

**ANÁLISE DA MICROESTRUTURA DO FERRO FUNDIDO NODULAR AUSTEMPERADO (ADI)
SUBMETIDOS A ENSAIOS DE RETIFICAÇÃO.**

ISABELLA G. DI CARLO, CARLA I. S. MACIEL, CESAR A. J. FALCÃO

¹ Graduanda em Engenharia Mecânica, Bolsista PIVICT, IFSP, Câmpus Sertãozinho, isabella.carlo@aluno.ifsp.edu.br.

² Professora do Câmpus Itaquaquecetuba, Co-autora do projeto, carla.isabel@ifsp.edu.br

³ Professor do Câmpus Sertãozinho, Coordenador do projeto, cajfalcao@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.04.04-9 Transformação de Fases.

RESUMO: Observa-se na atual conjuntura a necessidade da busca de novos materiais em diversas áreas, para que seja possível garantir uma melhor tolerância a erros e reduzir custos. Devido a esses fatores, no ramo metalomecânico houve um aumento do uso do ferro fundido nodular austemperado, pois suas propriedades mecânicas melhoram significativamente com a realização de um ciclo de austêmpera, além de ser uma alternativa de menor custo em relação a outros materiais. Por possuir alta ductilidade, nos processos de usinagem a energia aplicada para remover o material é aumentada, consequentemente a temperatura gerada também, fazendo com que possa haver uma mudança na orientação de grãos e acúmulo de tensão residual na rede cristalina. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é realizar uma análise metalográfica do ferro fundido nodular austemperado (ADI) submetido a ensaios de retificação para composição de dados a serem utilizados na análise de nucleação de trinca por fadiga com diferentes níveis de tensão para nucleação de trinca por fadiga (S-N). Para tanto, foram obtidas imagens por microscopia ótica e ensaios de dureza que possibilitaram a identificação da matriz ausferrítica, composta por ferrita e nódulos de grafita.

PALAVRAS-CHAVE: ferro fundido nodular; austemperado; retificação;

**ANALYSIS OF THE MICROSTRUCTURE OF AUSTEMPERED NODULAR CAST IRON
(ADI) SUBMITTED TO RECTIFICATION TESTS.**

ABSTRACT: In the current situation, there is a need to search for new materials in several areas, so that it is possible to guarantee a better tolerance for errors and reduce costs. Due to these factors, in the metallomechanical branch there was an increase in the use of austempered nodular cast iron, as its mechanical properties significantly improve with the completion of an austempering cycle, in addition to being a lower cost alternative in relation to other materials. Due to its high ductility, in the machining processes the energy applied to remove the material is increased, consequently the temperature generated as well, causing a change in the grain orientation and accumulation of residual tension in the crystalline network. Thus, the objective of this work is to correlate previous studies of austempered nodular cast iron (ADI) subjected to rectification tests with possible stress levels for fatigue crack nucleation (S-N). The geometry and dimensions of the specimens for the S-N tests will be determined by finite element simulation. In the metallographic analysis, images were obtained by optical microscopy where it was possible to identify the ausferritic matrix, composed of ferrite and graphite nodules.

KEYWORDS: nodular cast iron; austemperado; rectification;

INTRODUÇÃO

Quando há a necessidade de fazer algum processo de usinagem em materiais que apresentam alta deformação plástica, o aumento da energia aplicada se faz necessária, resultando em uma possível mudança na orientação de grãos e acúmulo de tensão residual na rede cristalina, influenciando a resistência mecânica e a fadiga do componente.

No caso do ferro fundido nodular austemperado ou ADI (*Austempered Ductile Iron*), sua matriz contém ferrita acicular e austenita estável devido ao alto teor de carbono, além de ser composto por nódulos de grafita. Além dos nódulos de grafita, sua matriz possui defeitos típicos, tornando necessário a investigação do comportamento em fadiga de elementos estruturais ou mecânicos, levando em consideração defeitos decorrentes do processo de fabricação.

Em relação a segurança do componente, é possível dizer que os esforços de fadiga são confiáveis no que diz respeito ao processo de fabricação, propriedade do material e acabamento superficial, pois os mesmos oferecem um embasamento teórico e prático em relação ao tempo útil dessas ligas metálicas.

Sendo assim, a proposta desse projeto é de avaliar o comportamento em fadiga do ADI submetido a ensaios de retificação para nucleação de trinca por fadiga. As fases do projeto foram divididas em três partes: determinação de geometria de corpos de prova semicircular, caracterização metalográfica do material antes e após a realização dos ensaios de S-N e por fim simulação por elementos finitos para validação dos resultados de fadiga.

Por fim, essa pesquisa tem como objetivo de correlacionar estudos prévios de rugosidade superficial do ferro fundido nodular austemperado (ADI) submetido a ensaios de retificação com possíveis níveis de tensão para nucleação de trinca por fadiga, e análise dos mecanismos de fratura.

MATERIAL E MÉTODOS

MATERIAL

O material utilizado foi o Ferro Fundido Nodular GGG70. Esse material foi submetido ao tratamento térmico de austêmpera para transformação em ADI, com austenitização à temperatura de 900°C pelo tempo de 90 minutos e em seguida o material foi transferido para banho de sal fundido à temperatura de 320°C por 90 minutos.

Os corpos de prova foram sujeitos a ensaios de retificação com um rebolo de nitreto cúbico de boro (CBN) com ligante vitrificado com especificação SNB151Q12VR2 fabricado pela empresa Nikkon Abrasivos - Saint Gobain, com dimensões de 350 x 127 x 15 mm e velocidades de avanço de 0,5; 1,0 e 1,5 mm/min, com método de utilização de fluido de corte convencional, MQL, MQL associado ao sistema auxiliar para limpeza, MQL associado ao sistema auxiliar para limpeza com ar frio utilizando 3 diferentes temperaturas.

CARACTERIZAÇÃO METALGRÁFICA

Microscopia ótica

Foram extraídas, embutidas, lixadas e polidas amostras de um corpo de prova em disco não ensaiado. O embutimento foi feito em baquelite e em seguida as amostras foram preparadas com lixas de granulometrias #80, #220, #400, #600, #1200 e #2000 e polidas com alumina de 3µm, conforme especificações da norma ASTM E3-11. A estrutura granular foi revelada com a imersão da superfície polida no reagente Nital 5% diluído e fotografada em um microscópio da marca ZEISS, modelo Scope A1 com resolução máxima de 100 vezes. O cálculo de densidade de nódulos presentes no material foi realizado com o software de processamento de imagens ImageJ. Para melhor análise da microestrutura também foi utilizado um microscópio ótico Olympus Confocal.

Ensaio de dureza

O ensaio de dureza Rockwell C (HRC) foi realizado no departamento de Engenharia de Materiais - DEMa/UFSCar conforme especificações da norma ASTM E384-16 em uma máquina de ensaios de dureza Leco RT-240 com uma amostra lixada e polida do ADI. Foi aplicada uma carga de 150Kgf. Foram realizadas cinco impressões com distâncias aceitáveis entre as impressões anteriores e a borda da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MICROSCOPIA ÓTICA

A figura a seguir mostra a micrografia típica do ADI que consiste em uma matriz ferrítica em forma de agulha muito fina e austenita retida (branca), descrita como ausferrita, também chamada bainita. Essa microestrutura também possui nódulos de grafita dispersos na matriz, cujo índice médio de nodularização medido foi de 12,34%.

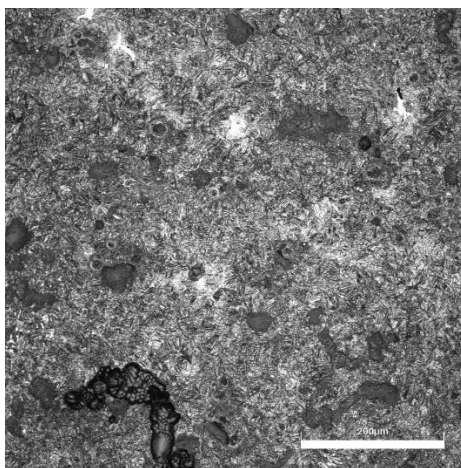


FIGURA 2. Microestrutura do ADI obtida por microscopia ótica. Aumento 20x

As condições das microestruturas resultantes - nódulos de grafita e matriz ausferrítica com ripas de ferrita acicular bem alongadas devido ao tempo de tratamento térmico - apresentam a formação de ausferrita em torno dos nódulos de grafita e poucas fases de martensita. A medida que se segue a aplicação do tratamento térmico de austêmpera, quanto maior é a exposição da amostra na temperatura de austêmpera, mais difusão de carbono ocorre na microestrutura, assim propicia a estabilidade da austenita formada no ADI (KOVACS, 1990; GUESSER, 2009).

ENSAIO DE DUREZA

Os resultados dos ensaios de dureza Rockwell C (HRC) estão mostrados no gráfico da figura três. A média encontrada foi de 47HRC, que quando convertida para Dureza Vickers (HV) o valor aferido é de 471HV muito próximo aos resultados prévios encontrados na literatura (DIAS, 2006) de materiais com tratamentos térmicos similares.

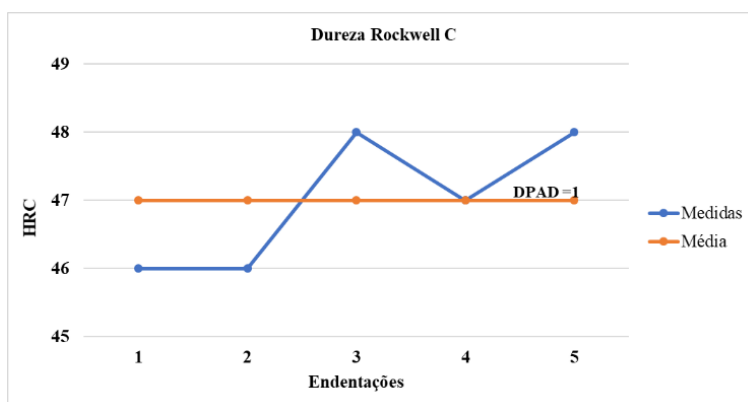


FIGURA 3. Resultados de ensaio de dureza Rockwell C realizado no ADI. Carga de 150Kgf

Esses resultados evidenciam a alta ductilidade desse material como esperado. Essa característica é avaliada com a medida de dureza nas fases de ferrita acicular, austenita estável com alto teor de carbono, presentes na matriz do ADI.

CONCLUSÕES

Em comparação com outros materiais, o ferro fundido nodular austemperado (ADI) possui um custo benefício maior, fazendo com que seu uso torne-se cada vez mais comum. Observa-se porém que devido sua alta ductilidade, ao sofrer um processo de retificação, o ADI pode não apresentar um bom acabamento superficial, mediante esse fato, faz-se necessário avaliar o comportamento em fadiga de corpos de prova do ADI após o procedimento de retificação.

Entretanto, as geometrias em disco dos corpos de prova retificados não são regularizadas pelas normas que regem os ensaios de fadiga e mecânica da fratura, portanto através da análise qualitativa por elementos finitos determinou-se que corpos de prova para ensaios em flexão 3 pontos. Uma vez determinada a geometria os métodos matemáticos para determinação dos parâmetros pertinentes à execução dos ensaios mostraram-se coerentes e satisfatórios. Os ensaios não foram finalizados devido as medidas de segurança adotadas pela Escola de Engenharia de São Carlos EESC-USP frente a pandemia do COVID-19, associada ao atraso da obtenção dos corpos de prova, proveniente da eventualidade ocorrida nos Laboratórios de Usinagem e Abrasão da FEB-UNESP.

As análises metalográficas realizadas com microscopia ótica e dureza HRC apresentaram resultados condizentes com materiais sujeitos a tratamentos térmicos similares ao desse estudo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer por todo apoio dos professores do Instituto Federal de São Paulo que fizeram parte desse projeto, além de ressaltar a enorme ajuda da Universidade Estadual Paulista e a Universidade Federal de São Carlos por permitirem o uso de seus laboratórios para as análises de dados.

REFERÊNCIAS

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. São Paulo: ABM, 2012.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2008.

DIAS, J. F. **Estudo do comportamento à fadiga em ferro fundido nodular austemperado (ADI) sujeito a carregamentos de amplitude variável**. (2006). Tese. Doutorado. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. Pearson Prentice Hall, n. 7, p. 635, 2009