Análise das propriedades de dureza e taxa de desgaste do aço SAE 8620 cementado a laser

Analysis of hardness properties and wear rate of SAE 8620 laser-cemented steel

Eduarda Santos Lima^{1,2,3}, Antonio Jorge Abdalla², Humberto Lopes Rodrigues³, Renê M. Volu², Rafael Humberto Mota Siqueira²

RESUMO

O aço SAE 8620 é considerado um material de alta resistência, geralmente aplicado em engrenagens, sendo usualmente tratado termicamente para alterar suas propriedades mecânicas. A cementação é um processamento que consiste na adição de carbono na superfície do material, com a finalidade de aumentar a dureza da superfície e a resistência ao desgaste, de forma a manter o núcleo maleável. A cementação a laser é estudada com a finalidade de aprimorar o processo convencional, por ter maior exatidão do local de aplicação e por apresentar resultado mais uniforme em toda a extensão do material tratado. A cementação a laser propicia ainda a autotêmpera, dispensando tratamentos térmicos posteriores. O volume de material removido durante o ensaio de desgaste, considerando uma determinada forca, a distância percorrida e a velocidade do ensaio permitem o posterior cálculo da taxa de desgaste. Neste trabalho foi utilizado um laser de baixa potência (50 W) e pôde-se observar que a redução da velocidade e o aumento da resolução influenciam diretamente na dureza, na espessura e na taxa de desgaste do aço estudado.

Palavras-chave: aço 8620, cementação a laser, tribologia, análise microestrutural.

ABSTRACT

SAE 8620 steel is considered a high strength material, usually applied in gears, being usually heat treated to alter its mechanical properties. Carbonizing is a process that consists on the addition of carbon to the material surface with the purpose of increasing the surface hardness and wear resistance in order to keep the core malleable. Laser carburizing is studied with the purpose of improving the conventional process by having a greater precision on the application site and presenting a more uniform result throughout the length of the treated material. The laser carburation also provides a self-quenching, dispensing subsequently to thermal treatments. The volume of material removed during the wear test, considering a certain force, the distance traveled and the speed of the test allow the subsequent calculation of the wear rate. In this work a low power laser (50 W) was used and it can be observed that the reduction of speed and the increase of the resolution directly influence the hardness, the thickness and the wear rate of the steel.

Keywords:

Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – São José dos Campos/SP – Brasil
Instituto de Estudos Avançados – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial – São José dos Campos/SP – Brasil
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Guaratinguetá/SP – Brasil

Autor correspondente: dudasantosl@outlook.com

Recebido: 14 Ago. 2019 | Aprovado: 30 Out. 2019

INTRODUÇÃO

O aço SAE 8620 é um aço ligado ao cromo, níquel e molibdênio, apresentando alta resistência e excelente temperabilidade, sendo também indicado para cementação, a qual aumenta a resistência ao desgaste e mantém a tenacidade do núcleo, aumentando a resistência mecânica, podendo atingir cerca de 60 HRC, resistência ao desgaste e à fratura do material. Esse material é geralmente aplicado em engrenagens de avião, peças para aeronáuticas, virabrequins, entre outros¹.

Os tratamentos térmicos de superfícies são aplicados de forma a obter maior dureza superficial devido à alteração da composição e da microestrutura. No caso da cementação, o aumento da dureza superficial ocorre por meio de um tratamento termoquímico em que se acrescenta carbono na superfície da peça, mantendo o núcleo com considerável tenacidade².

O laser é um equipamento que produz radiação eletromagnética monocromática e coerente nas regiões visível, infravermelha ou ultravioleta. Segundo Barroso³ "a têmpera a laser permite o endurecimento superficial de áreas específicas com profundidade controlada e com deformações mínimas na superfície quando comparado a outros métodos" (p. xx), isso devido à absorção de parte da radiação incidente à superfície da amostra, fazendo com que ela alcance, ao ser atingida pelo laser, uma temperatura consideravelmente levada, chegando à zona de austenitização, onde, devido à alta taxa de resfriamento, ocorre transformação de fase e, com ela, a alteração de algumas propriedades mecânicas⁴. Utilizando essa técnica, Oliveira et al.⁵ conseguiram reduzir o coeficiente de atrito e taxa de desgaste em um aço AISI 4130.

Ensaios de dureza são realizados sobre a superfície de materiais. Neste trabalho, medidas de dureza Vickers foram utilizadas, mais especificamente ensaios por microindentação, devido à pequena dimensão da camada tratada termicamente⁶.

Com a irradiação do laser, é formada uma camada de carbonetos de ferro e de martensita, elevando a dureza da superfície e de uma pequena área abaixo dela, denominada zona termicamente afetada (ZTA), isso devido à alta taxa de aquecimento e de resfriamento da amostra, como representado na Fig. 1.



Figura 1: Esquematização do processo de aquecimento a laser

Para Barroso³ os "mecanismos de desgaste são classificados de acordo com o tipo de danos superficiais observados nas superfícies desgastadas, como abrasão, aderência, fadiga superficial, delaminação, triboquímica, etc."

Neste trabalho foi aplicado o mecanismo de desgaste por abrasão. Foram também realizadas medidas de rugosidade, que consistem em avaliar os erros microvolumétricos existentes na superfície do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado o aço SAE 8620, cuja composição é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química do aço SAE 8620.

Elementos	С	Cr	Mn	Мо	Ni	Si
% em peso	0,18-	0,40-	0,70-	0,15-	0,40-	0,15-
	0,23	0,60	0,90	0,25	0,7	0,35

O material foi fornecido em formato de discos com diâmetro de 25 mm e espessura de 4 mm no estado recozido. Os discos foram lixados até a lixa 600 para garantir uma maior uniformidade na superfície, de forma a obter melhor resultado ao aplicar o tratamento de cementação a laser.

Negro de fumo foi depositado na superfície da amostra como fonte de carbono com auxílio de um spray. A solução de negro de fumo foi preparada com 10 g de negro de fumo e 0,1 g de carboxilmetilcelulose (CMC) em 100 ml de álcool etílico. A adição de CMC teve como objetivo aumentar a resistência a verde da camada depositada.

O laser utilizado para a irradiação das superfícies das amostras é um laser de CO_2 , com potência máxima de saída de 50 W, diâmetro do feixe de laser de 300 µm (Synrad, J48-5 W), e um fluxo de nitrogênio para atuar como protetor na camada irradiada, evitando sua oxidação, sendo utilizado o equipamento do Laboratório de Desenvolvimento de Aplicações de Lasers e Ópticas na Divisão de Fotônica do IEAv-DCTA⁷.





Para realizar a irradiação, foram utilizadas as velocidades de 50 mm/s e as resoluções de 600 e 800 ppp de forma a cobrir uma área específica das amostras de testes de 25×4 mm. A Fig. 2 mostra o desenho esquemático da aplicação de laser em uma trilha da amostra⁸.

No material apenas recozido (S/T) e no material cementado a laser foram realizados ensaios de dureza Vickers por microindentação, utilizando um microdurômetro digital Microhardness Tester FM-700 Future Tech, com penetrador piramidal de base quadrada e ângulo entre faces de 136°. A Fig. 3 mostra um esquema das perfurações realizadas na camada tratada, na zona afetada pelo calor e também no material-base⁹.



Figura 3: imagem mostrando o local das indentações (amarelo).

Medidas de rugosidade antes e após o ensaio de desgaste foram realizadas em um rugosímetro da marca Taylor Hobson, pertencente ao Laboratório de Medição de Superfícies Ópticas do IEAv.

Ensaios de desgaste pino sobre disco foram realizados nas amostras tratadas com auxílio de um tribômetro Nanovea (TRIB161129), utilizando uma carga de 5 N e percorrendo uma distância de 10 m (movimento alternado em trechos de 4 mm de ida e volta). O pino era composto por metal duro (WC-Co) com um raio de 3 mm de diâmetro. Não foi utilizado lubrificante nem atmosfera controlada (umidade relativa do ar foi de cerca de 40% e temperatura de 25 °C). A taxa de desgaste foi calculada pela Eq. 1. O volume desgastado foi calculado diretamente da imagem da vala, gerada pelo pino durante o ensaio, a análise da imagem foi efetuada por perfilometria óptica.

$$k = Vd/(F \times d) \tag{1}$$

onde: K = taxa de desgaste, Vd = volume desgastado, F= força aplicada e d = distância percorrida

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi feita metalografia das amostras a fim de aferir a camada formada a partir da cementação a laser, verificando-se assim a alteração da microestrutura próxima à superfície, que apresentou uma zona termicamente afetada devido à transferência de calor durante o processamento a laser, como pode ser observado ao comparar a Fig. 4a, do material recozido atacado com nital 2%, que apresenta estrutura ferrítica na coloração clara e perlítica na coloração cinza e escura, com a Fig. 4b, do material cementado a laser, também atacado com nital 2%, o qual apresenta ferrita na coloração clara, martensita, bainita e perlita na coloração marrom.



Figura 4: Metalografia da amostra SAE 8620 (a) recozida e (b) cementada a laser.

Foi realizado ensaio de dureza nas amostras I, II e S/T, cujo resultado é apresentado na Tabela 2, onde é possível observar que a média das medidas de dureza do teste II se apresentou superior a do teste I, conforme esperado, devido aos parâmetros do laser terem sido mais intensos, havendo têmpera da região próxima à superfície, formando assim maior porcentagem da fase martensita na estrutura, enquanto a amostra S/T exibiu um resultado de dureza consideravelmente inferior se comparado às amostras cementadas a laser, devido a sua estrutura apresentar a fase ferrita e perlita, que são mais dúcteis se comparadas à martensita.

Para o ensaio de desgaste, foi utilizada uma esfera de 3 mm de hard metal, que percorreu linearmente a superfície da amostra em um trecho de 4 mm, por um percurso de 10 m. Os resultados obtidos pelo ensaio de rugosidade são mostrados na Tabela 3, com as médias de valores intercalando entre o teste I e o teste II.

Tabela 2: Média dos resultados do ensaio de dureza.

Teste	Dureza (Kgf/mm²)
I	706,58
П	827,83
S/T	218,15

Tabela 3: Rugosidade das amostras em diferentes condições.

Teste	I.	Ш
Ra	1,8365	1,7219
Rz	10,8228	11,5862
Rz máx.	12,9642	19,1556

A partir desse ensaio, também foi possível calcular o volume de material removido durante o ensaio de desgaste e, a partir dele, foi calculada a taxa de desgaste com auxílio da Eq. 1. Os resultados são apresentados na Tabela 4, onde é possível observar que a remoção de material no teste II foi consideravelmente menor que no teste I, devido a sua dureza ter sido maior. A amostra S/T, porém, apresentou uma taxa de desgaste e um volume de material removido consideravelmente menores, devido ao material cementado a laser formar um fino filme na superfície, que foi removido durante o ensaio de desgaste.

Tabela 4: Taxa de desgaste do material.

Teste	Volume (mm ³)	Taxa de desgaste K (mm ³ /Nm)
I	0,034640	7,328 e ⁻⁴
П	0,013414	2,6828 e ⁻⁴
S/T	0,0005486	1,097 e ⁻⁵

CONCLUSÃO

Conclui-se que, com a alteração dos parâmetros do laser, é possível alterar as propriedades mecânicas do material através da transformação microestrutural devido à têmpera que ocorre durante a cementação a laser, obtendo-se dureza elevada e menor taxa de desgaste no material tratado com parâmetros de laser mais intensos, como observado nos resultados do teste II, que utilizou 800 ppp e apresentou dureza de 827,83 Kgf/mm² e taxa de desgaste de 2,6828 e⁻⁴ mm³/Nm.

REFERÊNCIAS

- Abdalla AJ, Baggio-Scheid VH. Tratamentos termoquímicos a plasma em aços carbono. Revista Corros Prot Mat. 2006;25(3):92-6.
- Callister Junior WD. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5 ed. Rio de Janeiro (SP): LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A; 2002.
- Barroso EA. Influência da carbonetação a laser e nitretação a plasma nas propriedades tribológicas do par aço AISI/SAE 4340 e liga bronze alumínio 630. Tese [Doutorado em Engenharia de Materiais e Tecnologia] Guaratinguetá (SP): Universidade Estadual Paulista; 2017.
- Santos D. Caracterização microestrutural e mecânica do aço 300M tratado termoquimicamente a plasma e a laser. Tese [Doutorado em Engenharia de Materiais e Tecnologia] Guaratinguetá (SP): Universidade Estadual Paulista; 2017.
- Oliveira RJB, Siqueira RHM, Lima MSF. Microstructure and wear behaviour of laser hardened SAE 4130 steels. Int J Surf Sci Eng. 2018;12(2). https://doi.org/10.1504/IJSURFSE.2018.10012334
- Machado I. Caracterização Mecânica de Material Ensaio de Dureza- Alumínio. USP. 2009.
- Lavras LCM, Reis JL, Vasconcelos G. Tratamento térmico de aço SAE 1045 via laser de CO2 de baixa potência. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais Foz do Iguaçu (PR); 2006.
- Assumpção LF. Otimização de um processo de têmpera por laser em aço 1045 Dissertação [Mestrado]. Curitiba (PR): Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico; 2009.
- Abdalla AJ, Vasconcelos G. Portela AG, Cardoso ASM, Baptista CARP. Tratamento de superfície a laser em aços 4340 e 300M. TTT2012 – VI Conferência Brasileira sobre Temas de Tratamento Térmico. Atibaia (SP). 17 a 20 de junho de 2012. . Disponível em: http://www.metallum.com.br/TTT2012/ANAIS/PDF/01-018.pdf