



ANÁLISE DE TENSÕES EM JUNTAS METÁLICAS UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

ROGÉRIO J. MARCZAK, PAULO R. LINZMAIER,
JUN S. O. FONSECA e EDISON DA ROSA

GRANTE - Grupo de Análise de Tensões
Depto. Engenharia Mecânica - Centro Tecnológico
Universidade Federal de Santa Catarina
CP 476 - CEP 88040-900 - Florianópolis - SC

SUMÁRIO

Este trabalho apresenta uma metodologia simples para análise de alguns modelos de juntas metálicas comumente utilizadas em vasos sob pressão, utilizando o método dos elementos finitos. São identificadas regiões com abertura ou deslizamentos, e simulada uma situação de desbaste das áreas soldadas, a fim de investigar a possibilidade de reutilização de juntas. Alguns resultados são apresentados e ao final são feitas certas recomendações de caráter prático.

SUMMARY

This work presents a simple methodology for the analysis of some types of metallic gaskets commonly found in pressure vessels applications, using the finite element method. Open and slipped areas of the gaskets are identified and a situation of reusing the gasket is simulated. Results are presented and some practical recommendations are made.

1. Introdução

A utilização de juntas metálicas para vedação de vasos de pressão, é de uso bastante comum em diversas aplicações industriais. Tipicamente, se faz uso de juntas desses tipos em áreas de conexão de seções de vasos de pressão que, não raramente, estão submetidos a níveis de temperatura e pressão elevados. Além disso, em algumas situações pode-se estar lidando com substâncias de natureza tóxica. Assim, é evidente a responsabilidade exigida na previsão do desempenho destes componentes quanto ao seu comportamento termoelástico.

Em função da manutenção à que os equipamentos industriais são invariavelmente submetidos, é corrente a substituição ou reutilização dessas juntas. Nesse último caso, uma mudança significativa da geometria da mesma geralmente ocorre, devido, por exemplo, à desbastes de arestas previamente soldadas. Desse modo, é mandatória uma nova avaliação do comportamento da estrutura antes da remontagem.

Embora exista um grande número de normas e procedimentos de cálculo para análise de componentes dessa natureza, não se pode afirmar que exista uma recomendação de uso restrito quanto à carregamentos, condições de contorno e geometria. Isso impede, por exemplo, o engenheiro de fazer uso, com segurança, da resistência residual de alguns componentes (o que viabiliza sua reutilização) ou determinar condições ótimas de operação sem extrapolar os custos envolvidos.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para análise de tensões em juntas metálicas, utilizando o método dos elementos finitos. Foram analisadas juntas de vários tipos (lábio plano, lábio plano com entalhe e lábio oco), utilizando-se programas comerciais. Em todas as análises realizadas considerou-se a axissimetria do problema, e se fez uso de elementos quadriláteros isoparamétricos lineares. Para a modelagem de regiões de interface, onde ocorre o contato das juntas com outros elementos (junta/junta, junta/flange etc.), foram utilizados elemento de "gap", o que possibilitou a detecção de deslizamentos ou aberturas dessas regiões e, em alguns casos, até mesmo a previsão do comportamento cinemático dessas uniões. A metodologia mostrou-se aplicável à maioria dos casos práticos, conciliando resultados confiáveis à um custo computacional baixo.

2. Os casos estudados

Neste trabalho, utilizou-se como estrutura básica o caso ilustrado esquematicamente na fig. 1. Tal geometria descreve um caso relativamente complicado de montagem, em função da disparidade de tamanhos dos flanges e dos diâmetros internos. Por outro lado, constitui um caso prático comum em trocadores de calor. Considerou-se o vaso submetido à uma pressão interna P_i e operando à uma determinada temperatura T_i (assumiu-se T_i constante para toda a estrutura). Os

módulos de elasticidade obedeceram à uma variação cúbica com a temperatura.

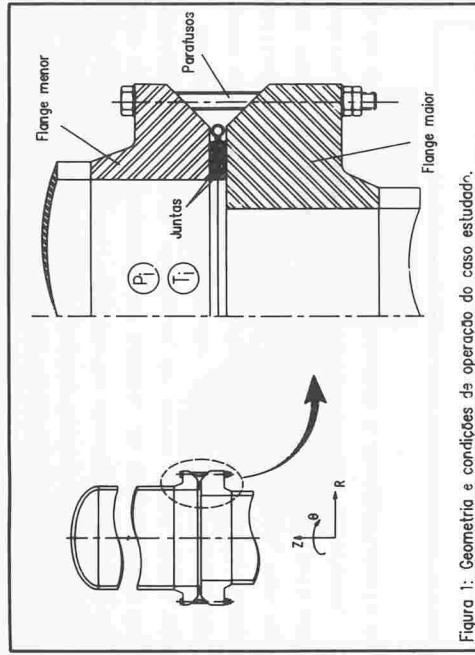


Figura 1: Geometria e condições de operação do caso estudado.

Como o interesse principal da análise está no comportamento termoelástico das juntas, foram analisadas três geometrias diferentes para as mesmas, quais sejam: junta de lábio plano (fig. 2.a), junta de lábio plano com entalhe (fig. 2.b) e junta de lábio oco ("hollow lip" - fig. 2.c). As posições em que estas são soldadas nos flanges ou vedadas estão destacadas na fig. 2.

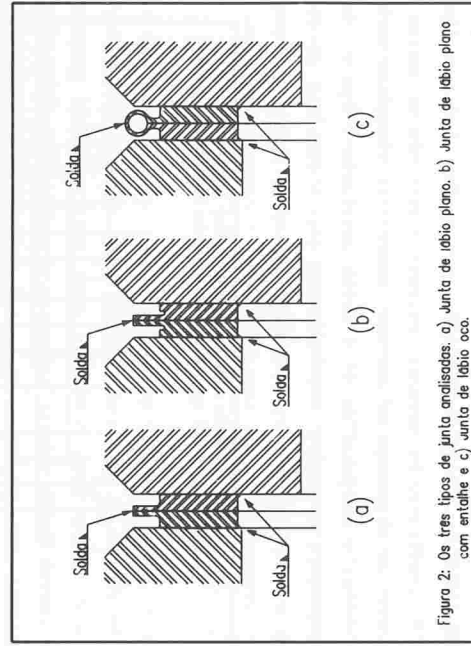


Figura 2: Os três tipos de junta analisadas. a) Junta de lábio plano. b) Junta de lábio plano com entalhe e c) Junta de lábio oco.

3. O modelo de elementos finitos

Para realizar a análise de tensões através do método dos elementos finitos (MEF), foram utilizados os programas comerciais Intergraph RAND-MICAS e ANSYS/LINEAR. Utilizou-se elementos lagrangeanos isoparamétricos de quatro nós

para a modelagem de cada componente. Nas regiões de contato (junta/junta e junta/flange) foram utilizados elementos de interface ("gaps"), com exceção dos pontos soldados (fig. 3). Esse procedimento permitiu a detecção de regiões que sofrem abertura e/ou deslizamentos em regime de operação. Para simulação do aperto promovido pelos parafusos, utilizou-se elementos de barra com 90% da área correspondente ao diâmetro nominal dos mesmos, já que essa é a área resistente à tração, aproximadamente. Os elementos de barra foram então pré-tensionados através da aplicação de uma deformação inicial correspondente à força de aperto, baseada em recomendações previstas por norma, e não foram considerados quaisquer efeitos de flexão dos parafusos. Após a análise, uma verificação dos deslocamentos desses elementos validou esse procedimento, pois não superaram a diferença entre os diâmetros dos furos e dos parafusos, indicando a inexistência de qualquer contato e confirmando a insignificância das tensões de flexão.

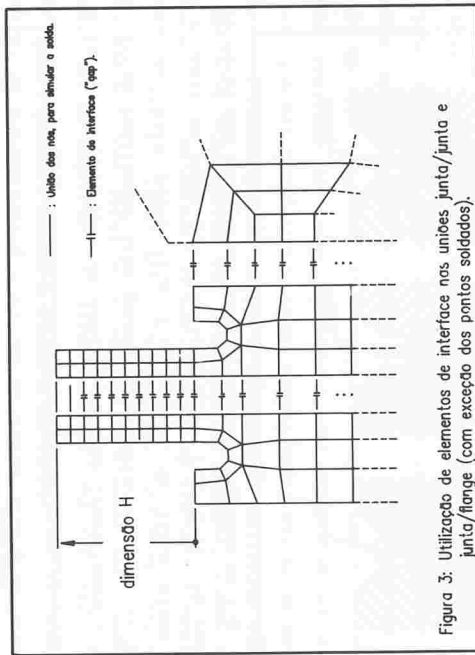


Figura 3: Utilização de elementos de interface nos uniões junta/junta e junta/flange (com exceção dos pontos soldados).

As malhas utilizadas estão ilustradas na fig. 4. A simetria da geometria, das condições de contorno e dos carregamentos justifica plenamente a análise axissimétrica. A não linearidade deste tipo de problema é resolvida de forma iterativa pelos programas utilizados, até que os elementos de interface convirjam para um estado de equilíbrio (aberto, fechado ou deslizado). A fim de verificar os efeitos de cada tipo de carregamento, analisou-se separadamente as seguintes combinações: somente carga dos parafusos, carga dos parafusos e temperatura, carga dos parafusos e pressão interna e carga dos parafusos com temperatura e pressão interna (a força reativa do tempo ilustrado na fig. 1 é incluída em todas as combinações que usam o carregamento de pressão).

Um outro aspecto interessante diz respeito às juntas de lábio plano. Em

função da manutenção à que os vasos são submetidos, esse tipo de junta sofre um desbaste nas arestas soldadas, reduzindo o comprimento efetivo dos lábios das mesmas. Com o objetivo de verificar o comportamento da estrutura, quando da

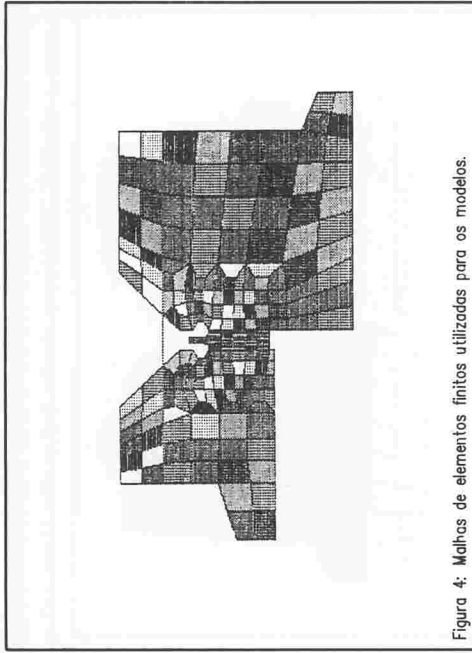


Figura 4: Malhas de elementos finitos utilizados para os modelos.

redução do comprimento dos lábios, foram analisadas várias geometrias diferentes, onde o comprimento dos lábios foi reduzido gradativamente, com o propósito de simular a redução contínua dos mesmos. Esse procedimento foi realizado fazendo uso da malha ilustrada na fig. 2, retirando-se a última camada (cada camada possui quatro elementos alinhados, de mesmo comprimento) da extremidade dos lábios após concluída cada análise, para fornecer o modelo seguinte. O parâmetro de comparação entre as diversas malhas analisadas foi a dimensão H (fig. 2), que variou de um comprimento normalizado até 0,0 mm.

4. Análise dos resultados

O comportamento global da estrutura está ilustrado nas figuras 5 e 6. A figura 5 ilustra o padrão de deslocamentos de todo o sistema, padrão este que permaneceu, como era de se esperar, praticamente o mesmo para todos os tipos de junta analisadas. A figura 6 mostra, a título de ilustração, o nível de tensão longitudinal que, para os flanges, também permaneceu essencialmente o mesmo em todos os casos.

Com respeito aos resultados globais da estrutura, pode-se concluir que em quaisquer dos casos não houve, efetivamente, uma alteração muito significativa nos níveis de tensão e deslocamentos experimentados pela estrutura. Isto é, o comportamento termoelástico dos componentes envolvidos permaneceu basicamente o mesmo. Obviamente, isso não é válido para locais para locais com geometrias diferentes (extremidades das juntas, comentadas nos parágrafos seguintes). O mecanismo

cinemático responsável pelo comportamento ilustrado na figura 5 independe do modelo de junta utilizado. Esse mecanismo, válido neste caso apenas (em que os tamanhos dos flanges são bastante diferentes), pode ser descrito da seguinte forma: o diâmetro da linha de centro dos parafusos é excessivamente grande em

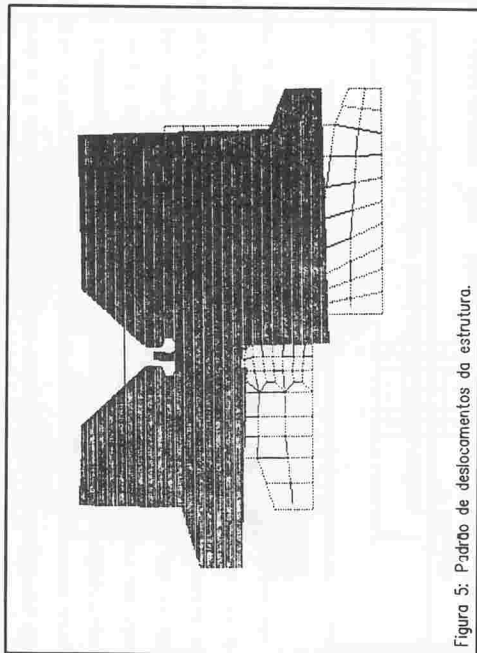


Figura 5. Padrão de deslocamentos da estrutura.

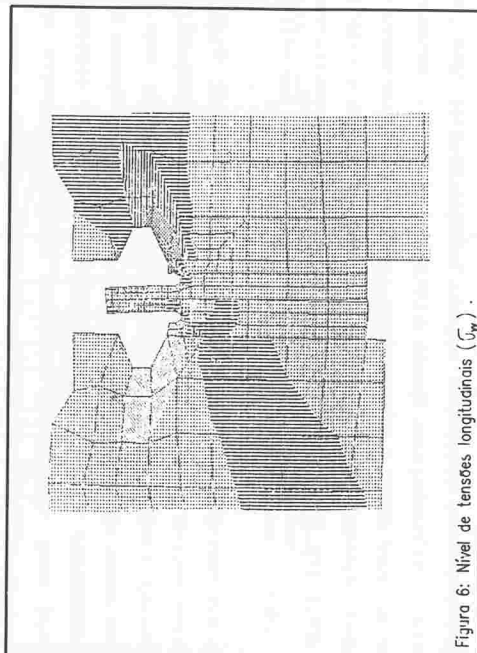


Figura 6. Nível de tensões longitudinais (σ_y).

relação ao diâmetro médio das juntas. Isso é responsável por uma excentricidade na força de aperto dos parafusos, que leva os flanges a rotacionarem em torno de uma região muito pequena das juntas, que serve de apoio para essa rotação (fig. 7). Como as juntas são soldadas aos flanges no lado interno do vaso, essas se abrem na região de interface junta/junta. Esse é provavelmente o efeito mais pronunciado, pois se manifestou mesmo quando da análise sem considerar

carregamentos de temperatura ou pressão. A fig. 8 ilustra com uma ampliação bastante exagerada (140x) as regiões com abertura para as juntas de lábio plano com entalhe e de lábio oco, ambas considerando apenas o carregamento dos parafusos. Deve-se ressaltar que uma análise considerando maiores cargas de aperto dos parafusos foi realizada e tal efeito persistiu, levando a crer que isso não

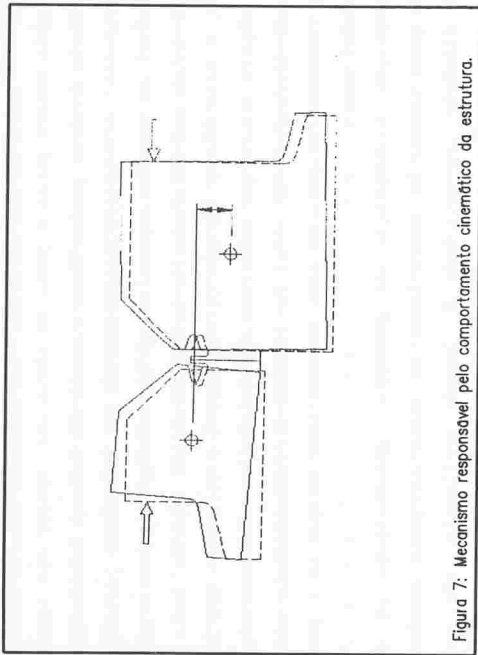


Figura 7. Mecanismo responsável pelo comportamento cinemático da estrutura.

resolve o problema. Deve-se destacar também que as análises realizadas não consideraram o efeito da pressão atuando nas faces internas das juntas, após a abertura das mesmas. Essa área pode ser significativa e aumentar a abertura,

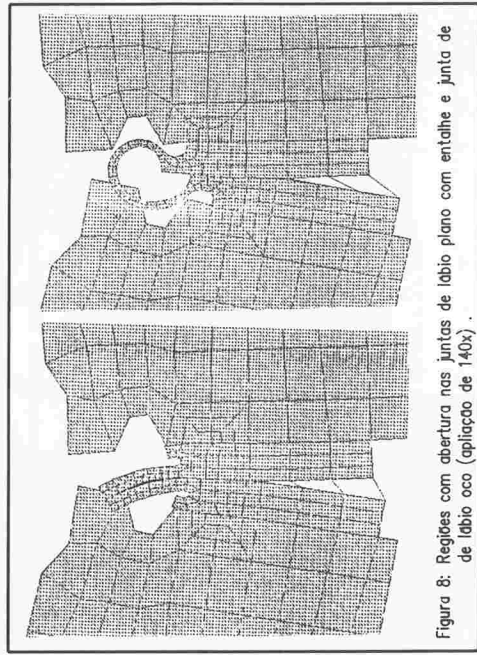


Figura 8. Regiões com abertura nas juntas de lábio plano com entalhe e junta de lábio oco (aplicação de 140x).

dependendo das dimensões e das condições operacionais do equipamento. Por outro lado, é possível que alivie os esforços de compressão nas juntas.

Com relação aos níveis de tensão desenvolvidos para os modelos de junta analisados, apresentados nas figuras 9 e 10, pode-se afirmar que, em função da rotação diferenciada dos flanges, ocorrem deslizamentos nas interfaces junta/junta e junta/flange. Como a junta de lábio oco possui maior flexibilidade com relação à deslizamentos na direção radial, essa parece mais indicada para tal aplicação. A tensão cisalhante na região soldada apresentou níveis consideravelmente menores para a junta de lábio oco, apesar das tensões longitudinalmente aumentarem naquele ponto. Esse aumento se deve ao efeito de flexão que o anel experimenta, devido aos deslizamentos na interface junta/junta. Apesar disso, o nível de tensões equivalentes (calculadas segundo o critério de von Mises) apresentou uma diferença de apenas 5% de um tipo de junta para o outro. Entretanto, a rotação dos flanges citada impede a dilatação das juntas devido à carga de temperatura, o que pode resultar (e efetivamente ocorreu, para algumas condições de operação) num nível de tensões circunferenciais excessivo, o que não seria recomendável para os aços austeníticos de que tais juntas são comumente confeccionadas.

Com relação à simulação de desbaste, apresenta-se na figura 11 os resultados para tensão na extremidade do lábio da junta de lábio plano, em função da dimensão convencionalizada H. Quando pertinente, são apresentados os

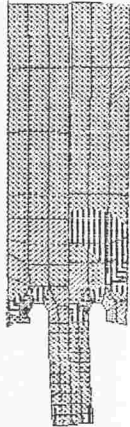


Figura 3: Níveis de tensões desenvolvidos para a junta de lábio plano com entalhe.

valores correspondentes que se obteve na extremidade soldada da junta de lábio oco. Esses gráficos apresentam uma brusca variação do valor das tensões para $H \leq 1/3$ do comprimento original, perdendo seu significado prático devido, provavelmente, ao fato da discretização se tornar inadequada à medida que reduz-se H. Levando-se em consideração os níveis de tensão desenvolvidos para os diversos valores de H, e assumindo-se que seja possível a reutilização das juntas, não parece recomendável desbastar mais que 30% do comprimento original do lábio. A partir dessa dimensão, o lábio torna-se excessivamente rígido para o comportamento manifestado, solicitando a níveis cada vez mais altos a solda na extremidade do mesmo. A região que suporta a compressão dos flanges, por força dos parafusos, também tende a se tornar menor, prejudicando o desempenho das juntas.

Um outro aspecto interessante, relacionado à montagem e manutenção do equipamento pode ser observado através da comparação entre as figuras 8 e 9 ou 10. Essas figuras mostram que os deslocamentos manifestados por ocasião da aplicação da carga dos parafusos somente, sofrem uma inversão de sentido, o que também pode acarretar uma solicitação proibitiva da extremidade soldada. As tensões cisalhantes também se mostraram substancialmente mais altas quando atuam somente os parafusos. O mesmo ocorreu para a junta de lábio oco, porém, a maior flexibilidade desse modelo resulta um aumento não tão grande da tensão cisalhante.

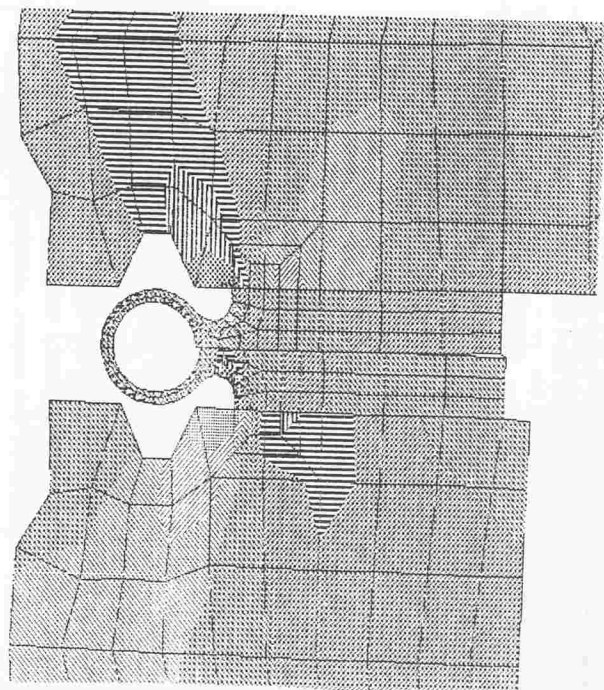


Figura 10: Níveis de tensões desenvolvidos para a junta de lábio oco.

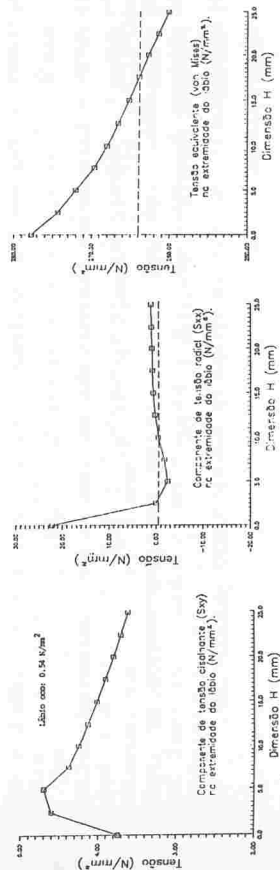


Figura 11: Variação de algumas componentes de tensão com a dimensão H.

5. Conclusões

Foram analisados, neste trabalho, três modelos diferentes de juntas, utilizadas para vedação de uma conexão de diâmetros bastante distintos. Utilizou-se o MEF para realizar a análise termoelástica da estrutura para algumas combinações de carregamento. Foram usados também elementos de interface a fim de detectar regiões das juntas que sofrem aberturas ou deslizamentos. Através da alteração da geometria de um dos modelos de junta analisados (junta de lábio plano com entalhe), foi possível simular o desbaste da solda por ocasião da desmontagem do equipamento, com eventual reutilização das juntas. Os resultados apresentados ilustram o mecanismo responsável pelo comportamento cinemático da estrutura como um todo e permitem uma avaliação segura do nível de solicitação das juntas, mesmo após o desbaste das mesmas. Apesar dos resultados aqui apresentados representarem a compilação de uma gama relativamente pequena de condições de operação, pode-se recomendar a metodologia aqui utilizada para outros casos similares de uniões por flanges, como ferramenta de auxílio ao engenheiro, ainda na fase de projeto, para previsão de alguns efeitos indesejáveis possíveis de ocorrerem em vasos de pressão.

REFERÊNCIAS

- [1] Fonseca, S.O., Marczak, R.J. e Rosa, E.; "ANÁLISE DE TENSÕES DE JUNTA DE LÁBIO PLANO"; publicação 06/91,GRANTE/EMC/CTC/UFSC 1991.
- [2] Megyesy, E.F. "Pressure vessel handbook", 4th edition, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc. - 1977.
- [3] Chiaverini, V., "Aços e ferros fundidos", 4^a ed.Associação Brasileira de Metais - 1979.
- [4] VDI 2230 - "Systematische berechnung hochbeanspruchter scharaubenverbindungen" - 1977.
- [5] Kreith, F.; "Princípios da transmissão de calor", Edgard Blücher Ltda. - 1973.
- [6] ANSYS - Engineering Analysis System, rev. 4.3 - "USER'S MANUAL" - Swanson Analysis Systems Inc. - 1987.
- [7] ANSYS - Engineering Analysis System, rev. 4.3 - "THEORETICAL MANUAL" - Swanson Analysis Systems Inc. - 1987.
- [8] ASME CODE - SECTION VIII - "RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VESSELS", Division 1 - 1980.
- [9] STANDARDS OS THE TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION 70th. edition - 1988.

ANAIS



7º SIMPÓSIO BRASILEIRO
SOBRE TUBULAÇÕES E VASOS DE PRESSÃO
7TH BRAZILIAN SYMPOSIUM ON PIPING AND PRESSURE VESSELS
FLORIANÓPOLIS, 07 - 09 DE OUTUBRO DE 1992

PROCEEDINGS



TRABALHO Nº

PP. 351-358

MODELAGEM DA INTERAÇÃO PASTILHA-REVESTIMENTO DE PWRs

Armando Margotto Esteves e Antonio Teixeira e Silva

IPEN-CNEN/SP

SUMÁRIO

A interação termo-mecânica que pode ocorrer entre a pastilha de dióxido de urânio (UO₂) e o revestimento de varetas combustíveis de reatores a água leve pressurizada é modelada com os programas computacionais FRAPCON-1 e ANSYS. O programa de desempenho do combustível FRAPCON-1 analisa o comportamento da vareta combustível sob irradiação e gera as condições iniciais e de contorno para modelagens localizadas, térmicas e mecânicas, da vareta em elementos finitos bi e tri-dimensionais com o ANSYS. Na modelagem mecânica, um fragmento de pastilha é alocado na folga pastilha-revestimento da vareta. Dois tipos de materiais de revestimento de varetas combustíveis são analisados: zircaloy e aço inoxidável austenítico.

SUMMARY

The pellet-cladding interaction that can occur in a PWR fuel rod design is modelled with the computer codes FRAPCON-1 and ANSYS. The fuel performance code FRAPCON-1 analyzes the fuel rod irradiation behavior and generates the initial conditions for the localized fuel rod thermal and mechanical modellings in two and three-dimensional finite elements with ANSYS. In the mechanical modelling, a pellet fragment is placed in the fuel rod gap. Two types of fuel rod cladding materials are considered: Zircaloy and austenitic stainless steel.