

RECOBRIMENTO COM LUBRIFICANTE SÓLIDO E TÊMPERA SUPERFICIAL DE AÇO AISI M2 VIA LASER DE CO₂¹

Getúlio de Vasconcelos²
Joares Lidovino dos Reis³
Anderson Ferreira da Silva³

Resumo

Este trabalho tem como objetivo, utilizar um laser de CO₂ de 50W para tratar termicamente a superfície de amostras de aço AISI M2, visando além de aumentar sua dureza superficial, alterar suas propriedades tribológicas. O inconveniente do processo, que é a elevada taxa de reflexão da radiação incidente, que ocorre quando o aço é irradiado com laser de CO₂, será compensado pela deposição de uma camada de grafita que atuará como material foto-absorvedor sobre a superfície do aço. Este revestimento de grafita visa absorver parte da radiação incidente e transmitir parte do calor absorvido para a superfície metálica. Ao fim do processo observa-se que uma fina camada de grafita deposita-se sobre a superfície do aço e a superfície irradiada apresenta elevada dureza superficial. As alterações micro-estruturais na superfície do aço, resultantes das trocas térmicas com a grafita foram avaliadas por microscopia óptica (MO) e eletrônica de varredura e micro dureza superficial (MD), espectroscopia Raman e testes tribológicos. Por MO a espessura da camada tratada foi avaliada em 60 micrometros e também se observou a presença de uma camada de grafita de cerca de 10 µm. Por MD, avaliou-se que esta camada apresenta dureza superficial cerca de 50% maior que o núcleo temperado e por testes tribológicos, avaliou-se que esta camada pode atuar como lubrificante sólido, uma vez que o coeficiente de atrito foi reduzido cerca de três vezes, quando comparado ao aço sem tratamento.

Palavras chave: Têmpera superficial com laser; Recobrimento com laser; Microdureza.

COVERING STEEL SURFACE BY A CO₂ LASER BEAM

Abstract

This paper aims the covering of steel surfaces by a CO₂ laser beam (50W), to promote the thermal treatment and reducing friction properties. In order to minimize the steel surface reflection at approximately 90% of the incident radiation wavelength (10.5 µm), an incident radiation absorber layer was applied to the steel surface sample. This coating aims to absorb the incident heat and transfer part of heat to the steel surface. As resulting of this process a graphite cover that takes place on the steel surface after laser irradiation. The surface irradiated presented high hardness and a thin coating of graphite on the surface. The micro-structural changes, occurred on the steels surface, resulting from heat transfer from the absorbing layer, were evaluated through optical microscopy (MO), scanning electron microscopy (MEV), micro-hardness essays (MH), X-ray analysis (XRD), Raman spectroscopy and tribological testers on the graphite coating. MO analysis showed on the transversal section of the heated affected zone a brighter layer than the sample's core, 30 micrometers thickness, in the surface sample a black coat 10 micrometers thickness. By MH analysis this brighter layer presented hardness approximately 30% superior than the regions without treatment, and by Raman spectroscopy it was evaluated the graphite coating. The XRD analysis on the surface sample reveals an increasing of the martensite and iron-carbide phase. The experimental results of pin-on-disk tests on the graphite coatings reveal a reduced coefficient friction as compared to the original surface.

Keywords: CO₂ laser; Graphite coating; Hardening; Laser beam; Micro-hardness.

¹ *Contribuição técnica ao 6º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 20 a 22 de agosto de 2008, São Paulo, SP*

² *Instituto de Estudos Avançados – IEAv-CTA, São José dos Campos- SP.*

³ *Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA*

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de superfície de metais e ligas via laser baseia-se no aquecimento promovido pela absorção da radiação do laser seguido pelo seu rápido resfriamento local.^[1] A temperatura pode ser controlada pela variação da densidade de potência e da velocidade de varredura do feixe. A têmpera superficial via laser consiste na formação de uma estrutura austenítica durante o aquecimento, e em sua transformação em martensita durante o resfriamento.^[2,3] As principais vantagens da têmpera por laser são: seletividade do processo (seleção de regiões específicas a serem tratadas), aquecimento rápido de uma superfície, permitindo o tratamento de camadas finas, redução das zonas termicamente afetadas (ZTA) e das distorções geométricas, quando comparado a outros métodos de tratamento térmico.^[1] É comum a utilização de lasers de até 1 kW para a finalidade de têmpera superficial, para o processamento ferramentas de corte, no tratamento de matrizes para estampagem e forjamento. Entretanto, neste trabalho será utilizado um laser de 50 W, com diâmetro de feixe de 300 µm para promover o tratamento térmico de uma superfície de uma matriz de aço AISI M2. A inconveniência deste processo, isto é, as baixas energias disponíveis e a reflexão de aproximadamente 90% da radiação incidente serão compensadas pela deposição de uma camada de material foto-absorvedor sobre a superfície do aço. As principais vantagens do uso do laser do CO₂ de baixa potência são: baixo custo, simplicidade na operação e a possibilidade de selecionar áreas específicas para o processamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental deste trabalho divide-se em duas fases:

- a) preparação e aplicação de uma camada absorvedora da radiação incidente feita com pó de grafita em suspensão em álcool etílico.
- b) Irradiação da superfície recoberta por um feixe de laser do CO₂.

2.1 Preparação e Aplicação da Solução de Material Particulado de Grafita

O material usado neste trabalho foi obtido a partir de cavacos gerados em um torno convencional. Estes cavacos da ordem de 1 mm³, foram triturados por via úmida (álcool etílico), em um moinho de bolas por 48 horas. Após a moagem, a pasta obtida foi seca em um forno tipo mufla a 373K por 3 horas, desagregada e então classificada em peneiras com diferentes aberturas. A solução foi preparada com o material particulado que passou através da peneira de menor abertura (da ordem de 0,037 mm). A seleção deste tamanho de partícula baseou-se no fato de que camadas mais finas e homogêneas são obtidas com partículas menores. A Figura 1 apresenta o material de partida após a classificação em peneiras.

A solução utilizada para o recobrimento foi preparada com 15,4g de pó de grafita e carboxil-metílico-celulose (CMC), usado para aumentar à resistência a verde da camada, em uma proporção de 1% de massa de grafita para cada 150 ml de álcool etílico (solvente). Para homogeneizar a mistura, a solução foi misturada em um moinho por aproximadamente 2 horas. A proporção da fração usada de cada componente foi a que apresentou as melhores condições de recobrimento, aplicadas através de uma pistola pneumática. Após ter aplicado uma camada homogênea de grafita na superfície do aço AISI M2, a área está preparada para a irradiação com o feixe de laser de CO₂.

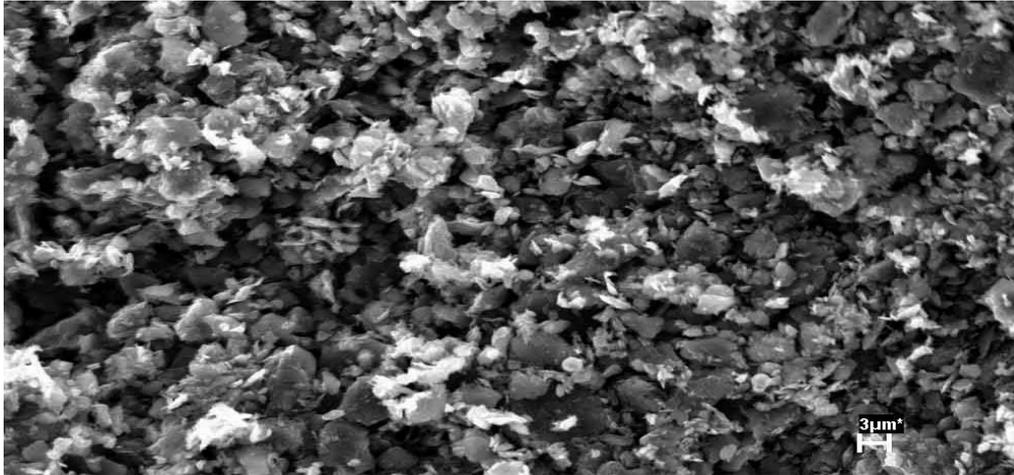


Figura 1. MEV do material de partida: um fino pó obtido da grafita com tamanho de grão médio da ordem de 3 micrometros.

2.2 Tratamento da Superfície do Aço AISI M2 Via Laser

O laser de CO₂ usado neste trabalho é da marca Synrad modelo J48, e opera a 50W de potência, em modo CW. O arranjo experimental usado para promover o tratamento de superfície via laser é apresentado na Fig 2. No processo de irradiação, o feixe de laser varre a superfície da amostra através de espelhos galvanométricos, gerando trilhas com espessuras controladas (2 mm x 8 mm). A velocidade de varredura do feixe na superfície do aço AISI M2 foi fixada em 200 mm/s. A potência do feixe de laser foi fixada em 50W e o número de ciclos de aquecimento (sobreposição das trilhas) foram variados. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de processamento para cada trilha. Para minimizar a oxidação da superfície do aço, uma proteção de gás N₂ foi aplicada a 10 l/min.

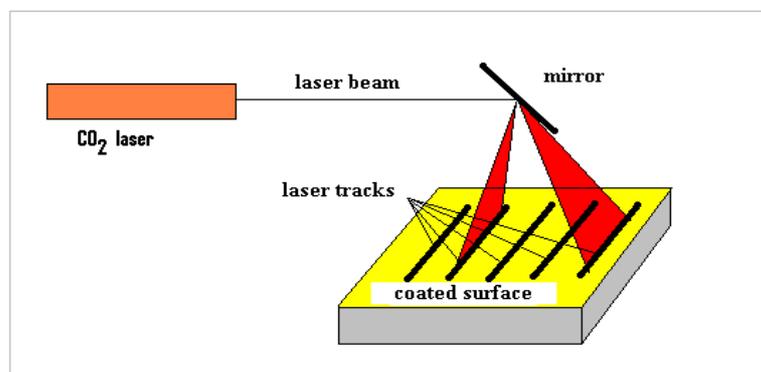


Figura 2. Desenho esquemático do arranjo experimental. O feixe de laser de CO₂ é guiado pelos espelhos e gera as trilhas de interesse sobre a superfície do aço AISI M2.

Conforme apresentado na Tabela 1, as amostras de aço de AISI M2 foram irradiadas com dois diferentes valores de velocidade de varredura do feixe laser, visto que cada um deles foi irradiado um determinado número de ciclos, (3, 10, 15 e 20 passagens). O número de ciclos influencia tanto a espessura da zona termicamente afetada (ZTA) quanto à dureza da superfície da amostra de aço AISI M2. Ao irradiar a amostra com 100 mm/s e com número de ciclos de aquecimento iguais a 10, a dureza média superficial foi de 1137±55 HV. Para 20 ciclos de aquecimento, determinado dano na superfície da amostra é observado. Quando a velocidade é aumentada para 200 mm/s, nenhum dano na amostra foi observado e

promoveu-se um aumento na dureza e extensão da ZTA, atingindo entre 10 e 30 micrômetros, para 10 e 20 ciclos de aquecimento, respectivamente. Destes resultados, selecionou-se o parâmetro de velocidade de varredura de 200 mm/s para os tratamentos térmicos seguintes.

Tabela 1. Parâmetros do tratamento térmico utilizado em cada trilha e resultados obtidos com o tratamento a laser de CO₂ no aço AISI M2.

Velocidade do feixe (mm/s)	Número de ciclos de aquecimento (NCA)	kW/cm ²	Observações e Dureza Vickers (HV0,05)
100	10	70	1137 ± 55
100	20	70	Danos na superfície
200	3	70	1250 ± 60
200	10	70	1210 ± 58
200	15	70	1320 ± 65

Novos ensaios foram realizados, utilizando amostras de aço AISI M2 de 8 mm x 13 mm x 35 mm, e irradiando trilhas com as dimensões de 2.5 x 4.0 mm². A velocidade de 200 mm/s foi selecionada e definida de acordo com os resultados anteriores e variou-se o número de ciclos de aquecimento (NCA) e a velocidade de varredura do feixe de laser.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a Tabela 1, as amostras de aço de AISI M2 foram tratadas com velocidades de varredura do feixe de 100 e 200 mm/s e NCA de 3, 10, 15 e 20. A amostra que foi irradiada com velocidade de 100 mm/s apresentou micro dureza superficial de 1137± 55 Hv, contudo, à medida que se aumentou o NCA para 20, ocorreu fusão em sua superfície. Para as amostras que foram irradiadas com 200 mm/s, à medida que foi aumentado o NCA, a micro dureza superficial foi elevada sem a ocorrência de fusão superficial. Embora a potência disponível no laser seja 50W, um parâmetro importante que deve ser considerado, é a densidade de potência do laser incidente na amostra a ser tratada. Como o diâmetro do feixe é de 30 micrômetros, a densidade de potência será da ordem de 70 kW/cm² para 50 W. Estes valores corroboram com a literatura^[4] onde se indica que a têmpera superficial tem início em 10³ a 10⁴ W/cm². Conseqüentemente, mesmo usando um laser de 50 W, é possível produzir mudanças de fases no material, desde que as intensidades sejam suficientes para aumentar a temperatura acima de temperatura de austenitização.^[5,6] As melhores taxas de acoplamento foram obtidas quando revestimentos altamente absorvedores foram aplicados.^[7] Neste processo, parte da energia do laser que era refletida, é agora absorvida e as mudanças de fase ocorrem mais eficientemente. A Figura 3 apresenta as mudanças da microestrutura da zona termicamente afetada (ZTA) obtida na secção transversal da amostra após a irradiação com o feixe de laser.

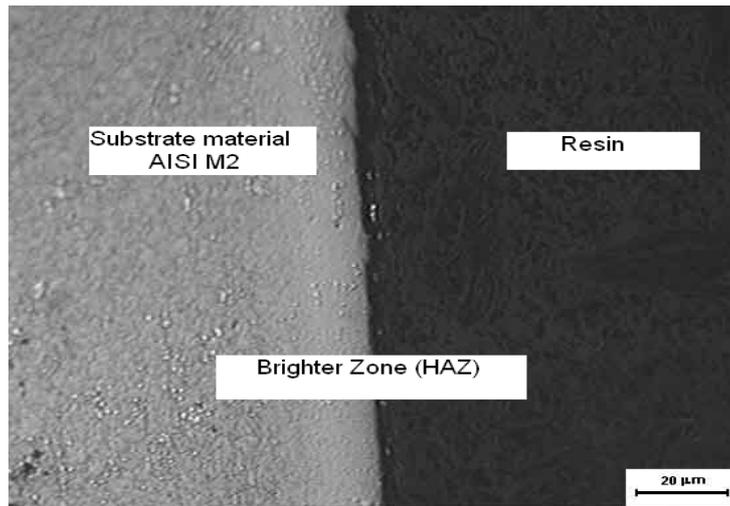


Figura 3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da zona termicamente afetada, promovida pela irradiação da superfície da amostra pelo feixe de laser de CO_2 .

As medidas de microdureza foram realizadas em um microdurômetro (marca Futura FM 700) que determina a dureza de superfícies de forma não destrutiva em Vickers. As microdurezas das regiões tratadas com lasers foram comparadas às da superfície não tratada. A Figura 4 apresenta a dependência da intensidade do laser e do número de irradiações do feixe de laser sobre a superfície da amostra revestida pela camada de grafita.

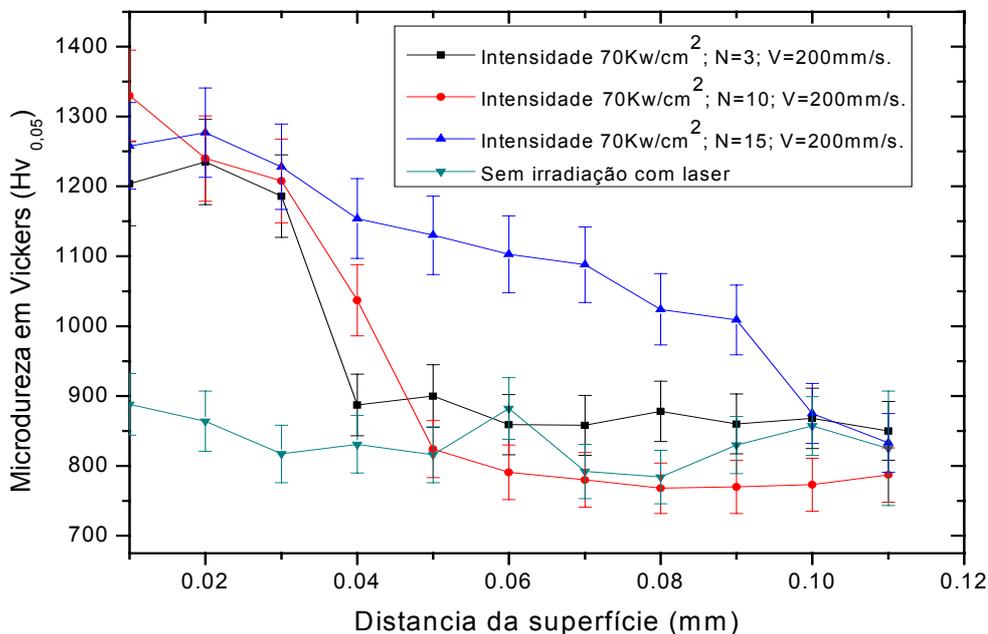


Figura 4. Micro ensaios de dureza na seção transversal da amostra do aço de AISI. Uma relação entre o aumento da espessura da camada tratada em relação ao NCA é apresentado. Quanto maior o número de irradiações uma maior zona termicamente afetada é obtida.

Para as máximas densidades de potência aplicadas ($7 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$), obteve-se um aumento na dureza da ordem de 50%, comparado com a superfície sem tratamento. Irradiando-se a superfície da amostra com a mesma energia, porém

aumentando-se o NCA maiores profundidades tratadas podem ser atingidas. A estas durezas elevadas pode ser atribuída à presença da fase martensítica, que foi aumentada na superfície do aço AISI. A Figura 5 apresenta os resultados da difratometria de raio X (DRX) das amostras.

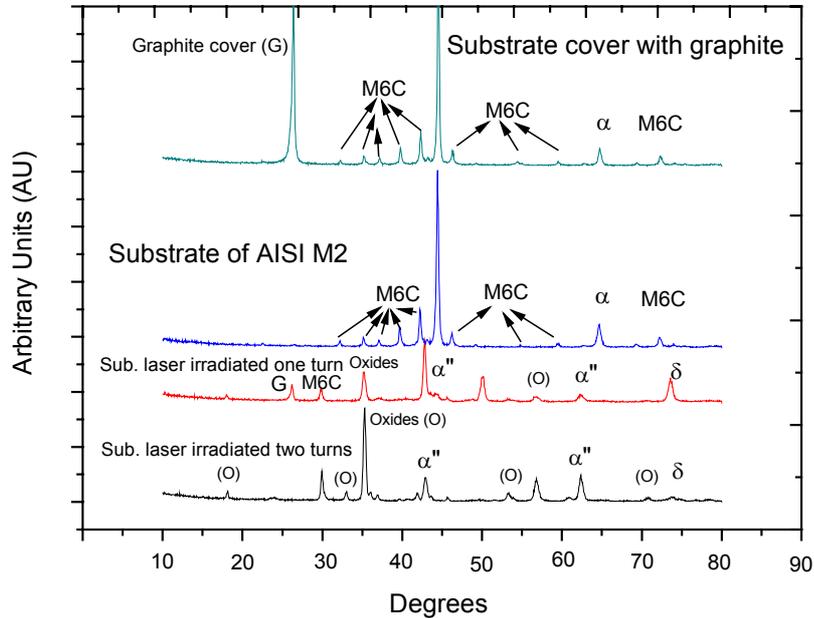


Figura 5. Difratogramas de raios-X- DRX da superfície das amostras, destacando a fase M_xC e a martensita ("α"), e possível a dissolução da fase M₆C na superfície da amostra.

Os dados de têmpera, obtidos por diferentes autores,^[1] utilizando laser contínuo de CO₂ indicaram que as densidades de potência para que as transformações de fase se iniciem são da ordem de 10³ W/cm². Para se atingir estas densidades de potência com um laser do CO₂ de 50 W posicionou-se as amostras diretamente no foco do laser, onde o diâmetro do feixe é de 300 micrometros. As elevadas intensidades de potência obtidas favoreceram a formação de novas fases na superfície do aço AISI M2, conforme apresenta a Figura 6.

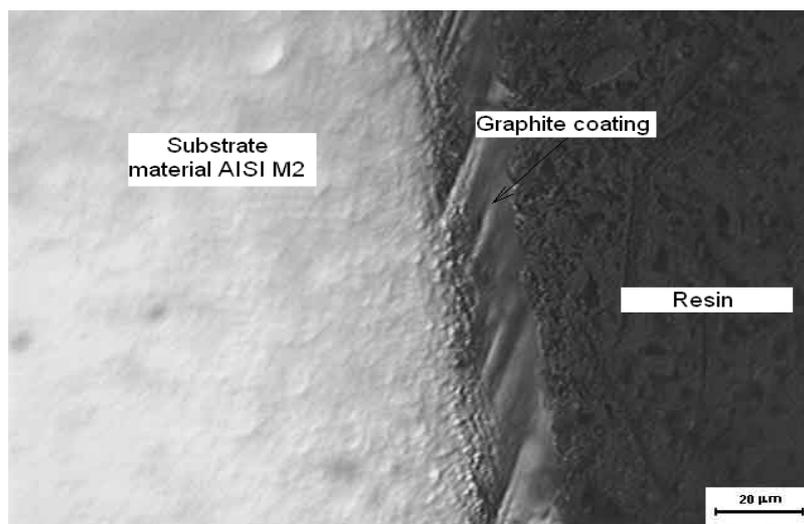


Figura 6. MEV da secção transversal da amostra de aço AISI M2 tratada com laser. À esquerda, observa-se o substrato de aço AISI M2, na região central, pode ser visto revestimento da grafita com espessura de aproximadamente 10 micrômetros, finalmente, à direita, observa-se a resina utilizada para preparar a amostra para os ensaios metalográficos.

A camada de grafita presente na superfície do aço, foi analisada por espectroscopia Raman (caracterização não destrutiva da amostra) para se obter informação da estrutura desta camada.

Os espectros Raman da grafita estão apresentados na Figura 7, e a presença da grafita indica que ela é o único cristal que possui um modo ativo de Raman, quer seja o modo do centrado em 1580 cm^{-1} de E_{2g} “etiquetado simetria G”. A desordem da grafita tem um segundo modo ao redor de 1350 cm^{-1} de A_{1g} “etiquetado simetria D” para o seu grau de desordem. Uma maior cristalinidade da amostra de grafita foi alcançado em função do número de irradiações do laser como pode ser observado na Figura 7 pelo redução do pico D.

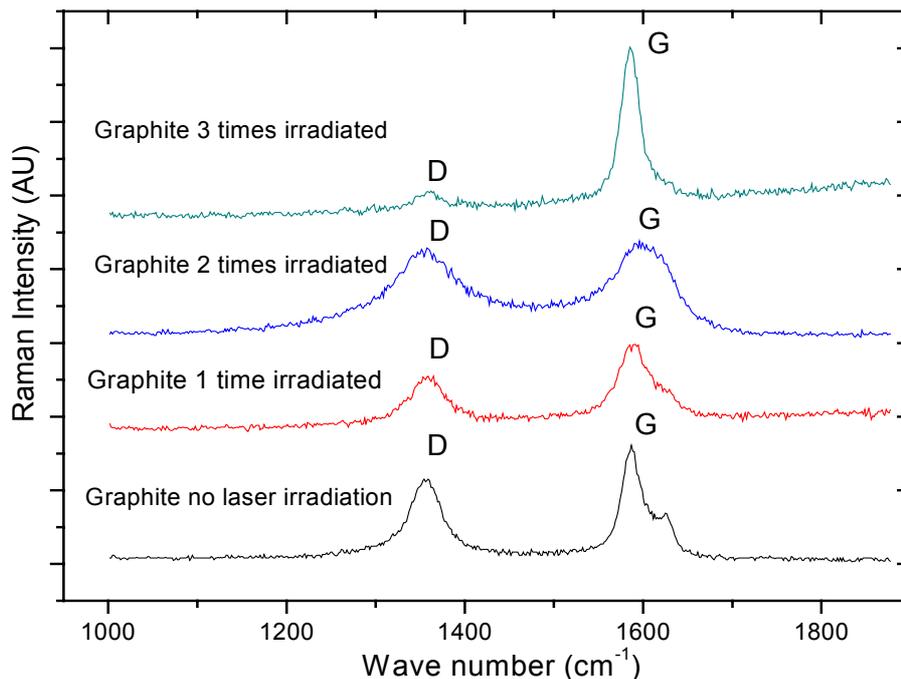


Figura 7. Espectroscopia de Raman do AISI M2 recoberto por uma camada de grafita, sem a irradiação do laser e com um, dois e três irradiações.

O coeficiente de fricção do recobrimento de grafita depois da irradiação com laser no aço de AISI M2 foi avaliado em um equipamento de pino-em-disco, de acordo com o procedimento padrão da ASTM G99-95. Todos os testes foram executados de acordo com os seguintes parâmetros: Material do pino SS420, com esfera de diâmetro de 3 milímetros (limpo com álcool). Condições atmosféricas: umidade relativa de 45% a 55% (25°C). Cargas normais: 5N, tamanho da trilha: 6 [milímetros], velocidade deslizamento do pino: 10 [cm/s], número da voltas: 2000, tempo do teste: 13' 14".

A Figura 8 apresenta os resultados dos testes tribológicos obtidos na avaliação da amostra de AISI M2 tratada com o feixe de laser com intensidades de 70 kW/cm^2 , e em uma amostra sem recobrimento de grafita. As amostras que receberam revestimento prévio de grafita apresentaram coeficiente de fricção cerca de 3 vezes menor em comparação aa amostras sem aplicação de revestimento de grafita.

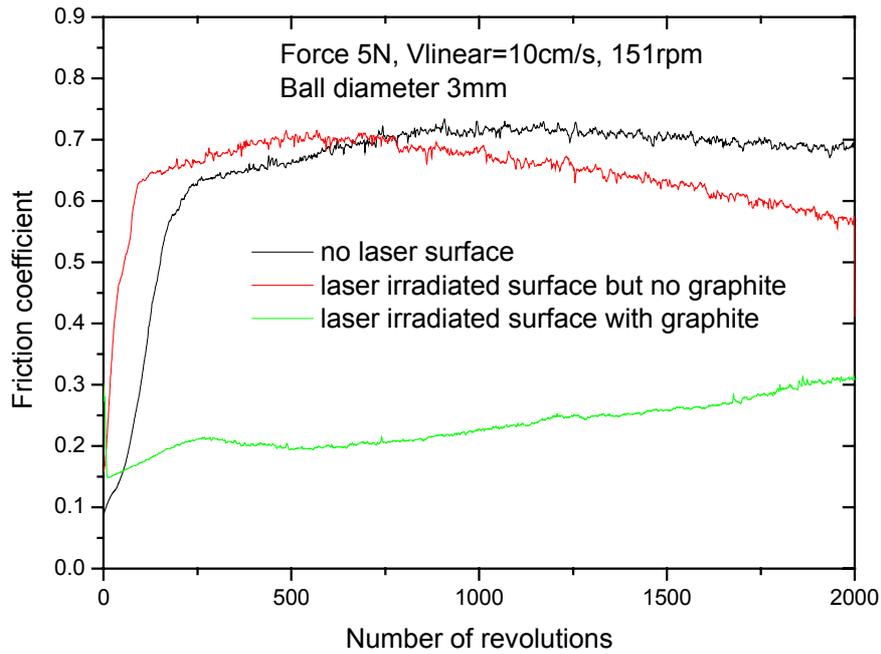


Figura 8. Análise tribológica das amostras de aço de AISI recobertas por uma grafita, irradiado e sem nenhuma irradiação e amostra sem recobrimento.

Para se avaliar o estado superficial da amostra após o teste de fricção, fez-se uma micrografia, conforme apresenta a Figura 9, com microscópio eletrônico de varredura na superfície da amostra, exatamente na região de contato da superfície tratada via laser contra o pino do tribômetro.

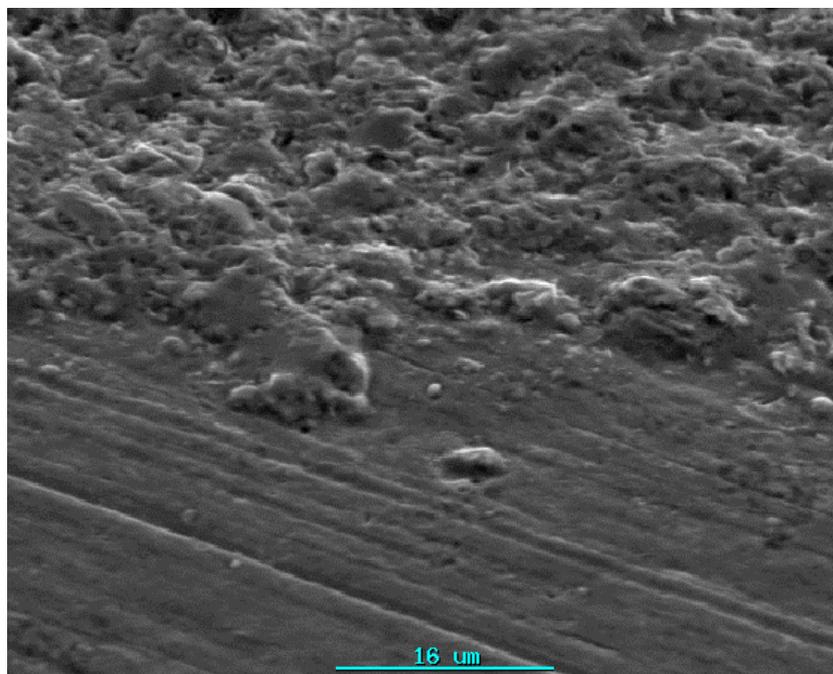


Figura 9: MEV da superfície do amostra de aço AISI M2 recoberta com grafita (parte superior) e região do contato do pino do tribômetro com a parte tratada.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho comprova a possibilidade de uso de um laser de CO₂ de baixa potência (50W) para promover a têmpera superficial de aço, desde que uma camada de revestimento foto absorvedor da radiação incidente seja utilizado. Este revestimento além de favorecer o acoplamento da radiação incidente, adere-se a superfície do metal e pode atuar como um lubrificante sólido. O tratamento de superfície via laser promoveu o aumento na dureza superficial do aço cerca de 50%, quando comparado ao substrato já temperado. O mecanismo atribuído a elevação da dureza observada, pode ser associado à dissolução da fase M₆C da superfície da amostra em decorrência da elevada temperatura atingida na superfície da amostra e a transformação da austenita retida em martensita na superfície da amostra decorrente do rápido aquecimento e resfriamento proporcionado pelo feixe de laser. A irradiação da superfície da amostra sem o revestimento de grafita não produz nenhuma alteração superficial ou alteração da microdureza. Uma camada de revestimento de grafita da ordem de 10 micrômetros foi fixada na superfície do aço AISI M2 e pode atuar como lubrificante sólido contínuo. A espectroscopia Raman revelou um aumento na cristalinidade do revestimento de grafita após a irradiação do laser.

Há possibilidade da ocorrência da difusão de carbono, proveniente da camada de grafita, porém, sua comprovação será feita mediante a realização de espectroscopia dispersiva de raios-x em etapas futuras deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 GANEEV R.A. Low-power laser hardening of steels, *Journal of Materials Processing Technology*, v.121, p. 414-419, 2002.
- 2 MACHADO I.F. Technological advances in steels heat treatment, *Journal of Materials Processing Technology*, 172, p.160-173, 2006.
- 3 KATSAMAS A.I. and HAIDEMENOPOULOS G.N., Laser beam carburizing of low-alloy steels, *Surface and Coating Technology*, 139, p. 183-191, 2001.
- 4 STEEN W.M. *Laser Material Processing*, p178, Springer Verlag, NY, 1991.
- 5 KENEDY E., BYRNE G., COLLINS D.N. A review of use of high diode laser in surface hardening; *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156, p. 1855-1860, (2004).
- 6 VOLLERSTEN F., PARTES K., MEIJER J. State of art of laser Hardening and Cladding; *Proceeding of the Third International WLT-Conference on Lasers Manufacturing*, Munich, June 2005.
- 7 READY J.F., FARSON D.F. *LIA Handbook of Laser Materials Processing*; Laser Institute of America; Magnolia Publishing, Inc, p.240, USA, 2001.
- 8 DOBRZANSKI L.A., BONEK M., HAJDUCZEK E., KLIMPEL A., LISIECKI A., Comparison of the structures of the hot-work tool steel laser modified surface layers, *J. of Mat. Processing* 164-165, p.1014-1024, 2005.