (200kgf e 2000kgf) coletando dados de resistência tênsil e deformação de ruptura, que foram obtidos diretamente no software acoplado ao equipamento. Foram utilizadas três diferentes velocidades para o ensaio: 5, 1 e

0,5 mm/min e foram ensaiados os corpos de prova com e sem a presença do butanol e radiação gama.

Viscosimetria

A determinação dos parâmetros viscosimétricos foi realizada a $30 \pm 0,1^\circ\text{C}$, utilizando-se um viscosímetro capilar do tipo Ubbelohde U 4944 2KRK ($\Phi = 0,75$ mm). A viscosidade intrínseca $[\eta]$ foi calculada de modo em que realizou-se várias medições de viscosidade relativa ($\eta_{\text{rel}} = t/t_0$) e em seguida traçou-se o gráfico da viscosidade reduzida ($\eta_{\text{red}} = [\eta_{\text{rel}} - 1]/c$) em função da concentração, extrapolando $c = 0$ ^[8], da seguinte forma: $[\eta] = (\eta_{\text{sp}}/c)_{c=0}$. Com o valor de $[\eta]$ pode-se calcular a massa molar viscosimétrica média a partir da Eq. (1):

$$M_V = 0,725 \sqrt{\frac{[\eta]}{11 \cdot 10^{-3}}} \quad (1)$$

Determinação do teor de reticulação

Esta análise foi realizada introduzindo-se aproximadamente 0,3 g de poliestireno em um envelope de papel filtro fechado, disposto no interior de um balão volumétrico contendo tolueno, o qual foi mantido sob ebulição durante 12 horas. Decorrido este tempo, o envelope foi removido do interior do balão e seco em uma estufa operando a 50°C por 72 horas. Por fim, foram pesados os envelopes e determinando o teor de material reticulado^[9].

Resultados e Discussão

Efeito da radiação gama

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos no ensaio de viscosimetria para a determinação da massa molar viscosimétrica do poliestireno. Foi escolhido o PS – N1921, observando-se que quanto maior a dose da radiação menor a massa molar do polímero, consequentemente maior a cisão de cadeias no polímero.

Tabela 1 - Viscosidade intrínseca e massa molar para o poliestireno (PS – N1921) antes e após a irradiação.

Dose (KGy)	Viscosidade intrínseca	Massa molar
0	0,683	170515
10	0,635	154210
20	0,551	126799
40	0,584	137391
80	0,501	111207

A Tabela 2 mostra os percentuais de reticulação do PS em função da dose de radiação gama. Observa-se que as doses de radiação aplicadas levam à reticulação parcial do poliestireno, mas essa tendência não ocorre de forma sistemática.

Tabela 2 – Teor de polímero reticulado (PS – N1921)

Dose (KGy)	% em massa de PS reticulado
0	0
10	16,62
20	7,77
40	24,08
80	11,37

A Fig. 1 mostra resistências a tração em função da dose da irradiação para ensaios realizados em diferentes velocidades (5, 1 e 0,5 mm/min) para os 3 grades empregados. Na maioria dos casos ocorre aumento na resistência a tração para doses de radiação acima de 0 KGy e que se tem valores máximos com doses de radiação de 10 KGy. Nota-se também que quanto menor o índice de fluidez (maior massa molar), maior é a facilidade de se obter melhores resistências à tração quando sofrem ação da radiação gama.

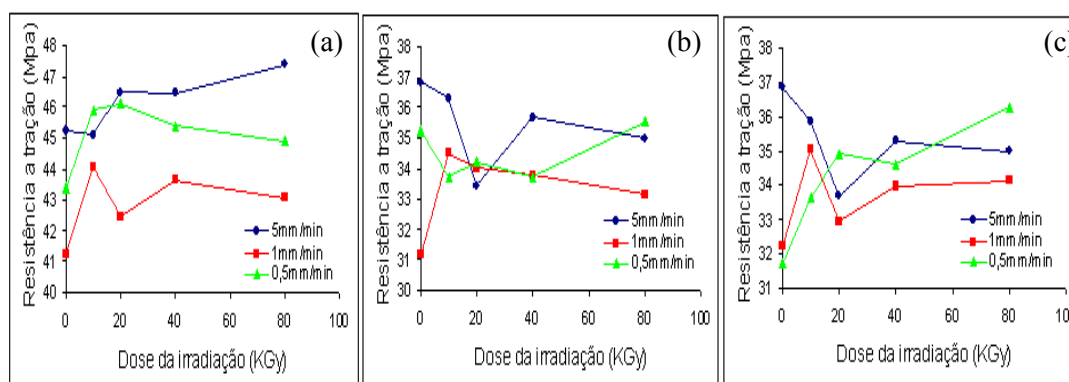


Figura 1: Resistência à tração em função da dose da irradiação (0, 10, 20, 40 e 80 KGy) em diferentes velocidades (5, 1 e 0,5 mm/min) para (a) PS – N1921, (b) PS – N1841, (c) PS – N2380.

Efeito combinado da radiação gama e stress cracking

A Fig. 2 mostra a resistência a tração dos três grades do poliestireno com diferentes doses de radiações com a presença do butanol. Para o PS – N1921 e PS – N1841 tem-se valores semelhantes de resistência a tração em todas as doses de radiação gama, no entanto o PS – N2380 se mostrou mais resistente ao stress-cracking quando sofre a ação da radiação gama com um aumento de até 5,67% na resistência ao contanto com o butanol.

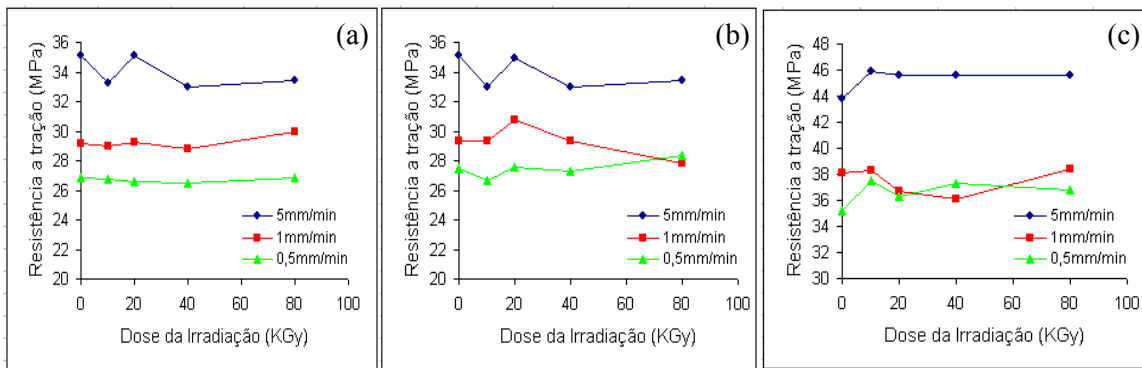
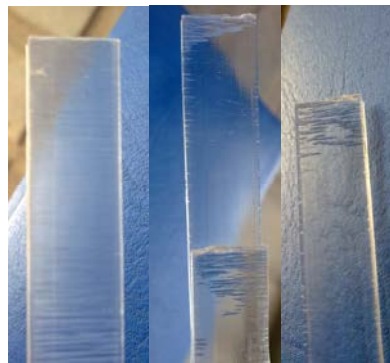


Figura 2 - Resistência à tração em função da dose da irradiação (0, 10, 20, 40 e 80 KGy) em diferentes velocidades (5, 1 e 0,5 mm/min) para (a) PS – N1921, (b) PS – N1841, (c) PS – N2380 com butanol.

Pode ser observado na Fig. 3 imagens de fissuras superficiais que indica o efeito visual causado pelo *stress cracking*, em que é o possível observar uma fratura frágil que na medida em que se utiliza uma menor taxa de deformação se tem *crazes* mais desenvolvidas indicando um maior tempo de contato com o agente químico.



5mm/min. 1mm/min. 0,5mm/min.

Figura 3: Fotografias das superfícies dos corpos de prova do PS - N2380 irradiados com uma dose de 80 KGy submetidos ao ensaio de tração na presença do butanol com diferentes taxas de deformação

Conclusões

A radiação gama causou alteração na estrutura molecular do poliestireno, com efeitos simultâneos de cisão de cadeia e de reticulação. Em termos de propriedades mecânica, observou-se um aumento na resistência a tração em todos os *grades* do poliestireno com efeito mais significativo para as amostras irradiadas com doses de 10 KGy. No efeito combinado de radiação gama e stress

cracking, não se observou ações sinérgicas com esses dois fatores, provavelmente pelos efeitos simultâneos de cisão de cadeia e reticulação química que a radiação gama provoca no poliestireno. A exceção ocorreu com o polímero de maior massa molar (PS – N2380), onde foi observado maior resistência a ação do stress cracking para as amostras que sofreram exposição à radiação gama quando comparado com as amostras não irradiadas.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro e a INNOVA por fornecer o polímero utilizado neste trabalho.

Referências Bibliográficas

1. A.R. Sousa; K.L.E. Amorim; M.S. Rabello, The combined effect of photodegradation and stress cracking in polystyrene. *Polymer Degradation and Stability*, 2006, Vol. 91, 1504-1512.
2. V.R. Gowariker, J. Sreedhar, N.V. Viswanathan, *Polymer science*. New age international, 1986, 277-279.
3. D. C. Wright, *Environmental Stress Cracking of Plastics*, Shawbury. Shrewsbury (Shropshire, UK): Rapra Technology, 1996.
4. J. A. Jansen, *Advanced Materials & Processing*, June 2004, 50-55.
5. M. A. De Paoli, *Apostila do Curso: Polímeros: Degradação e Estabilização*: UNICAMP, 2008.
6. A.R, Sousa et al. The stress cracking behaviour of poly(methyl methacrylate) after exposure to gamma radiation. *Polymer Degradation and Stability*, 2007, Vol. 92, 1465-1475.
7. R.N. Melo, L.G.A. Silva, M.S. Rabello in *Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros*, Foz do Iguaçu, 2009.
8. S.V. Canevarolo, *Ciência dos polímeros*. Artiber Editora, 2006, 252-255.
9. M.W.S. Silva, *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Campina Grande, 2008.