

Construção de uma equação baseada na mecânica dos meios contínuos para o estudo da transição vítrea em metais: a influência da viscosidade.

André O. Guerrero (PG)^{1*}, Adalberto B. M. S. Bassi (PQ)¹

¹ Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, C.P. 6154, CEP 13084-971, Campinas, SP, Brasil.

Palavras Chave: *mecânica dos meios contínuos, estado vítreo, viscosidade, transição vítrea.*

Introdução

O estudo de estados fora do equilíbrio termodinâmico é de fundamental importância para a compreensão dos corpos físicos reais, porque estes estados, ao invés de corresponderem a um pequeno conjunto de exceções, correspondem à maioria, senão à quase totalidade dos corpos naturais observados.

Dentre estes estados, destacável importância deve ser dada ao vítreo, correspondente a materiais com a densidade e a rigidez características de um sólido e estrutura semelhante à de um líquido (estrutura com baixa reprodutibilidade a longas distâncias)¹. Este estado da matéria, termodinamicamente instável², desperta curiosidade e interesse até fora do meio científico³.

A mecânica dos meios contínuos apresenta-se como uma adequada abordagem teórica deste estado, dado que, além de não exigir o equilíbrio do sistema em estudo, também não exige a sua homogeneidade.

Considerando (1) o balanço de energia interna, (2) as considerações constitutivas referentes à dependência da energia em relação ao gradiente de velocidade em cada ponto do sistema, (3) a desigualdade para a entropia e (4) o metal fundido como sendo um fluido newtoniano, é possível obter uma equação, coerente com a mecânica dos meios contínuos, para o metal fundido. Tal equação pode ser utilizada para comparar a velocidade do processo de cristalização com a velocidade de aumento da viscosidade do sistema, quando submetido a diferentes taxas de resfriamento.

Resultados e Discussão

Considerar o metal fundido como um fluido newtoniano simplifica consideravelmente a forma do tensor de tração de Cauchy, T , ao manter apenas a dependência linear em relação à parte simétrica do gradiente de velocidade em cada ponto do sistema, D . Após a aplicação das considerações antes mencionadas, a forma final obtida para o tensor de tração de Cauchy é

$$T = -pI + 2\mu D + \lambda(\text{tr}D)I \quad (1).$$

Esta forma é coerente com o conhecido resultado, obtido para a tensão de cisalhamento exercida

sobre um fluido newtoniano presente entre duas placas, quando uma delas desliza sobre o líquido enquanto que a outra se mantém estacionária,

$$t_c = \mu(\partial v_1 / \partial x_2) \quad (2),$$

onde t_c é a tração cisalhante, v_1 é a velocidade na direção do escoamento das placas e x_2 é a direção normal às placas.

Para avaliar a variação da viscosidade com a temperatura foram utilizadas a equação e os dois conjuntos de constantes para o Zinco (séries 1 e 2) publicados por Brooks e colaboradores⁴, obtendo-se as curvas apresentadas na Figura 1.

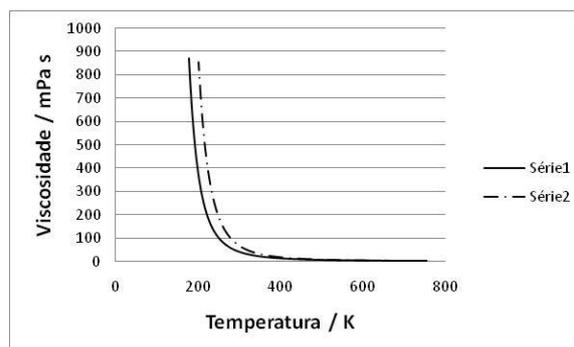


Figura 1. Viscosidade/(mPa s) X T/K.

Conclusões

O tensor de tração apresentado é coerente com resultados consolidados para os fluidos newtonianos. Além disto, juntamente com os dados da viscosidade em função da temperatura, obtidos em primeira aproximação por meio um modelo de Arrhenius, este tensor poderá ser aplicado à equação de balanço de energia. Isto permitirá futuras comparações entre as velocidades dos processos de cristalização e vitrificação.

Agradecimentos

À CAPES pela bolsa de doutorado que permitiu a realização deste trabalho.

¹ Berthier, L. Rev. of Mod. Phys. **2011**, 83, 587.

² Nemilov, S. V. Thermodynamic and Kinetic Aspects of the Vitreous State, CRC Press, Boca Raton, Florida (1995).

³ Zanutto, E. D. Am. J. of Phys. **1998**, 66 (5).

⁴ Brooks, R. F.; Dinsdale, A. T. e Quedsted, P. N. Meas. Sci. Technol. **2005**, 16, 354.