

MODELAMENTO TRIDIMENSIONAL PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DAS TENSÕES RESIDUAIS GERADAS NO JATEAMENTO COM GRANALHA

Miguel Angel Calle Gonzales, Eng.

Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da EPUSP

Av. Professor Mello Moraes, 2231, CEP 05508-900 - São Paulo - S.P. Brasil.

Tel: +0055-11-3091-5505. E-mail: miguel.gonzales@poli.usp.br

Edison Gonçalves, Dr.PhD.

Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da EPUSP

Av. Professor Mello Moraes, 2231, CEP 05508-900 - São Paulo - S.P. Brasil.

Tel: +0055-11-3091-5505 r.21, Fax: +0055-11-3091-4811. E-mail: edison@usp.br

Resumo. O jateamento com granalhas (JCG) é um processo mecânico que causa uma intensa deformação plástica na superfície do componente, causando o encruamento da mesma. Este processo é realizado para melhorar algumas propriedades da superfície de um componente tais como: resistência à fadiga, dureza da superfície, entre outros. Essa melhoria das propriedades superficiais ocorre porque o JCG introduz tensões residuais de compressão na superfície do componente. O objetivo deste trabalho é obter o campo de tensões residuais em uma chapa de aço SAE 1070. A modelagem é desenvolvida utilizando o método dos elementos finitos (MEF), onde se empregou um modelo tridimensional que simula uma secção da placa submetida ao JCG. Os resultados gerados pela simulação amostram boa proximidade aos modelos empíricos obtidas por outras pesquisas.

Palavras-chave: Jateamento com Granalha, Tensão Residual, Aço 1070.

1. INTRODUÇÃO

O jateamento com granalhas é um processo de trabalho a frio, que consiste em projetar granalhas com alta velocidade (entre 20 e 100 m/s) contra uma superfície de um material metálico. A granalha atua como se fosse um pequeno martelo causando deformação plástica à superfície, mas como a parte interna da placa só consegue ser deformada elasticamente durante o impacto, esta tenta voltar a sua geometria original, mas não pode fazê-lo devido à deformação plástica da superfície, e deste modo se equilibram criando tensões residuais de compressão, Figura 1.



Figura 1. Tensões residuais de compressão geradas por impacto da granalha

Este processo de deformação superficial é amplamente utilizado para introduzir tensões residuais de compressão na superfície, as quais melhoram as propriedades mecânicas dos componentes em serviço, particularmente, a vida à fadiga.

Entre os benefícios que proporciona a aplicação do JCG às superfícies metálicas se podem mencionar o aumento da vida à fadiga, aumento na resistência à corrosão sob tensão, ajuda a eliminar as falhas por corrosão por efeito “fretting”, aumenta a resistência à erosão, aumenta a dureza da superfície de muitos materiais, diminui a porosidade superficial, se usa para conformação de partes metálicas, entre outros benefícios.

Por isso, a importância deste estudo do processo de JCG está em ter um melhor conhecimento dele para obter um melhor controle e poder fazê-lo mais eficiente.

2. CONSIDERACIONES DO MODELO NUMÉRICO

O modelo é conformado por um impacto de um só projétil esférico numa placa plana, este modelo simplificado é similar aos dos outros trabalhos de simulação do JCG (Meguid et al., 1999, 2002; Guagliano, 2001), os quais deram boa correlação em função aos resultados de ensaios experimentais, Figura 2.

O objetivo do modelo é encontrar o campo de tensões residuais de compressão (CTRC) na superfície de uma peça metálica de aço SAE 1070 submetida ao processo de JCG, se assume também a planitude da superfície exposta devido ao diâmetro muito pequeno da granalha no processo real. Outra consideração importante é que o CTRC desta simulação, nesta pequena secção da superfície atingida pelo projétil, vai representar o CTRC em toda a superfície de uma peça metálica submetida ao processo de JCG real.

Considera-se um modelo tridimensional e duas janelas de simetria para representar somente a quarta parte do modelo, Figura 2.

Emprega-se o software comercial LUSAS 2000 para o processamento do modelo.

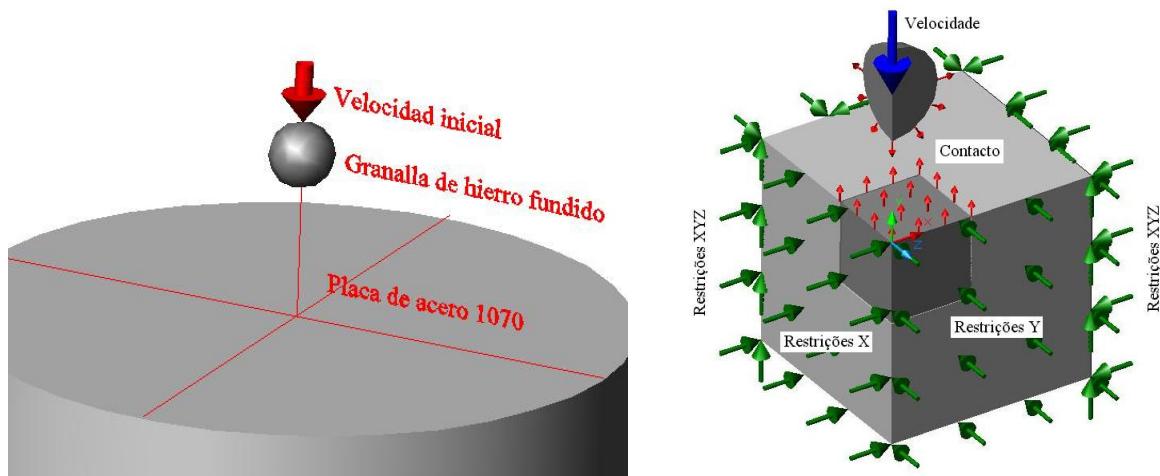


Figura 2. Modelo de impacto isolado de uma granalha sobre uma placa plana

O modelo de tipo tridimensional possui em total 62164 elementos tridimensionais de interpolação linear, se utilizam elementos hexaédricos cúbicos de 8 nós de tipo HX8E (Lusas, 2000) justamente na zona de contacto, e o malhado da zona da periferia ao contacto, a zona restante, está integralmente composta por elementos tetraédricos de transição de 4 nós de tipo TH4E (Lusas, 2000). A análise é dinâmica explícita e no total temos 45144 nós que conformam o modelo inteiro, Figura 3.

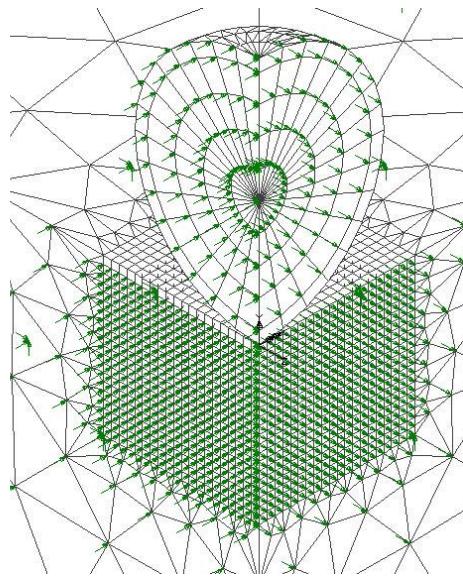


Figura 3. Modelo tridimensional para simulação do JCG

Para a simulação pelo MEF do JCG, se considera como material da placa o aço SAE 1070 por ser um material bastante usado na industria de automóveis e para a fabricação de placas padrão para a medição da intensidade Almen de JCG.

Foram consideradas as propriedades elasto-plásticos do metal SAE 1070, e a curva tensão-deformação foi feita usando o modelo exponencial. O projétil esférico possui somente as propriedades elásticas do ferro fundido.

Devido às altas velocidades de deformação presentes no impacto, a análise é considerada de tipo dinâmica, já que, os CTRC obtidos pelo impacto de um projétil analisado de maneira dinâmica e estática são diferentes (Kobayashi, 1998). As velocidades de impacto de granalha empregadas neste trabalho provêm diretamente das intensidades de JCG usadas normalmente na industria, intensidades Almen de 0,25 a 0,5 mm Almen.

Outro efeito considerado também pelas altas velocidades de deformação é o efeito da taxa de deformação sobre a curva tensão-deformação do aço, usando o modelo de sensibilidade do material ao incremento da taxa de deformação proposto por Cowper-Symonds (Jones, 1988) para corrigir a curva. Assume-se um valor médio de taxa de deformação para o modelo inteiro ao longo do tempo de impacto.

Finalmente, se emprega o modelo de amortecimento proporcional (amortecimento de Rayleigh) para o aço da placa. As freqüências naturais do modelo têm sido calculadas por análise pelo MEF e as suas taxas de amortecimento obtidas de modo experimental.

3. RESULTADOS

A simulação do processo de JCG para os modelos 3D foi desenvolvida para três diferentes valores de intensidade Almen, para assim, poder comparar os resultados obtidos com resultados de outros trabalhos.

O tempo de duração do impacto considerado na análise numérica, é de 2 ms. Este tempo é suficiente para poder gerar e se estabilizar totalmente as tensões residuais induzidas pelo impacto desde que a granalha entra em contacto com a placa até que rebota e perde contacto com ela.

A rodagem dos modelos foi feita num PC de processador Pentium® 4, foi empregado o programa para análise numérica pelo MEF LUSAS 2000, como se mencionou anteriormente, sob o sistema operativo Microsoft Windows XP, cada uma destas rodagens demorou cerca de 132h para o seu processamento.

Pode-se observar na Figura 4, as tensões principais obtidas na placa, embaixo da superfície da placa se vê as tensões residuais de compressão, e ao redor da zona de impacto na superfície as tensões residuais de tração.

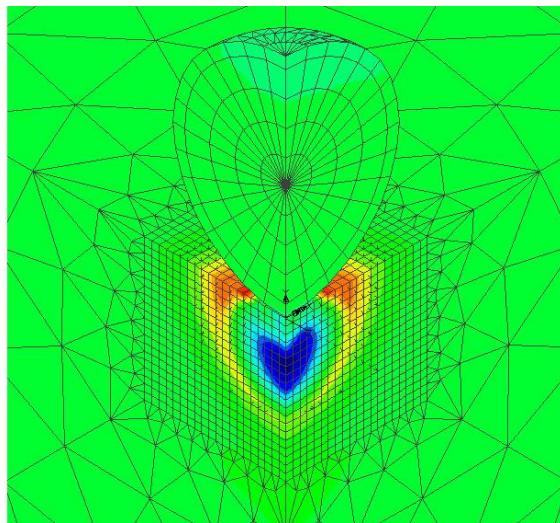


Figura 4. Tensões residuais principais obtidas no modelo tridimensional

A profundidade do CTRC é a distância desde a superfície da peça até onde se produz a mudança das tensões residuais geradas de compressão para tração, esta profundidade ao mesmo tempo depende diretamente da intensidade do impacto e aumenta a medida que aumenta a intensidade do JCG. O tamanho da profundidade do CTRC é o responsável do aumento das propriedades mecânicas da peça.

4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Compara-se as profundidades dos CTRC gerados pelo impacto do projétil no processo de JCG sobre una superfície de aço SAE 1070 segundo várias investigações (Figura 5): através da simulação numérica do JCG pelo MEF neste trabalho, obtidos experimentalmente submetendo amostras ao processo de JCG como o fez Wang et al. (1998), pela utilização de formulações teóricas na pesquisa de Al-Obaid (1995), simulações numéricas pelo MEF feitas por outros investigadores como Guagliano (2001) e também em simulações numéricas usando um modelo bidimensional, Calle et al. (2003).

É evidente, segundo os resultados, que as profundidades do CTRC (mm) geradas são maiores para maiores intensidades de JCG (mm Almen).

Deve-se reconhecer que os resultados da simulação do JCG pelo MEF neste trabalho ainda tendo também a mesma tendência crescente como em outras pesquisas, não se ajusta fielmente a nenhum dos resultados das outras investigações, mas sim são bastante próximos aos valores dos outros trabalhos de referência.

As profundidades do CTRC são muito similares às obtidas nos modelos bidimensionais na pesquisa de Calle (2003) usando as mesmas intensidades de JCG, a diferença entre os resultados oscila ao redor de 3,6%, a qual é bastante pequena.

Pode-se ver também na Figura 5 que existe uma diferença substancial entre os valores de profundidade do CTRC obtidos empiricamente mediante análise por difração de raios X e os valores obtidos pela simulação numérica usando o MEF (neste trabalho, Guagliano e Calle) onde os valores de profundidade encontrados pela simulação resultam ser menores.

Vê-se que se se toma como referência os valores obtidos por Wang et al. (1998), se poderia calcular um erro na simulação numérica deste trabalho de 16%, no trabalho de Calle ao redor

de 20% enquanto que na simulação numérica de Guagliano, este erro aumenta consideravelmente a 40%.

Se por outro lado, se toma como referência os valores de profundidade do CTRC obtidos teóricamente por Al-Obaid, se obtém um erro de 9%, no trabalho de Calle ao redor de 14% e no trabalho de Guagliano o erro está ao redor de 33%.

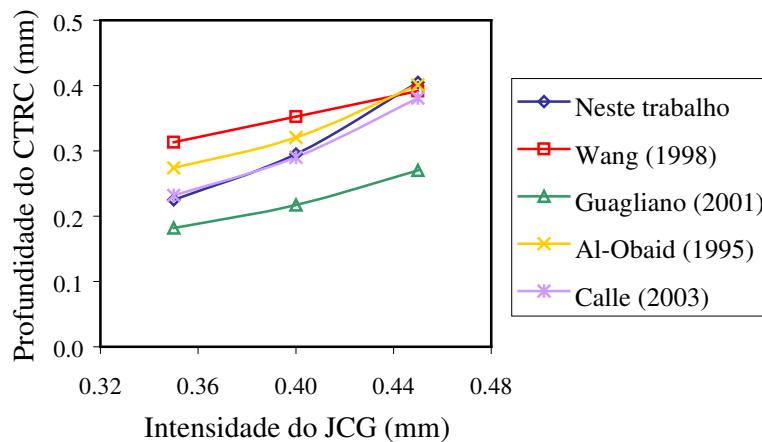


Figura 5. Profundidade do CTRC gerados pelo JCG obtido por várias investigações

5. CONCLUSÕES

Foi viável a simulação do processo de JCG através de simulações numéricas pelo MEF utilizando modelos tridimensionais, para desta maneira, reproduzir o campo de tensões residuais gerado pelo impacto da granalha.

O campo de tensões residuais de compressão gerado na simulação do processo possui as mesmas características que possuem os mesmos campos encontrados em ensaios experimentais do JCG como na pesquisa de Wang et al. (1998) e em outras investigações como o trabalho de Fathallah et al. (1998), deste modo, consideramos os resultados obtidos como satisfatórios em função a uma reprodução qualitativa do processo de JCG.

As profundidades dos CTRC gerados na simulação do JCG pelo MEF têm sido comparadas com as correlações obtidas experimentalmente nos ensaios da pesquisa Wang et al. (1998) e com formulações teóricas desenvolvidas sobre o JCG por Al-Obaid (1995), obtendo também neste aspecto resultados satisfatórios.

A diferença encontrada entre os resultados dos modelos bi e tridimensionais para representar o processo de JCG não é considerável, por tanto, somente o uso de um modelo bidimensional, o qual requer um tempo de processamento muito menor, é suficiente para uma simulação bastante aproximada do processo de JCG; mas como o modelo tridimensional amostra melhor as tensões residuais formadas na vizinhança da zona de contacto, é ideal para análise do efeito de múltiplos impactos de granalhas ou para desenvolver pesquisas similares.

6. REFERÊNCIAS

- AL-OBAID, Y. F., Shot peening mechanics: experimental and theoretical analysis, *Mechanics of Material*, v. 19, p. 251-260, 1995.
- BENÍTEZ, D., Metodología de Análise da influênciadas tensões residuais no comportamento à Fratura, Tesis de Doctorado, EPUSP, 2002.

- CALLE, M. A.; GONÇALVES, E., Modelación por elementos finitos de las tensiones residuales generadas por granallado en acero SAE 1070, III Congresso Bolivariano de Engenharia Mecânica, Perú, 2003.
- DE SOUZA, S. A., Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos, Editora Edgard Blücher Ltda., 1982.
- FATHALLAH, R.; INGLEBERT, G.; CASTEX, L., Prediction of plastic deformation and residual stresses induced in metallic parts by Shot Peening, Materials Science and Technology, p. 631-639, Julho 1998.
- FEA LTD., Manuais LUSAS Version 2000, United Kingdom, 1999.
- GONÇALVES, E.; CALLE, M. A., Análise por elementos finitos das tensões residuais quando influenciadas por uma trinca submetida a carregamentos cíclicos, VI Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica, Portugal, 2003.
- GUAGLIANO, M., Relating Almen intensity to residual stresses induced by shot peening: a numerical approach, Journal of Material Processing Technology, v. 110, p. 277-286, 2001.
- JONES, N., Structural Impact, Cambridge University Press, 1988.
- KOBAYASHI, M.; MATSUI, T.; MURAKAMI, Y. Mechanism of creation of compressive residual stress by shot peening. International Journal of Fatigue, v. 20, n. 5, p. 351-357, 1998.
- MEGUID, S. A.; SHAGAL, G., Finite element modelling of shot-peening residual stresses, Journal of Material Processing Technology, v. 92-93, p. 401-404, 1999.
- MEGUID, S. A.; SHAGAL, G.; STRANART, J. C.; DALY, J., Three-dimensional dynamic finite element analysis of shot-peening induced residual stresses, Finite Elements in Analysis and Design, v. 31, p. 179-191, 1999.
- MEGUID, S. A.; SHAGAL, G.; STRANART, J. C., 3D FE analysis of peening of strain-rate sensitivity materials using multiple impingement model, International Journal of Impact Engineering, v. 27, p. 119-134, 2002.
- WANG, S.; LI, Y.; YAO, M., Compressive residual stress by shot peening, Journal of Material Processing Technology, v. 73, p. 64-733, 1998.
- WHEELABRATOR CORPORATION, Shot peening, 1977.
- ZUCAS, J. A., Impact dynamics, Ed. Jhon Wiley & sons, 1982.