

EFEITOS DA DISTRIBUIÇÃO ALEATÓRIA DE PARTÍCULAS DE SiC EM MATRIZ DE ALUMÍNIO E A RESPOSTA ELÁSTICA E PLÁSTICA DO MATERIAL COMPÓSITO

Zoroastro de Miranda Boari*

IPEN-CNEN, Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais, São Paulo.

zoroastr@uol.com.br Fax : (+55) (11) 6642 9100

Waldemar Alfredo Monteiro*

IPEN-CNEN, Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais, São Paulo.

wamonte@net.ipen.br Fax : (+55) (11) 3816 9370

Carlos Alexandre de Jesus Miranda*

IPEN-CNEN, Engenharia Nuclear – Departamento de Mecânica Estrutural, São Paulo.

cmiranda@net.ipen.br Fax : (+55) (11) 3816 9428

* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Av. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária

São Paulo – SP – Brasil – CEP 05508 – 900

Resumo. A distribuição aleatória de partículas de SiC em matrizes de alumínio afeta o comportamento elástico e plástico dos compósitos. Há diversos métodos para avaliar este efeito, incluindo o método dos elementos finitos, o método de Eshelby e a mecânica das discordâncias. Este estudo empregou um modelo matemático para a resposta elástica, onde a lei de distribuição de Maxwell – Boltzmann foi usada para determinar as tensões térmicas, comparando a formulação matemática com os modelos em elementos finitos. Também foi estudada a deformação plástica por meio do método dos elementos finitos para uma distribuição aleatória de partículas de SiC em matrizes de alumínio. O modelo matemático proposto e o estudo numérico foram aplicados para estabelecer os campos de tensão térmica no compósito devido ao seu processo de fabricação. A mistura entre as fases é feita a 600 °C e o compósito é usado na temperatura ambiente.

Palavras – chave: compósitos de matriz metálica, compósitos reforçados por partículas, modelo matemático de compósitos de matriz metálica.

1. INTRODUÇÃO

A distribuição de partículas de SiC em matrizes de alumínio apresenta diferentes graus de influência no comportamento mecânico do material compósito, tanto no regime elástico quanto no regime plástico. É inerente ao processo de fabricação formarem-se agrupamentos de partículas na matriz. Neste caso, podemos afirmar que quanto maior o percentual de agrupamentos, menor é a resistência do compósito. Assim, a maior resistência ocorre quando a distribuição de partículas é uniforme para uma mesma fração volumétrica, o que justifica um modelo matemático que trate da distribuição não uniforme de partículas e sua relação com a resistência do material compósito.

O objetivo deste trabalho é estudar essa relação, considerando partículas de SiC e matriz de alumínio, propor um modelo matemático, por meio de tratamento estatístico, para o comportamento elástico do compósito e apresentar dois modelos numéricos, um para o regime elástico e outro para o regime plástico, usando método dos elementos finitos. Em todos os modelos são determinadas as tensões térmicas devidas a diferença entre os valores dos coeficientes de expansão térmica da matriz e do reforço. O modelo matemático utiliza a lei de distribuição de Maxwell – Boltzmann para

relacionar a distribuição de partículas com a resistência do compósito por meio da tensão de Eshelby.

2. PROBABILIDADE DE UMA DISTRIBUIÇÃO

Este trabalho é um ajuste das considerações de Beiser (1963) e Reif (1985) sobre Mecânica Estatística, a qual pode, com algumas adaptações, auxiliar na determinação do comportamento mais provável de um sistema de partículas em um meio sólido. Trata-se de investigar a probabilidade de uma partícula possuir, em um dado instante, uma dada posição e associar a essa posição uma quantidade de tensão. Este desenvolvimento analítico é válido para regime linear.

Para tanto, este trabalho desenvolve um modelo que sugere que a matriz de alumínio seja dividida em K células com áreas $a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$. Se as partículas de SiC forem jogadas de maneira completamente casual sobre a matriz, de modo que nenhuma parte fique favorecida, marca-se quantas partículas caem em cada célula. Se as partículas forem jogadas mais uma vez, ter-se-á outra distribuição. Se esta experiência for repetida inúmeras vezes, verificar-se-á que uma certa distribuição de partículas ocorrerá com mais frequência. Este trabalho pesquisa esta distribuição mais provável de partículas e fornece a distribuição de tensões correspondente.

2.1. Estatística de Maxwell – Boltzmann

Segundo Beiser (1963), a lei de distribuição de Maxwell – Boltzmann é dada pela Eq. (1), onde n_i é o número mais provável de partículas em uma célula i , g_i representa a probabilidade a priori de que uma partícula caia na célula i , α e β são os multiplicadores de Lagrange, usados para se encontrar o máximo ou o mínimo de uma função sujeita a restrições:

$$n_i = g_i e^{-\alpha} e^{-\beta u} \quad (1)$$

Nesta expressão o termo $e^{-\alpha}$ refere-se à distribuição de partículas, enquanto que o outro ($e^{-\beta u}$) indica a partição de energia (u) entre as partículas em função de sua posição, lembrando que a função acima considera um conjunto discreto de energia. Para o objetivo deste trabalho é melhor considerar-se um conjunto contínuo de energia. Então, a equação passa a ser:

$$n(u)du = g e^{-\alpha} e^{-\beta u} du \quad (2)$$

O primeiro membro $n(u)du$ indica a quantidade de partículas com energia entre u e $u+du$. Originalmente, u representa a energia cinética das moléculas de um gás. Neste trabalho a energia cinética será trocada pela energia potencial elástica associada a partículas em matriz de metal. Assim, a Eq. (2) pode ser dada por:

$$n(\sigma)d\sigma = g e^{-\alpha} e^{-\beta \frac{\sigma^2}{2E}} d\sigma \quad (3)$$

Nesta equação, E representa o módulo de Young e σ é a tensão. Boari (2003) desenvolveu a Eq.(3), considerando o método modificado de Eshelby apresentado por vários autores (Clyne et al., 1993; Taya et al., 1989; Withers et al., 1989; Taya et al., 1990; Arnenault et al., 1987), baseado no balanço interno de tensões, chegando à lei de distribuição de Maxwell – Boltzmann modificada, apresentada pela Eq. (4).

$$n(\sigma) = 4\pi N \left(\frac{3}{2C_M K\pi} \right)^{3/2} \sigma^2 e^{-\frac{3\sigma^2}{K2C_M}} \quad (4)$$

Onde

$$K = f C_M [(S-I) \varepsilon_{kl}^*]^2 \quad (5)$$

Ou

$$K = f C_M \{(S-I)\{(C_M - C_1)[S-f(S-I)] - C_M\}^{-1} C_1 (\alpha_1 - \alpha_M) \Delta T\}^2 \quad (6)$$

Onde N é o número total de partículas, f é a fração volumétrica, S é o tensor de Eshelby, I é a matriz identidade e α_M e α_1 são tensores de coeficientes de expansão térmica da matriz e das partículas, respectivamente, e ΔT representa a variação de temperatura.

Os componentes do tensor elástico da matriz (C_M) e das partículas (C_1) são dados por:

$$\begin{aligned} C_{Mii} &= E_M (1 - \nu_M) / (1 - 2\nu_M) (1 + \nu_M); \\ C_{Mij} &= E_M \nu_M / (1 - 2\nu_M) (1 + \nu_M); \\ C_{M44} &= E_M / 2 (1 + \nu_M); \\ C_{1ii} &= E_1 (1 - \nu_1) / (1 - 2\nu_1) (1 + \nu_1); \\ C_{1ij} &= E_1 \nu_1 / (1 - 2\nu_1) (1 + \nu_1); \\ C_{144} &= E_1 / 2 (1 + \nu_1) \end{aligned} \quad (7)$$

E_M e E_1 são os módulos de elasticidade da matriz e das partículas e ν_M e ν_1 representam os coeficientes de Poisson da matriz e do reforço, respectivamente.

A Equação (4) representa a função de distribuição de tensões dentro do material compósito com distribuição aleatória de partículas de SiC em matriz de alumínio.

2.2. A Tensão Mais Provável

A tensão mais provável de ocorrer no compósito (σ_p) é obtida pelo valor máximo da Equação (4) e é dada por:

$$\sigma_p^2 = \frac{2f C_M^2 \{(S-I)\{(C_M - C_1)[S-f(S-I)] - C_M\}^{-1} C_1 (\alpha_1 - \alpha_M) \Delta T\}^2}{3} \quad (8)$$

2.3. A Tensão Média

A tensão média ($\bar{\sigma}$) é obtida por:

$$\bar{\sigma} = \frac{\int_0^{\sigma_p} \sigma n(\sigma) d\sigma}{N} \quad (9)$$

Com

$$n(\sigma) = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sigma_p} \left(\frac{\sigma^2}{\sigma_p^2} \right) e^{-\left(\frac{\sigma^2}{\sigma_p^2}\right)} \quad (10)$$

A solução desta equação é:

$$\bar{\sigma} = 1,13\sigma_p \text{ (tensão média)} \quad (11)$$

2.4. Tensão Média Quadrática

A tensão média quadrática é:

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\int_0^{\infty} \sigma_{ij}^2 n(\sigma) d\sigma}{N} \quad (12)$$

A solução da Equação (12) é:

$$\bar{\sigma} = 1,225\sigma_p \quad (13)$$

3. MATERIAIS E OS MÉTODOS DE SIMULAÇÃO

Em compósitos, as fases têm grandes diferenças nos coeficientes de expansão térmica. A fabricação dos compósitos a elevadas temperaturas resulta no desenvolvimento de uma apreciável tensão térmica quando do seu resfriamento. Usualmente, um sistema Al/SiC é fabricado a temperaturas ao redor de 600 °C.

A distribuição de tensões térmicas, que surge no resfriamento durante o processo de fabricação, considerando apenas o regime elástico, é determinada por meio da Eq. (4), enquanto que a tensão térmica mais provável de ocorrer no compósito é dada pela Eq. (8), usando os seguintes dados:

Módulo de Young da matriz: $E_M = 73\text{GPa}$, módulo de Young das partículas, $E_I = 450\text{GPa}$, coeficiente de expansão térmica do alumínio: $\alpha_M = 23,6 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$, coeficiente de expansão térmica das partículas de SiC: $\alpha_I = 4 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$, variação de temperatura: resfriamento a partir da temperatura de fabricação até a temperatura ambiente, $\Delta T = - 580 \text{ }^\circ\text{C}$.

O comportamento elástico e o plástico também podem ser obtidos usando técnica numérica, tal como o método dos elementos finitos, o qual foi escolhido para representar os respectivos modelos neste trabalho. Foram feitas 24 simulações com distribuições e tamanhos de partículas esféricas diferentes, produzidas por meio do gerador de números aleatórios, obtendo-se um bom refinamento de malhas em todas as simulações. Em cada simulação tem-se uma fração volumétrica própria. Para este trabalho, foram selecionados dois casos de distribuição aleatória de partículas. Primeiramente, as tensões térmicas foram determinadas no regime elástico utilizando a formulação analítica e simulações numéricas. Em seguida, considerando os mesmos casos, as tensões foram calculadas em regime plástico utilizando-se simulações numéricas adotando-se malhas idênticas a aquelas usadas nas análises lineares.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados do Modelo Analítico

O tensor de deformação térmica é dado por $\varepsilon_{kl}^{**} = (\alpha_I - \alpha_M)\Delta T =$

$$\begin{bmatrix} 0,011368 \\ 0,011368 \\ 0,011368 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A matriz de constantes elásticas da base de alumínio é dada por:

$$C_M = \begin{bmatrix} 10,8160 & 5,3273 & 5,3273 & 0 & 0 & 0 \\ 5,3273 & 10,8160 & 5,3273 & 0 & 0 & 0 \\ 5,3273 & 5,3273 & 10,8160 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,7443 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,7443 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,7443 \end{bmatrix} \times 10^{10}$$

A matriz de constantes elásticas da inclusão é dado por:

$$C_I = \begin{bmatrix} 48,3700 & 9,9100 & 9,9100 & 0 & 0 & 0 \\ 9,9100 & 48,3700 & 9,9100 & 0 & 0 & 0 \\ 9,9100 & 9,9100 & 48,3700 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 19,2300 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 19,2300 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 19,2300 \end{bmatrix} \times 10^{10}$$

O tensor de Eshelby para inclusão esférica é dado por:

$$S = \begin{bmatrix} 0,53234 & 0,06468 & 0,06468 & 0 & 0 & 0 \\ 0,06468 & 0,53234 & 0,06468 & 0 & 0 & 0 \\ 0,06468 & 0,06468 & 0,53234 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,23383 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,23383 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,23383 \end{bmatrix}$$

Os resultados apresentados são associados às seguintes frações volumétricas: 17,9% e 35%. A tensão mais provável (σ_p), a tensão média ($\bar{\sigma}$) e a tensão média quadrática ($\bar{\bar{\sigma}}$) para partículas esféricas são dadas na Tab. (1).

Tabela 1. Tensão mais provável, tensão média e tensão média quadrática.

FRAÇÃO VOLUMÉTRICA f %	TENSÃO MAIS PROVÁVEL $\sigma_{p_{ij}}$ (MPa)	TENSÃO MÉDIA $\bar{\sigma} = 1,13\sigma_{p_{ij}}$ (MPa)	TENSÃO MÉDIA QUADRÁTICA $\bar{\bar{\sigma}} = 1,225\sigma_{p_{ij}}$ (MPa)
17.9	352	398	432
35	471	532	577

As Figuras 1 e 2 mostram as funções de distribuição em regime elástico (respectivamente para 17,9% e 35% de fração volumétrica de partículas SiC).

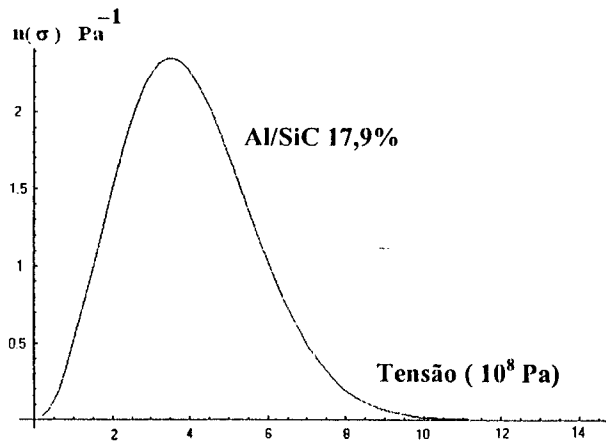


Figura 1. Função de distribuição em regime elástico (17,9% SiC)

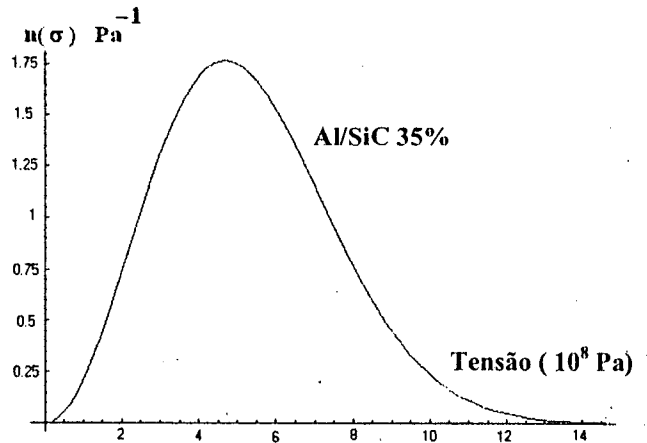


Figura 2. Função de distribuição em regime elástico (35% SiC)

4.2. Resultados das Simulações em Regime Linear

Nas figuras 3 e 4 são apresentados resultados típicos das simulações numéricas (elemento finitos) em regime linear, utilizando as mesmas frações volumétricas de partículas SiC (17,9% e 35%).

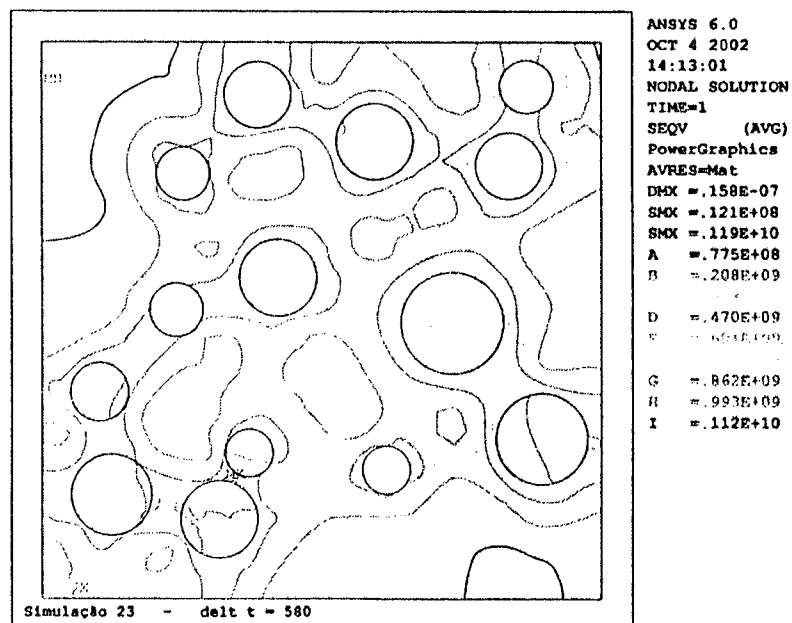


Figura 3. Simulação em elementos finitos para regime elástico (17,9% SiC)

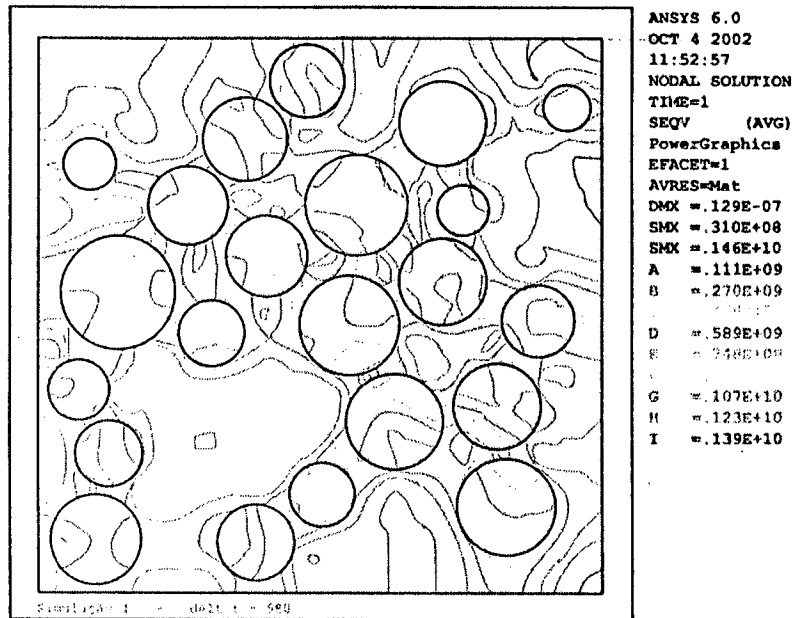


Figura 4. Simulação em elementos finitos para regime elástico (35% SiC)

4.3. Resultados das Simulações em Regime Não-Linear

Nas figuras 5 e 6 são apresentados dois resultados típicos das simulações numéricas (elemento finitos) em regime não-linear, utilizando as mesmas frações volumétricas de partículas SiC (17,9% e 35%). Ressalte-se que as malhas de elementos finitos utilizadas nas simulações lineares e não-lineares são idênticas.

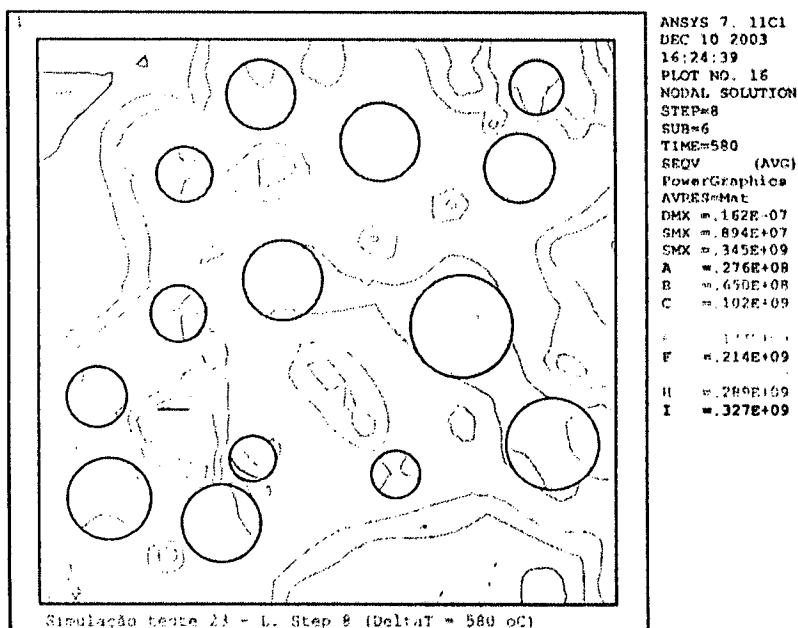


Figura 5. Simulação em elementos finitos para regime plástico (17,9% SiC)

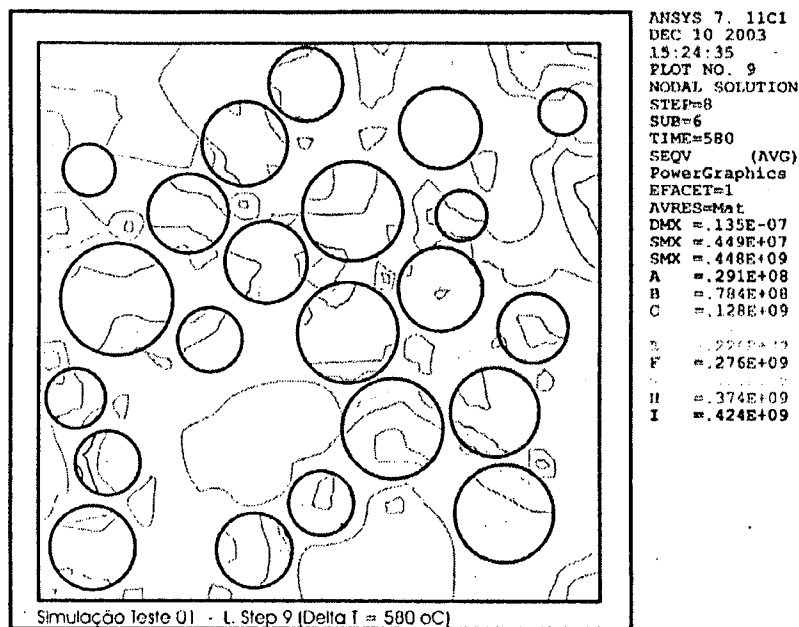


Figura 6. Simulação em elementos finitos para regime plástico (35% SiC)

5. DISCUSSÃO

Com a Equação (4) determina-se a distribuição de tensões geradas durante resfriamento no processo de fabricação do compósito. As Figuras (1) e (2) apresentam esta distribuição de tensões para os casos com frações volumétricas de 17,9% e 35%. Pode-se perceber que a distribuição de tensões depende da fração volumétrica. A probabilidade de que uma determinada partícula corresponda a uma tensão tem um valor bem definido, em geral diferente de zero. O valor de tensão correspondente ao máximo da função representada pela Eq. (4) é obtido pela Eq.(8) e é o valor mais provável de ocorrer. A distribuição de tensões pode ser caracterizada por esse valor. As tensões mais prováveis de ocorrer, para as frações volumétricas acima, estão expressas na Tab. (1) e seus valores estão bem próximos dos valores das linhas de isotensão mais freqüentes nos resultados obtidos por elementos finitos. As linhas de isotensão mais freqüentes foram identificadas através de um analisador de imagens. É importante notar que, no gráfico da distribuição de tensões, a área entre dois valores de tensão representa a quantidade de partículas por unidade de tensão.

As Figuras (1) e (2) claramente mostram que os gráficos da distribuição de tensões térmicas coincidem com as faixas de tensão obtidas por meio de elementos finitos e mostradas pelas Fig. (3) e (4) para o caso do comportamento elástico. As figuras, então, indicam coerência de resultados. As 24 simulações feitas por Boari et al. (2003) indicam que em todos os casos os resultados obtidos por elementos finitos coincidem com os resultados do modelo matemático desenvolvido para o comportamento elástico do compósito.

É natural supor que a introdução de alta fração volumétrica de partículas SiC na matriz de alumínio pode fazer crescer notavelmente a quantidade de agrupamentos de partículas e fazer decrescer a resistência do material compósito (Christman et al., 1989) e o seu coeficiente de expansão térmica (Kim et al., 2001). O comportamento mecânico do compósito, tanto no regime elástico quanto no regime plástico, tem forte relação com a não uniformidade da distribuição de partículas de SiC e com a razão de aspecto destas (Geni et al., 1998), o que torna importante uma avaliação da distribuição de tensões em função da distribuição de partículas.

No caso do regime plástico, durante o resfriamento, quase que a matriz inteira sofre deformação plástica, a qual é mais alta em áreas adjacentes às partículas, o que está de acordo com Shen et al. (1995).

O modelo de comportamento plástico, representado pelas Fig. (5) e (6), obtido por meio dos elementos finitos, em comparação com o modelo de comportamento elástico, leva à conclusão que os efeitos de tensões térmicas são atenuados pelo desenvolvimento de apreciável plasticidade na

matriz, cuja ductilidade é capaz de absorver grande parte da tensão localizada, deformando-se plasticamente, e aumentando a densidade de discordâncias ao redor das partículas, sendo este o principal mecanismo de resistência do material compósito. Isto significa que a existência de tensões térmicas realça o encruamento no compósito durante o resfriamento devido às diferenças entre os coeficientes de expansão térmica entre a matriz dúctil e o reforço frágil.

A história do processo termomecânico do material é também determinante para a magnitude da tensão térmica produzida no resfriamento e para a distribuição de partículas. Além disso, a resistência do compósito depende da liga da matriz e também da composição da fase dispersa (Humphreys et al., 1991).

6. CONCLUSÕES

Durante o resfriamento, devido à diferença entre os coeficientes de expansão térmica da matriz e do reforço, áreas adjacentes às partículas sofrem deformação plástica e, portanto, um aumento de densidade de discordâncias, o qual constitui o principal mecanismo de resistência do material compósito. O presente estudo resultou nas seguintes conclusões:

1) Há consenso, confirmado neste trabalho, de que a não uniformidade da distribuição de partículas de SiC na matriz de alumínio tem forte efeito nas relações entre tensão e deformação do compósito, as quais dependem também da fração volumétrica de partículas na matriz.

2) A aproximação matemática apresentada aqui indica um método eficaz para relacionar a distribuição de partículas com as tensões térmicas desenvolvidas durante resfriamento devido às diferenças nos coeficientes de expansão térmica entre a matriz de alumínio e os reforços de SiC. Este método mostrou-se tão eficiente quanto o método de elementos finitos para estimar estas tensões térmicas. O presente modelo matemático pode analisar a resposta elástica, em função da distribuição espacial de partículas, para qualquer compósito de duas fases.

3) Considerando o gráfico da distribuição de tensões obtido por meio do modelo matemático proposto, pode-se observar que a área abaixo da curva limitada entre dois valores de tensão é igual ao número de partículas relacionadas com estas tensões. O gráfico estabelece a quantidade de partículas por unidade de tensão.

4) O modelo matemático apresentado neste trabalho é capaz de analisar o comportamento elástico. Estudos futuros devem ampliar a formulação para o campo plástico, no entanto, por enquanto, o método de elementos finitos continua sendo o mais potente para a análise plástica.

7. REFERÊNCIAS

- Arsenault, R. J.; Taya, M., 1987, "Thermal Residual Stress In Metal Matrix Composite", *Acta Metall. Mater.* v.35, n.3, pp. 651 – 659.
- Beiser, A., 1963, "Concepts of Modern Physics", 2^o Ed. Mc Graw – Hill Book Company, Inc., pp. 235 – 246.
- Boari, Z. M., 2003, "Modelo Matemático da Influência da Distribuição de Partículas de SiC nas Tensões Térmicas em Compósitos de Matriz Metálica", Tese de Doutorado, IPEN, São Paulo, pp. 50 – 75.
- Boari, Z. M.; Monteiro, W. A.; Miranda, C. A. J., 2003, "Mathematical Model of the Function Between Particles Distribution of SiC in Aluminum Matrix and the Composite Material Resistance", 2nd Brazil – MRS Meeting, Symposium E, Rio de Janeiro, p. 173
- Christman, T; Needleman A.; Suresh, S., 1989, "An Experimental and Numerical Study of Deformation in Metal - Ceramic Composites", Brown university - Providence- U.S.A.- *Acta Metall.* V. 37, No. 11, pp 3029- 3050.
- Clyne, T.W.; Withers, P.J., 1993, "An Introduction to Metal Matrix Composites", Cambridge University Press - First Ed., p. 44 - 64.
- Geni, M.; Kikuchi, M., 1998, "Damage Analysis of Aluminum Matrix Composite Considering Non – uniform Distribution of SiC Particles", *Acta Mater.* –Vol. 46, No. 9, pp 3125 – 3133.

- Humphreys F. J.; Basu, A.; Djazeb, M.R., 1991, "The Microstructure and Strength of Particulate Metal - Matrix Composites", Conference: Metal Matrix Composites - Processing, Microstructure and Properties - Publ: Riso National Laboratory, Materials Department, P.O. Box 49, DK - 4000 - Roskilde denmark; pp 51 - 66.
- Kim, B.G.; Dong, S.L.; Park, S.D., 2001, "Effects of Thermal Processing on Thermal Expansion Coefficient of a 50 vol.% SiC_p / Al Composite", Materials Chemistry and Physics 72, pp 42 - 47.
- Reif, F., 1985, "Fundamentals of Statistical and Thermal Physics", Singapore, McGraw - Hill International Editions, p. 262 - 265, p. 343 - 345. (Physics Series)
- Shen, Y.L.; Finot, M.; Needleman, A.; Suresh, S., 1995, "Effective Plastic Response of Two-Phase Composite", Acta Metall. Mater. V.43, No. 4, pp. 1701 - 1722.
- Taya, M.; Arsenault R.J., 1989, "Metal Matrix Composites" - Thermomechanical Behavior - Pergamon Press- First Edition, p. 32 - 35.
- Taya, M.; Lulay, K.E.; Lloyd, D.J., 1990, "Strengthening of a Particulate Metal Matrix Composite by Quenching", University of Washington - Seattle-U.S.A.- Acta Metall. Vol.39.No.1, pp. 73-87.
- Withers, P. J.; Stobbs, W. M.; Pedersen, O. B., 1989, "The Application of the Eshelby Method of Internal Stress Determination to Short Fiber Metal Matrix Composites", Acta Metall. Mater. v. 37, n. 11, pp. 3061 - 3084.

EFFECTS OF RANDOM DISTRIBUTION OF SiC PARTICULATE IN ALUMINUM MATRIX AND THE ELASTIC AND PLASTIC RESPONSE OF COMPOSITE MATERIAL

Zoroastro de Miranda Boari*

IPEN-CNEN, Material Science and Technology Center, São Paulo
zoroastr@uol.com.br Fax : (+55) (11) 6642 9100

Waldemar Alfredo Monteiro*

IPEN-CNEN, Material Science and Technology Center, São Paulo
wamonte@net.ipen.br Fax : (+55) (11) 3816 9370

Carlos Alexandre de Jesus Miranda*

IPEN-CNEN, Nuclear Engineering - Structural Mechanics Department, São Paulo
cmiranda@net.ipen.br Fax : (+55) (11) 3816 9428

* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
 Av. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária
 São Paulo - SP - Brasil - CEP 05508 - 900

ABSTRACT. The random distribution of SiC particulate in aluminum matrix affects the elastic and plastic responses of a composite. There are several methods to evaluate this effect, including finite element method, Eshelby method and dislocation mechanisms. This study employed an analytical formulation for elastic response where the Maxwell- Boltzmann distribution law was used in order to determine the thermal stress and compared this formulation with linear elastic results from the finite element analyses. The evaluation of the composite plastic response used the same meshes already used in the linear analyses. In both cases, random distributions of SiC particulate in the aluminum matrix were used. The proposed formulation and numerical studies were applied to establish the thermal stress field in the composite due to its fabrication process. The mixing is done at 600 °C and the composite is supposed to be used at room temperature. Both linear approaches give good agreement. Once there is no known analytical approach to obtain the non-linear response for this problem the numerical one is shown to be easily applicable.

Keywords: Material, Metal - matrix composites (MMCs), Particle - reinforced composites, Property, Modelling

Trabalho apresentado no CONEM 2004

III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica

10 a 13 de Agosto de 2004

Belém - PA

Título: “Efeitos da Distribuição Aleatória de Partículas de SiC em Matriz de Alumínio e a Resposta Elástica e Plástica do Material Compósito”

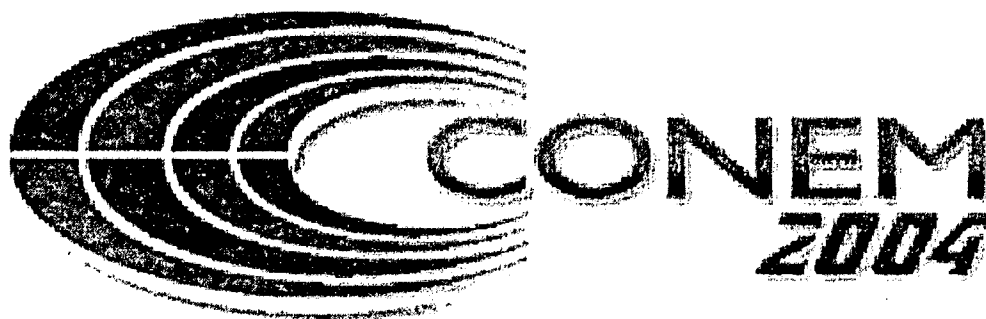
(Trabalho publicado em CD-ROM)

(Texto completo em anexo)

Autores: Zoroastro de Miranda Boari

Waldemar Alfredo Monteiro

Carlos Alexandre de Jesus Miranda (CEN/CENM)



III CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
10 a 13 de Agosto de 2004 – Belém – PA
CHAMADA DE TRABALHOS