



39th SENAFOR

23rd International Forging Conference - Brazil

9th International Sheet Metal Forming Conference / 9th International Sheet Metal Forming Conference / 6th BrDDRGG Congress

9th International Conference on Materials and Processes for Renewable Energies

2nd International Conference on Surface Engineering in Material Forming

Estudo Comparativo do Ensaio de Compressão a Quente do aço SAE1045 e sua Simulação Computacional.

Comparative Study of SAE1045 Steel Hot Compression Test and its Computational Simulation.

Fernando Silveira de Aguiar ⁽¹⁾

Alessandra Regina Machado Schifino ⁽²⁾

André Rosiak ⁽³⁾

Lírio Schaffer ⁽⁴⁾

RESUMO

Este estudo descreve as comparações feitas em um ensaio de compressão a quente de uma geratriz de aço SAE1045, relacionando os resultados com a simulação computacional. O objetivo principal deste estudo é obter os esforços de força em função do deslocamento no aço SAE 1045, para assim validar os dados fornecidos pelo software. Utilizando-se a coerência entre os resultados obtidos pelo software e pela célula de carga, para isso foram utilizados cinco corpos de prova com dimensões de 35mm de diâmetro x 70mm de altura, forjadas na temperatura de 1100°C com velocidade de compressão de 3,4m/s e redução em 50% de altura. Todos os ensaios foram feitos com uso de lubrificante a base de grafite e sempre mantendo a temperatura de 250°C na ferramenta (matrizes). Os softwares para simulação utilizados foram o Simufact forming e o Forge. Para obtenção da macroestrutura submeteu-se as peças ao processo de lixamento progressivo até a granulometria de 1200, seguido de ataque químico com iodo. Os resultados obtidos indicam que o software apresenta boa assertividade com o experimento prático, pois os dados obtidos foram todos coerentes. Referente ao comportamento dos corpos de prova, também se consegue, via simulação, ter uma excelente percepção e assertividade quanto proximidade dimensional, tratando-se de um forjamento em matriz aberta.

Palavras chave: Simulação Computacional; Ensaio de Compressão; Aço SAE 1045.

ABSTRACT

This study describes the comparisons made in a compression test of a SAE1045 steel generator relating the results to a computer simulation. The main one of this discipline is to obtain the force x displacement measurements in SAE 1045 steel, in order to validate the data by the software, analyzing the coherence between the results obtained by the software and the load cell. For this purpose, five demons with a diameter of 70 mm height and 70 mm height

⁽¹⁾ Mechanical Manufacturing Technologist, Institute Federal Sul rio-grandense,

⁽²⁾ Msc. Metallurgical Engineer, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil

⁽³⁾ Metallurgical Engineer; Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil

⁽⁴⁾ Prof. Dr. Ing; Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil.

were used, forged at a temperature of 1100 ° C with 3.4 m / s compression and 50% reduction in height. All bumps were made using graphite and worm-based lubricants, maintaining the temperature of 250 ° C in the tool (dies). Simulation software Simufact forming and Forge. To the use of the macrostructure underwent the progressive sanding process up to 1200 grit, followed by chemical etching with iodine. The obtained results indicate that the software presents good assertiveness with the practical experiment, because the obtained data were coherent. Identifications of the behavior of the body, also get, via simulation, have an excellent perception and assertivity through dimensional, dealing with forging in open matrix.

Keywords: Computational Simulation; Compression Testing; SAE 1045 steel.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de forjamento se dividem basicamente em três tipos, sendo eles a frio, a morno e a quente. O forjamento a quente é feito em temperaturas acima da zona de recristalização do material, sendo esse processo o que deixa o metal mais fácil de ser conformado, pois ocorre simultaneamente com a deformação, uma deformação estrutural, tornando o metal menos propenso à fratura. Estes fenômenos dinâmicos são mecanismos de restauração da microestrutura e afetam significativamente o escoamento do metal, sendo o fator chave dos processos a quente [1].

Largamente difundido na Europa, o forjamento a quente é um dos principais processo da região, sendo consumidos milhões de toneladas ano.

O processo consiste na deformação plástica de uma geratriz através de sua compressão entre matrizes para a obtenção de uma determinada forma final [2].

No forjamento em matriz aberta, a peça é conformada entre duas matrizes de modo que apenas uma parcela do corpo é conformada pelas matrizes, já no forjamento em matriz fechada o corpo de prova é completamente envolvido pelas matrizes. No primeiro caso o material conformado escoar de forma livre, já no segundo caso o material escoar de forma restrita pelas matrizes que envolvem o material [3].

Na operação de forjamento um fator que deve ser levado em consideração é o atrito entre a faces da ferramenta e da peça, que nada mais é do que a dificuldade do metal em escoar quando submetido a deformação. Por consequência, quanto maior for o atrito maior será a dificuldade de o material escoar e com isso o esforço requerido para deformação ser maior [4].

Utilizou-se então simulação numérica para comparar os dados obtidos nos ensaios práticos. A simulação numérica consiste em uma ferramenta utilizada para representar situações reais em ambiente virtual, de forma a apontar os possíveis resultados e permitir a compreensão do comportamento das variáveis, auxiliando no processo de avaliação de estratégias operacionais [5].

De acordo com Medeiros [5], essas simulações têm grande relevância para a pesquisa e geração de conhecimento, pois se utiliza de sistemas complexos e com grande interação entre suas partes, permitindo um alto grau de interação entre o pesquisador e seu objeto de pesquisa. Além disso, alia aspectos mais racionais, no que diz respeito às possíveis formas de interação entre os elementos do modelo, e aspectos empíricos, permitindo a descoberta de novos processos de interação por meio da tentativa e erro.

Conforme Moraes [6], essa ferramenta demonstra grande importância para a análise de parâmetros relativos ao processo de forjamento a quente de aços baixo carbono, de modo a auxiliar no processo de desenvolvimento de novos processos de fabricação, otimizando o processo de forjamento, reduzindo custos, o tempo e os testes físicos durante o ciclo de produção.

De acordo com Colpaert [7], os ensaios podem ser macrográficos ou micrográficos. No primeiro caso, a superfície do material passa por uma análise (a olho nú ou com ampliação de até 50x), após ter sido polida e atacada com o lodo (10g de iodeto sublimado, 20g de iodeto de potássio e 100ml de água destilada), seguida de um repolimento com alumina 0,3 μ . Após esse processo o ataque revela segregações, porosidades, fissuras, profundidade de camadas depositadas e linhas de deformação. Já no ensaio micrográfico, a análise ocorre com o auxílio de um microscópio, onde é possível identificar características como a granulação do material e o teor aproximado de carbono no aço.

2. MATERIAS E MÉTODOS.

Com o intuito de comparar os recursos e resultados provindos da simulação computacional relacionado a prática se submeteu 5 amostras cilíndricas ao ensaio de compressão.

Os corpos de prova foram fabricados de aço SAE1045, todos torneados nas dimensões de 70mm x 35mm de diâmetro Figura 1. As geratrizes foram aquecidas a uma temperatura de 1100°C por um período de uma hora para homogeneização da temperatura.



Figura 1: Corpos de prova de aço SAE1045 nas dimensões de 70mm x 35mm

A compressão dos corpos de prova foi realizada em matriz aberta, Figura 2 (a) e (c) com velocidade de 3,4m/s e uma redução de 50% na altura dos corpos de prova. Utilizou-se batentes temperados de 35mm de altura para limitar a compressão.

A prensa utilizada no ensaio foi uma prensa hidráulica FKL modelo PH600, Figura 2 (b), com força máxima de 600ton, e com auxílio de células de carga se conseguiu obter os dados dos esforços gerados para compressão em cada uma das geratrizes.

Para redução do atrito entre as faces de matriz e dos corpos de prova utilizou-se lubrificante a base de grafite.

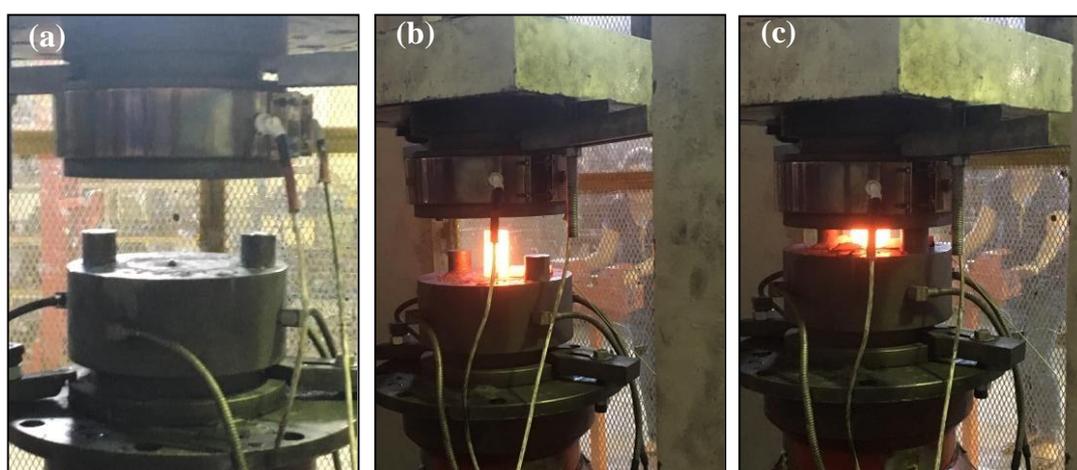


Figura 2: (a) Matriz (b) Corpo de prova aquecido (c) Compressão

Estabilizou-se a temperatura das matrizes em 250°C para mitigar a perda térmica no contato entre peça a ferramenta.

No software Forge fez-se as geratrizes nas mesmas dimensões e abasteceu-se com os mesmos dados de entrada utilizados no ensaio prático, acrescentando apenas coeficiente de atrito de 0,3µm, cooling de 5 segundos Figura 3 e a malha triangular de 1mm.

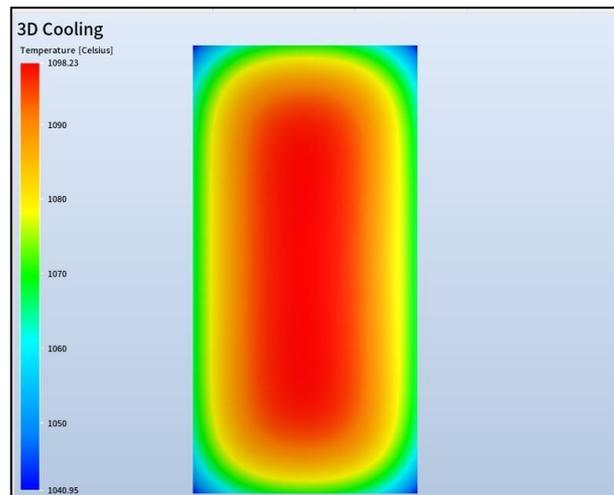


Figura 3: Cooling de 5 segundos (Software Forge)

Para visualizar as linhas de fluxo do material foi necessário aplicar lixamento progressivo alternando a direção de lixamento a cada troca de granulometria, iniciando em uma lixa de 220, 360, 400, 600 e 1200 micra.

Posteriormente a amostra foi limpa e submetida ao ataque de Iodo (10g de iodeto sublimado, 20g de iodeto de potássio e 100ml de água destilada) por 20 minutos. Limpou-se a superfície da amostra, fez-se um novo polimento para realçar os contrastes, para assim ser realizada a análise macrográfica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o ensaio prático, representado na Figura 4 (a), conseguiu-se notar o “embarrilhamento” do material muito semelhante ao software, como pode ser visto na Figura 4 (b).

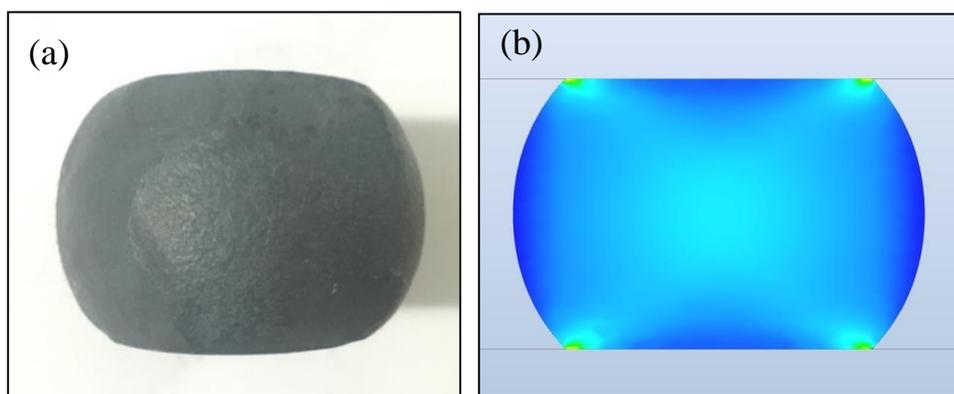


Figura 4: (a) Peça física ensaio de compressão x (b) peça via simulação (Forge)

Através da simulação, apresentada na Figura 5 (a), também se pode estimar as dimensões do corpo de prova, sendo que o mesmo apresentou grande proximidade com as peças físicas ensaiadas Figura 5 (b). Via simulação o diâmetro maior demonstra 53,3478mm, e no ensaio prático a peça apresentou $\varnothing 53,07\text{mm}$, com uma variação de 0,5mm de deformação.

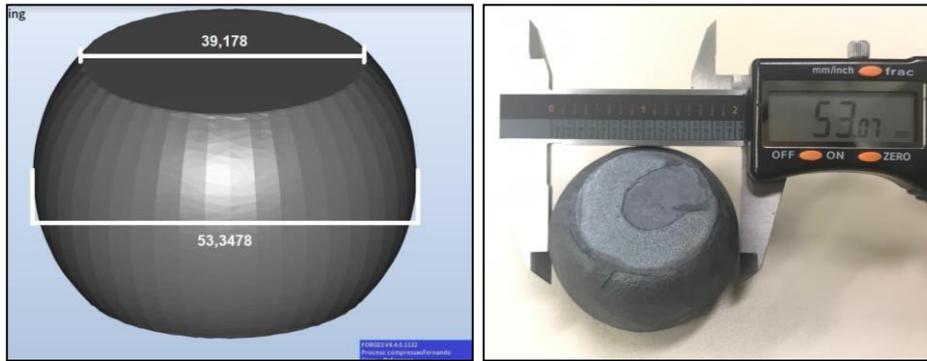


Figura 5: comparativo dimensional peça gerada via simulação e peça física.

Via simulação conseguiu-se obter diversos dados, dentre eles a distribuição de tensões Figura 6, a distribuição de temperatura Figura 7 e a distribuição de deformações Figura 8.

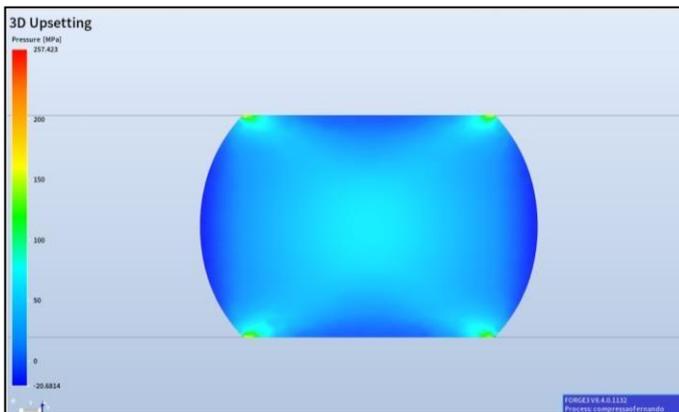


Figura 6

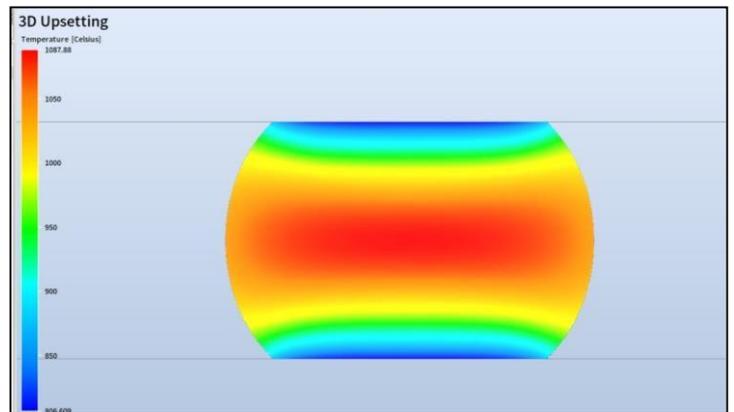


Figura 7

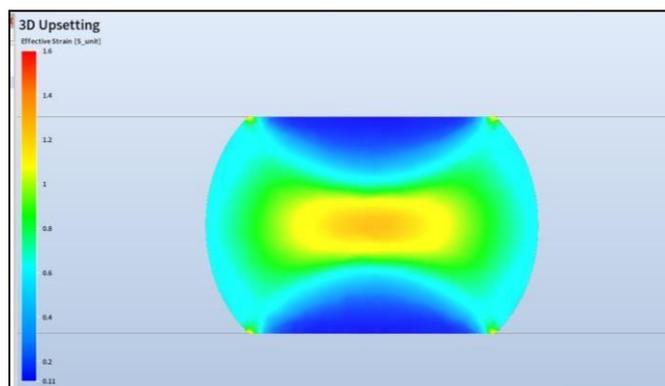


Figura 8

Através do ensaio prático conseguiu-se obter a curva da força em função do deslocamento e compará-la com a obtida na simulação computacional, representada na Figura 9. Ao sobrepor as curvas pode-se evidenciar que a variação entre software e ensaio prático são bem pequenas, podendo-se atribuir tal diferença ao cooling considerado na simulação que, por possuir um tempo maior do que o tempo de transferência real, fez com que a perda térmica um pouco maior gerasse esta variação.

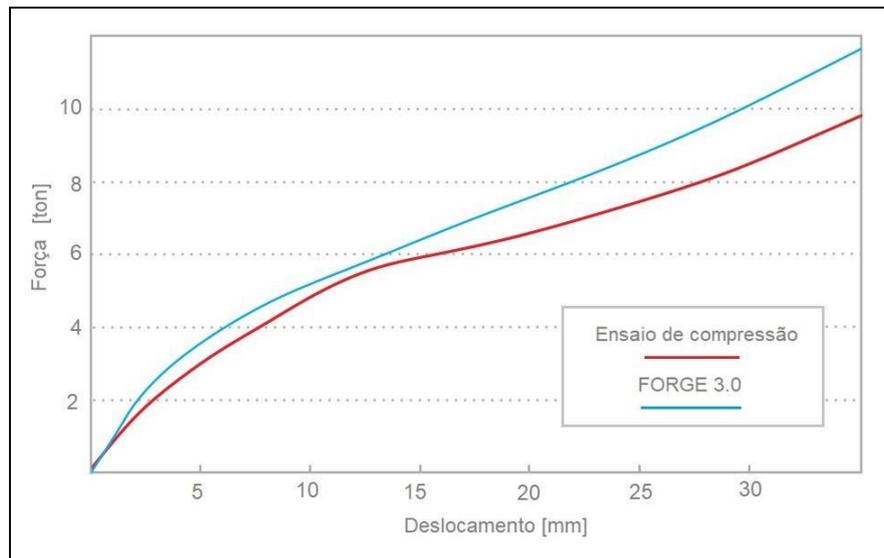


Figura 9: Comparativos curva de deslocamento do material x curva da força aplicada

Aplicando-se o reagente de lodo, realizou-se a análise macrográfica do material, obteve-se as linhas de fluxo do material em função do ensaio de compressão, é visível na Figura 10 as linhas se deslocando para as extremidades do corpo de prova, enquanto o núcleo pouco se altera, apenas sofre a compressão sem ter para onde expandir.

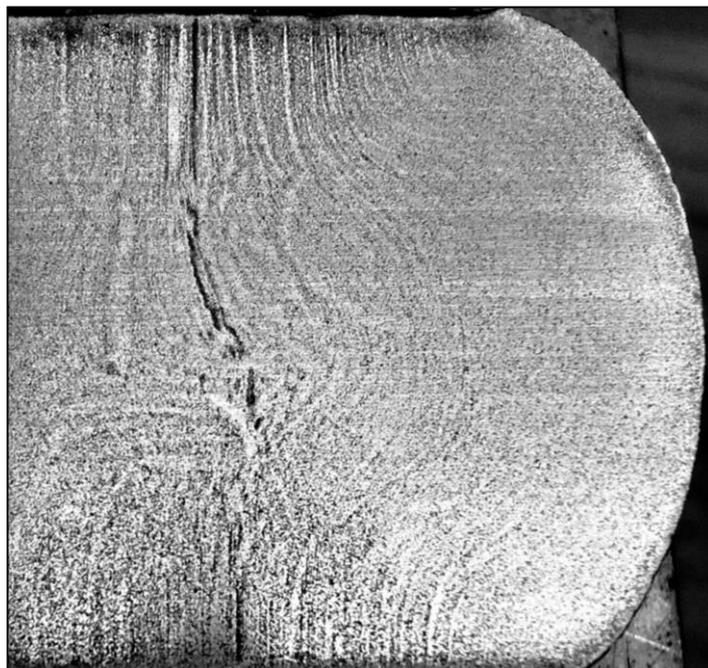


Figura 10: Corpo de prova com ataque de lodo para análise das linhas de fluxo.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se no estudo em questão, que a simulação computacional tem grande coerência com o experimento prático.

As forças aplicadas em função do deslocamento tiveram grande similaridade quando comparadas entre ensaio prático e simulação, assim como o dimensional dos corpos de prova.

As diferenças apresentadas podem ser atribuídas à perda térmica no ensaio prático, tendo em vista que os resultados obtidos com o uso do software, mesmo que considerando o cooling de 5 segundos, a perda térmica é empírica, portanto, a variação apresentada pelo estudo é aceitável.

Com relação ao comportamento dimensional, via software, o escoamento do material ao ser comprimido é uniforme, mesmo considerando um coeficiente de atrito. Na prática, pode haver pequenas diferenças em função da variação na homogeneidade da aplicação do lubrificante, considerando o dinamismo necessário para a realização do ensaio.

O presente estudo evidencia que, mesmo aplicada em uma peça com geometria simples, a simulação computacional apresenta boa assertividade.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] SAADATKIA, S.; MIRZADEH, H.; CABRERA, J-M. **Hot deformation behavior, dynamic recrystallization, and physically based constitutive modeling of plain carbon steels**. *Materials Science & Engineering A*, V. 636, p. 196–202, 2015.
- [2] KOLLER, L. A.; SCHAEFFER, L.; OLIVEIRA, R. A. Evaluation of Two Commercially Available Lubricants by Means of
- [3] SCHAEFFER, L. Forjamento. 1^a. ed. Porto Alegre: Editora Imprensa Livre, 2001.
- [4] ASM, **ASM Handbook** – Forming and Forming Vol. 14, 9 Ed, American Society for Metals – ASM, 1993
- [5] MEDEIROS, Luciano Frontino de; Moser, Alvino; SANTOS, Neri dos. Simulação computacional como técnica de pesquisa na administração. *Revista Intersaberes*, v. 9, n. especial, p.441-459, jul.- dez. 2014.
- [6] MORAES, Araldo Luiz Isaias de. Numerical simulation of hot closed die forging of a low carbon steel coupled with microstructure evolution. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- [7] COLPAERT; Hubertus. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns, 3^a Edição, Editora Edgarg Blücher Ltda, São Paulo – 1974.