

Alteração das Propriedades Mecânicas de Fadiga Devido a Tratamentos Termoquímicos de Nitretação e Carbonetação em Aços Aeronáuticos 300 M

E. G. S. Zanni^{1*}, A. J. Abdalla², J. L. Reis³

1 IEAv – Instituto de Estudos Avançados
Trevo Coronel Aviador José Alberto Albano do Amarante, 01 - Putim, São José dos Campos/SP, CEP.: 12228-001, Brasil.
Telefone: (12) 3947-5360

*evandro.zanni@hotmail.com

2 Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos - Professor Jessen Vidal
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 - Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP, CEP.: 12247-014, Brasil.
Telefone: (12) 3905-2423

*cimatech@cimatech.com.br

RESUMO: O trabalho a seguir analisou as alterações nas propriedades de Fadiga em um aço aeronáutico 300 M após a aplicação de tratamentos termoquímicos de nitretação a plasma e carbonetação a laser. Com isso, foi realizado uma comparação entre os dois tratamentos, afim de verificar qual tem uma melhor eficácia.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de superfícies, aço 300M, tratamento termoquímico.

ABSTRACT: The following work analyzed the changes in the properties of Fatigue in a 300 M aeronautical steel after the application of thermochemical treatments of plasma nitriding and laser carburization. Thus, a comparison was made between the two treatments, in order to verify which one has a better efficacy.

KEYWORDS: Surface treatment, steel 300M, thermochemical treatment.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi inserido em um projeto mais amplo, que visou caracterizar os aços de alta resistência para aplicações aeroespaciais. O aço utilizado neste trabalho tem importantes aplicações aeroespaciais, além do envelope motor, é utilizado em trens de pouso de aeronaves e em aplicações que em geral que exijam elevadas propriedades mecânicas, principalmente, estruturais (Cardoso et al., 2014).

Os tratamentos de superfícies visam melhorar propriedades como resistência a corrosão e ao desgaste, mas é importante também avaliar se estas mudanças na superfície podem influenciar nas propriedades mecânicas (Abdalla et al, 2007).

Este estudo aplicou tratamentos de superfície importante em muitas aplicações, tratamentos que podem elevar a dureza da superfície e modificar, inclusive as propriedades de fadiga.

Este estudo ganhou importância ainda maior ao se avaliar elementos estruturais de grande responsabilidade como são as peças de aeronaves, mísseis ou foguetes.

2. METODOLOGIA

O aço utilizado neste trabalho é o aço 300M, sua composição química é mostrada na Tabela 1, a análise química foi feita pelo Laboratório de Análises Químicas da Divisão de Materiais do IAE/DCTA, de acordo com as normas ASTM-E-39-84 e ASTM-E-350-87. Antes de receber os tratamentos de superfície o aço passou por um tratamento de aquecimento a 900 °C por 30 minutos, posteriormente, foi resfriado a 300 °C, onde permaneceu por 2 h para a formação da estrutura bainítica, depois, foi resfriado ao ar.

Tabela 1 Composição química do aço 300M (% em massa)

Elementos de liga	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	V	Cu
% em massa	0,39	0,0005	0,009	1,78	0,76	0,76	1,69	0,40	0,003	0,08	0,14

Foram fabricados corpos de prova (CDP) conforme de fadiga, de acordo com a ASTM E 466. A Figura 1 mostra um desenho esquemático do CDP utilizado. Foram produzidos três lotes de corpos de prova, cada um com 10 CDPs, um lote dos corpos de prova não recebeu tratamento de superfície, outro lote dos corpos de prova foram nitretados a plasma e o lote restante destes foram carbonetados a laser. O resultado dos ensaios mecânicos foi analisado de forma comparativa.

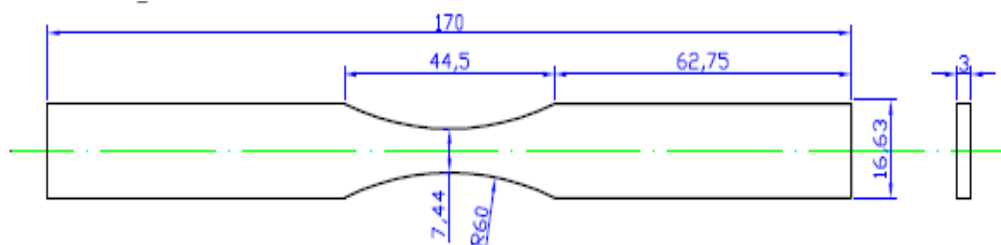


Figura 1. Corpo-de-prova para fadiga conforme norma ASTM E466.

Os ensaios de fadiga foram conduzidos em carregamento de amplitude constante com razão de carga de 0,1 e frequência de 20 Hz. Os testes foram realizados em uma máquina de fadiga tipo MTS 810.23 M, com célula de carga de 250 kN. Para a caracterização microestrutural foram utilizadas as técnicas de Microscopia óptica, passando pelo processo de preparação metalográfica (lixamento e polimento) e ataques químicos com Nital a 2 %. A dureza da camada e da região endurecida foi analisada com testes de dureza por microindentação. As microindentações foram realizadas em um Microdurômetro pertencente ao IEAv. Para as medidas de durezas foi utilizado uma carga de 50 gf e um tempo de 10s de indentação.

A nitretação a plasma foi realizada a 500 °C por 3 horas. Este tratamento foi feito em um reator com uma mistura gasosa com 75% de N₂ e 25 % de H₂. Para a carbonetação a Laser foi feito uma aspersão inicial sobre o corpo de prova com grafite e, posteriormente, os corpos de prova foram irradiados a laser para propiciar a difusão do carbono e a formação da camada endurecida na superfície. Para a carbonetação, foi utilizado um laser de CO₂ pulsado, com comprimento de onda de 10,6 µm, potência de saída de 125 W. A aplicação foi feita, mantendo-se o laser na potência máxima, com uma resolução de

500 PPP (pontos por polegada) e velocidade de varredura, 600 mm/s. Estes parâmetros foram baseado em trabalhos anteriores (Reis, 2009; Gorges et al, 2016; Santos, 2016).

3. RESULTADOS

As imagens da Figura 2.A mostra a microestrutura do aço 300 M conforme recebido, atacado com nital. Notam-se regiões mais escuras formada por perlita e regiões mais claras representam a ferita. Para melhorar as propriedades mecânicas do aço foi realizado inicialmente um tratamento térmico de têmpera com resfriamento controlado na temperatura de 300 °C, para a formação da estrutura bainítica, esta estrutura é mostrada na figura 2.B. Os testes de dureza mostraram a dureza se elevou de 300 HV da estrutura ferrítica/perlítica para cerca de 500 HV para a estrutura bainítica, mostrando a eficácia do tratamento térmico aplicado.

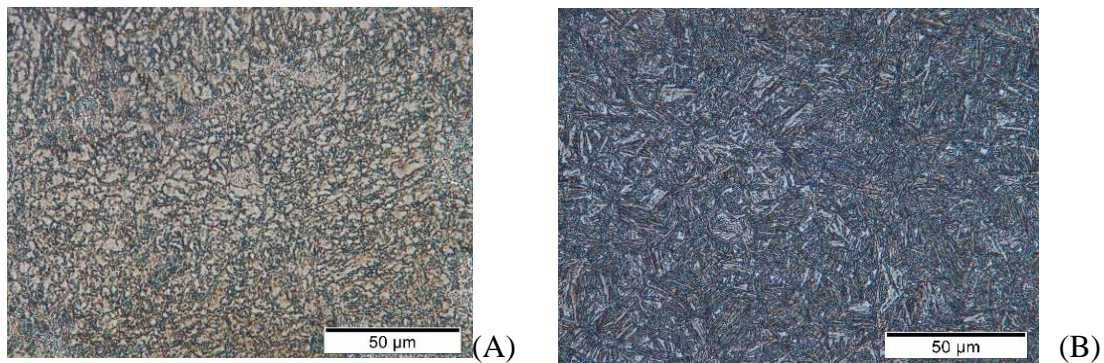


Figura 2. MO: mostrando a microestrutura do aço 300 M: (A) antes do tratamento térmico (estrutura ferrítica-perlítica) e (B) após o tratamento isotérmico (bainítica)

Após a nitretação a plasma, houve um aumento significativo da dureza na superfície dos corpos de prova. A Figura 3.A mostra a imagem obtidas por MO que possibilita a visualização da camada nitretada. A Figura 3.B mostra a camada carbonetada pelo processo a laser, esta não tem uma dureza tão elevada como a nitretada, mas tem uma espessura maior.

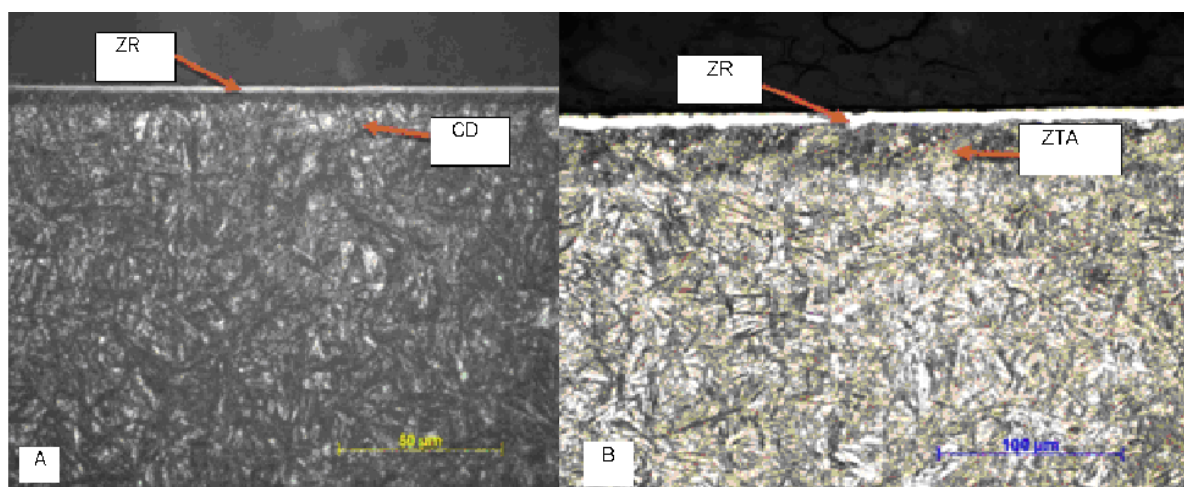


Figura 3. Camadas de proteção de superfície do aço 300 M: (A) após nitretação a plasma, (B) após carbonetação a laser.

ZR – Zona revestida CD – Camada de difusão atômica ZTA – Zona termicamente afetada

A camada branca do aço nitretado apresenta uma camada branca com aproximadamente 3 μm (ZR – Zona Revestida), logo abaixo, observa-se a camada difusa (CD), esta zona é mais profunda, atingindo cerca de 60 μm . A camada branca tem um grande teor de nitrogênio e aumenta significativamente o valor de dureza observada na região. Na camada difusa, conforme vai se penetrando em direção ao interior do material o teor de nitrogênio vai diminuindo, dando um gradiente decrescente no valor de dureza. Estas alterações de dureza estão relacionadas com a formação de nitretos de ferro, que exercem grande influência nas propriedades mecânicas do aço, são duros e frágeis.

Devido ao tratamento de superfície a laser aplicado, identificado na Figura 3.B, nota-se que houve a formação de uma camada branca com alta concentração de carbono e ferro, zona revestida (ZR), e abaixo há a região afetada pelo calor produzido pelo laser (ZTA, com cerca de 60 μm), na qual se observa a ocorrência de têmpera parcial localizada.

Para se avaliar a dureza da superfície tratada e da região próxima à superfície foi realizado um perfil de dureza na superfície, para mostrar como a dureza varia até chegar ao valor de dureza do substrato. As Figuras 4.A e 4.B mostram o perfil de dureza para as duas condições de tratamento estudadas.

Nota-se que a nitretação a plasma apresenta uma camada menos espessa, mas com uma elevada dureza, superior à dureza apresentada pelo tratamento de carbonetação a laser. A profundidade da camada difusa, formada devido ao tratamento a plasma, também se mostrou maior (cerca de 60 μm), enquanto que a camada da ZTA, formada pelo processo a laser foi mais reduzida, em torno de 20 μm . Este fenômeno ocorre devido à alta velocidade de varrimento do laser utilizado (600 mm/s), enquanto no processo a plasma o tratamento é mais lento, pois depende da velocidade de difusão do nitrogênio no aço, o tempo de tratamento foi de 3 horas, na temperatura de 500 °C.

Gorges estudou a carbonetação por laser em duas diferentes velocidades de varredura, observando apenas um aumento da dureza para regiões próximas a superfície no processo que utilizou velocidade de laser de 800 mm/s. Neste trabalho, há um gradiente decrescente mais notório de dureza da superfície para o centro da amostra, este efeito é mais acentuado devido a maior espessura da amostra, que facilita a retirada de calor e o resfriamento rápido da mesma, favorecendo a formação de fases mais duras no aço (Gorges et al, 2016).

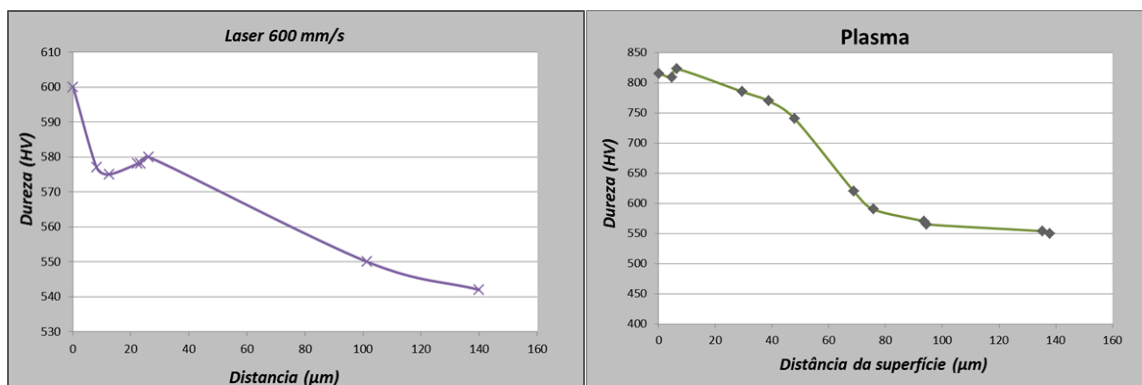


Figura 4. Perfil de dureza do aço 300 M: (A) após carbonetação a laser, (B) após Nitretação a plasma.

Em trabalho anterior, Gorges (2016) observou que, em relação às propriedades em tração, houve pouca influência dos tratamentos de superfície, tanto para o limite de escoamento (cerca de 915 MPa), como para o limite de resistência (cerca de 1.350 MPa).

Neste trabalho, analisou-se como estes tratamentos afetam as propriedades em fadiga. As curvas apresentadas nas figuras 5,6 e 7 mostra como esta propriedade foi alterada devido aos tratamentos de superfície.

Comparando-se as curvas do aço bainítico sem tratamento de superfície com o carbonetado a laser, nota-se que há uma pequena perda na vida em fadiga para níveis mais elevados de tensão (entre 1.000 e 1.200 MPa), porém ao analisar o limite de fadiga, para 10^6 ciclos, e a vida para níveis de tensão menores, nota-se que a resposta do aço apenas bainítico foi melhor. Esta redução na vida em fadiga está associada principalmente à menor dureza observada na superfície, que, para este tipo de ensaio, é bastante relevante.

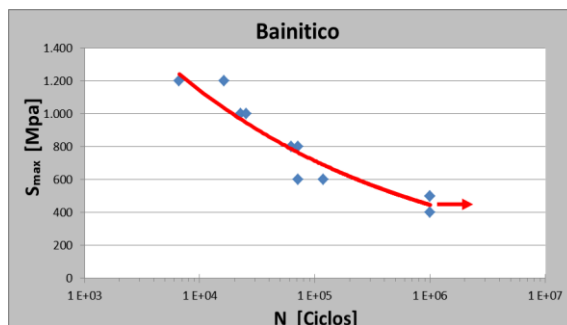


Figura 5. Curva S-N de fadiga, para o Aço 300 M sem tratamento de superfície.

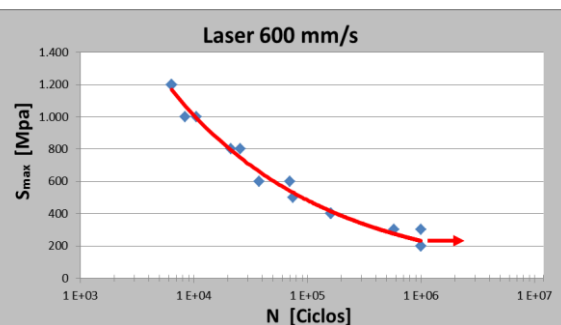


Figura 6. Curva S-N de fadiga, para o aço 300 M com tratamento de carbonetização a laser.

Ao realizar o mesmo tipo de comparação, com o aço 300 M que foi nitretado a plasma, nota-se que o tratamento proporcionou uma grande elevação na vida em fadiga, principalmente para os níveis de tensão menores. O limite de fadiga, considerado neste trabalho para 10^6 ciclos, elevou-se de cerca de 200 MPa, do aço carbonetado a laser; para 400 MPa, para o aço apenas bainítico; e para cerca de 800 MPa, para o aço nitretado a plasma. Esta elevação é muito significativa e permite um aumento significativo da vida em fadiga. Este fato está associado a alta dureza da camada nitretada produzida e, é sabido, que este tratamento introduz tensões compressivas na superfície e este efeito é benéfico para a vida em fadiga.

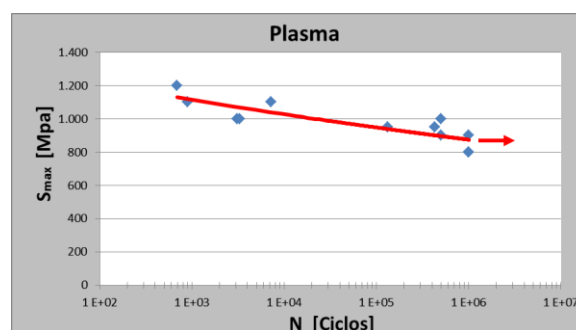


Figura 7. Curva S-N de fadiga, para o aço 300 M com tratamento de nitretação a plasma.

4. CONCLUSÕES

O tratamento térmico aplicado produziu um aumento na dureza no aço 300 M na condição “como recebido” de cerca de 300 HV para cerca de 500 HV.

O tratamento de nitretação a Plasma, formou camadas de nitretos com elevada dureza, superior a 800 HV.

No tratamento de carbonetação a Laser houve a formação de uma camada branca, com elevado teor de carbono, mas com uma dureza pouco superior a do substrato, cerca de 600 HV.

No tratamento de nitretação a plasma a camada branca formada foi de elevada dureza, cerca de 800 HV e este teve um gradiente decrescente até atingir a dureza do substrato em cerca de 60 μm .

Embora não tenha tido uma alteração significativa no comportamento em tração, ocorreu alterações nos testes de fadiga. O tratamento a laser produziu uma redução no desempenho em fadiga do aço 300 M e o tratamento de nitretação produziu um efeito benéfico, elevando significativamente o desempenho do aço em fadiga.

5. REFERÊNCIAS

- [1]CARDOSO, A. S. M., ABDALLA, A. J., BAPTISTA, C. A. R.P., LIMA, M.S.F.; Comparison of High Cycle Fatigue in 4340 and 300M Steel Welded with Fiber Laser, *Advanced Materials Research*, Vols. 891-892 (2014) pp 1507-1512.
- [2]CARDOSO, A.S.M. PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS AERONÁUTICOS TRATADOS TERMICAMENTE E TERMOQUIMICAMENTE A PLASMA APÓS SOLDAGEM A LASER. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 214p, 2015.
- [3]GONÇALVES, A; MOTTA JÚNIOR, A; SAKAI, P. R., A Fabricação de Envelopes Motores Foguete para Utilização no Veículo Lançador de Satélites VLS-1, In: 4º COBEF - Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2007.
- [4]Gorges, A. G. S., Vasconcelos G., Scheid, V. H. B., Abadía, A. J. Caracterização Microestrutural do Aço 300 M Tratado Termoquimicamente a Plasma e a Laser. V - SCTI, 2016.
- [5]REIS, J. L., Tratamento térmico superficial do aço AISI M2 via laser de CO₂. 2009. 104f. Tese de mestrado em Física e Química dos Materiais Aeroespaciais, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [6]SANTOS, D., VASCONCELOS, G., ABDALLA, A.J., Lima, M.S.F., NETO, F. SOUZA. Surface Characterization in a 300 M Bainitic Steel Laser Carburizing. *Procedia Engineering.*, v.114, p.322 - 329, 2015.
- [7]SOUZA, R. C., Estudo do comportamento em fadiga do aço ABNT 4340 revestido com carbeto de tungstênio pelo sistema HVOF/HP. 1998, 158f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG/UNESP, Guaratinguetá, 1998.