

FABRICAÇÃO ASSISTIDA POR LASER

Milton Sergio Fernandes de Lima

Instituto de Estudos Avançados IEAv, Centro Técnico Aeroespacial CTA, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - São José dos Campos – SP Caixa Postal 6044 - Cep - 12231-970 e-mail: milton@ieav.cta.br.

Resumo. *Os processos de fabricação assistida por laser atingiram um bom grau de maturidade industrial e têm representado uma parcela pequena, mas em constante elevação, das nossas importações de máquinas. No Brasil, os sistemas com lasers de potência mais procurados são aqueles para marcação e gravação e para corte de chapas planas, enquanto uma demanda incipiente se volta para outros processos como soldagem, furação, usinagem 3D, micro-processamento, tratamentos de superfície e prototipagem rápida. Nesta contribuição, serão abordadas as principais características do processamento com lasers de potência nas aplicações onde este oferece vantagens competitivas frente aos processos tradicionais. Serão também apresentadas as novas tecnologias, ilustrados com exemplos em vários ramos da indústria.*

Palavras-chave. *Usinagem a laser, soldagem a laser, tratamento de superfície com lasers.*

1. INTRODUÇÃO

Theodore Maiman inventou o primeiro laser operacional no *Hughes National Laboratory* em 1960 [1]. Tratava-se de um laser de rubi, com potência tão baixa que mal se apercebia a luz vermelha. No entanto, os militares logo viram a possibilidade de criar o raio da morte, capaz de fulminar o seus inimigos como no livro "A Guerra dos Mundos" escrito por H.G. Wells em 1890. Embora atualmente tenhamos um certo reaquecimento do tema com o projeto Guerra nas Estrelas do governo norte-americano, o laser nunca se mostrou uma arma muito prática no campo de batalha. Felizmente para nós, o esforço em desenvolver novos lasers, cada vez mais potentes, nos trouxe a disponibilidade para utilizarmos estas fontes de luz concentrada para algo mais construtivo.

Os princípios de emissão estimulada da luz, cerne da tecnologia laser, foram teorizados em 1916 por Albert Einstein. Em resumo, quando um fóton (quantidade de energia luminosa) atravessa um meio específico, ele provoca um transição de fase eletrônica que produz um novo fóton. Este fóton sente-se obrigado a acompanhar o fóton que iniciou a transição na mesma fase, como duas ondas perfeitamente alinhadas. Estes dois fótons excitam outros e assim se amplifica a luz dentro do que se chama meio laser ativo, daí o nome "Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação" – L.A.S.E.R. em inglês. Para que os fótons consigam melhorar o seu rendimento emitindo mais fótons, as cavidades laser têm dois espelhos que refletem continuamente a luz de um lado para o outro. Um dos espelhos é parcialmente transparente ou possui um furo, de modo que uma quantidade de luz escape do meio ativo e pode ser aproveitado para aplicações. O meio laser ativo deve ser excitado de alguma maneira e, em geral, esta excitação vem de uma fonte externa alimentada por eletricidade. Portanto, o laser é um conversor de energia, uma vez que transforma a energia elétrica em luminosa.

Para que o laser seja útil, é necessário que ele seja guiado e focalizado sobre o material. O feixe laser pode ser guiado por espelhos ou por fibra óptica, o que confere um caráter de automação ao processo quando integrado a uma mesa computadorizada ou robô. Espelhos parabólicos ou conjunto de lentes podem ser usados para focalizar o laser sobre um material.

Na Figura 1 é apresentado o desenho esquemático de um equipamento laser em operação. No caso, o meio laser ativo está confinado entre dois espelhos, um totalmente refletor acima e outro parcialmente refletor abaixo, enquanto a fonte de excitação são duas lâmpadas flash. Na Figura 1, o feixe laser é focalizado por meio de uma lente sobre o material, posicionado na distância focal.

As aplicações do laser são bastante numerosas como em impressoras, leitores e gravadores de CDs, comunicações, metrologia, controle de poluentes, medicina, ensaios não-destrutivos, espectroscopia, entretenimento, etc. O laser tem recebido destaque também na área de engenharia para soldar, usinar, fabricar e tratar superficialmente uma gama vasta de materiais. Na Figura 2 estão apresentados os principais processos industriais de lasers de potência segundo a sua distribuição mundial em 2003 [2]. Os processos de marcação a laser ultrapassaram os processos de corte, área tradicional dos lasers desde os anos 90, nos últimos anos. Isto se deve ao fato de que as empresas de todos os portes têm comprado lasers para marcação, sobretudo devido à sua fácil integração com as linhas de montagem automatizadas. A gravação a laser também tem crescido bastante, inclusive com o impulso recente na área de gravação de moldes de injeção e matrizes diversas. Outra área de destaque é a soldagem a laser, principalmente para união de chapas de aço planas, como os blanks automotivos. Nesta área específica, a soldagem a laser já é o processo tradicional. O microprocessamento engloba uma série de processos desde a nanofabricação até o corte de silício para chips. Finalmente, os processos onde o laser é dedicado a furação e a microfuração vão desde gotejadores para agricultura até bicos de injeção para foguetes.

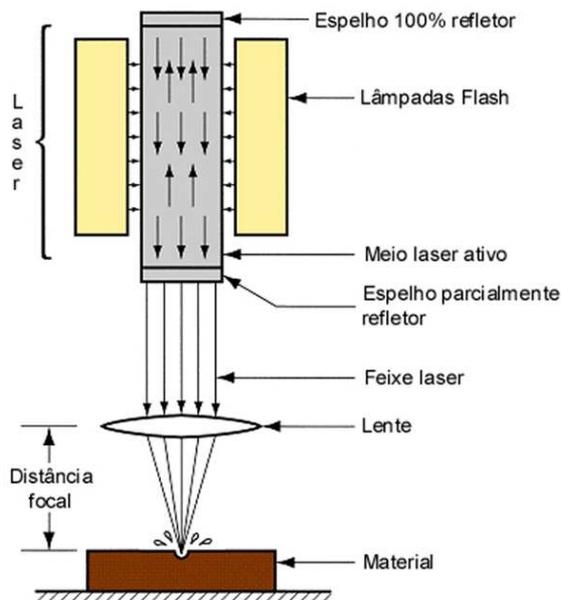


Figura 1 – Desenho esquemático de um laser sendo focalizado sobre uma peça.

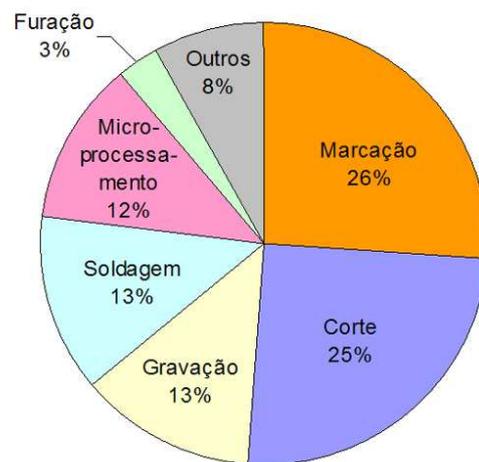


Figura 2 – Distribuição mundial de aplicações de lasers industriais em 2003.

Neste texto, os processos de usinagem, soldagem e tratamentos de superfície serão unidos sobre a rubrica comum de Fabricação Assistida por Laser. Serão apresentados os princípios das técnicas, bem como aplicações atuais do laser na indústria.

2. USINAGEM A LASER

a) Corte a laser

O corte a laser é de longe a mais difundida entre as aplicações industriais dos sistemas laser. As propriedades únicas dos lasers permitem cortes confiáveis, de baixo custo e alta produtividade. Em comparação com outros métodos, este processo também demonstra significativas vantagens na qualidade e repetibilidade. Isto torna os sistemas laser de grande sucesso e uma ferramenta de manufatura muito lucrativa. Uma comparação com outros métodos de corte é mostrada na Tabela 1 [3].

Tabela 1 - Comparação entre diferentes sistemas de corte.

	Custo do sistema	Custos operacionais	Volume de produção	Velocidade de produção	Flexibilidade de materiais	Desgaste de ferramenta	Integração do sistema	Espessura do material/mm	Qualidade do corte	Dificuldade de formas	Nível de ruído
Laser	Alto	Médio	Alto	Alta	Alta	Não	Boa	25	Boa	Boa	Baixo
Puncionadora	Alto	Médio	Alto	Alta	Baixa	Sim	Boa	12	Média	Média	Alto
EDM	Médio	Alto	Médio	Lenta	Baixa	Sim	Difícil	100	Boa	Média	Médio
Fresamento	Médio	Médio	Médio	Lenta	Alta	Sim	Boa	---	Boa	Média	Médio
Jato d'água	Alto	Alto	Médio	Lenta	Alta	Sim	Boa	25-150	Boa	Boa	Alto
Oxicorte	Baixo	Baixo	Médio	Lenta	Baixa	Não	Boa	1300	Ruim	Razoável	Alto
Plasma	Médio	Alto	Médio	Alta	Baixa	Não	Boa	50	Ruim	Boa	Alto

Como pode ser visto acima, as vantagens do corte a laser são muitas. A pequena zona afetada pelo calor produzida pelo laser causa mínima distorção e, também, mínimas mudanças nas características mecânicas e químicas da peça. Por ser um processo sem contato, não ocorre o desgaste de ferramenta, comumente visto em outros métodos. Os sistemas laser são facilmente integráveis em uma linha de produção já existente, necessitando pouca manutenção e facilitando a automatização do processo de corte. Os sistemas modernos permitem produção em série com altas velocidades de processo, alto volume de produção, e excelente reprodutibilidade de peça para peça, mantendo sempre altos padrões de qualidade.

As densidades de potência normalmente obtidas com lasers de corte variam de 1 a 5 MW/cm². Tais densidades de potência, contudo, não são suficientes para se obter um corte limpo, e um jato de gás direcionado à posição focal é normalmente usado para remover material fundido e vaporizado da zona de corte. O movimento da peça em relação ao foco do feixe laser leva a um corte limpo e estreito em quase todos os tipos de materiais. Em geral, as altas velocidades de corte em superfícies planas e tridimensionais deixam o material relativamente sem distorções, de tal maneira que as peças cortadas podem ser imediatamente utilizadas, sem a necessidade de retrabalho. Os lasers mais utilizados para o corte são os de CO₂ e de Nd:YAG, tanto pulsados como contínuos. Em metais, as espessuras podem variar desde 0,1 mm até 25 mm com velocidades de corte de 6 a 250 mm/s.

O processo de corte a laser mais comum é o que provoca a fusão do material. Neste processo, durante o corte, a função principal do laser é aquela de uma fonte de calor muito intensa. A diferença para outras fontes de calor, é que aqui, a densidade de potência no foco de um laser comercial de alta potência pode chegar a megawatts por milímetro quadrado. Esta é a maior potência disponível para a indústria nos dias de hoje. A temperatura no foco pode chegar a valores somente rivalizados pela fusão nuclear, e se o feixe for absorvido pela superfície, esta será imediatamente evaporada, independente do tipo de material.

Muitos parâmetros de processo devem ser ajustados para otimizar um corte a laser; os mais importantes são: potência de saída do laser, modo de operação (contínua ou pulsada) e a qualidade do feixe. Na operação pulsada, outros parâmetros também são importantes, como potência pico, taxa de repetição e largura temporal do pulso laser. A óptica de focalização é também de fundamental importância para um bom sistema laser, sendo os principais parâmetros: o comprimento focal da lente e a posição do ponto focal em relação à superfície da peça. Outros parâmetros a serem controlados são a velocidade de corte e a aceleração, a pressão, tipo e pureza do gás de assistência, diâmetro do bico e sua distância até a superfície da peça. A Figura 3 mostra um esquema de corte a laser onde os principais parâmetros de corte são apresentados.

Como visto na Figura 3, normalmente uma certa quantidade de material ressolidificado, na forma de sangria, fica aderido na borda de saída do feixe laser. Esta sangria pode ser maior ou menor dependendo dos parâmetros do laser e do tipo de material cortado, contudo, de maneira geral, não chega a ser um problema, e muitas vezes pode ser facilmente retirado. A superfície do corte se apresenta com estrias quando se utiliza laser contínuo de CO₂. No caso do laser pulsado de Nd:YAG, esta superfície é mais uniforme, com rugosidade variando da superfície de entrada em direção à superfície de saída de 1 µm a aproximadamente 15 µm. Um exemplo de aplicação do corte em materiais biocompatíveis é apresentado na Figura 4a. Na figura, uma prótese de titânio

para reconstrução da mandíbula foi cortada com uso de uma laser pulsado Nd:YAG com 60W de potência média e velocidade de corte de 200 mm/min [4].

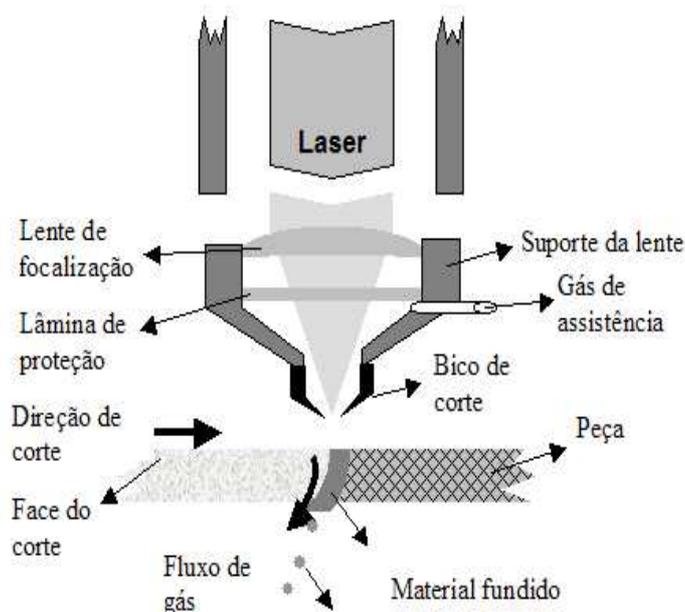


Figura 3- Cabeça de processamento laser e o mecanismo de corte.

b) Furação a laser

A furação a laser é feita por lasers pulsados operando com larguras temporais de 10^{-3} a 10^{-5} s e com intensidade da radiação de 10^7 a 10^8 W/cm². Em tais intensidades, o material aquece, funde e evapora, com o vapor ejetando quase todo o metal líquido remanescente. Os diâmetros possíveis com esta técnica podem variar desde poucos micrômetros a milímetros, com razão de aspecto (razão entre a medida da profundidade e do diâmetro) de até 50.

No processo de furação somente se utiliza operação com laser pulsado. Neste caso, quando um pulso laser, com largura temporal muito curta, é focalizado sobre um ponto muito pequeno, a alta intensidade resultante irá fazer com que qualquer material funda e/ou vaporize quase que instantaneamente. A pressão dos gases e vapores, resultantes da interação, expõem o material fundido e vaporizado deixando um buraco no local (furo). O diâmetro deste furo pode ser controlado pelos parâmetros de operação do laser e pelo grau de focalização da lente utilizada. O diâmetro máximo do furo é limitado pela energia do pulso, enquanto que o comprimento de onda do laser, a óptica de focalização, a qualidade do feixe laser e o material em si determinam o mínimo diâmetro possível para aquele determinado sistema.

Embora os lasers de exímer (emissão ultravioleta) e de vapor de cobre (emissão no visível) tenham sido largamente utilizados, os lasers de estado sólido de Nd:YAG e de Nd:vidro são os que dominam nos processos de furação de metais, enquanto que os lasers de CO₂ são os preferidos na maioria das aplicações em não-metals. Um laser de CO₂ pode produzir um diâmetro mínimo de furo de aproximadamente 70 μm em chapas finas de metais, enquanto que o laser de Nd:YAG pode produzir furos de até 5 μm nestas mesmas condições. A furação com laser de Nd:YAG pode ser feita em metais ou cerâmicas e é particularmente útil quando os furos são muito pequenos, em materiais muito duros ou muito frágeis. Uma das primeiras aplicações de furação com a utilização de laser de estado sólido foi feita em cristais de rubi para utilização em relógios, enquanto que os lasers de CO₂ foram utilizados na furação de bico de mamadeiras. Hoje em dia, furação com laser é comumente utilizada sempre que outros processos alternativos não sejam práticos ou se mostrem muito caros. Outro exemplo atual é a microfuração em bicos injetores de combustível, uma das maiores aplicações da furação a laser na indústria metal-mecânica. Na figura 4b é apresentado um exemplo de aplicação da furação a laser para tubos aeradores para a fermentação, utilizados na indústria alimentícia.

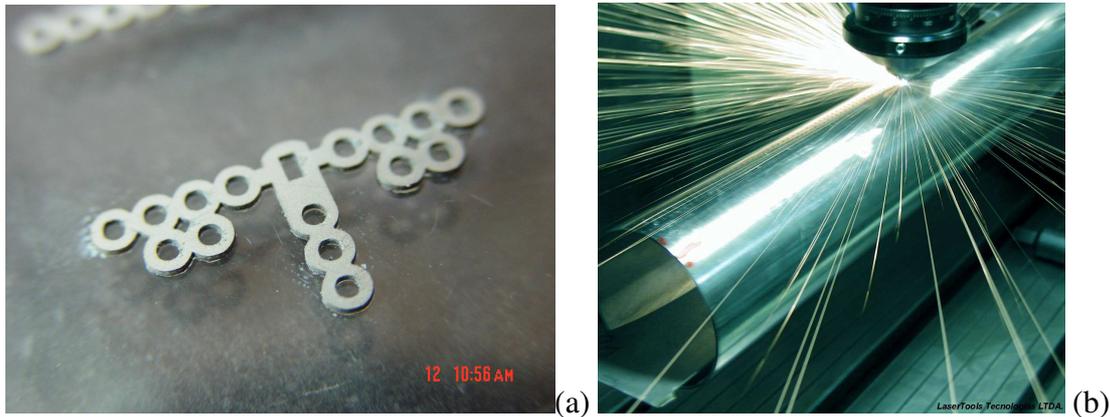


Figura 4 – Exemplos de corte e furação com lasers: (a) peça em titânio para aplicações odontológicas (largura da peça = 25 mm) e (b) laser em ação para furação de aerador para indústria alimentícia (tubo com 5 polegadas de diâmetro).

A furação a laser é mais vantajosa que os métodos mecânicos tradicionais quando é necessário tratar detalhes de forma complexa em grandes áreas, especialmente na furação envolvendo diferentes ângulos em relação à superfície. É especialmente empregada em materiais compósitos e também é preferível quando se necessita furos com diâmetros abaixo de 0,25 mm.

Algumas vantagens na furação a laser são:

- ausência de desgaste, quebra ou superaquecimento de ferramenta;
- dureza do material não é importante;
- baixa distorção mesmo em componentes muito sensíveis;
- habilidade de furação em superfícies curvas ou em ângulos muito baixos;
- alta precisão no posicionamento;
- diferentes diâmetros podem ser feitos num mesmo processo;
- possibilidade de diâmetros da ordem de poucas dezenas de micrômetros;
- alta produtividade e
- alta razão de aspecto.

A furação a laser pode ser feita por três métodos diferentes:

Furação por pulso único: Neste processo, o furo é obtido pela incidência de apenas um pulso laser sobre a peça. O intervalo de diâmetros obtido situa-se entre 20 e 50 μm com razão de aspecto entre 2 e 6. A qualidade do furo e a eficiência do processo dependem quase que exclusivamente das características do feixe laser. Por este motivo, neste tipo de furação, o modo laser fundamental gaussiano é freqüentemente utilizado. Os lasers mais empregados aqui são os de Nd:YAG e de Nd:vidro, com energia de até 10 J por pulso e intensidade de 50 MW/cm^2 . Nestas condições, profundidades de até 1,5 mm podem ser obtidas.

Furação por percussão: Este método de furação requer que uma série de pulsos laser seja liberada sobre um mesmo ponto da peça. O diâmetro e a profundidade possíveis dependem da energia e do número de pulsos empregados. A furação por múltiplos pulsos resulta em furos com qualidade melhorada quando comparado com furação por pulso único. Embora mais lento que o método anterior, a furação por percussão possibilita a obtenção de furos mais profundos e com maior razão de aspecto. Furos profundos podem ser obtidos pelo uso de uma série de pulsos com alta taxa de repetição e baixa energia. No modo de furação por percussão, a razão de aspecto pode chegar a mais de 50, com diâmetros desde poucos micrômetros até 1 mm e com profundidade de até 15 mm.

Furação por Trepanação: Neste método, o feixe é movimentado helicoidalmente em relação à peça, sobrepondo os pulsos laser de uma maneira contínua. Este movimento pode ser feito através de um controle CNC, o qual geralmente movimenta a peça enquanto o feixe permanece parado; pode também ser feito através do movimento do feixe, fazendo-se uso de lentes operando fora do centro ou ainda de scanners. Este método é geralmente utilizado para a furação de diâmetros acima

de 0,5mm, e necessita de um laser com alta taxa de repetição e um bom controle do modo espacial. Assim como no corte, ele também necessita de um fluxo de gás de alta pressão para a retirada do material fundido da área de corte. Este método oferece três importantes vantagens sobre a furação por percussão: maior precisão e repetibilidade no diâmetro pretendido, menor conicidade, e camada de material ressolidificado mais fina na parede interna do furo. Neste modo de furação, a conicidade na superfície de entrada pode ser minimizada colocando-se o “piercing” (furo inicial) no centro do furo, o qual será descartado, e então movimentando-se o feixe para o seu contorno definitivo.

3. SOLDAGEM A LASER

Os processos de soldagem com lasers são caracterizados por uma elevada eficiência (cerca de 20 mm²/kJ, em comparação com 1 mm²/kJ para processo TIG e 7 mm²/kJ para soldagem com arco submerso), alta automatização e baixa zona afetada termicamente. Estas características têm levado muitas empresas, inclusive no Brasil a implantar centros de soldagem a laser. No entanto, o número de equipamentos específicos para soldagem é muito menor que aqueles dedicados ao corte a laser.

Existem fundamentalmente dois tipos de processos de soldagem a laser, por condução e por keyhole. Nos processos por condução, a baixa potência do laser ou a sua alta velocidade leva à uma densidade de potência insuficiente para causar evaporação. O feixe laser transfere calor para uma poça líquida que é vigorosamente agitada pelas correntes de convecção e posteriormente resolidificada. Comumente, a absorção do feixe laser não ultrapassa 15% nos processos por condução. No caso da solda por keyhole, a densidade de energia é suficientemente alta para provocar um canal de vapor dentro da peça. As paredes deste canal são compostas de líquido suspenso pela pressão do vapor. Devido às suas características de corpo-negro, o keyhole sofre múltiplas reflexões do laser no canal e a absorção é elevada chegando a 90%.

A aplicabilidade da técnica de soldagem por condução ou por keyhole dependerá do tipo de material e geometria a ser soldada. A solda por condução gera poças mais largas e pouco profundas, mas em geral apresentam uma boa consistência. A solda por keyhole é mais estreita e profunda, mas pode ocasionar defeitos quando as paredes líquidas desabam, engolfando vazios e gerando porosidades.

A oferta de lasers para soldagem está dividido quase ao meio entre laser de CO₂ e Nd:YAG. Os lasers baseados em CO₂ são os que oferecem o melhor custo-benefício para operações pesadas e altos volumes de produção. São lasers onde o feixe é dirigido por espelhos e são mais efetivos para soldas no plano. Os lasers de Nd:YAG são mais flexíveis pois permitem a entrega do feixe por fibras ópticas, facilitando a robotização. Os lasers Nd:YAG também permitem trabalhos mais refinados e possuem melhor absorção nos metais, mas são mais caros que os lasers CO₂, especialmente do ponto de vista dos consumíveis. Ambos os lasers, CO₂ e Nd:YAG são oferecidos no modo pulsado ou contínuo, segundo a sua variação temporal da potência. Lasers pulsados apresentam maior penetração do cordão, mas também induzem um resfriamento mais rápido do líquido, o que pode causar trincamento em algumas ligas metálicas.

O principal mercado para soldagem a laser são os blanks para a indústria automotiva. Blanks são chapas de aço baixo carbono de diferentes espessuras que são unidas antes da conformação por estampagem. Os blanks também podem ser compostos de alumínio de alta resistência, mas este tipo de aplicação só é vista em carros específicos como o Audi A2 e o Lamborghini. O laser oferece a oportunidade de soldar blanks acessando apenas um dos lados, o que permite ao designer automobilístico novas oportunidades de criação. Hoje em dia, empresas como a Toyota, BMW e Audi projetam os novos carros com a liberdade da solda a laser.

A indústria aeronáutica também tem dado atenção especial aos processos de soldagem a laser. Os desenvolvimentos nas empresas Boeing e Airbus correm e concorrem em segredo industrial, mas os objetivos são claros: reduzir em 15% o peso e os custos de combustíveis dos aviões de grande porte substituindo o arrebamento por soldagem ponto a laser. Alguns avanços referentes ao controle do trincamento a quente durante a soldagem do alumínio por condução e por keyhole [5], aplicados à indústria aeroespacial têm atraído interesse industrial. Na Figura 5 são apresentadas duas fotografias de processos laser dentro da fábrica da Airbus [6]: (a) soldagem a laser de stringers

na fuselagem para o Airbus 380 e (b) fotometria das dimensões da aeronave com posicionamento a laser (equipamento azul-negro).

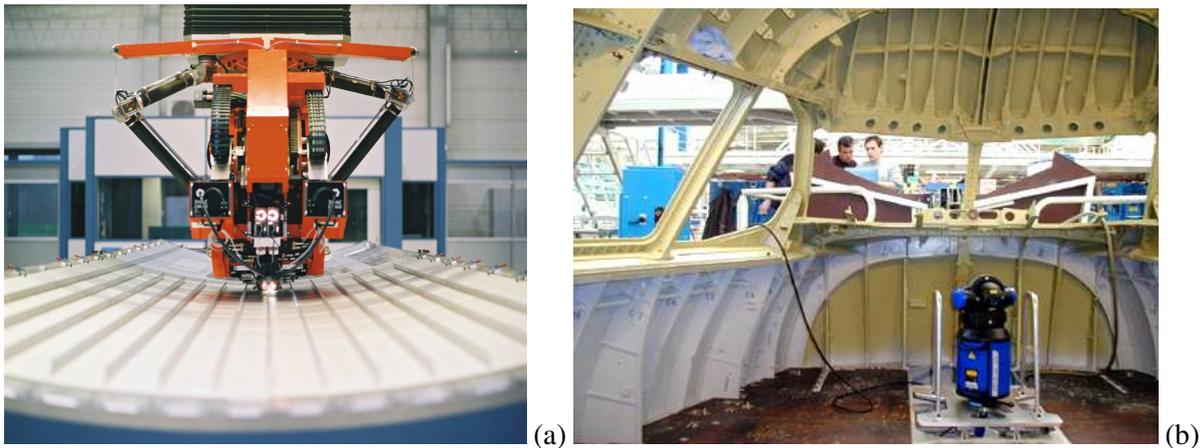


Figura 5 – Processos laser na fábrica da Airbus: (a) soldagem e (b) posicionamento.

4. TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE COM LASERS

Conforme se vê na Figura 2, os processos de tratamento superficial com lasers, marcação e gravação, correspondem por uma parcela significativa das aplicações de lasers de potência.

Os processos de marcação são aqueles onde o laser colore a superfície pela degradação do material exposto ao feixe. A marcação a laser geralmente toma forma como um código alfanumérico impresso em uma etiqueta ou produto para descrever a data de fabricação e validade, o número de série ou código, ou ainda um código de barras. A Embraer utiliza quatro máquinas de gravação a laser, trabalhando no ultravioleta, para marcar os cabos de suas aeronaves. Assim, a empresa possui um perfeita rastreabilidade de seus recursos e aumenta a produtividade do processo de integração de componentes.

Já os processos de gravação a laser, tanto em baixo como em alto relevo, têm como característica a retirada de pequenas quantidades de matéria por ablação (mecanismo de ejeção de material por explosões de gases e líquidos em escala micrométrica). Duas técnicas têm sido empregadas para a gravação: rasterização e vetorização. Na rasterização o feixe laser é continuamente ligado e desligado enquanto o laser atravessa o material, exatamente como acontece em uma impressora a laser, sensibilizando apenas as regiões onde o laser está efetivamente em operação. Já no caso da vetorização, o laser traça segmentos de reta na superfície do material para formar a imagem, com muito mais eficiência que no caso da rasterização. Um exemplo do uso do laser é a gravação de moldes de injeção, na qual o laser interage com o molde já montado ou com um postíço que é posteriormente inserido no molde.

A Figura 6 ilustra a marcação e a gravação a laser aplicadas rotineiramente na indústria.

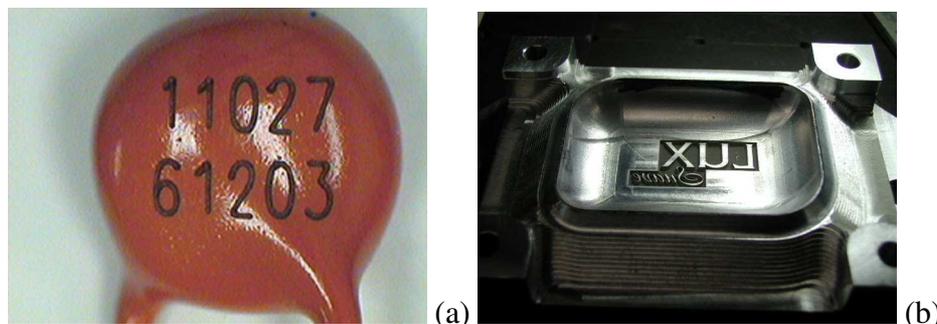


Figura 6 – Exemplos de marcação e gravação a laser: (a) marcação a laser em componentes eletrônicos e (b) Gravação a laser em moldes.

Dentro da classe “outros” da Figura 2 se encontram uma série de outros processos importantes que, no entanto, não atingiram um nível de maturidade comercial tão elevado quanto a marcação e a gravação a laser. Especificamente, nos tratamentos de superfície temos:

- Refusão a laser: processo onde o laser interage com a superfície do material produzindo fusão localizada e resfriamento rápido, promovendo uma camada resolidificada com propriedades diferentes do volume da peça. Um exemplo é a formação de uma camada ledeburítica (ferro branco) em uma peça de ferro fundido cinzento, promovendo uma melhor resistência ao desgaste.
- Laser alloying: semelhante ao processo anterior, mas que refunde a superfície com uma cobertura depositada previamente. Um exemplo é a carburização de superfícies com laser onde um filme de carbono é depositado sobre o aço antes da incidência do laser.
- Laser cladding: é um processo onde, ao mesmo tempo que o laser interage com o material, um fluxo de pó é injetado. O laser funde as partículas junto com o substrato produzindo um clad. Por exemplo, é possível fabricar um sistema de frenagem leve e eficaz pelo cladding de partículas de SiC sobre um disco de alumínio.
- Têmpera a laser: é um processo que o laser apenas aquece e resfria rapidamente a superfície do material promovendo a formação da martensita em aços. Também é possível a formação de martensita em outros sistemas como ferro fundido e titânio.
- LPDV e PCVD: trata-se de uma variação dos processos de PVD e CVD onde o laser interage com um alvo para produzir o filme fino sobre uma peça. O laser pode ser focado sobre um alvo metálico para produção de vapor que será condensado em outro lugar (LPDV) ou pode ser dirigido para um vapor que produzirá um depósito por pirólise (LCVD).
- Limpeza a laser: é um processo onde uma camada indesejável, contaminada, é expulsa da superfície do material por ablação de um feixe laser de alta intensidade. Por exemplo, este processo tem sido utilizado no descomissionamento de usinas nucleares com a eliminação de camadas de urânio depositadas sobre equipamentos dentro de uma câmara especial.
- Texturização a laser: é um processo para criação de rugosidade sobre a superfície do material. O processo é bastante preciso e permite obter rugosidades desde alguns nanômetros até centenas de micrometros.

Na Figura 7 são apresentados dois exemplos de tratamentos de superfície para limpeza e texturização de superfícies. O primeiro exemplo trata da eliminação de camadas contaminadas sobre alumínio [3] e no segundo exemplo da texturização de superfície em ferramentas de usinagem objetivando o aumento do tempo de vida [4].

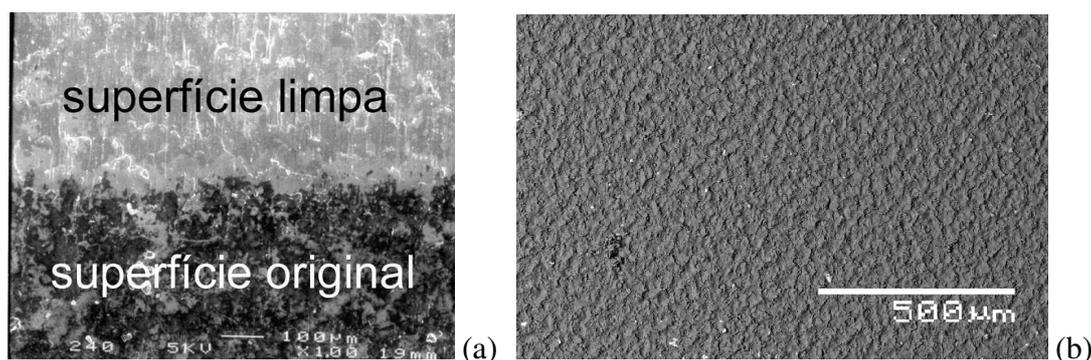


Figura 7 – Exemplos de outras técnicas de modificação de superfície com lasers: (a) limpeza a laser de superfícies e (b) texturização a laser.

Existe também uma grande vantagem em desenvolver a refusão superficial de ferros fundidos com laser para formação de uma camada ledeburítica. O objetivo do tratamento é obter peças apresentando propriedades diferentes na superfície, expostas aos fenômenos de desgaste e de corrosão, necessitando de dureza e de estabilidade química, e internamente capazes de suportar as tensões mecânicas nas quais o material é submetido. Os resultados apontam uma melhoria significativa na performance dos ferros fundidos quando modificados superficialmente com lasers.

A figura 8 apresenta um exemplo de uma trilha refundida com laser apresentando a estrutura ledeburítica [5].

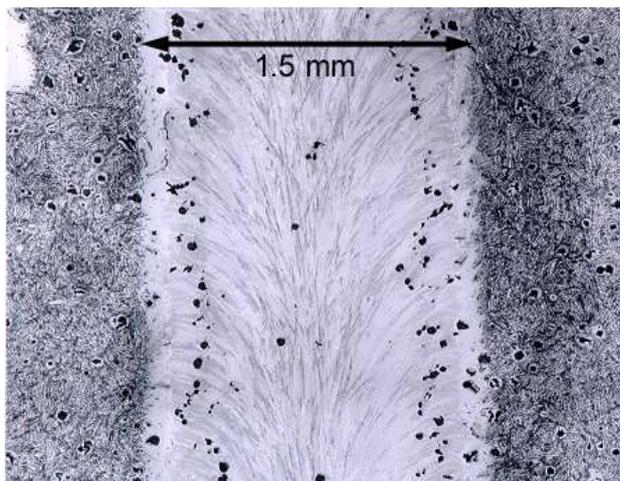


Figura 8 – Superfície de ferro fundido nodular tratada a laser.

5. OPORTUNIDADES

O mercado brasileiro está longe da saturação de máquinas laser para processamento de materiais, embora as áreas de marcação e gravação a laser já apresentem sinais de estagnação em termos do número de prestadores de serviço. Estas máquinas são relativamente baratas (US\$ 15'000 – US\$ 45'000) e já são até objeto de contrabando internacional.

Por outro lado, as condições atuais não são favoráveis ao financiamento de máquinas maiores, como aquelas para o corte e soldagem, que facilmente custam um milhão de dólares. No entanto, é comum observar pelo Brasil empresas prestadoras de serviço laser orbitando em torno de grandes companhias, especialmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Para o cientista interessado em criar um spin-off ligado às inovações do processo produtivo não faltam opções, desde linhas de financiamento diferenciadas até a hospedagem em incubadoras. Em uma análise superficial, são as empresas de base tecnológica que devem alavancar as inovações em processos e produtos na área de aplicações de laser. Um dos casos de sucesso mais frequentemente citados na mídia é o caso da empresa LaserTools. A LaserTools é uma pequena empresa incubada no CIETEC criada por pesquisadores do IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e que atualmente desenvolve o primeiro stent coronário nacional cortado a laser.

Vejamos agora outras oportunidades interessantes:

A melhoria das condições tribológicas de motores e engrenagens por têmpera, refusão ou alloying pode ser uma ferramenta importante para melhorar tanto a performance quando o tempo de vida destes componentes. O ferro fundido com grafita vermicular utilizado em motores diesel, por exemplo, pode ter suas propriedades substancialmente melhoradas pela modificação superficial com lasers. Isto considerando que apenas partes específicas, particularmente sensíveis ao desgaste, devem ser tratadas e que o custo do processamento é relativamente baixo.

Com escassez de energia apontada como um dos entraves ao crescimento econômico vamos necessitar de turbinas cada vez mais aperfeiçoadas e, conseqüentemente, mais caras. Ao invés do descarte prematuro de palhetas de turbinas, por efeito da tensão e corrosão, poderíamos proceder ao reparo por cladding (recarregamento). Assim, pequenas trincas ou imperfeições poderiam ser eliminadas pela usinagem e preenchimento das cavidades com ajuda do laser.

Os processos de texturização a laser poderiam ser usados para uma série de aplicações, desde a fabricação de ferramentas de usinagem mais duradouras até projetos de veículos com menor arraste aerodinâmico. Em particular, dois setores estratégicos poderiam se beneficiar dos desenvolvimentos de texturização a laser: a prospecção de petróleo, com brocas mais duradouras, e o setor de máquinas agrícolas, com equipamentos mais resistentes ao desgaste, atrito e corrosão.

Finalmente, pode-se notar uma deficiência crítica na formação de recursos humanos na área de processamento com lasers. Se por um lado a formação dos físicos é teórica demais para transferir tecnologia para a indústria, os engenheiros mecânicos e de materiais não possuem bagagem suficiente em óptica e lasers. Esta lacuna é normalmente resolvida pela contratação de serviços no exterior, geralmente caros e que nem sempre são atendidos a contento. Seria forçoso considerar a incorporação da disciplina de Processamento Laser de Materiais nas escolas de engenharia do país, como uma complementação ao curso de CAM. O Centro Técnico Aeroespacial, consciente deste problema, tem oferecido cursos, oficinas e serviços para tentar diminuir este gap tecnológico.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Comissão Organizadora do III COBEF pelo convite para esta palestra convidada. Gostaria também de agradecer ao Instituto Fábrica do Milênio (CNPq/PADCT III) pelo apoio às minhas pesquisas.

7. REFERÊNCIAS

1. MAIMAN, T.H. Stimulated Optical Radiation in Ruby. **Nature**, v. 187, n. 4736, p. 493-494, 1960.
2. INDUSTRIAL LASER SOLUTIONS. January 2004. Disponível no: <http://ils.pennnet.com/home.cfm>. Acesso em: 18 outubro 2004
3. WETTER, N.U. DE ROSSI, W. **ICS Lectures on Industrial Applications of Lasers**, Viena, Áustria: UNIDO Publications, Editor: S. P. Morato, 2000, 92p.
4. LIMA, M.S.F., MORATO, S.P. In: **IMPLANTES METÁLICOS BIOCMPATÍVEIS, Relatório Final do Projeto PIPE/FAPESP**, 2003, 26p.
5. KURZ, W.; LIMA M.S.F. **Welding Process**. Patente: n. 01810986.8-1262, "Welding Process". Ofício Europeu de patentes (Berna, Suíça): 09 de out. de 2001 (Depósito); 09 de out. de 2001 (Exame); 18 de dez. de 2001 (Concessão).
6. NEIL, H., **The A380, Leader on Manufacturing technology**. In: FARNBOROUGH INTERNATIONAL 2004, 19-25 Julho 2004.

TITLE: Laser Assisted Fabrication

First Author's Name: Milton Sergio Fernandes de Lima

Name of institution and address: Instituto de Estudos Avançados IEAv, Centro Técnico Aeroespacial CTA, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - São José dos Campos – SP, Caixa Postal 6044 - Cep - 12231-970. E-mail: milton@ieav.cta.br.

Abstract. *Laser assisted fabrication has attained a high industrial maturity and represents a small but constantly growing percentage of Brazilian machine imports. In Brazil, the more demanded high-power laser systems are those dedicated to marking, engraving, and flat metal sheet cutting. The other processes represent an incipient market share; welding, drilling, 3D machining, microprocessing, surface heat treatment and rapid prototyping comprised. In this contribution, the main characteristics of high-power laser processing will be presented in areas where the laser offers competitive advantages over traditional methods. New technologies will be also presented, with examples in various industrial applications.*

Keywords. *Laser machining, laser beam welding, laser surface treatment.*