

FORMAÇÃO DE DANOS E ACÚMULOS DE VACÂNCIAS EM AISI 316L VIA IMPLANTAÇÃO IÔNICA

Francine Tatsch

Orientador: Paulo F. P. Fichtner

INTRODUÇÃO

Materiais estruturais de revestimento do combustível nuclear apresentam degradação em suas propriedades físicas devido a exposição à irradiação de nêutrons. Este é um problema crucial para a tecnologia de reatores nucleares, pois influencia na segurança operacional e na vida útil de componentes estruturais. Para simular a irradiação de nêutrons e os danos causados no material, a irradiação com feixes de íons energéticos é utilizada.

As modificações microestruturais resultam dos deslocamentos atômicos e da incorporação de gases inertes produzidos pelas reações de fissão. Neste projeto, há resultados de uma investigação dos efeitos de irradiação sobre o crescimento de cavidades e de bolhas de argônio. O estudo foi feito utilizando-se irradiação com íons energéticos para simular o efeito dos nêutrons.

METODOLOGIA

Lâminas finas de aço AISI 316L (Figura 1) foram polidas mecanicamente com lixas metalográficas e pastas de diamante. Essas amostras foram recozidas a 1100°C por 2 horas, sendo então implantadas com íons de Ar, recozidas a 550 °C por 2 horas, irradiadas com íons de Au a diferentes fluências causando um nível de danos de 20 e de 40 dpa, em amostras mantidas a temperaturas entre 450 a 550 °C. As amostras foram então preparadas para a análise na microscopia eletrônica de transmissão usando a técnica de desbaste mecânico seguida de desbaste iônico (Figura 2).

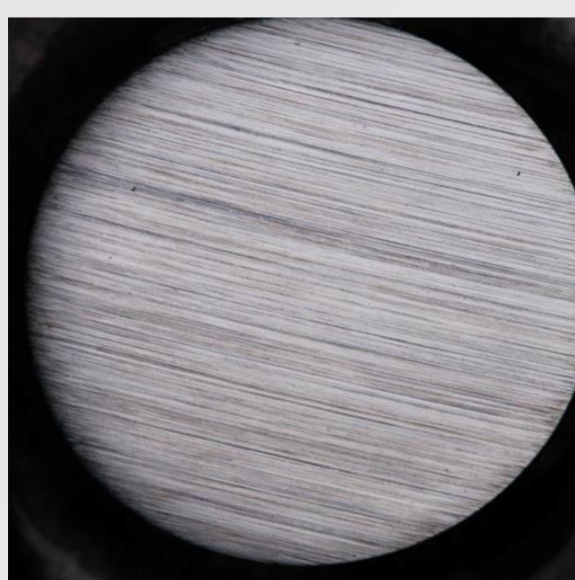


Figura 1: Microscopia óptica da amostra AISI 316 antes de iniciar o processo de polimento.

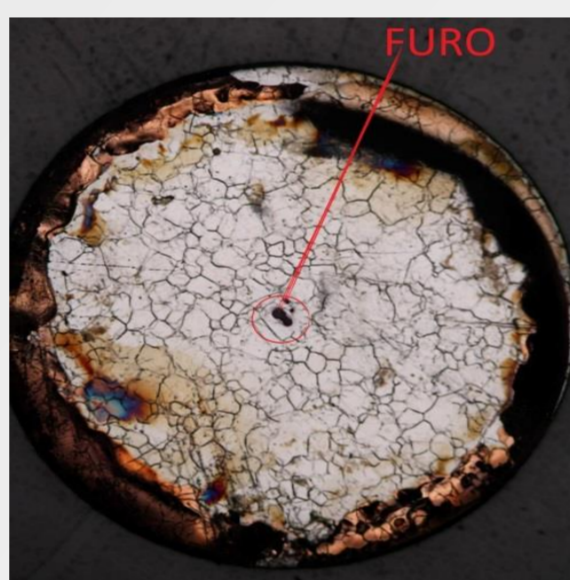


Figura 2: Microscopia óptica da amostra AISI 316 após etapa de desbaste iônico.

EMBASAMENTO TEÓRICO

Os principais mecanismos atômicos que controlam o crescimento térmico das bolhas são: Migração e Coalescência (Figura 3) e Ostwald Ripening (Figura 4). Ambos os mecanismos tem como força motriz a redução da energia total de interface do sistema bolha-matriz.

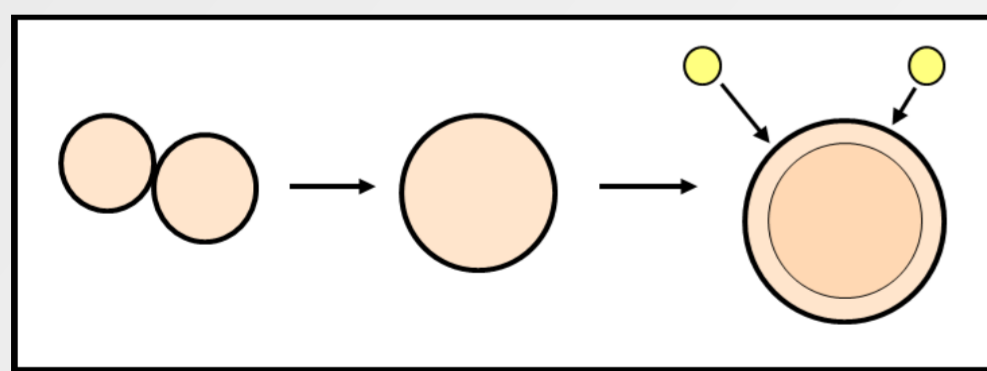


Figura 3: Representação do processo de Migração e Coalescência.

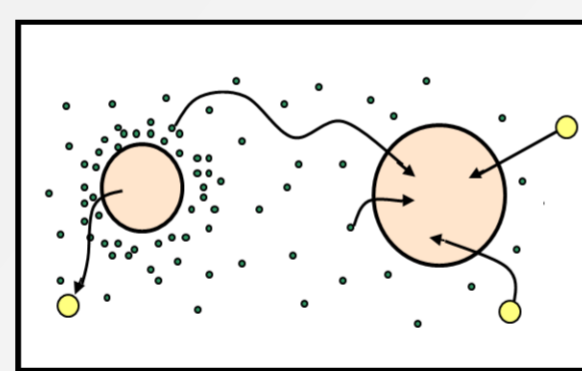


Figura 4: Representação do processo de Ostwald Ripening.

Migração e Coalescência: as bolhas tendem a migrar na matriz devido principalmente a difusividade dos átomos da matriz localizados na interface com a bolha. Quando duas bolhas se encontram ocorre a formação de uma bolha maior, reduzindo a energia livre do sistema através da relaxação de pressão e redução da energia livre de interface.

Ostwald Ripening: neste mecanismo ocorre a dissolução de átomos de gás e de vacâncias das bolhas menores. Os átomos de gás e as vacâncias tendem a migrar pela matriz e serem absorvidos pelas bolhas maiores. Neste processo as bolhas menores tendem a desaparecer e as maiores tendem a crescer, resultando na redução da energia livre de superfície e na relaxação de pressão do sistema como um todo.

RESULTADOS PARCIAIS

Um conjunto de amostras sem a implantação de Ar permitiu analisar os danos gerados apenas pela irradiação de Au, as quais apresentaram cavidades grandes e em pequena quantidade (Figura 5).

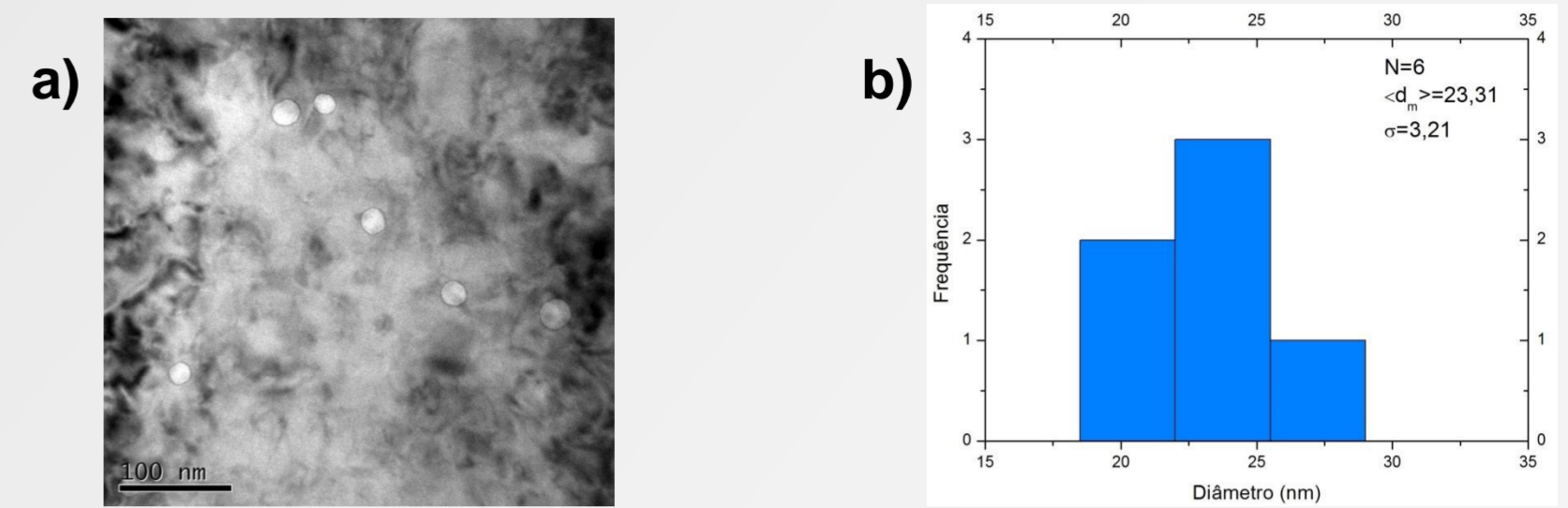


Figura 5: (a) Formação de cavidades a $T_i = 550$ °C e 40 dpa, sem pré-injeção de Ar e (b) histograma com dados estatísticos de contagem.

Nas amostras com Ar, a temperatura de irradiação influencia diretamente no crescimento das bolhas, pois para atingir o equilíbrio termodinâmico as bolhas tendem a crescer. A dose de irradiação também influencia no crescimento, pois influi no número de vacâncias, permitindo uma maior aglomeração e crescimento das bolhas. Na Figura 6, 7 e 8 pode-se observar a formação de bolhas a diferentes temperaturas e fluências, além de dados estatísticos.

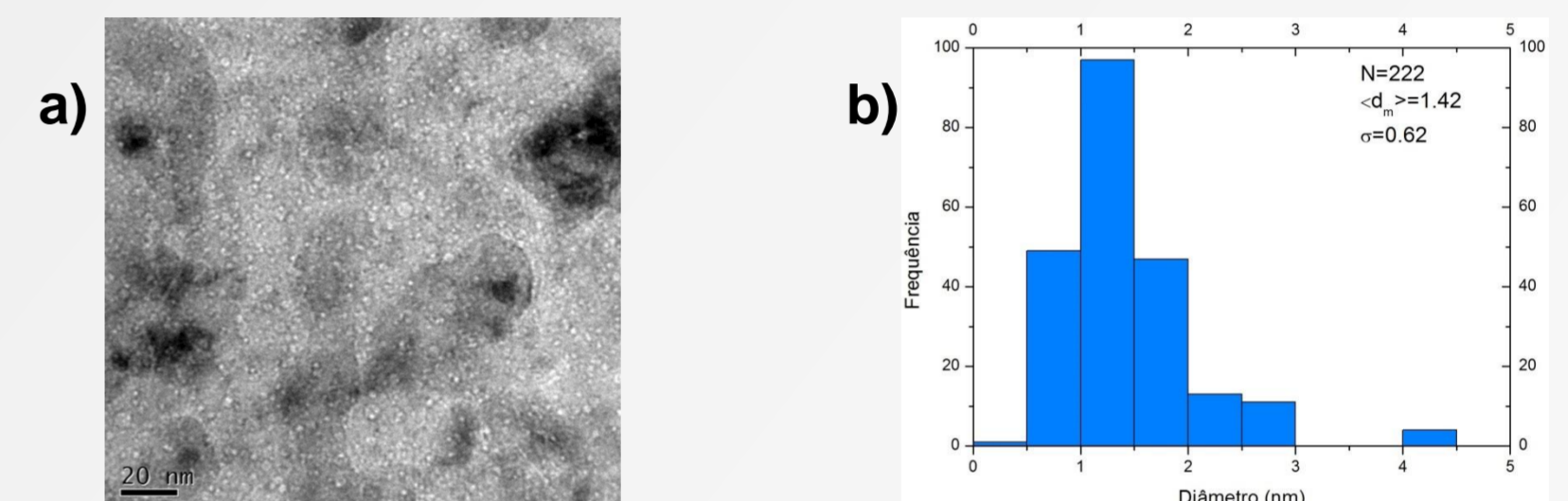


Figura 6: (a) Formação de bolhas a $T_i = 500$ °C e 20 dpa e (b) histograma com dados estatísticos de contagem.

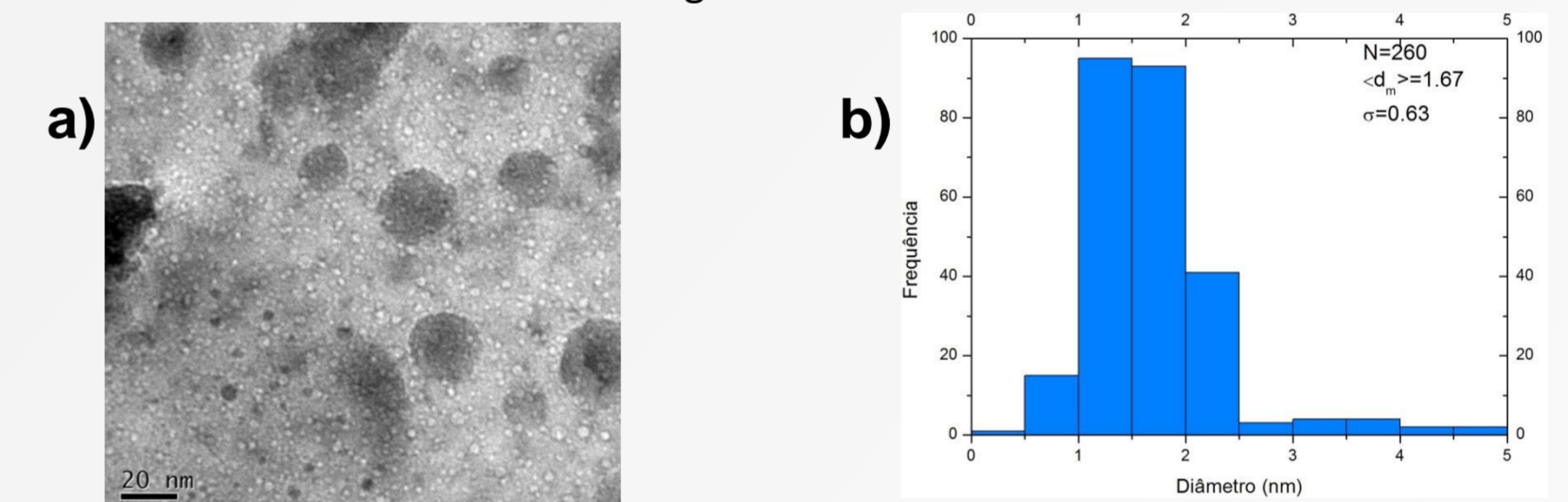


Figura 7: (a) Formação de bolhas a $T_i = 500$ °C e 40 dpa e (b) histograma com dados estatísticos de contagem.

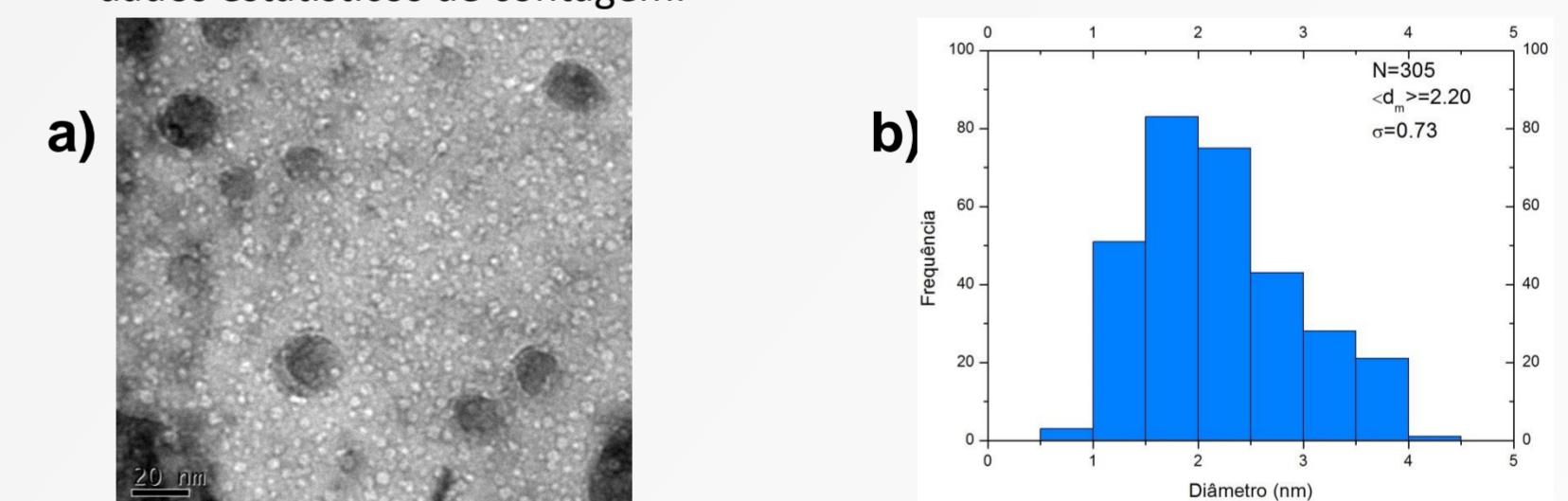


Figura 8: (a) Formação de bolhas a $T_i = 550$ °C e 40 dpa e (b) histograma com dados estatísticos de contagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados mostra que a razão dos volumes totais do sistema cavidades/bolhas é 6,52. Isto indica que a presença de Ar atuou de modo a evitar a aglomeração das vacâncias, fixando-as na forma de um grande número de bolhas muito pequenas, que contrasta com o sistema de poucas cavidades muito grandes. Além disso, esta razão sugere que existe um excesso de vacâncias no sistema contendo Ar, as quais explicam o surgimento de precipitados com misfit de volume positivo.

Referências:

- [1] Murty, K. L. & Charit, I. *An Introduction to Nuclear Materials: Fundamentals and Applications*. (Wiley-VCH, 2013).
- [2] Fichtner, P. F. P., Schroeder, H. & Trinkus, H., *A simulation study of ostwald ripening of Gas bubbles in metals accounting for real Gas behaviour*, v. 39, p. 1845-1852, 1991.

Agradecimentos:

À CAPES, ao CNPq, ao Laboratório de Implantação Iônica, ao Centro de Microscopia Eletrônica e aos meus colegas de laboratório Ítalo Martins Oyarzabal, Mariana de Mello Timm, Francine Silva Mendes de Oliveira e Willian Martins Pasini.