



TÊMPERA SUPERFICIAL POR LASER DE AÇO AO CHUMBO

Luíz Fernando Assumpção⁽¹⁾, Ana Sofia C. M. d'Oliveira⁽²⁾

(1) - Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico

luizfernando@pcm.bosch.com

(2) Professora Titular do Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico

sofmat@demec.ufpr.br

Resumo. A engenharia de superfícies permite melhorar o desempenho de componentes, recorrendo a alterações nas superfícies, permitindo assim aumentar a vida útil dos mesmos. Os tratamentos superficiais podem-se enquadrar em dois grandes grupos, um que envolve a alteração da composição química e outro apenas a modificação da estrutura da superfície, é nesta última categoria que se inclui o tratamento de têmpera superficial por laser. Genericamente um processo de têmpera, tem como objetivo promover um endurecimento da superfície tratada, para que esta superfície adquira resistência ao desgaste e às deformações físicas decorrentes dos esforços mecânicos a que fiquem submetidas. Uma das características que torna a têmpera a laser um processo exclusivo, é a possibilidade de temperar regiões localizadas e de difícil acesso. O presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito da têmpera a laser em aços ao chumbo, usados em componentes de motor diesel. Quando incide em uma superfície, o feixe de laser provoca um rápido aquecimento localizado, resultando em gradientes térmicos tão acentuados que o material sofre um processo de autotêmpera. As principais variáveis em estudo são a potência, o foco do feixe de laser e a velocidade de processamento. São apresentados resultados referentes a dureza superficial e profundidade tratada para os diferentes parâmetros em estudo, e correspondentes microestruturas produzidas, permitindo identificar os limites de processamento que resultam em endurecimento superficial por transformação martensítica.

Palavras-chave: Têmpera superficial, Têmpera por laser, Processamento por laser

1. INTRODUÇÃO

Os tratamentos superficiais por LASER são hoje uma realidade industrial, sendo possível encontrar diversas aplicações, onde se aproveitam as vantagens desta técnica. Entre as principais vantagens pode-se destacar: i) limpeza química, ii) controle da penetração térmica e conseqüentemente da distorção, iii) controle da geometria e localização da zona termicamente afetada (ZTA), iv) redução do retrabalho, v) processamento sem contato vi) facilidade de automação [Charschan 1998, Sandven 1992, Steen 1991]. Com o intuito de melhorar a resistência ao desgaste, à erosão ou à corrosão, aplicam-se tratamentos superficiais por

LASER, de forma localizada ou em toda uma superfície, a componentes como moldes para a indústria de plástico, rolos de laminação para a indústria do papel, diversos componentes da indústria automotiva, pás de turbinas a gás, etc. [Bergmann et al. 1990, Brenner e Reitzenstein, 1996, Macintyre 1983, Nagasawa 1997, Vilar et al. 1988, Wallenweber 1996]

A têmpera superficial por LASER consiste no aquecimento de uma fina camada na superfície do componente metálico, por um feixe de alta densidade de energia. A temperatura de austenitização a que o material é submetido e a profundidade tratada são determinadas pela densidade de potência W/mm^2 (função da potência e diâmetro do feixe de LASER) e tempo de interação (função da velocidade de varredura). Os LASER mais comuns encontrados na indústria para têmpera superficial são os de CO_2 e de Nd:YAG, com um MODO TEM_{01} , isto é, distribuição de energia gaussiana na seção transversal do feixe. Assim tem-se uma maior densidade de energia no centro do feixe que na sua periferia e o resultado disto é uma região tratada com profundidades distintas, conforme ilustra a Figura 1.

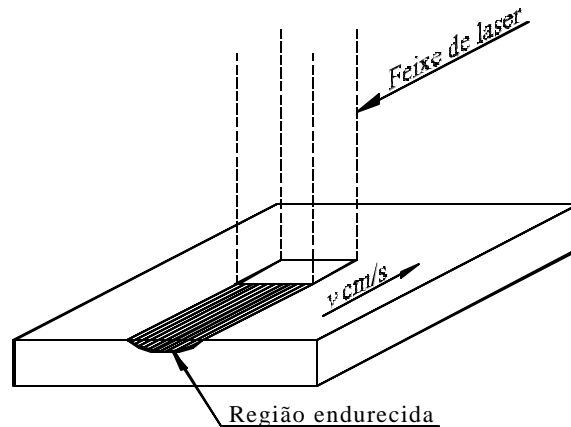


Figura 1 – Representação esquemática da região tratada durante processamento de têmpera por LASER.

A reduzida largura das pistas tratadas por LASER, permite o tratamento de pequenas áreas de forma precisa; áreas maiores podem ser tratadas por sobreposição de pistas ou desfocando o feixe de LASER, quando a potência do equipamento não comprometer as profundidades desejadas [Sandlev 1992, Steen 1991, Yamamoto 1997].

Tal como nos processos de têmpera convencional o objetivo 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. Quando um feixe de LASER atinge a superfície de um aço a austenitização ocorre em segundos ou mesmo frações de segundos; por outro lado em consequência do aquecimento localizado geram-se gradientes térmicos muitos abruptos permitindo que ocorra um processo de auto-têmpera. É assim recomendada a utilização de materiais com uma estrutura refinada para facilitar a austenitização.

No presente trabalho, utiliza-se a técnica de têmpera superficial por LASER com o objetivo de se determinar as melhores condições de processamento para um aço de boa usinabilidade. Analisa-se o efeito da variação de potência, velocidade de processamento e foco do feixe de LASER no perfil de microdureza e na microestrutura produzida, quando se utiliza um equipamento totalmente automatizado. Sendo a resistência ao desgaste função da dureza superficial [Rabinowicz 1995], pretende-se estimar o desempenho de componentes para a indústria automotiva, fabricados com o material em estudo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Um aço ao carbono de boa usinabilidade com a composição apresentada na Tabela 1, na condição de normalizado, foi submetido a têmpera por LASER. O processamento de corpos de prova cilíndricos, com 22,3 mm de diâmetro, foi realizado nas instalações da fábrica da Robert Bosch em Curitiba, onde se encontra instalada a máquina utilizada para processamento do material. O equipamento de têmpera foi um LASER de CO₂, CW, com potência máxima de 2000W, totalmente automatizado, tendo acoplado um sensor de temperatura na superfície do componente, que ajusta automaticamente a potência utilizada em função de uma temperatura superficial pré-estabelecida. Assim para cada condição de processamento é especificada uma temperatura a ser atingida na superfície e o equipamento ajusta a potência em função da temperatura estabelecida. Devido à elevada refletividade do aço, antes do processamento por LASER o componente foi submetido a um tratamento de fosfatização com o objetivo de aumentar a absorção da energia do feixe. Os parâmetros em estudo estão apresentados na Tabela 2. Para cada condição de processamento foram executados quatro corpos de prova.

Tabela 1 – Composição química, em peso, do aço utilizado

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Pb	Fe
0.45	0.22	0.68	0.035	0.03	0.15	0.06	0.02	0.021	0.11	0.21	Bal.

Tabela 2 – Intervalo de variação dos parâmetros em estudo

Parâmetros	Variação
Potência	850W-1800W
Velocidade	30rpm-240rpm
Foco	1.4mm-3.0mm

O efeito dos diferentes parâmetros foi caracterizado recorrendo-se a média de três perfis de microdureza Vickers (0.3Hv) na seção transversal das peças tratadas. A análise da microestrutura foi feita utilizando-se a técnicas usuais de preparação de amostras metalográficas, para observação nos microscópios ótico e eletrônico de varredura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 apresenta-se o aspecto geral da seção transversal do componente tratado nas condições usuais de processamento (960°C, 30rpm, 3,0mm de foco), para as quais se obtêm profundidades tratadas de $\approx 500\mu\text{m}$ e durezas na superfície de 700Hv. É possível observar o efeito do MODO TEM₀₀ do LASER utilizado no presente estudo, na forma da região temperada.

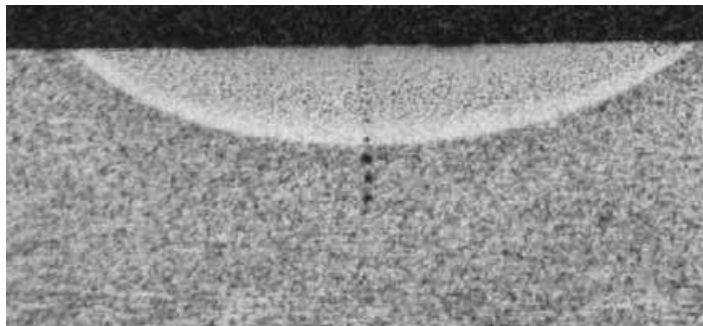


Figura 2 – Aspecto geral da seção transversal de um componente temperado por laser.

3.1. Efeito dos parâmetros de processamento

Os efeitos dos diferentes parâmetros de processamento estudados estão apresentados nas Figuras 3, 4 e 5, onde se observa a influência da variação dos valores da potência, velocidade de rotação e foco do feixe, no perfil de microdureza Vickers (0.3Hv). De acordo com o esperado para um aço de médio carbono como o utilizado neste trabalho, após têmpera superficial por LASER, todos os perfis de microdureza realizados, apresentam uma região de elevada dureza junto da superfície (com valores de $\approx 700\text{Hv}$), seguida de uma queda gradual até aos valores de dureza do material inicial. O efeito da potência (temperatura na superfície) utilizada está apresentado na Figura 3. Mantendo a velocidade de rotação e o foco do feixe de LASER constantes, verifica-se que um aumento da potência resulta em maiores profundidades tratadas; tendo-se para a menor potência utilizada profundidades da ordem dos $\approx 500\mu\text{m}$ e para a maior, da ordem dos $\approx 800\mu\text{m}$. Os resultados revelam também que para a menor potência utilizada os valores de dureza na superfície foram inferiores aos medidos para as demais condições testadas, e inferiores a dureza para 100% de martensita “as quenched” com o teor de carbono do aço, não tendo havido portanto austenitização completa.

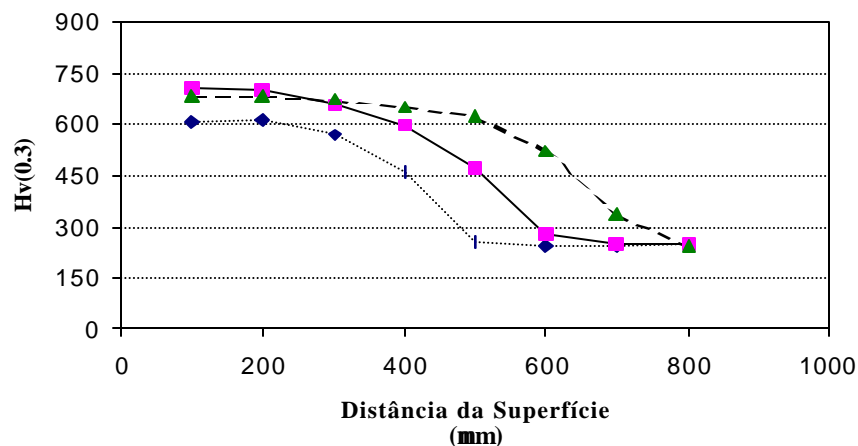


Figura 3 – Influência da potência do feixe de LASER nos perfis de microdureza (0.3Hv) de um aço carbono com chumbo, ▲- 1800W (1050°C), ■- 1500W (960°C), ◆- 1070W (880°C)

A influência da velocidade de processamento, medida pelo número de rotações por minuto (rpm), no perfil de microdureza do componente tratado está apresentada na figura 4. Para o intervalo de valores testado o comportamento do material divide-se em dois grupos, em função das dureza na superfície do aço e da profundidade tratada. Assim velocidades de processamento inferiores a 100rpm, são responsáveis por maiores valores de dureza na superfície e maiores profundidades de têmpera. Este resultado pode ser entendido levando em consideração que quanto menor a velocidade de processamento maior o tempo de interação entre o feixe de LASER e o material, ou seja é dado tempo para que a região varrida pela feixe de LASER seja totalmente austenitizada e, simultaneamente, para que o calor gerado na superfície difunda até maiores profundidades.

A utilização de velocidades de processamento maiores apresenta um comportamento um pouco diferente, verificando-se que para valores superiores a 170rpm o comportamento do material se mantém. Os resultados revelam menores valores de dureza na superfície e profundidades tratadas, em relação ao observado anteriormente, o que se pode atribuir a uma eventual austenitização incompleta e ao menor tempo disponível para a difusão do calor para o interior da peça. Somado a estes fatores é preciso levar em consideração que o sistema ajusta automaticamente o valor da potência do LASER em função da temperatura pré-ajustada

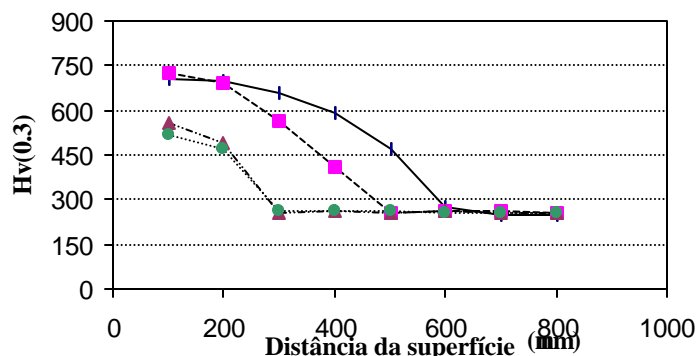


Figura 4 - Influência da velocidade de varredura nos perfis de microdureza (0.3Hv) de um aço carbono com chumbo, ◆ - 30rpm, ■ - 100rpm, ▲ - 170rpm, ● - 240rpm

para a superfície, que neste caso foi de 960°C, o que resultou em uma diminuição da potência à medida que se aumentou a velocidade de processamento. Ou seja, apesar do diâmetro do feixe (foco) ter sido mantido para as diferentes velocidades testadas, duas variáveis (velocidade e potência) foram alteradas simultaneamente, o que justifica a resposta constante do material.

A necessidade de se temperar áreas maiores a do diâmetro do feixe de LASER, pode ser contornada pela sobreposição de pistas paralelas, obtendo-se nestes casos uma região de menor dureza entre as duas pistas, sendo a variação de dureza obtida função do percentual de sobreposição das pistas. Quando os requisitos técnicos de um componente não permitem que na sua superfície existam variações de dureza significativas, a melhor opção é desfocar o feixe de LASER. Uma variação no foco do feixe de LASER, é obtida alterando-se a distância do bocal do LASER à superfície da peça, o que na prática se traduz por um aumento (menor foco) ou diminuição (maior foco) do diâmetro do feixe que varre a superfície do componente.

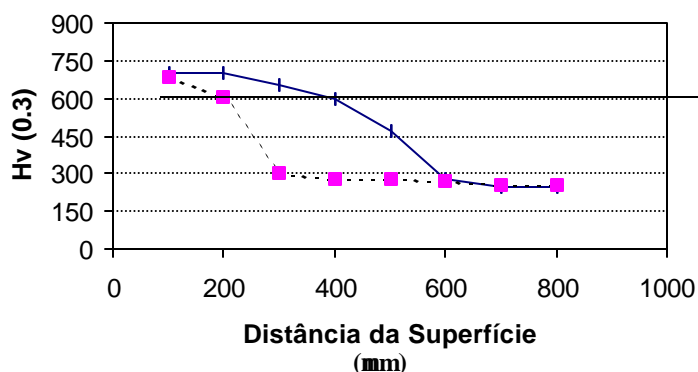


Figura 5 - Influência do diâmetro do feixe de LASER (foco) nos perfis de microdureza (0.3Hv) de um aço carbono com chumbo, ◆ - 3.0mm, ■ - 1.4mm.

Na Figura 5 apresentam-se os perfis de microdureza (0.3Hv) medidos após têmpera superficial com variação do foco do feixe de LASER. É possível observar que um menor foco (maior diâmetro) resultou em maiores profundidades tratadas. Em uma primeira análise este resultado é contraditório às previsões da literatura [Steen 1991], pois ao aumentar o diâmetro do feixe (menor foco), diminui-se a densidade de potência (W/mm^2) e em consequência pode-se esperar uma redução da profundidade tratada. Um melhor entendimento do resultado obtido é conseguido analisando-se as características do equipamento utilizado, que ajusta automaticamente a potência em função de uma temperatura pré-definida na superfície (960°C, neste caso). Assim sendo, quanto menor a área tratada, menor a potência necessária para se

atingir uma dada temperatura (ou densidade de potência), ou seja a redução automática da potência, é responsável pela menor profundidade medida para os menores diâmetros de feixe (maior foco).

De acordo com os resultados obtidos, e tendo em consideração que a resistência ao desgaste é proporcional aos valores de dureza [Rabinowicz 1995], é de se esperar que os melhores desempenhos sejam obtidos para processamentos com potências elevadas e baixas velocidades de rotação, com um feixe fora de foco, condições em que se obtêm maiores valores de dureza na superfícies e maiores profundidades tratadas.

3.2. Análise da microestrutura

Na Figura 6, correlacionam-se as microestruturas observadas com o perfil de microdureza obtido após têmpera por LASER, na seção transversal de um componente do aço em estudo. Junto da superfície externa observa-se uma estrutura tipicamente martensítica; à medida que aumenta a distância da superfície, e ocorre uma queda da dureza, a estrutura deixa de ser totalmente martensítica, até que, para os menores valores de dureza medidos, apenas a estrutura inicial é identificada.

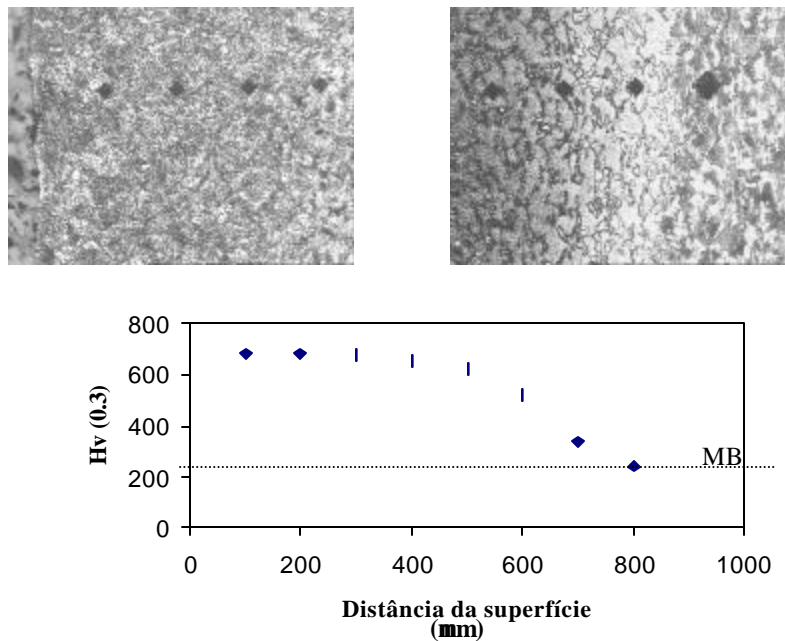


Figura 6 – Correlação entre o perfil de microdureza após têmpera superficial por LASER e a microestrutura observada.

Nas Figuras 7 e 8 apresentam-se as microestruturas, na superfície, resultantes da variação dos diferentes parâmetros de processamento comentados anteriormente. Como era esperado verifica-se a presença de uma estrutura martensítica, figura 7, sempre que os valores de dureza na superfície atingiram $\approx 700\text{Hv}$, independente das condições de processamento utilizadas para se atingir esse valor. Os menores valores de dureza medidos para processamento com baixa potência ou com alta velocidade de varredura, resultam de uma austenitização incompleta, como revela a figura 8.

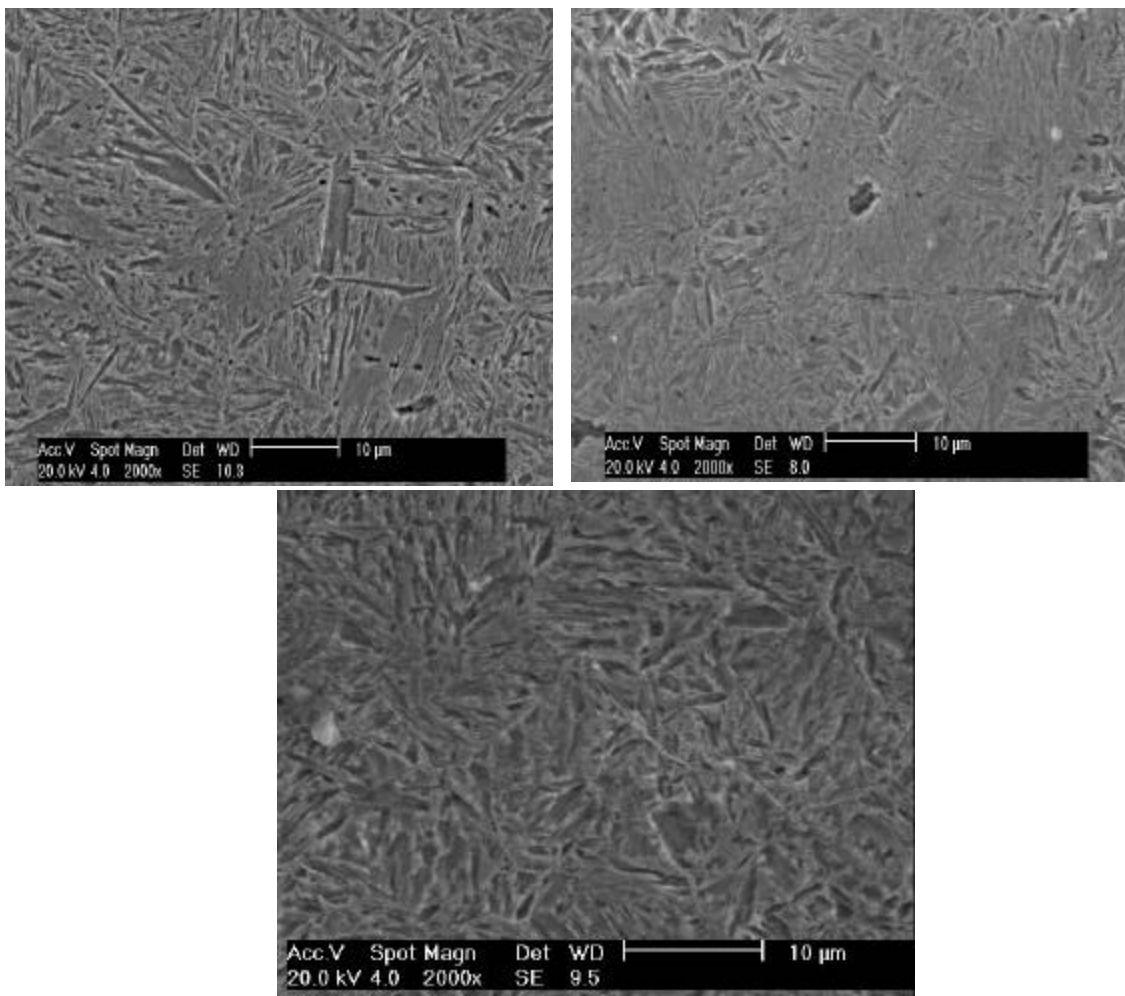


Figura 7 – Microestrutura martensítica observada na superfície após têmpera superficial por LASER a) P=1800W, b) foco=1.4mm, c) vel. = 30rpm.

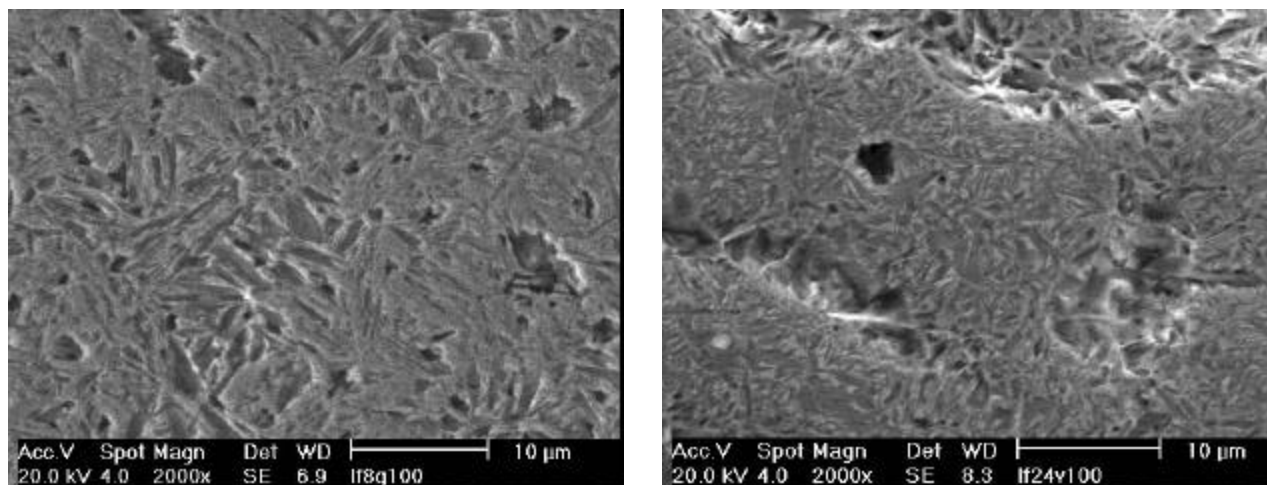


Figura 8 – Microestrutura observada na superfície após têmpera superficial por LASER a) P= 1070W, b) vel = 240rpm.

4. CONCLUSÕES

Para a potência e características de processamento disponíveis, concluiu-se que para o aço testado:

- o parâmetro determinante para se obter têmpera superficial plena é a potência utilizada, sendo que para potências inferiores a 1500W a austenitização não se completa.
- Alterações na velocidade de rotação e no foco do feixe implica em ajustes de potência de processamento. Nestas condições obtêm-se têmpera superficial plena para velocidades inferiores a 100rpm; um aumento do foco resulta em menores profundidades tratadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Robert Bosch Ltda, Curitiba, pela colaboração no trabalho realizado. Agradecimentos vão também para o LACTEC pela colaboração na análise no MEV.

REFERÊNCIAS

- Guide to Laser Materials Processing, Laser Institute of America, Ed: S. S. Charschan, 1998, 265p
Sandven, O. A., 1992, Metals handbook, vol 4, 9th edition
- Bergmann, H.W., Kupfer, R. and Müller, D.,1990, Laser Hardfacing, CO₂ Lasers and Applications II, p375-390.
- Brenner, B. and Reitzenstein, W., 1996, Laser hardening of turbine blades, Industrial Laser Review, p.17-20.
- Macintyre, M.,1983, LASER hardsurfacing of gas turbine blade shroud interlocks, International conference on Lasers in Manufacturing
- Nagasawa, S., Fukuzawa, Y., Ito, Y., A., M., Katayama, I e Yoshizawa, A., Surface thermal treatment of die cutting Plate using a CO₂ Laser, Proceedings of ICALEO'97, p. f91-97. San Diego, California USA, 1997
- Rabinowicz, E. ,1995, Friction and Wear Materials, 2nd ed. John wiley na sons, Inc. Nova York. Steen, W. M., 1991, Laser Material Processing, Springer-Verlag, 266p
- Vilar, R., Miranda, R. M., D'Oliveira, A. S. C. M. 1988, Laser Surface Treatment Of Aisi 420 Tool Steel. In: International Conference On Lasers In Industry, 1988, Porto. Spie, 1988. V.952. P.713-718.
- Wallenweber, J., 1996, Laser Surface Heat Treating, Advanced Materials and Processes, vol. 150, n. 6.
- Yamamoto, H., Mnamida, K. Oikawa, M. Kido, M. e Kawasumi, H., 1997, Development of a continuous Laser Hardening Method without tempering Zone, Proceedings of ICALEO'97, p. f-83-f90. San Diego, California USA

LASER SURFACE HARDENING OF A LEAD STEEL

Abstract: *surface engineering is a tool to enhance the performance of mechanical componentes, by altering their surface features. Surface treatments can be classified in two groups: one that involve changes on the surface chemical composition and the other regarding treatments on which only the surface microstructure is altered. Laser surface hardening fits within the later. Surface hardening aims to increase surface hardness by martensitic transformation, in order to improve its resistance to wear. Laser surface hardening is a unique process, as it allows for localized hardening, even with complex geometries. When a laser beam hits the surface of a component very fast heating and cooling occurs. As a consequence a very steep temperature gradient develops in the material, resulting on a thin harden layer. This work aims to analyse the effect of laser surface hardening of a lead steel used in diesel engines. The main parameters studied were laser power, beam focus ans processing speed. Surface hardness and hardening depth were evaluated for the different processing conditions and are presented together with the microstructures produced. Processing boundaries, for the power available, were detemined.*

Keywords: *surface hardening, laser hardening, laser surface processing*