

MODELAGEM DO PROCESSO DE JATEAMENTO COM GRANALHA: ABORDAGEM NUMÉRICA E EXPERIMENTAL.

Miguel Angel Calle Gonzales¹

miguel.gonzales@poli.usp.br

¹ Centro de Estruturas Navais e Oceânicas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Professor Mello Moraes, 2231 CEP 05508-900, São Paulo - SP.
Tel: +11-3091-5561 r.203, Fax: +11-3091-5461.

Daniel Benítez Barrios²

danielbb@mackenzie.com.br

² Grupo de Simulação Numérica (GSN). Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Rua da Consolação 930, prédio 6, CEP 01302-907, São Paulo - SP. Pós-doutorando no CCTM-IPEN.

Edvaldo Angelo²

eangelo@mackenzie.com.br

Edison Gonçalves¹

edison@usp.br

Resumo. *O jateamento com granalha é um processo mecânico onde a superfície tratada é submetida ao impacto de um jato de granalhas a alta velocidade, impelidas usando ar a alta pressão, que causam deformações plásticas resultando em tensões residuais de compressão na superfície da peça. Assim, este processo aplicado adequadamente, traz como consequência inúmeros benefícios, sendo que o mais desejado é o aumento considerável da vida à fadiga de elementos de máquinas e estruturas submetidos à ação de carregamentos cíclicos. A superposição das tensões residuais de compressão induzidas sobre as tensões de tração originadas pelo carregamento cíclico de serviço tende a reduzir a ocorrência de fadiga.*

O grau de aumento da resistência à fadiga está relacionado à magnitude e à distribuição das tensões residuais de compressão induzidas ao longo da espessura, que por sua vez, são dependentes dos parâmetros do processo de jateamento com granalhas. Por este motivo, para uma maior eficiência de seu emprego no projeto, é importante o conhecimento de como a distribuição das tensões residuais de compressão é afetada pelos parâmetros do processo.

Este trabalho apresenta uma modelagem tridimensional do processo de jateamento com granalha empregando-se o método dos elementos finitos para representar uma chapa plana de aço SAE 1070, usado para fabricação de molas e ferramentas de cutelaria, submetida a múltiplos impactos de granalha, a qual é validada por resultados experimentais conduzidos também no presente trabalho. As distribuições das tensões residuais, assim como o valor da profundidade da zona plástica foram calculados por ambos os métodos, obtendo-se resultados satisfatórios.

Palavras chaves: *Jateamento com granalha, tensões residuais, elementos finitos, simulação numérica.*

1. INTRODUÇÃO

O Jateamento com Granalha (JCG) é usado cada vez mais frequentemente para incrementar a vida à fadiga dos componentes mecânicos. Além do endurecimento superficial, tensões residuais de compressão são introduzidas na superfície tratada. Estas tensões residuais conferem ao componente tratado um incremento na resistência à fratura, corrosão e fadiga, entre outros benefícios. As lâminas Almen são usadas comumente na indústria para monitorar o processo de JCG e garantir que este seja aplicado corretamente, porém estas lâminas não fornecem informação sobre o estado de tensões residuais induzido. A distribuição das tensões residuais resultante no componente depende de muitos fatores, incluindo o tipo de granalha, intensidade do JCG, ângulo de incidência, tempo de exposição, propriedades do material tratado e a existência ou não de tensões residuais antes do JCG ser aplicado.

O mapeamento das tensões residuais cria um quadro compreensível do estado das tensões residuais em áreas chaves do componente para análise. Estes dados podem ser superpostos em resultados de simulações numéricas ou no espectro de carregamento para melhorar a exatidão na predição da vida do componente, assim como nos modelos de mecanismo de fratura. Desta forma pode-se quantificar a efetividade do JCG, podendo auxiliar no ajuste de parâmetros para a otimização do processo (intensidade de JCG, tempo de exposição e configuração da instalação) em cada componente de forma individual.

Devido ao exposto anteriormente é importante, em casos que envolvam componentes de risco ou se precise de alta durabilidade, o mapeamento da distribuição das tensões residuais em determinadas áreas das peças tratadas pelo JCG para poder determinar com maior exatidão os parâmetros ótimos do processo para o melhor desenvolvimento do componente tratado.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma modelagem tridimensional do processo de JCG empregando-se o método dos elementos finitos para representar uma chapa plana de aço SAE 1070, submetida a múltiplos impactos de granalha, a qual é validada por resultados experimentais obtidos através de uma análise híbrida conduzida também no presente trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Jateamento com Granalha

O jateamento com granalha (JCG) é um processo de trabalho a frio, que consiste em projetar granalhas com alta velocidade contra a superfície externa de elementos de máquinas e estruturas. As granalhas atuam como se fossem pequenos martelos provocando deformação plástica na superfície da peça, 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 já existente na superfície. Como resultado da interação entre estas duas camadas aparecerão tensões residuais de compressão na superfície da peça e a uma pequena distância embaixo dela, Figura 1.



Figura 1. Tensões residuais de compressão geradas no processo de JCG

2.2 Técnica do Furo Incremental

A técnica do furo incremental é baseada no relaxamento das tensões causado em um corpo que contém tensões residuais pela criação de um furo. Isto acontece porque cada linha perpendicular à superfície livre (a superfície interior do furo) é necessariamente um eixo principal na qual a tensão normal e de cisalhamento é zero. A eliminação destas tensões na parte interna do furo muda imediatamente as tensões na região vizinha causando uma deformação local na superfície.

Como foi mencionado anteriormente, as tensões residuais produto do processo de JCG variam em função da profundidade a partir da superfície da peça tratada e, através da técnica do furo passante somente poderia se achar a tensão residual média da distribuição de tensões. Por este motivo, no caso do JCG, o furo implementado é cego, sendo registrada a deformação para diferentes profundidades da peça analisada com o intuito de determinar a tensão residual para cada um destes incrementos de profundidade, de aí o nome de furo incremental. Teoricamente a geometria do furo cego para qualquer valor de profundidade é tão complexa que não se tem formulações derivadas da teoria da elasticidade para este caso.

Por esta razão, a análise é feita introduzindo coeficientes de proporcionalidade obtidos por simulação numérica usando o método dos elementos finitos. Nesta análise é obtida a correspondência entre o relaxamento das deformações produzido na vizinhança do furo cego e valores de carregamentos conhecidos. Depois, esta correspondência é inserida nos resultados obtidos experimentalmente por extensometria para encontrar, a partir das deformações, as tensões residuais. Devido a que esta técnica combina análise numérica computacional com ensaios experimentais, chama-se de análise híbrida.

Partindo da formulação teórica para a análise de deformações para furo passante, quando o corpo analisado está submetido simultaneamente a tensões em ambas as direções x e y , obtemos a seguinte expressão para calcular a deformação radial superpondo algebricamente o efeito de cada uma delas por separado, ASTM E-647⁽¹⁾:

$$\varepsilon_r = \sigma_x(A + B \cos 2\alpha) + \sigma_y(A - B \cos 2\alpha) \quad (1)$$

onde: $A = -\frac{1+\nu}{2E} \left(\frac{1}{r^2} \right)$, $B = -\frac{1+\nu}{2E} \left(\left(\frac{4}{1+\nu} \right) \frac{1}{r^2} - \frac{3}{r^4} \right)$, $r = R_0$, R_0 é o raio do furo, $(R; \alpha)$ é o ponto em coordenadas polares onde são medidas as tensões σ_x e σ_y , ν é o coeficiente de Poisson e E é o módulo de Young.

Note-se que A e B são inversamente proporcionais ao módulo de Young, e dependem também da geometria do furo e do coeficiente de Poisson. No caso das tensões geradas pelo processo de JCG, elas são aproximadamente iguais para todas as direções radiais, Wang⁽²⁾, nesse sentido considera-se $\sigma_x = \sigma_y$, sendo que a equação para representar a deformação ε_r fica reduzida a:

$$\varepsilon = 2A\sigma = \frac{2a}{E} \sigma \quad (2)$$

Para o caso de um furo cego, o valor da constante A pode ser considerada em função das propriedades do material, da mesma maneira que para a análise do furo passante, porém usando uma constante adimensional a para cada incremento de furo usinado. Partindo da equação (2) ter-se-á:

$$\sigma_i = \frac{E}{2\Delta a_i} \Delta \varepsilon_i \quad (3)$$

onde i é o número de incremento de furo.

As constantes adimensionais Δa_i , para cada incremento de profundidade, são calculadas através de várias análises pelo MEF (20 incrementos de furo de 0,05 mm cada um). É aplicado um carregamento unitário radial uniforme na lateral externa da chapa (considerada como um meio infinito mas de uma determinada espessura) o qual gera um deslocamento na beira do furo na direção radial, Petrucci⁽³⁾, Hwang⁽⁴⁾. A relação entre este deslocamento e o carregamento aplicado, equação (3), para cada incremento de furo i , é a constante Δa_i . O modelo numérico, apresentado na Figura 2 (a), está composto por 3396 nós e 3238 elementos bidimensionais axissimétricos. A Figura 2 (b) ilustra os valores das constantes Δa em função da profundidade do furo cego.

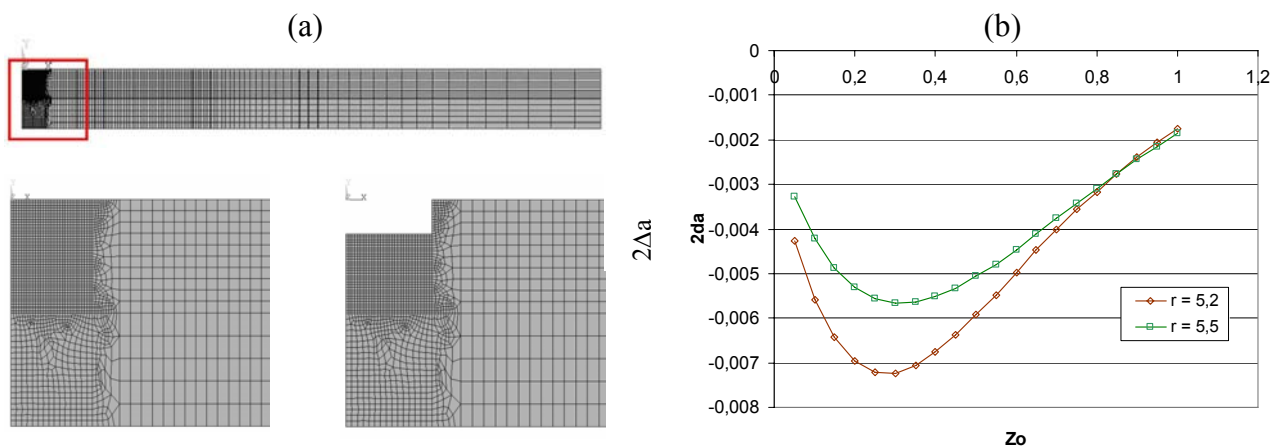


Figura 2. (a) Modelo axissimétrico de chapa usado para análise pelo MEF (inteiro e detalhes)
(b) Constantes de proporcionalidade entre deformação por relaxamento e tensão

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação dos corpos de prova

O material utilizado neste trabalho foi uma chapa metálica de aço SAE 1070 cedida pela BRASMETAL WAELZHOLZ em Diadema, São Paulo. A composição química é apresentada na Tabela 1. A chapa utilizada foi obtida a partir de chapa laminada a quente, de 4,5 mm de espessura. Posteriormente foi laminada a frio e teve sua espessura reduzida para 2 mm (aproximadamente 56% de redução) sendo depois submetida a um recozimento a 690°C durante 10 horas. Obteve-se então, após o tratamento, uma dureza na superfície da chapa de aproximadamente 210 HV Calle⁽⁵⁾.

Tabela 1. Composição Química do aço SAE 1070, fornecida pela Brasmatal Waelzholz

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Cr (%)
0,72	0,75	0,23	0,016	0,001	0,004	0,25

Foram obtidas as propriedades mecânicas do material através de ensaios uniaxiais de tração (Tabela 2). Os corpos de prova foram fabricados seguindo a norma brasileira ABNT NBR 6152⁽⁶⁾.

Tabela 2. Propriedades mecânicas à tração do aço SAE 1070 recozido

Tensão de escoamento	480 MPa
Tensão máxima	568 MPa

Após os tratamentos térmicos, as amostras foram submetidas ao processo de jateamento com granalhas na empresa CINDUMEL em Guarulhos, São Paulo. O tratamento empregou uma intensidade Almen 0,83A mm (segundo SAE J 442). A dureza das granalhas utilizadas estava entre 530 e 650 HV (segundo SAE J 444). Foi aplicado o JCG até atingir uma cobertura de 100%. As

granalhas não apresentavam um tamanho uniforme, mas pode-se estimar um diâmetro médio representativo de 0,875 mm Calle⁽⁵⁾.

3.2 Análise híbrida do JCG

Foi desenvolvido o ensaio para a análise das tensões residuais em dois corpos de prova de aço SAE 1070 recozidos e submetidos ao JCG. As dimensões dos corpos de prova são de 50×50 mm e 2 mm de espessura. Em cada um dos corpos de prova foram colados três extensômetros uniaxiais no formato de roseta de 120°.

Na Figura 3 é mostrada a disposição do primeiro corpo de prova fixado a um bloco suporte, antes de ser desenvolvido o ensaio. A dimensão útil dos extensômetros é de 5,5×1,5 mm, o fator de 2,11 e a resistência de 120 Ω. A ferramenta escolhida para a execução do furo é uma fresa de topo de 1,5 mm de diâmetro, fabricada em aço rápido.

Após o desenvolvimento dos ensaios, a distância dos extensômetros ao centro do furo foi medida nos dois corpos de prova utilizando microscópio eletrônico. Obteve-se nos extensômetros a relação geométrica r de 5,2, à exceção do extensômetro 3 no qual a relação r é 5,5.

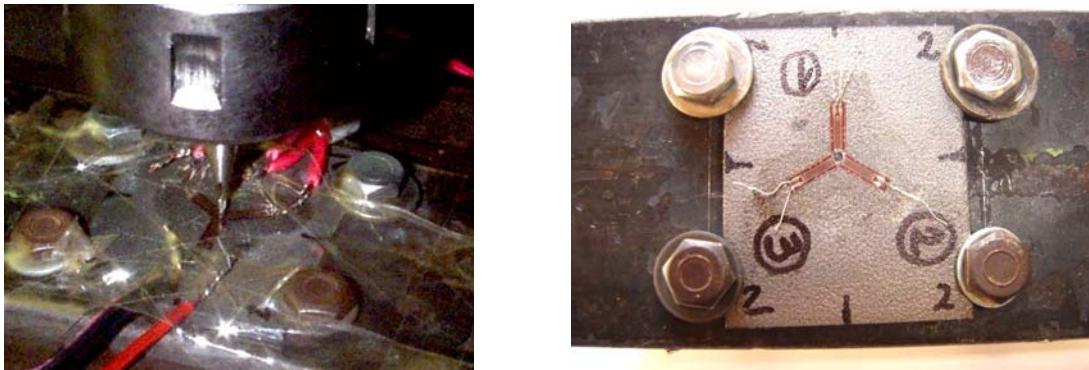


Figura 3. Desenvolvimento do ensaio e configuração da instalação

3.3 Simulação numérica do JCG

O modelo numérico foi concebido com o intuito de encontrar a distribuição das tensões residuais originada no processo de JCG. Devido à grande complexidade do processo adotaram-se algumas simplificações em relação à geometria do modelo, mas sem que isto ocasionasse falta de coerência com o processo real. Simulou-se o impacto das granalhas em uma pequena zona da superfície submetida ao tratamento, de forma semelhante ao que acontece no processo real, onde a superfície não é impactada simultaneamente na área toda e sim aleatoriamente em diferentes regiões de forma individual por cada granalha até atingir a cobertura total. A simultaneidade dos impactos, mencionada anteriormente, implica o fato de que os impactos de cada granalha individual ocorram dentro da fração de tempo de duração do contato da granalha com o alvo (aproximadamente 1,8 μs), Calle⁽⁷⁾.

Considera-se que a distribuição das tensões residuais, na pequena seção da superfície atingida pelo jato, será a distribuição representativa de toda a superfície de uma peça metálica submetida ao mesmo processo de JCG sob os mesmos parâmetros do processo, Benitez⁽⁸⁾. Emprega-se o código comercial ANSYS para a análise pelo MEF no processamento do modelo.

O modelo de tipo tridimensional, Figura 4, possui em total 16362 elementos tridimensionais de interpolação linear e 19199 nós; utilizam-se elementos hexaédricos de 8 nós tanto nos projéteis quanto na placa, empregando-se uma discretização maior na zona de contato.

São gerados, também, elementos de contato entre a superfície da placa atingida e as dos projéteis que entram em contato.

Para a simulação pelo MEF do JCG, considerou-se como material da placa o aço SAE 1070 por ser um material bastante usado na indústria de fabricação de molas e ferramentas de cutelaria.

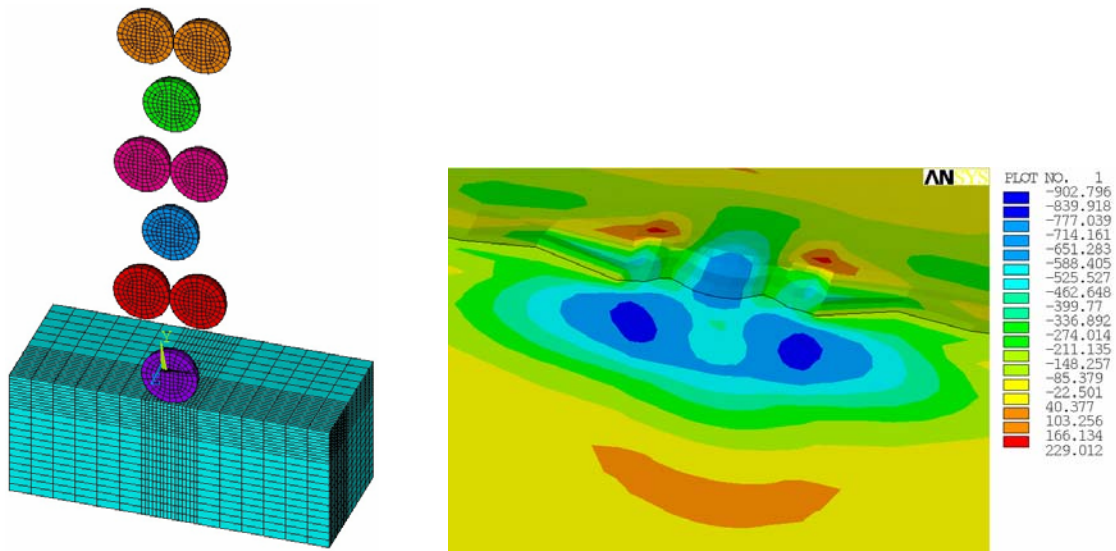


Figura 4. Modelo de elementos finitos e distribuição de tensões residuais (MPa)

Foi considerado o comportamento elasto-plástico do aço SAE 1070 usando um modelo de curva tensão-deformação bi-linear. Devido às altas taxas de deformação presentes no impacto, a análise é considerada de tipo dinâmica explícita. Neste modelo foi considerada uma velocidade de granalha de 83,7 m/s correspondente à intensidade de JCG aplicado aos corpos de prova Guagliano⁽⁹⁾. Foi considerado também o efeito da taxa de deformação sobre a curva tensão-deformação do material quando este é deformado à alta velocidade. Empregou-se o modelo de sensibilidade do material ao incremento da taxa de deformação proposto por Cowper-Symonds, Jones⁽¹⁰⁾.

4. RESULTADOS

4.1 Resultados experimentais

Foram feitos os ensaios de dois corpos de prova (CP1 e CP2) registrando-se as leituras de 6 extensômetros (1, 2 e 3 para o CP1 e 4, 5 e 6 para o CP2). Destas leituras só puderam ser utilizadas na análise as correspondentes a quatro extensômetros (2, 3, 4 e 6), devido a que os extensômetros 1 e 5 resultaram danificados durante o experimento. Na Figura 5 é mostrada a evolução das deformações em função da profundidade do furo executado e seu correspondente ajuste a uma curva polinomial. Este ajuste foi desenvolvido devido a que a não continuidade das curvas ao longo da profundidade do furo, dificultaria a análise. As deformações registradas pelo extensômetro 3 (ligeiramente mais longe do furo) são, como era de se esperar, menores que as medidas com os extensômetros 2, 4 e 6.

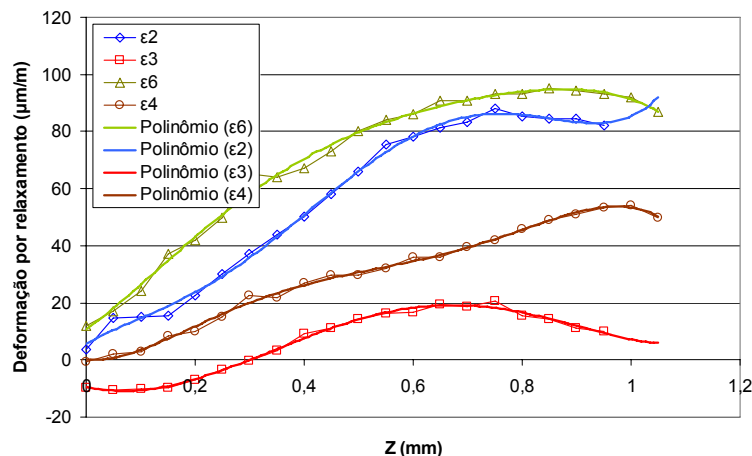


Figura 5. Deformações registradas e ajuste a curvas polinomiais de quinto grau

A partir dos dados dos extensômetros apresentados na Figura 5 são calculados os valores de incremento de deformação ($\Delta\varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}$) e, a partir destes incrementos de deformação, as constantes geométricas Δa_i e o módulo de Young, podem-se obter os valores das tensões residuais para cada incremento de profundidade e assim gerar a curva de distribuição de tensões residuais, Figura 6.

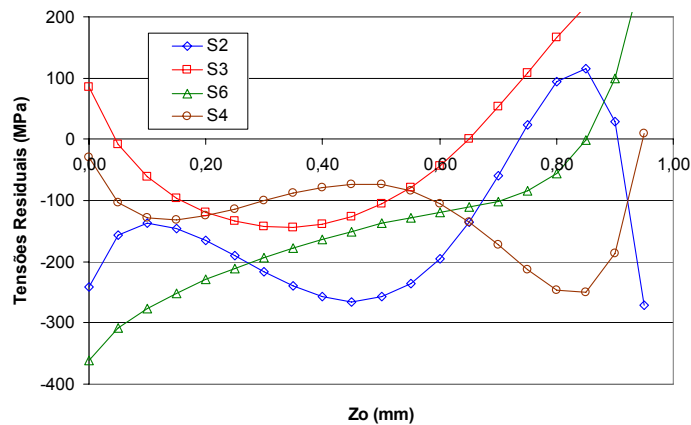


Figura 6. Distribuição das tensões residuais calculadas pela Análise Híbrida

4.2 Resultados da análise numérica

A Figura 7 apresenta as distribuições das tensões residuais determinadas a partir da simulação numérico-computacional. São ilustrados 3 gráficos: SX (0,1 mm) que representa a distribuição de tensões residuais medida a uma distância de 0,1 mm a partir do eixo principal do impacto (Figura 7), SX (0 mm) que representa a distribuição de tensões residuais medida no eixo principal do impacto e SX média que vai ser a média das duas distribuições mencionadas anteriormente.

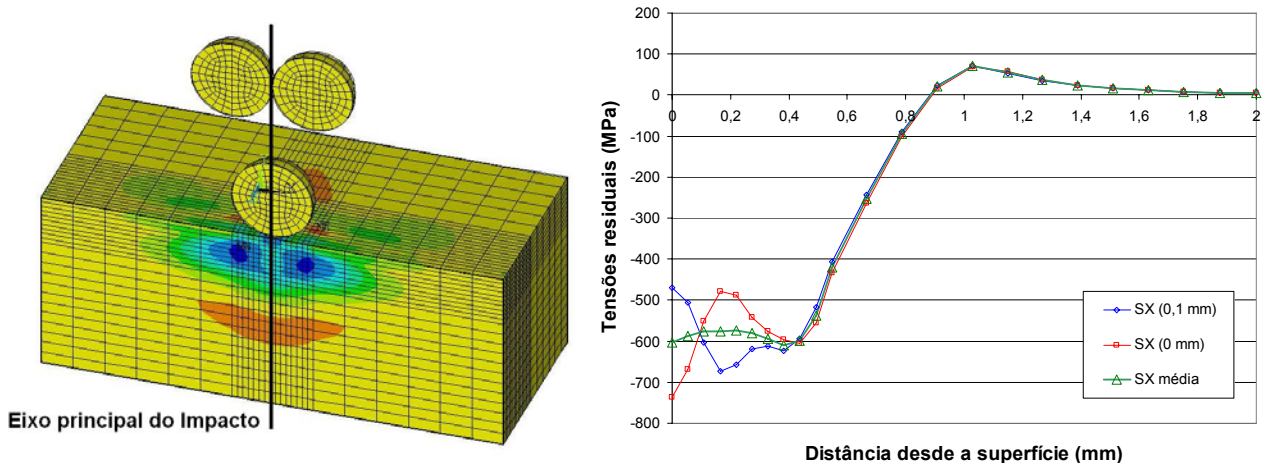


Figura 7. Distribuições das tensões residuais obtidas por Simulação Numérica

Observa-se que os campos de tensões residuais para SX (0,1 mm) e SX (0 mm) são semelhantes a partir de uma determinada profundidade (aproximadamente 0,4 mm). A diferença para profundidades menores que 0,4 mm pode ser atribuída a problemas de cobertura (não uniformidade de endentações provocadas pelos impactos na região analisada). Entretanto, os resultados em relação à profundidade da zona plástica são satisfatórios. Os valores das tensões residuais obtidos através da modelagem e os valores experimentais são comparados na Tabela 3. Adicionalmente a referida Tabela recolhe também valores calculados a partir de expressões fornecidas por outros autores na literatura especializada.

5. OBSERVAÇÕES E CONCLUSÕES

- Pode-se ver que para todas as curvas que representam a distribuição das tensões residuais existe uma proximidade entre elas na faixa de 0,2 a 0,3 mm de profundidade, fazendo que a diferença entre o valor máximo e mínimo de tensão residual, para uma mesma profundidade Z , seja mínima. Esta diferença está estreitamente ligada ao erro de cálculo das tensões residuais através deste método. Quando esta diferença é comparada com o valor absoluto das constantes geométricas vê-se que existe uma relação entre estas duas séries de valores. Quanto maior é a constante geométrica Δa_i ao longo da profundidade Z , menor é o erro de cálculo. Por este motivo é muito importante dispor de valores grandes de Δa_i para o processamento dos dados, valores somente possíveis quando utilizados extensômetros de pequeno tamanho (comprimento e largura) e localizados bem próximos da beira do furo cego.
- Pode-se observar na Figura 6 que a distribuição de tensões residuais S2 apresenta o formato típico do tratamento de JCG, enquanto a distribuição de tensões residuais S3 apresenta uma tensão residual na superfície (σ'_s) de tração o qual é contrário ao intuito principal do tratamento de JCG. Este valor foi ocasionado possivelmente por um registro errado ou uma insuficiente cobertura nessa região. Por este motivo, a tensão residual na superfície da curva S3 não é considerada na avaliação geral dos resultados.
- A distribuição de tensões residuais S6 apresenta uma tensão residual na superfície de compressão como era de se esperar, mas não uma tensão máxima de compressão (σ'_m). Neste sentido, a tensão residual máxima de compressão correspondente à curva S6 é desconsiderada.
- Como resultados da análise geral se obtém que a tensão residual na superfície é de -300 MPa, a tensão máxima de compressão de -204 MPa, que aparece a aproximadamente 0,40 mm abaixo da superfície e, a profundidade da zona compressiva é de 0,747 mm.
- De modo geral, para as curvas consideradas dentro da análise, S2, S3, S4 e S6, os resultados podem ser considerados satisfatórios quando considerada a maneira artesanal com que foram conduzidos os ensaios, pois mostram um grau de similitude entre si e também uma adequada semelhança com as distribuições de tensões residuais típicas de peças tratadas com o processo de JCG.
- Entre as possíveis fontes de erros destacam-se aquelas que introduzem tensões não esperadas no corpo de prova (pelo processo de corte da chapa e aquelas introduzidas devido à fixação dos corpos de prova) além de aquelas provenientes de imprecisão nas ferramentas e procedimentos do ensaio (erros na colagem e posicionamento dos extensômetros, diâmetro do furo variando em função da profundidade, etc).
- A revisão bibliográfica revisada está baseada em formulações empíricas obtidas de ensaios experimentais empregando diferentes materiais, ferrosos e não ferrosos. Estas equações são correlacionadas entre si pelas propriedades mecânicas, Wang⁽²⁾, Yu-Kui Gao⁽¹¹⁾, permitindo a sua aplicação com determinada aproximação para outros materiais. Foi utilizada também uma equação teórica Al-Obaid⁽¹²⁾ que serve para encontrar a profundidade da zona compressiva. A Tabela 3 a seguir apresenta os resultados obtidos neste trabalho e a sua comparação com valores disponíveis na literatura especializada mostrando-se qualitativamente coerentes

Tabela 3. Comparação dos valores das tensões residuais e a profundidade da zona compressiva

Pesquisa	σ'_s (MPa)	σ'_m (MPa)	Z_0 (mm)
Al-Obaid ⁽¹⁰⁾	-	-	0,662
Wang ⁽²⁾	-360,0	-450,6	0,688
Yu-Kui Gao ⁽⁹⁾	-383,1	-361,8	0,370
Análise Híbrida	-300	-204	0,747
Análise Numérica	-500	-600	0,870

- Pode ser observado na Tabela 3 que os resultados da análise numérica não apresentam uma boa concordância com os resultados da análise híbrida e com os resultados da literatura especializada. Apesar de que na Figura 7 os gráficos das distribuições de tensões residuais possuem a configuração típica que caracteriza o processo de JCG, os valores das tensões e da profundidade da zona de plastificação são um pouco altos. Recomenda-se em futuros trabalhos verificar a influência do amortecimento, considerar o comportamento elasto-plástico para o material das granalhas e utilizar um algoritmo implícito na modelagem por elementos finitos

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao MSc. Eng. Antenor Ferreira Filho da empresa BRASMETAL WAELZHOLZ, que cedeu o material para o estudo e disponibilizou as instalações onde foram realizados os tratamentos térmicos, e ao Eng. Marcos E.B. Fazolari da empresa CINDUMEL, que disponibilizou as instalações onde foi realizado o jateamento com granalha das amostras.

Gostaríamos também de agradecer aos Departamentos de Engenharia de Mecânica, Engenharia Metalúrgica e Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP, assim como ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Presbiteriana Mackenzie pela permissão do uso dos equipamentos que possibilitaram a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

1. ASTM E-647, Standard Test Method for Determining Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 03.01 e 12.02, **Designation: E 837-89**, 1994.
2. WANG, S. *et al.*, Compressive Residual Stress introduced by Shot Peening. **Journal of Materials Processing Technology**, Vol 73, pp. 64-73, 1998.
3. PETRUCCI, G. e ZUCCARELLO, B., A new calculation procedure for non-uniform residual stress analysis by the hole-drilling method. **Journal of Strain Analysis**, Vol. 33, No 1, pp. 27-37, 1998.
4. HWANG, B-W., SUH, C-M. e KIM, S-H., Finite element analysis of calibration factors for the modifies incremental strain method. **Journal of Strain Analysis**, Vol. 38, No 1, pp. 45-51, 2003.
5. CALLE, M.A., MACHADO, I., Efeitos do processo de jateamento com granalhas na microestrutura e nas propriedades mecânicas de um aço SAE 1070. **II Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, Uberlândia, Brasil, Maio 2003.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6152**: resumos. Rio de Janeiro, 1990. 13 p.
7. CALLE, M. A., GONÇALVES, E., **Análise numérico-computacional das tensões residuais induzidas pelo jateamento com granalha**. São Paulo, 2004. 96p. Tese de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
8. BENÍTEZ, B. D., GONÇALVES, E., 2001. Modelagem do processo de jateamento por granalha empregando o Método dos Elementos Finitos. **V Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica y IV Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica**. Venezuela.
9. GUAGLIANO, M., Relating Almen Intensity to Residual Stresses Induced by Shoot-Peening: A Numerical Approach. **Journal of Materials Processing Technology**, Vol 110, pp. 277-286, 2001.
10. JONES, N., 1988. **Structural Impact**. Cambridge University Press.
11. YU-KUI GAO, MEI YAO e JIN-KUI LI, An Analysis of Residual Stress Fields Caused bay Shot Peening. **Metallurgical and Materials Transactions A**, Vol 33A, pp. 1775-1778, Junho 2002.
12. AL-OBAID, Y.F., Shot-peening Mechanics: Experimental and Teorical Analysis. **Mechanics of Materials**, Vol 19, pp.251-260, 1995.

MODELLING OF SHOT-PEENING PROCESS: NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS

Miguel Angel Calle Gonzales¹, Eng.

Department of Mechatronics and Mechanical Systems of Polytechnic School, University of São Paulo

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

Tel: +11-3091-5561 r.203, Fax: +11-3091-5461. E-mail: miguel.gonzales@poli.usp.br

Daniel Benítez Barrios², Dr.Eng.

Group of Numerical Simulation (GSN), Department of Mechanical Engineering of Presbyterian Mackenzie University

Rua da Consolação 930 CEP 05508-900 - São Paulo - S.P. Brazil.

Tel: +11-2114 8478. E-mail: danielbb@mackenzie.com.br

Edvaldo Angelo², Dr.Eng.

E-mail: eangelo@mackenzie.com.br

Edison Gonçalves¹, Dr.Eng.

E-mail: edison@usp.br

Abstract. *The shot peening is a mechanical process where a treated surface is submitted to a high speed shot several impacts. This cold work cause plastic deformations and compressive residual stresses both at the surface and beneath. When applied correctly, the process could bring many benefits, being the most important the increasing fatigue life for machine elements and structures. A superposition of the induced compressive residual stress and the tensile stress due to an external loading may reduce the fatigue phenomenon presence. The fatigue strength increase depends on a value and residual stress distribution. At the same time, the residual stress distribution is closely related to a shot peening process parameters. Is very important to know how the process parameters affect the compressive residual stress distribution. The present work shows a three-dimensional shot peening process modeling, using the finite element method to represent a steel SAE 1070 plate subjected to a multiple shot impacts. The SAE 1070 steel is used in cut tools, springs, among others mechanical applications. The numerical obtained results are compared with experimental values developed by the authors in this research too. The residual stress fields and the plastic zone depth value were calculated through the both methods obtaining good agree using these different approaches.*

Keywords: *Shot peening, plastic deformation, residual stress, hole drilling method, finite elements.*