

RECOBRIMENTO DE AÇO AISI 4340 COM CARBETO DE BORO VIA LASER DE CO₂

A. N. Dias¹, D. C. Chagas¹, G. Vasconcelos², E. Sousa¹

¹Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP, S.J. dos Campos, SP, alexnogueiradias@gmail.com

²Instituto de Estudos Avançados - IEAv, EFO-L, S.J. dos Campos, SP, getulio@ieav.cta.br

Resumo – Neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos da aplicação de uma camada de carbeto de boro sobre a superfície do aço AISI 4340. Para que ocorresse o ancoramento desta camada de carbeto de boro sobre o substrato, uma camada de negro de fumo foi previamente depositada sobre o aço pelo mesmo processo via laser. O carbeto de boro foi selecionado por apresentar elevada dureza e ponto de fusão, além de resistência química. Aplicado às superfícies metálicas pode promover a superfície do metal suas qualidades mecânicas de interesse, destacando-se dentre elas, a elevada resistência ao desgaste. As observações por microscopia óptica e os ensaios realizadas de dureza e revelaram a formação de uma camada homogênea com espessura regular, com dureza de três vezes maior que o substrato original, de 805Hv. Amostras tratadas com menor velocidade de varredura do feixe apresentaram coeficiente de atrito de 0,35.

Palavras-chave: Laser CO₂, têmpera superficial, carbeto de boro, aço AISI 4340.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra.

Introdução

Sólidos ligados covalentemente baseados em boro, carbono ou nitrogênio, dão origem aos materiais mais duros que existem, como o B₄C (carbeto de boro) o terceiro mais duro, após o diamante e o nitreto de boro cúbico. Além de elevada dureza, o B₄C tem ponto de fusão de 2350°C e resistência à ação de reagentes químicos. Estas propriedades apontam o carbeto de boro como um bom candidato para aplicações em ambientes onde se requer, além de altas temperaturas, inércia química. Dentre as inúmeras técnicas de deposições, por exemplo, feixe eletrônico, pulverização catódica, dentre outras, a deposição a laser tem sido utilizada com sucesso para aplicação de revestimentos de vários materiais com elevada taxa de deposição. Neste processo, uma fina camada de carbeto de boro, previamente aspergida por uma pistola pneumática sobre a superfície do metal é irradiada por um feixe de laser [1]. Preliminarmente, aplica-se negro de fumo sobre a superfície do metal, de modo similar à aplicação do carbeto de boro. O negro de fumo tem a função de acoplar a radiação incidente e ancorar a nova camada de interesse.

O negro de fumo ou negro de carbono, como também é conhecido, é formado por partículas finas obtidas pelo processo de pirólise (craqueamento) ou combustão parcial de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos. Ele apresenta grãos nano-particulados, que favorece um recobrimento com camadas finas em áreas mais extensas. Além disso, possui elevada resistência mecânica [2]. Durante o tratamento térmico com feixe de laser ocorre a troca térmica da energia absorvida na superfície tratada com o

volume do material, promovendo resfriamento rápido, atingindo taxas da ordem de 10⁶ K/s [1] e favorecendo a ocorrência de têmpera superficial. Este endurecimento a laser tem duas vantagens: primeiro não há muita deformação do material, porque as trocas térmicas ocorrem em camadas finas; segundo, a superfície do material não é danificada ou fundida após o tratamento não requerendo, assim, pós-processamento [3].

A temperatura de austenitização a que o material é submetido e a profundidade tratada é determinada pela densidade de potência e pelo tempo de interação (função da velocidade de varredura), exemplificado pela Figura 1. Tal como nos processos de têmpera convencional, o objetivo da têmpera a laser é a obtenção de uma estrutura martensítica na superfície e a grande diferença está no fato do ciclo de aquecimento e de resfriamento ser muito mais curto, obtendo-se camadas endurecidas finas [4].

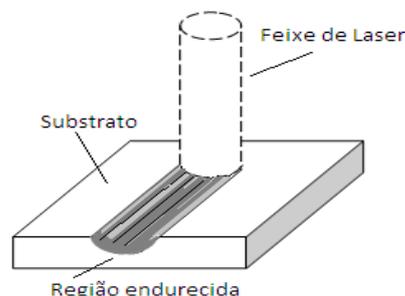


Figura 1: Representação esquemática da região tratada durante processamento de têmpera por laser.

O aço 4340 tem como principal característica a mais alta temperabilidade dentre os de construção

mecânica. Tem usinabilidade e soldabilidade ruim, porém, boa forjabilidade. Dependendo do teor de carbono, a dureza na condição temperada varia de 54 a 59 HRC. É utilizado na fabricação de virabrequins para aviões, tratores, veículos em geral e utilizado também na fabricação de engrenagens e eixos [5].

Metodologia

Caracterização dos materiais de partida

O aço utilizado é o AISI 4340, cuja composição química é apresentada na Tabela 1. A análise da composição química foi realizada através do espectrômetro de emissão ótica (Thermo Scientific), modelo ARL 3460 OES Metals Analyzer.

Tabela 1: Composição química do aço 4340 - % massa

	Fe	C	Mn	Cr	Ni	Mo
Aço 4340	95.8	0.36	0.64	0.79	1.70	0.22

Como o tamanho médio de partícula influencia na espessura da camada depositada e no revestimento após a irradiação do laser, os pós foram caracterizados, para determinação da distribuição do tamanho de partículas através do ensaio por difração a laser, conforme apresenta a Figura 2. O equipamento utilizado foi o CILAS 1064L, com range de 0.04 a 500µm.

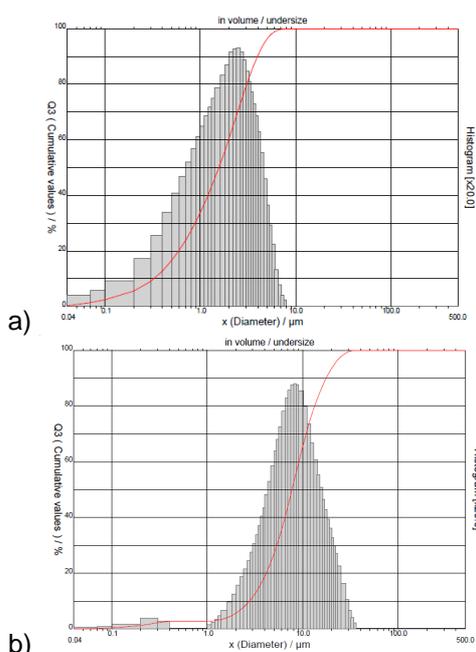


Figura 2: Histograma da distribuição granulométrica do a) carbeto de boro e b) negro de fumo.

Preparação das amostras e aplicação dos materiais cerâmicos.

Inicialmente, foram preparadas amostras de aproximadamente 20mm de diâmetro e 3mm de espessura, previamente lixadas, com granulometrias diferentes (280 a 600) e posteriormente limpas por 15 minutos em ultrassom mergulhadas na acetona. Em seguida, as amostras foram aspergidas com uma solução de negro de fumo feita a partir de 10 g de negro de fumo e 0,1 g de carboximetilcelulose sódica (CMC) em 100 ml de etanol absoluto e misturada por 20 minutos em um agitador mecânico. Posteriormente aplicou-se, com uma pistola pneumática, uma camada homogênea da solução, recobrindo toda a superfície da amostra. Após a preparação do substrato e aplicação da solução de negro de fumo, a superfície das amostras foi irradiada com laser de CO₂, com potência de saída igual a 50W, diâmetro do feixe de laser de 300µm, e fluxo de nitrogênio para evitar a oxidação da camada tratada.

A superfície então recoberta com negro de fumo foi aspergida com carbeto de boro e em seguida, irradiado pelo feixe de laser. A solução utilizada foi preparada em moagem mecânica por 32 horas com 25 g de carbeto de boro em pó e 0,24 g de carboximetil celulose (CMC) em 200 ml de etanol absoluto. O esquema do processo é apresentado na Figura 3.



Figura 3: a) A amostra de aço AISI 4340 é recoberta por uma camada de carbeto de boro. b) O feixe de laser irradia a superfície do aço recoberta com a camada de carbeto de boro.

O laser de CO₂ utilizado Marca Synrad Modelo: J48-5W, possui um arranjo de espelhos galvanométricos, para guiar o feixe sobre a superfície da amostra. Adotou-se a geometria com formato de trilhas de espessura e largura controladas [6]. A Figura 4 apresenta o arranjo experimental utilizado.

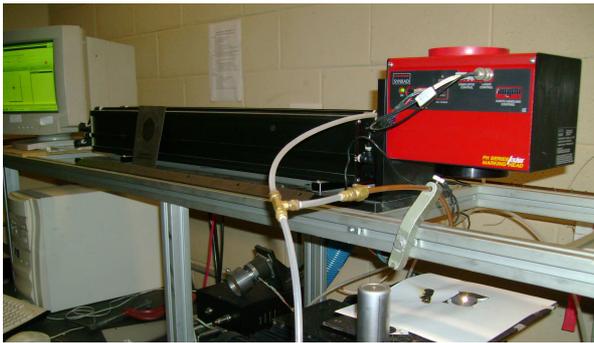


Figura 4: Laser de CO₂. Na caixa retangular, localizam-se os espelhos galvanométricos que guiam o feixe na superfície da amostra.

Os principais parâmetros do processo são: velocidade de varredura (mm/s), resolução – número de pulsos por unidade de área (ppp), números de ciclos de aquecimento (NCA), intensidade do feixe de laser (W/cm²), potência do feixe (W) e sobreposição de camadas (SC). O parâmetro a ser utilizado para o revestimento de negro de fumo foi selecionado a partir de estudos anteriores e o parâmetro definido para o carbeto de boro foi de acordo com a avaliação da microestrutura obtida por microscopia óptica - MO, onde se avaliou a melhor condição de tratamento térmico, recobrimento e menor ablação da superfície. A Tabela 2 mostra os parâmetros de laser utilizados no processo de irradiação das amostras.

Tabela 2: Parâmetros do laser utilizados para a irradiação do negro de fumo e carbeto de boro no aço AISI 4340.

Amostras	V(mm/s)	Resolução	NCA	I (kW/cm ²)	P(W)
NF	60	300	5	55	50
B ₄ C	20	400	8	15	50

Após tratamento com o feixe de laser, as amostras foram cortadas transversalmente à direção da irradiação e preparadas por métodos metalográficos para a observação da microestrutura da superfície e do substrato. Utilizou-se Nital 3% para se revelar as fases presentes.

A análise microestrutural foi realizada através do microscópio óptico Leica AG, Modelo 302001 e caracterizado quanto à dureza da camada tratada até o substrato pelo microindentador Future Tech, Modelo FM-700.

Resultados e Discussões

Através da análise por MO, observou-se que os parâmetros do laser influenciam na qualidade da deposição do carbeto de boro na superfície do aço. O revestimento de negro de fumo foi utilizado para ancorar o carbeto de boro. Os parâmetros selecionados para o carbeto de boro foram, velocidade de 20 mm/s, resolução de 400, NCA= 8 e intensidade de 15 kW/cm². O recobrimento obtido com estes parâmetros é apresentado na Figura 5.

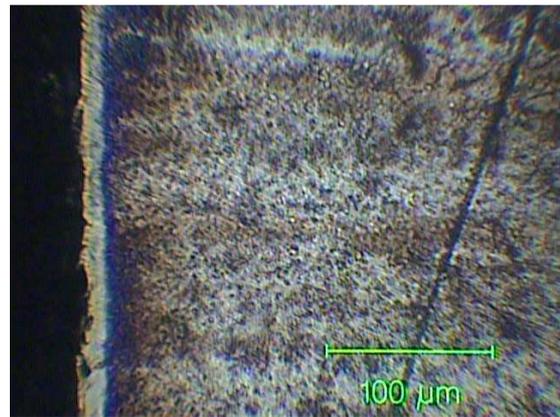


Figura 5: Micrografia da secção transversal da amostra final.

A amostra inicial de aço 4340 apresentou dureza de aproximadamente 250 HV ±20HV, e após tratamento com lasers, obteve-se dureza na superfície da ordem de 850HV ±23HV, com extensão desta região tratada de 12µm, conforme apresentado na Figura 6.

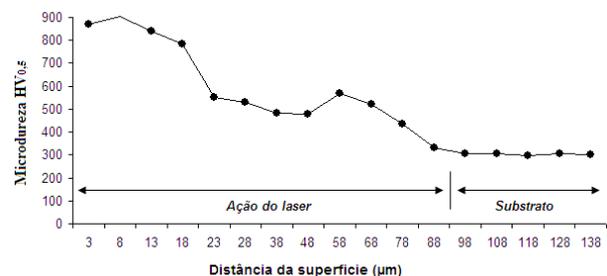


Figura 6: Resultados do perfil de microdureza da amostra final.

As amostras foram submetidas a ensaios tribológicos para se determinar o coeficiente de atrito. Os parâmetros utilizados no ensaio foram: velocidade linear igual a 10cm/s, raio da pista de 5mm, esfera de aço 52100 com 6mm de diâmetro, número de voltas igual a 2000 e carga igual a 5N.

Neste teste, a amostra em estudo é apoiada em um suporte de rotação com um pino ou esfera em contato com a superfície da amostra e sobre

uma carga conhecida, a amostra é rotacionada para simular atrito e desgaste [6]. A Figura 7 apresenta o esquema do tribômetro.

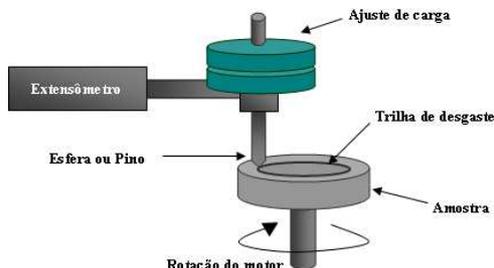


Figura 7: Desenho esquemático do teste de tribologia.

A análise tribológica demonstrou que o coeficiente de atrito da amostra inicial sem revestimento e da ordem de 0,6 a 0,7 e com o revestimento de carbeto de boro o coeficiente reduziu para 0,2. Na Figura 8, observa-se que inicialmente o coeficiente de atrito em torno de 0,35, devido a rugosidade existente na superfície da amostra, que decresceu e manteve-se constante decorrido 30m, devido provavelmente, à redução da rugosidade.

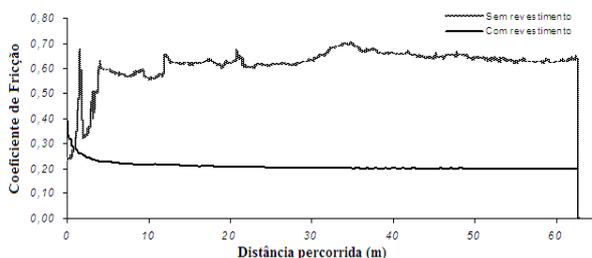


Figura 8: Resultado de coeficiente de atrito do aço 4340 revestido com B_4C .

Conclusão

Intensidades baixas do feixe de laser promovem superfícies revestidas homogêneas e com microestrutura mais refinada.

Elevados valores de resolução e/ ou altos valores de intensidade não necessariamente indicam que maior dureza superficial seja atingida na parte tratada, pois, neste caso, o resfriamento pode estar comprometendo a formação da fase esperada.

O método de tratamento superficial via laser é eficaz em aplicações de recobrimento de carbeto de boro.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa PBIC oferecida, ao Grupo DEDALO-IEAv, ao Prof. Dr. J. R. Martinelli do

IPEN-USP, ao Eng. André Zanatta do CCM-ITA, ao INPE e a UNIVAP.

Referências Bibliográficas

- [1] J. L. dos Reis, Tratamento térmico superficial do aço AISI M2 via laser de CO_2 , Dissertação de Mestrado, ITA, 2009.
- [2] Informe Setorial N°09-Complexo Químico, Negro de Fumo, BNDES- Janeiro de 98.
- [3] Lee. J.; Jang. J.; Joo. B.; Son. Y.; Moon. Y. ENDURECIMENTO A LASER DA SUPERFÍCIE DO AÇO AISI H13. Elsevier, 2008.
- [4] Metalurgia e Metais. EFEITO DA RÁPIDA AUSTENITIZAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO SAE1045. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v58n1/a09v58n1.pdf>, acessado em: 8 abr. 2009.
- [5] Comercial Gerdau. AÇOS PARA BENEFICIAMENTO. Disponível em: http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/acos_especiais_beneficiamento.asp, Acessado em: 20 jan. 2010.
- [6] D. C. Chagas; A. N. Dias; E. F. Antunes; G. Vasconcelos, APLICAÇÃO DE LUBRIFICANTES SÓLIDOS (NEGRO DE FUMO) E TRATAMENTO TÉRMICO SUPERFICIAL DE TÊMPERA EM MATRIZES DE AÇO AISI 4340 VIA LASER DE CO_2 , IV SICI - Anais do Seminário Anual de Iniciação Científica e Pós Graduação do IEAv, vol.1, São José dos Campos, São Paulo, 2010, ISSN 2175-2729.