

ANÁLISE TÉRMICA DE CORPOS DE PROVA DE IMPACTO TIPO CHARPY COM ENTALHE EM V.

Arnaldo H. Paes de Andrade (IPEN)
Carlos Alexandre J. Miranda (IPEN/COPESP)
Carlos Tasso E. DeAquino (COPESP)
Julio R. B. Cruz (IPEN/COPESP)
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242
Cidade Universitária - São Paulo, SP

RESUMO

São apresentados neste trabalho os resultados de análises térmicas transientes, por elementos finitos, realizadas em corpos de prova para ensaio Charpy, de modo a se verificar duas recomendações existentes nas normas ASTM A370 e E23: o tempo mínimo de imersão em banho líquido para se atingir um estado isotérmico à temperatura de teste no CP, e o tempo máximo decorrido entre a retirada do CP do banho e a execução do ensaio.

ABREVIATURAS

CP - corpo-de-prova
ASTM - American Society for Testing and Materials
ASME - American Society of Mechanical Engineers
IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
COPESP - Coordenadoria para Projetos Especiais
USP - Universidade de São Paulo
k - coeficiente de condutividade térmica
 μ - coeficiente de Poisson
 ν - viscosidade cinemática
 ρ - densidade ou massa específica
Pr - número de Prandtl
Re - número de Reynolds
Nu - número de Nusselt
h - coeficiente de película ou de transferência de calor por convecção
E - módulo de elasticidade longitudinal
 α - coeficiente de dilatação térmica
 β - coeficiente de expansão volumétrica
c - calor específico
v - velocidade
L - comprimento

INTRODUÇÃO:

Este trabalho é parte integrante de um projeto de pesquisa desenvolvido pelo programa de pós-graduação do IPEN/USP em conjunto com a Universidade do Tennessee, para definição de novas abordagens da Mecânica da Fratura na transição dútil-frágil. A atual abordagem seguida pelo ASME [1] para projetos de vasos de pressão nucleares envolve a definição de uma temperatura de transição dútil-frágil a partir de correlações empíricas de resultados obtidos em ensaios Charpy e de queda de peso. Diversas incertezas e grande conservadorismo estão embutidos nessa formulação, o que levou a ASTM em conjunto com o Oak Ridge National Laboratory a criar grupos de trabalho para o desenvolvimento de uma nova abordagem, menos conservadora, baseada em resultados de testes de mecânica da fratura, como o fator de intensidade de tensões K e a integral J. Entretanto, o passo inicial a ser dado na mudança para uma nova formulação é provar que a nova situação será melhor que a atual, e para tanto deve-se ter o maior conhecimento possível daquilo que hoje é utilizado.

Com este propósito os procedimentos de teste para ensaio de impacto tipo Charpy, principalmente as normas A370 [3] e E23 [4] da ASTM, começaram a ser reavaliados. De sua leitura observa-se que para serem realizados ensaios a temperaturas diferentes da ambiente, deve-se seguir um procedimento de preparo do corpo de prova de modo a se garantir que o mesmo, ao final do processo, esteja o mais próximo possível de um estado isotérmico à temperatura de teste.

Para a realização de testes a baixas temperaturas, o corpo de prova deve ser imerso em banho líquido ou ambiente gasoso, enquanto que para temperaturas elevadas, o espécime deve ser aquecido em banho líquido ou em forno quente. Para cada uma das situações são indicados os meios líquidos e gasosos e os respectivos tempos de exposição do corpo de prova.

Da leitura das 2 normas, no entanto, percebe-se uma discordância no tocante ao tempo de imersão do corpo de prova em meio líquido para testes em temperaturas elevadas. Enquanto a A370 define um tempo mínimo de 10 minutos para que o corpo de prova atinja o estado isotérmico, a E23 estipula como mínimo 5 minutos de imersão. Além disso, a A370 define que o meio líquido para a mesma situação deve ser óleo agitado, sendo que a E23 deixa a definição do líquido em aberto.

Uma outra recomendação, tanto da E23 quanto da A370, diz respeito ao tempo máximo decorrido entre a retirada do corpo de prova do banho térmico e a execução do ensaio. Esse tempo máximo sugerido por ambas as normas é de 5 segundos, de modo a garantir que por ocasião do ensaio o corpo ainda esteja próximo do estado isotérmico.

No presente trabalho foi desenvolvido um modelo em Elementos Finitos do corpo de prova de ensaio Charpy e realizadas análises térmicas transientes, de modo a se obter em uma primeira etapa a evolução das temperaturas no mesmo, durante o banho térmico, ao longo do tempo. O objetivo é verificar qual o tempo mínimo de imersão necessário para se atingir um estado isotérmico, quer para testes em temperaturas elevadas, quer em temperaturas baixas. Dois casos foram analisados: o primeiro considerando o corpo de prova em banho de óleo agitado a 100°C e o segundo, em água a 0°C.

Em uma segunda etapa, no intuito de verificar a adequação do tempo máximo, recomendado pelas 2 normas, decorrido entre a retirada do CP do banho térmico e a execução do ensaio, mais duas análises foram realizadas: 1) o corpo de prova inicialmente a 100°C é colocado em um meio de ar à temperatura ambiente; 2) o CP inicialmente a 0°C é também colocado no ar à temperatura ambiente.

Todas as análises por elementos finitos constantes deste estudo foram realizadas utilizando-se o programa ANSYS versão 5.0 [5]. A partir da geometria real do corpo de prova, mostrada na figura 1, procedeu-se a uma modelagem com 1782 nós e 1300 elementos sólidos tridimensionais térmicos (STIF70), conforme ilustrado na figura 2. Na modelagem, valendo-se da simetria, foi discretizada apenas 1/4 da geometria real do corpo de prova, procurando-se manter os elementos o mais regulares possíveis, com dimensões laterais da ordem de 1 mm, e então aplicadas condições de contorno adequadas aos planos de simetria (fluxo nulo de calor).

A seguir são apresentadas em detalhe as análises acima referenciadas, que serão denominadas de agora em diante ANÁLISE 1 (análise para verificação do tempo mínimo de imersão em banho líquido) e ANÁLISE 2 (análise para verificação do tempo máximo decorrido entre a retirada do CP banho líquido e a realização do ensaio Charpy). As propriedades do material dos corpos de prova (aço SA508 classe 3), que foram utilizadas nas análises, às temperaturas de teste, são apresentadas na tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Propriedades do aço SA 508 classe 3

Temperatura (°C)	0	100
E (GPa) [2]	202,40	196,10
μ (adim.)	0,3	0,3
ρ (kg/m ³) [7]	7820	7820
α (1/K) [2]	11,538	13,739
k (W/m°C) [2]	37,73	38,62
c (W.s/kg°C) [2]	445,14	523,74

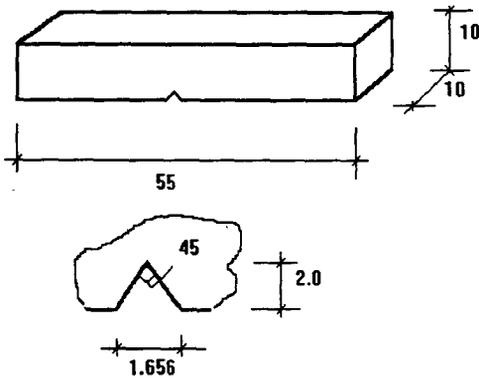


Figura 1 - Geometria real do CP Charpy (dimensões em mm)

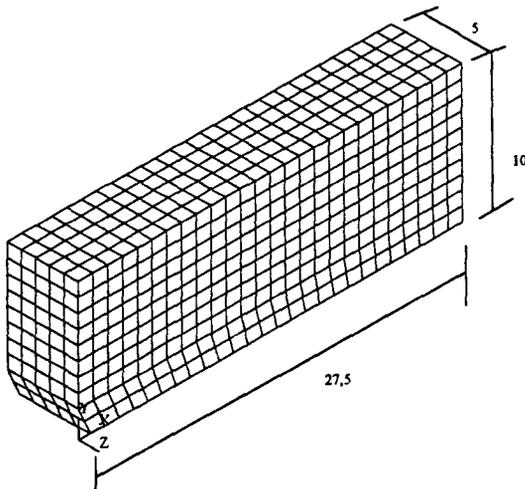


Figura 2 - Modelo em elementos finitos do corpo de prova Charpy (dimensões em mm)

ANÁLISE 1

Para simular a condição real, na qual o espécime inicialmente à temperatura ambiente é imerso em um banho líquido a uma temperatura elevada ou baixa, aplicou-se ao modelo um carregamento transiente tipo "stepwise", conforme ilustrado na figura 3, simulando a temperatura do líquido envolvendo o CP, inicialmente à temperatura ambiente (25°C).

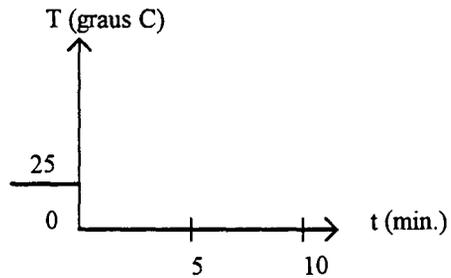


Figura 3 - Transiente térmico aplicado ao modelo para banho de água a 0°C

Ao modelo também foram aplicadas condições de contorno associadas aos coeficientes de película calculados para os meios líquidos definidos para as análises às temperaturas de interesse. Como as normas A370 e E23 especificam que o líquido de banho deve estar em estado agitado, sem no entanto definir o grau de agitação, assumiu-se uma condição de convecção forçada para o cálculo do coeficiente de película, considerando-se uma velocidade de 1m/s para o líquido de banho na situação de água e 2 m/s no caso de óleo. A partir daí, foram calculados os respectivos números de Reynolds e verificado qual o tipo de escoamento existente, se laminar ou turbulento. Aplicando-se a formulação apresentada na ref.[6], chegou-se a valores de coeficiente de película, h, que são apresentados na tabela 2, juntamente com os parâmetros usados em seu cálculo.

ANÁLISE 2

Para esta análise considera-se que o corpo de prova se encontra inicialmente à temperatura de banho (100°C para óleo agitado e 0°C para água) e em seguida é exposto ao ar à temperatura ambiente. Nestas análises, conservadoramente, despreza-se o efeito benéfico (por retardar a troca de calor) da película que recobre o CP após o mesmo ser retirado do banho líquido (notadamente quando o mesmo é óleo).

Assim, para simular a condição na qual o espécime inicialmente à temperatura de banho líquido é exposto ao ar à temperatura ambiente, aplicou-se ao modelo também um carregamento transiente tipo "stepwise", similar ao mostrado na figura 3, com uma duração arbitrária, maior que o tempo máximo admitido pelas normas, que permitisse uma avaliação da alteração do estado isotérmico inicial.

As condições de contorno referentes aos coeficientes de película foram computadas considerando uma situação de troca de calor por convecção natural. A partir das relações aplicáveis ao caso, definidas na ref.[6], chegou-se a valores de coeficiente de película que são apresentados na tabela 3, juntamente com os parâmetros utilizados em seu cálculo. Note-se que estes coeficientes de película são significativamente inferiores aos apresentados na tabela 2.

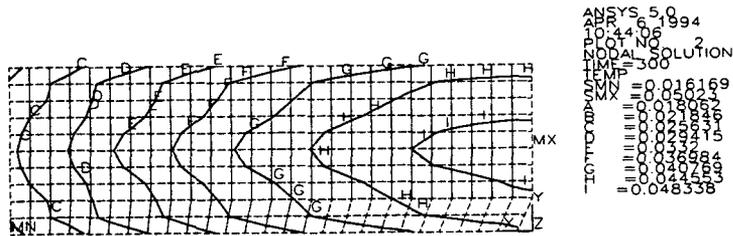


Figura 4b - Perfil de Temperaturas (°C)- meio líquido = água a 0°C; tempo = 5 min.

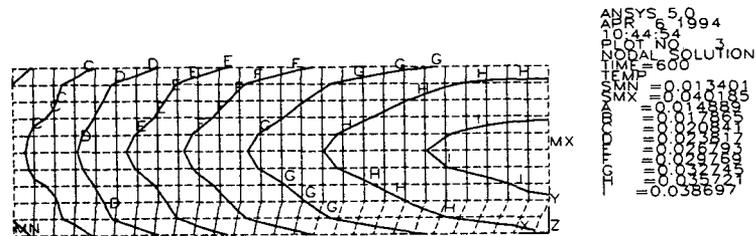


Figura 4c - Perfil de Temperaturas (°C)- meio líquido = água a 0°C; tempo = 10 min.

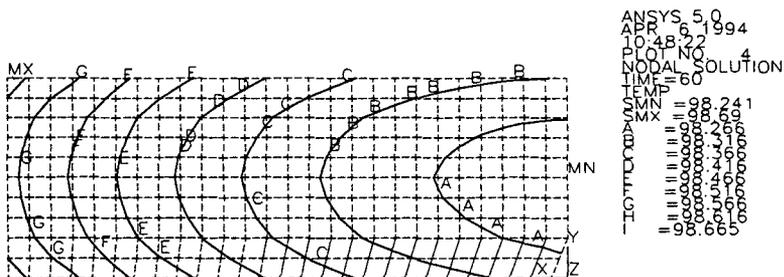


Figura 5a - Perfil de Temperaturas (°C)- meio líquido = óleo a 100°C; tempo = 1 min.

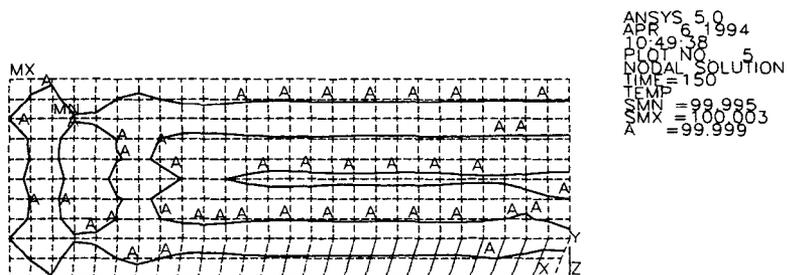


Figura 5b - Perfil de Temperaturas (°C)- meio líquido = óleo a 100°C; tempo = 2,5 min.

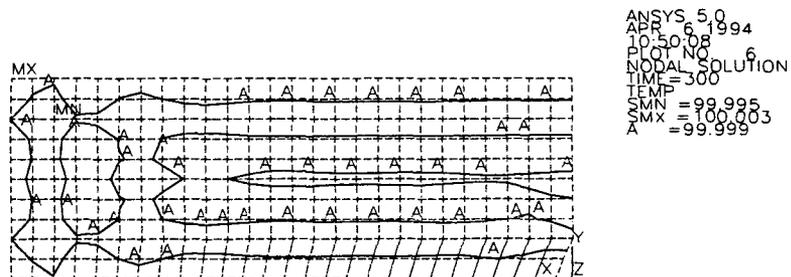


Figura 5c - Perfil de Temperaturas - meio líquido = óleo a 100°C; tempo = 5 min.

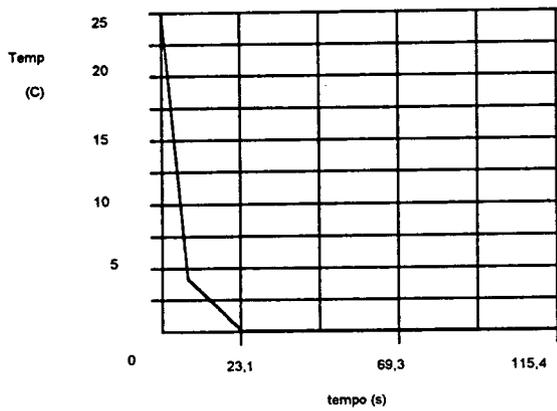


Figura 6 - Variação da temperatura com o tempo no ponto mais crítico para banho de água a 0°C

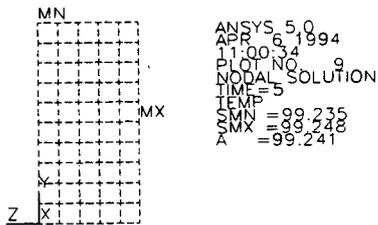


Figura 7a - Perfil de temperaturas - óleo a 100°C p/ ar a 25°C ; tempo = 5s (temperaturas em °C)

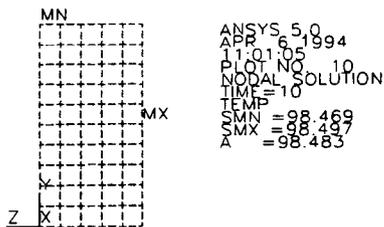


Figura 7b - Perfil de temperaturas - óleo a 100°C p/ ar a 25°C ; tempo = 10s (temperaturas em °C)

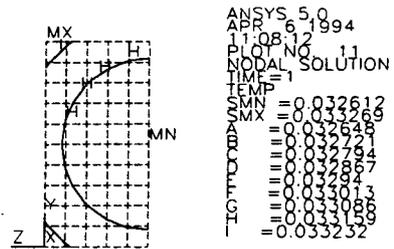


Figura 8a - Perfil de temperaturas - água a 0°C p/ ar a 25°C ; tempo = 1s (temperaturas em °C)

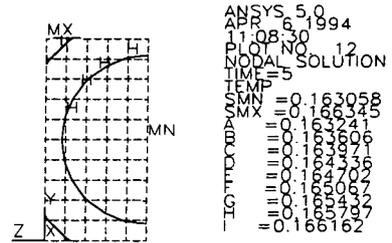


Figura 8b - Perfil de temperaturas - água a 0°C p/ ar a 25°C ; tempo = 5s (temperaturas em °C)

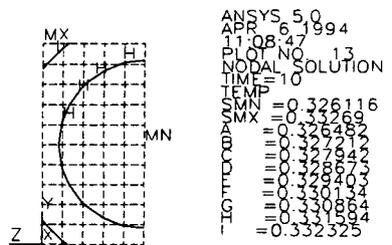


Figura 8c - Perfil de temperaturas - água a 0°C p/ ar a 25°C ; tempo = 10s (temperaturas em °C)

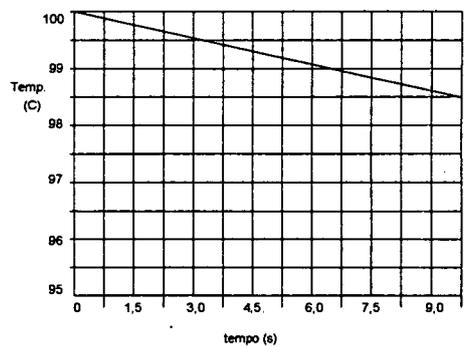


Figura 9 - Variação da temperatura com o tempo no ponto mais crítico para situação óleo para ar

REFERÊNCIAS

- [1] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sections III and XI, New York, NY, USA, American Society of Mechanical Engineers, 1989
- [2] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Appendices, New York, NY, USA, American Society of Mechanical Engineers, 1989
- [3] ASTM Annual Book of Standards - Part 10: Metals - Physical, Mechanical, Corrosion Testing, Standard A370 (Mechanical Testing of Steel Products) Philadelphia, Pa., USA, American Society for Testing and Materials, 1982
- [4] ASTM Annual Book of Standards - Part 10: Metals - Physical, Mechanical, Corrosion Testing, Standard E23 (Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials), Philadelphia, Pa., USA, American Society for Testing and Materials, 1982
- [5] DeSALVO, G.J. ; DORMAN, R.W., ANSYS Version 5.0 User's Manual, Pittsburgh, Pa., USA, Swanson, 1993
- [6] GUPTA, V.; SRINIVASAN, J. Heat and Mass Transfer, New Delhi, India, Tata McGraw Hill, 1978, 210p.
- [7] HOLMAN, J.P. Transferência de Calor, São Paulo, Brasil, McGraw Hill, 1983, 639p.

ABSTRACT

This work presents results obtained from finite element thermal transient analyses performed in Charpy V-notch test specimens, in order to verify the validity of two recommendations included in ASTM A370 and E23 standards: the minimum immersion time of the specimen in a liquid bath to reach a isothermal state at test temperature; and the maximum time interval between the removal of the specimen from the bath and the execution of the test.