



ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FADIGA E DANO ACUMULADO DO AÇO ABNT 8640 APÓS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE NORMALIZAÇÃO, TÊMPERA E REVENIMENTO

Matheus P. Wischi¹, Ricardo O. Sulato², Rafael de O. Chang^{2*}, Raul G. Santos²,
Gilberto V. Prandi¹, Roberto N. Duarte² e Renato C. Souza²

1 – Laboratório de Metalurgia Física, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP.

2 – Engenharia de Controle e Automação (ECA), Instituto Federal de São Paulo (IFSP). Av Marginal 585 Fazenda Nossa Senhora Aparecida do Jaguari, São João da Boa Vista, CEP 13871-298, SP
ricardo.sulato@aluno.ifsp.edu.br

RESUMO

O aço ABNT 8640 foi um material desenvolvido durante Segunda Guerra Mundial, devido à grande produção de armamentos e desenvolvimento de tecnologias, houve uma escassez de cromo e com isso uma das formas mais eficientes foi a adição de níquel, que substituiu cerca de 50 % do teor de cromo típico do 4630 resultando em um material resistente e com boa resistência ao desgaste. Devido a sua versatilidade, foram estudadas diversas propriedades mecânicas do material sem tratamento e com tratamentos térmicos de normalização, têmpera com revenimento simples e com duplo revenimento. Para estudo das propriedades mecânicas, foram realizados ensaios mecânicos, dentre eles: ensaios de tração, fadiga por flexão rotativa e dano acumulado por flexão rotativa. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração e obteve-se os limites de escoamento de 1119 MPa para o material bruto de produção, 1176 MPa para o material com tratamento de normalização, 1320 MPa para o material com tratamento de têmpera e revenimento simples e 1598 MPa para o material duplo revenido. Com os ensaios de tração, foi possível elaborar curvas S-N para o estudo do comportamento em fadiga do material iniciando com tensões aplicadas, em média, 75% do limite de escoamento encontrado para cada condição do material e sendo decrementadas até que o material atingisse a condição de vida infinita (10^7 ciclos), o que ocorreu em média a 45% da tensão. No tratamento de têmpera com revenimento simples, com 45% da tensão (594 MPa) o material ultrapassou os 20 milhões de ciclos. Os ensaios de dano acumulado foram elaborados perante a teoria de Palmgren-Miner, uma teoria de predição de ciclos em fadiga, gerando-se curvas no método crescente de dano acumulado por fadiga, onde a tensão aplicada no primeiro nível é menor do que a aplicada no segundo nível, visando diminuir as tensões internas e atingir uma ciclagem maior no segundo nível. Para os tratamentos de normalização, o fator K (fator de predição da vida em fadiga) atingiu 1.36, ou seja, ultrapassou em 36% a ciclagem de ruptura prevista pela teoria, com uma porcentagem de 55% dos ciclos da vida em fadiga no 1º nível para a tensão escolhida.

Palavras-chave: Aço ABNT 8640. Tratamentos térmicos. Fadiga. Flexão Rotativa. Dano acumulado.

INTRODUÇÃO

Os materiais metálicos são muito requisitados em projetos na indústria por serem resistentes, maleáveis e podem ser tratados termicamente, havendo um arranjo atômico em sua estrutura e melhorando certas propriedades mecânicas⁽⁶⁾. O aço ABNT 8640 apresenta uma boa temperabilidade, elevada resistência mecânica, excelente usinabilidade e boa forjabilidade, devido a essas características, tornou-se um substituto para o aço 1045, além de possuir melhores propriedades nas seções transversais e resistência à fadiga. Devido a isso ele possui uma grande aplicação na indústria mecânica na produção de peças de tamanho médio a grande para as quais um alto grau de tenacidade e resistência é exigido, como pontas de eixo e braços⁽²⁾. Por fazer parte dessa área, as peças para as quais esse aço é utilizado, sofrem ações de forças que podem fadigar o material, levando-o à nucleação de trincas e, posteriormente, à sua ruptura. Os tratamentos térmicos têm como objetivo o alívio de tensões internas causadas pela confecção do material, com isso, há uma modificação de suas propriedades mecânicas, podendo melhorá-las⁽⁷⁻⁸⁾. Em aplicações reais, os materiais não são submetidos apenas por uma carga constante, eles podem estar sujeitos a cargas variáveis. A regra de Palmgren-Miner é um método que prediz a vida em fadiga de um material sujeito a cargas variáveis, onde se utiliza as curvas de $\sigma \times N$ para estipular os ciclos utilizados nos testes e tratar o dano causado com um método de contagem cíclica eficaz^(3-5,4).

Para verificação das mudanças das propriedades mecânicas, almeja-se detectar se há um aumento nos limites de escoamento com testes de tração no aço ABNT 8640 com os respectivos tratamentos térmicos realizados e investigar como os tratamentos térmicos influenciam na vida em fadiga do aço ABNT 8640 com testes de resistência à fadiga por flexão rotativa e testes de dano acumulado por fadiga por flexão rotativa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Devido ao aço ABNT 8640 apresentar boas propriedades mecânicas que são amplamente aplicadas em projetos na engenharia, o intuito será caracterizar algumas dessas propriedades, dentre elas as propriedades relacionadas a tração, fadiga por flexão rotativa e dano acumulado por flexão rotativa. Para isso, a barra de material como recebido, será fracionada e usinada em tarugos pouco maiores que o diâmetro final do corpo de prova, após isso, os tarugos serão divididos em quatro lotes e serão aplicados os seguintes tratamentos térmicos:

1º lote – Foi tratado termicamente com o processo de normalização a 870°C por 1 hora e resfriado no ar;

2º lote – Foi tratado termicamente com o processo de têmpera a temperatura de 920°C durante 3 horas e foram resfriados no ar, seguido de revenimento a temperatura de 550°C por 1 hora;

3º lote – Foi tratado termicamente com o processo de têmpera a temperatura de 900°C durante 3 horas e foram resfriados no ar, seguido de revenimento a temperatura de 550°C por 1 hora e resfriados em martêmpera seguido de um segundo revenimento a temperatura de 450°C por 1 hora e resfriados em martêmpera;

4º lote – Não foi realizado o tratamento térmico.

Após realizado os tratamentos térmicos, os corpos de prova serão usinados conforme manual do fabricante da máquina de testes de fadiga por flexão rotativa, um modelo RBF-200 da FDIInc. O corpo de prova está exemplificado na figura 1.

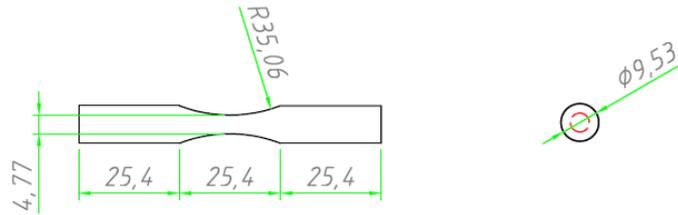


Figura 1 – Corpo de prova utilizado nos ensaios de tração e de fadiga por flexão rotativa (dimensões em mm) (Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em manual RBF-200 FDInc⁽¹⁾)

Após a usinagem ser realizada nos corpos de prova, serão submetidos aos ensaios de tração, para obtenção dos limites de escoamento, e de fadiga por flexão rotativa, para geração das curvas $\sigma \times N$. Em seguida a esses ensaios, os dados obtidos nos ensaios de fadiga, serão utilizados nos ensaios de dano acumulado por flexão rotativa, onde se aplica uma carga inicial e se estipula uma porcentagem de vida no primeiro nível (escolhidos 30%, 55% e 75%), após isso, aumenta-se a carga, gerando um dano acumulado e verificando se teoria de predição de vida em fadiga é satisfeita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização dos ensaios de tração, foi possível obter os valores dos limites de escoamento, para cada lote dos tratamentos térmicos realizados, expressos na tabela 1.

Tabela 1: Tratamentos realizados e suas tensões de escoamento

Lote	Tensão de Escoamento
Sem tratamento	1119 MPa
Normalização	1176 MPa
Têmpera com 1 revenimento	1320 MPa
Têmpera com 2 revenimentos	1598 MPa

Com os valores de limite de escoamento, os ensaios de fadiga por flexão rotativa foram realizados, iniciando-se com uma carga alta e sendo decrementada gradativamente até a obtenção da vida infinita (10^7 ciclos). Com relação ao comportamento em fadiga por flexão rotativa, os corpos de prova sem tratamento térmico mostraram um limite de resistência a fadiga em torno de $\sigma_{m\acute{a}x.} = 45\% \sigma_e$ (503 MPa); para os corpos de prova submetidos ao tratamento de normalização o limite de resistência a fadiga mostrou-se em torno de $\sigma_{m\acute{a}x.} = 45\% \sigma_e$ (529 MPa); com os corpos de prova submetidos ao tratamento de têmpera com revenimento simples o limite de resistência a fadiga mostrou-se em torno de $\sigma_{m\acute{a}x.} = 45\% \sigma_e$ (594 MPa); para os corpos de prova submetidos ao tratamento de têmpera com duplo revenimento o limite de resistência a fadiga mostrou-se em torno de $\sigma_{m\acute{a}x.} = 50\% \sigma_e$ (799 MPa). Abaixo na figura 2, as curvas obtidas no ensaio de fadiga.

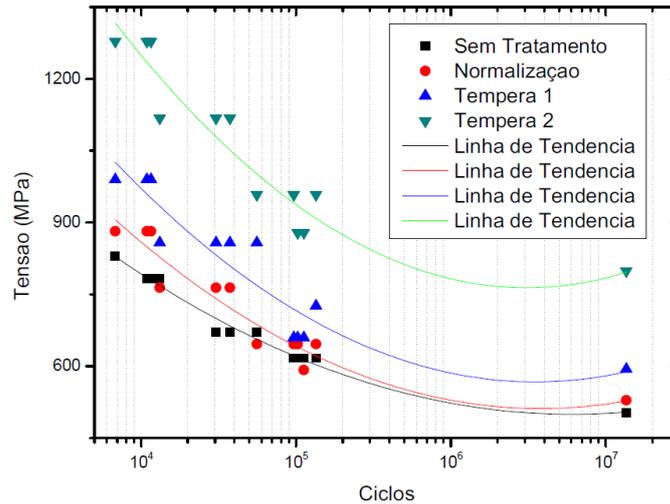


Figura 2 – Curva $\sigma \times N$ comparando todas as condições de tratamento

Com os dados de fadiga gerados, foi possível elaborar os ensaios de dano acumulado, sendo observado no gráfico da figura 3.

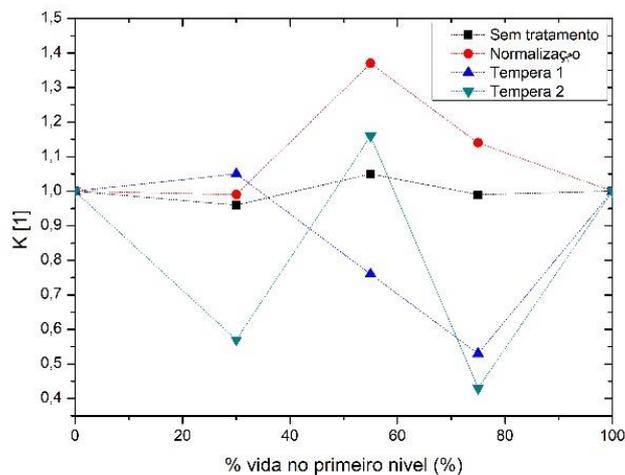


Figura 3 – Curvas comparando o dano acumulado em cada tratamento

Com o gráfico é possível verificar que o material sem tratamento algum, após ser submetido a diferentes cargas e ciclos no primeiro nível de fadiga, o material fraturou próximo da ciclagem prevista pela teoria de Palmgren-Miner, sendo indicado pelo fator K próximo do valor 1. Observa-se que o material com normalização, apresentou uma sobrevida, além da previsão indicada pela teoria, com fator K próximo de 1,4 em 50% da vida em fadiga no primeiro nível. O material quando submetido a têmpera e revenimento simples e têmpera e revenimento duplo apresentou muita instabilidade durante o ensaio, onde ambos na vida em primeiro nível com 75% dos ciclos, não suportaram a segunda fase dos testes com a elevação da carga e fraturaram antes dos 75% dos ciclos.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a aplicação de tratamentos térmicos no aço SAE 8640, o limite de escoamento aumentou consideravelmente, o que é explicado devido a têmpera causar um rearranjo atômico e o revenimento aliviar as tensões internas, fortalecendo a relação entre os grãos. O duplo revenimento, melhorou ainda mais essa propriedade no material.

Com relação aos testes de fadiga, os tratamentos atingiram vida infinita em porcentagens semelhantes, porém o duplo revenido ficou acima dos outros, indicando que o segundo revenimento melhorou a resistência a fadiga do material.

Nos testes de dano acumulado, devido aos corpos de prova serem bem regradados, foi possível observar uma sobrevida do material apenas no tratamento de normalização, que apresentou um fator $K=1,36$, sendo considerado uma sobrevida de 36% a mais dos ciclos previstos para quebra. Mas, devido às instabilidades nos corpos de prova temperados e revenidos, podendo ser observada nas flutuações dos ciclos para mesma carga no gráfico da figura 2, não foi apresentada uma curva característica desse ensaio havendo muitas oscilações nos dados. Porém, como os corpos de prova apresentaram uma maior resistência ao desgaste suportando cargas mais altas e atingindo a vida infinita em porcentagens semelhantes ou acima dos outros ensaios, esperava-se que também apresentassem uma sobrevida nos ensaios de dano acumulado.

Como ponto de melhoria, é sugerido repetir os tratamentos realizados e refazer os testes de dano acumulado com mais corpos de prova, para assim gerar mais dados para esse ensaio.

REFERÊNCIAS

1. Fatigue Dynamics, Inc. INSTRUCTION MANUAL RBF-200: ROTATING BEAM FATIGUE TESTING MACHINE. Dearborn, Michigan.
2. LIMA, D. R. S. de. Desenvolvimento de Tecnologia de Forjamento de Aço AISI 8640 Destinado à Produção de Brocas de Perfuração. 2007, 79p. Tese (Mestrado em Materiais) – Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia da UFRGS, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Porto Alegre.
3. PALMGREN, A., Ball and Roller Bearing Engineering. SKF Industries, Inc., Philadelphia, 1945, p. 82-83.
4. PAN, N.; SHEPPARD, S.; WIDMANN, J. M. Fatigue Life Prediction of Resistance Spot Welds Under Variable Amplitude Loads. In: PANONTIN, T. L.; SHEPPARD, S. D. Fatigue and Fracture Mechanics: Twenty-Ninth Volume. ASTM STP 1332, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1999. p. 802-814. Disponível em: <<https://doi-org.ez338.periodicos.capes.gov.br/10.1520/STP1332-EB>>. Acesso em: 5 jun. 2021.
5. MINER, M.A. Cumulative Damage in Fatigue. Journal of Applied Mechanics, Vol.12, 1945, p. A159-164
6. SHACKELFORD, J. F. Introdução à ciência dos materiais para engenheiros. Tradução de Daniel Vieira. 6. ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2008. 557p.
7. SILVA, A. L. V. da C. e; MEI, P. R. Aços e ligas especiais. 3. ed. São Paulo, Blucher, 2010. Disponível em: <https://www.google.com.br/books/edition/A%C3%A7os_e_ligas_especiais/phmzDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&printsec=frontcover>. Acesso em: 5 jun. 2021.
8. TSCHIPTSCHIN, A. P.; GOLDENSTEIN, H.; SINÁTORA, A. Metalografia dos Aços. São Paulo: ABM. 1988. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/pmt2402/Metalografia%20dos%20A%C3%A7os.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

ANALYSIS OS FATIGUE RESISTANCE AND ACCUMULATED DAMAGE OF ABNT 8640 STEEL AFTER NORMALIZATION, QUENCHING AND TEMPER HEAT TREATMENTS

ABSTRACT

The material ABNT 8640 steel was developed during the World War II, due the large production of weapons and developmento of technologies, there was a shortage of chromium and one of the most efficient ways was the addition of nickel, which replaced about 50% of the typical 4630 chromium content, resulting in a tough material with good wear and tear resistance. Due to its versatility, several mechanical properties of the material were studied without heat treatment, with normalization, quenching with single temper and quenching with double temper heat treatments. To study the mechanical properties, mechanical tests were carried out, among them: tensile tests, rotative bending fatigue and accumulated damage by rotative bending. The specimens were submitted to tensile tests and yield limits of 1119 MPa were obtained for the raw material, 1176 MPa for normalization treatment, 1320 MPa for the quenching and simple temper and 1598 MPa for the double temper. With the tensile tests, it was possible to generate S-N curves to study the fatigue bahavior starting with applied stresses, on average, 75% of the yield limit found for each condition and being decremented until the material reached the infinite life condition (10^7 cycles), which occurred on average at 45% of the stress . In the quenching with simple tempering treatment, with 45% of the tension (594 MPa) the material exceeded 20 million cycles. The accumulated damage tests were elaborated according to the Palmgren-Miner theory, a theory of fatigue cycle prediction, generating curves in the increasing method of accumulated fatigue damage, where the applied stress in the first level is smaller than the applied at the second level, aiming to reduce internal tensions and achieve greater cycling at the second level. For the normalization treatment, the K factor (fatigue life prediction factor) reached 1.36, that is, it exceeded by 36% the rupture cycling predicted by the theory, with a percentage of 55% of the fatigue life cycles on the first level for the chosen tension.

Keywords: ABNT 8640 steel. Heat treatments. Fatigue. Rotative bending. Accumulated damage.