

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE TENSÕES RESIDUAIS EM CILINDROS

Eleir M. Bortoleto, Cristiano F. Lagatta e Roberto M. de Souza

USP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária, CEP 05508-900, São Paulo, SP
E-mail para correspondência: eleir.bortoleto@poli.usp.br

Introdução

No tratamento térmico de aços, vários processos são utilizados com o intuito de melhorar as propriedades físicas do material, sendo que cada tratamento é destinado a uma determinada melhoria nas características do aço, como dureza, tenacidade, etc. Contudo, as variações de temperatura impostas ao material geram gradientes térmicos e, conseqüentemente, tensões residuais que podem, por sua vez, gerar trincas dependendo da sua característica, orientação e magnitude.

A tensão residual gerada nos tratamentos térmicos pode ser provocada por dois processos. Num primeiro, eventuais diferenças de temperatura entre o centro e a superfície gera tensões, devido a gradientes de expansão térmica associados a gradientes de deformação plástica. Desse modo, considerando o aquecimento de um cilindro feito a partir da superfície, sabe-se que, no início, sua superfície tentará se expandir mais que o centro, mais frio, deixando este sob tensões trativas. No resfriamento ocorreria o contrário; a superfície, mais fria, se comprimiria enquanto o centro, ainda quente, resistiria a esta contração.

Outro processo que gera tensão residual é a transformação de fase. Com a mudança de fase do material, há alteração em sua estrutura cristalina, que expande ou contrai, gerando tensões no material, caso as variações volumétricas não se processem de maneira uniforme. Ebert (1978) analisa esses processos de forma qualitativa.

Objetivos

Este trabalho visa analisar o processo de tratamento térmico denominado “Through Hardening”, no qual um cilindro a uma temperatura homogênea de 850°C (1120K) é resfriado em líquido a 20°C (293K) por 150 segundos. Os resultados obtidos são comparados aos mostrados por Camarão *et al* (2000).

Metodologia

Para as análises numéricas foi construído um modelo utilizando-se o programa de Elementos Finitos ABAQUS. A malha de 360 elementos, mostrada na Figura 1, representa a seção transversal do cilindro de diâmetro $\phi = 45$ mm. Pode-se notar que a malha possui elementos menores na região próxima à superfície, de forma a permitir um maior detalhamento dessa área no modelo.



Figura 1. Representação da malha utilizada nas simulações

As propriedades do aço SAE 4140H, utilizadas nas simulações, variaram em função da temperatura segundo as Equações obtidas de Camarão *et al* (2000). Para se representar o método “Through Hardening” de tratamento térmico, foi considerado um modelo que impôs como condição de contorno para os nós da superfície a variação de temperatura verificada experimentalmente por Camarão *et al* (2000). Adotou-se, ainda, o estado plano de tensões, coerente com o adotado no trabalho citado.

Resultados

Nas simulações do tratamento térmico “Through Hardening” obteve-se a distribuição de temperaturas ao longo do tempo, apresentada na Figura 2. Pode-se observar que os resultados da simulação, apresentados na Figura 2A, são bem próximos aos obtidos por Camarão *et al* (2000), mostrados na Figura 2B.

A Figura 3 traz a distribuição de tensão ao longo do raio do cilindro para o instante final do processo. São analisadas a tensão radial (σ_r) e a tangencial (σ_θ). No gráfico A são mostradas as informações obtidas neste trabalho e no gráfico B as apresentadas por Camarão *et al* (2000). Nota-se uma diferença entre o comportamento das curvas A e B. Segundo o gráfico A, as regiões mais internas estão sob compressão e as próximas à superfície, sob tração. Já as curvas do gráfico B indicam a presença de duas regiões no cilindro com comportamentos diferentes, delimitadas por uma camada a 5 mm da superfície. Para raios inferiores a 17,5 mm observa-se um caráter trativo das tensões, e para os inferiores a esse valor nota-se um comportamento compressivo. Essa diferença entre os resultados dos dois modelos pode ser devida ao fato de neste trabalho se ter considerado que todo o cilindro passou pela transformação martensítica, enquanto que Camarão *et al* (2000) pode ter admitido a transformação apenas para uma camada de 5 mm a partir da superfície do cilindro. Isso porque os resultados da Figura 3A, ainda que diferentes dos de Camarão *et al* (2000), são qualitativamente coerentes com os apresentados por Ebert (1978), que prevê compressão no centro e tração na superfície.

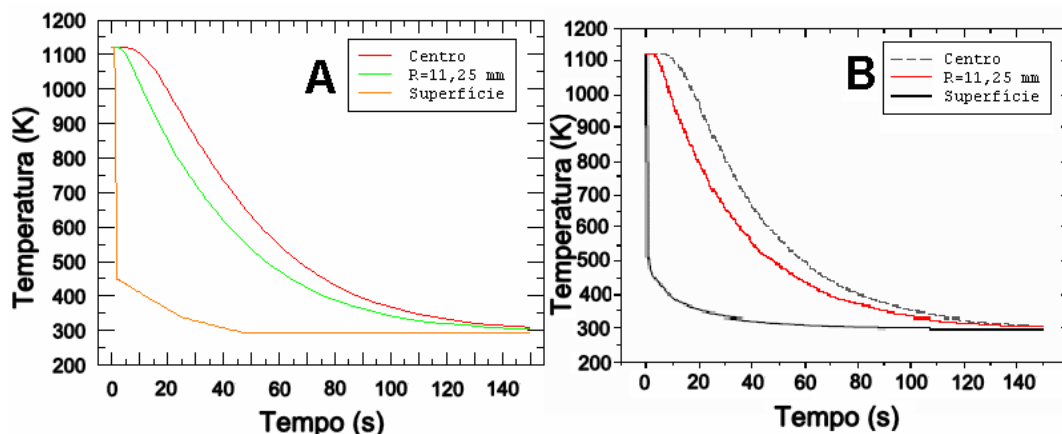


Figura 2. Temperatura ao longo do tempo em diferentes pontos do raio do cilindro. A: resultados obtidos na análise; B: resultados obtidos por Camarão *et al* (2000)

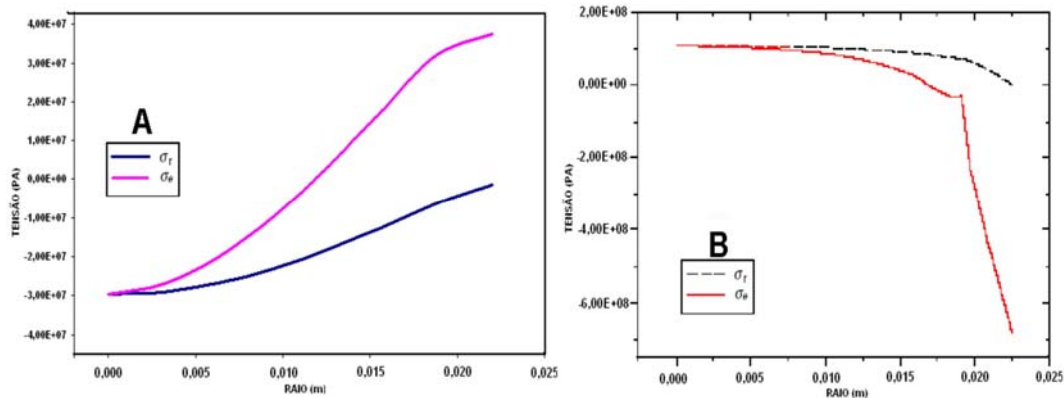


Figura 3. Distribuição de tensões no instante final do processo. A: resultados obtidos na análise; B: resultados obtidos por Camarão *et al* (2000)

Conclusões

Os resultados de distribuição térmica obtidos são semelhantes aos de Camarão *et al* (2000), mas a comparação da distribuição de tensões mostra diferenças entre os dois modelos. Ainda assim, a distribuição de tensões calculada neste trabalho se mostra qualitativamente de acordo com Ebert (1978).

Referências Bibliográficas

- Pacheco P.M.C.L., Savi M.A. and Camarão A.F., “Numerical Simulation of the Quenching Process in Steel Cylinders”, CILAMCE 2000 - 21th Congresso Ibero Latino-Americano sobre Métodos Numéricos para Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, 6-8 Dezembro 2000.
- Ebert, L.J., “The Role of Residual Stresses in the Mechanical Performance of Case Carburized Steels”, Metallurgical Transactions, 9A, (1978), pp. 1537-1551.
- Sen S., Aksakal B. e Ozel A., “Transient and residual thermal stresses in quenched cylindrical bodies”, International Journal of Mechanical Sciences 42, (2000), pp. 2013-2029.