

O LASER NO SETOR AUTOMOTIVO

THE LASER IN THE AUTOMOTIVE SECTOR

Luciana Claudia Martins Ferreira Diogenes, graduada e mestre em Física pela Unicamp, doutora em Engenharia Mecânica pela Unicamp

Resumo: O laser é a amplificação da luz pela emissão estimulada de radiação. Há diversas aplicações para o laser como industrial, militar, científico, médico, automotivo, etc. Considerando o laser no setor automotivo, inúmeras peças na indústria metalúrgica podem passar por tratamento a laser como o bloco de motor nas máquinas de fratura, onde se separa a capa. Gravações a laser nessas peças também são realizadas. As texturizações em bielas que são as microcavidades para a retenção de óleo lubrificante no motor estão sendo estudadas e encontra-se uma patente sobre o assunto.

Palavras-chaves: fratura, gravação, laser, microcavidades, têmpera, texturização.

Abstract: Laser is the amplification of light by the stimulated emission of radiation. There are several applications for laser like industrial, military, scientific, medical, automotive, etc. Considering the laser in the automotive sector, numerous parts in the metallurgical industry can undergo laser treatment as the engine block in the fracture machines where the cover is separated. Laser engraving on these parts is also performed. The textures in connecting rods that are the wells for the retention of lubricating oil in the engine are being studied and a patent on the subject is found.

Keywords: fracture, engraving, laser, microcavity, tempering, texturing.

I. INTRODUÇÃO

A palavra LASER é uma abreviatura do inglês que significa *Ligth Amplification by Stimulated Emission of Radiation* que traduzindo para o português significa amplificação da luz por emissão estimulada da radiação. Ele é um dispositivo que produz um feixe de radiação eletromagnética com algumas propriedades bem específicas, exigindo que o feixe deva ser monocromático, coerente e colimado. Essas características tornaram o laser uma ferramenta vital para diversas áreas como comunicações, medicina, fabricação e diversão (MOUSSA, 2011).

Os lasers podem possuir o meio ativo sólido, líquido ou gasoso. Exemplos dos que utilizam meio ativos sólidos são os de estado sólido, como os de Nd:YAG, e os de diodo. Os de CO₂ e excimer são exemplos de lasers a gás. Lasers de corante são exemplos de dispositivos cujo meio ativo é líquido, utilizando corantes orgânicos complexos como a rodamina 6G (MOUSSA, 2011).

Lasers de alta potência podem ser aplicados em diversas áreas, incluindo o setor automotivo como: gravação, têmpera, construção de microcavidades, vinco para fratura, soldagem, etc. Esse capítulo será para mostrar como o laser atua nas superfícies metálicas e a importância de se usar um processo a laser ao invés de métodos convencionais.

No Brasil, existem grupos de pesquisa que já participaram de projetos envolvendo laser no setor automotivo. Entre esses grupos, destaca-se o DEDALO – Laboratório de Desenvolvimento de Aplicações de Óptica e Lasers no IEAv – Instituto de Estudos Avançados, localizado em São José dos Campos – SP. Os trabalhos que envolvem laser mais destacados por esse grupo são:

- Solda de membranas metálicas;
- Corte de placa de tungstênio;
- Carbonetação de aços;
- Fabricação de nanopartículas de titânio;
- Solda a laser de contatos elétricos sem chumbo;
- Texturização a laser de ferramentas de usinagem;
- Texturização a laser de componentes de motores;
- Manipulador de feixes de laser de alta potência;
- Conformadores de feixes de laser;
- Limpeza seletiva de superfícies

Desse grupo de pesquisa é possível citar alguns pesquisadores que atuam com destaque com projetos que envolvam o setor automotivo como os profs. Dr. Rudimar Riva e Dr. Milton Lima.

O prof. Dr. Rudimar Riva possui graduação em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1980), mestrado em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1986) e doutorado em Laser et Matiere - Université Paris-Sud 11 (1993). Atualmente é professor colaborador do Instituto Tecnológico de Aeronáutica e pesquisador do Centro Técnico Aeroespacial. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Ótica, atuando principalmente nos seguintes temas: laser, laser de vapor de cobre, laser de Cu-HBr, processamento de material com laser e ablação a laser.

O prof. Dr. Milton Sérgio Fernandes de Lima possui graduação em Física, mestrado e doutorado em Engenharia Metalúrgica. É pesquisador do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Aeronáutica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Observando-se os resumos dos currículos de ambos os professores pode-se verificar são graduados em física e atuam fortemente na indústria. Desse modo, pode-se dizer que projetos que envolvam laser podem-se tornar multidisciplinar, envolvendo, por exemplo, físicos e engenheiros mecânicos, no caso da indústria automotiva.

II. LASER

O processo de absorção de um fóton (figura 1a) por um sistema atômico causa a transferência de elétron de um nível de mais baixa energia para um nível de mais alta energia. O processo de emissão espontânea (figura 1b) de um fóton pelo sistema atômico causa a transferência do elétron para um nível de

mais baixa energia. Um terceiro processo atômico caso que pode ocorrer além da absorção e da emissão espontânea é o da emissão estimulada (figura 1c). A emissão estimulada consiste em colocar um agente externo para acelerar a ida do elétron do estado excitado para o fundamental. Tal agente externo é um fóton. Ao decair, o elétron emite um fóton igual ao que causou seu decaimento. Esse fóton emitido ajudará a acelerar o processo de decaimento no elétron no nível excitado para o fundamental. E este, emitirá outro fóton gêmeo. Esse processo, sendo contínuo, aumentará o número de fótons gêmeos. O laser surge da amplificação dessa luz. Dessa forma, a luz do laser é origem da emissão dos fótons que ocorre quando elétrons decaem de seus níveis energéticos de forma estimulada, gerando um feixe de luz (Bagnato, 2001).

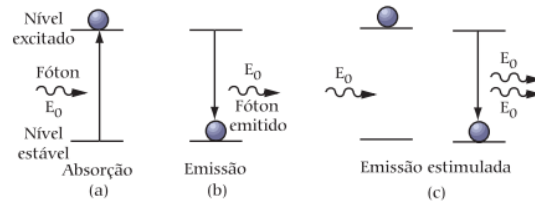


Figura 1. Três processos de interação luz-matéria: a) absorção, b) emissão espontânea, c) emissão estimulada.

Fonte: (BAGNATO,2001), p.7.

A maioria dos elétrons deve estar no estado excitado para que ocorra a emissão laser. Para isso, é necessário fornecer energia através de uma fonte externa. A fonte terá a missão de levar os elétrons aos estados excitados para que haja a emissão estimulada. Essa fonte atua no meio ativo. Quando a maioria dos átomos apresenta elétrons no estado excitado diz-se que ocorreu o fenômeno chamado de inversão de população. Tal fenômeno é indispensável para que se produza o laser (BAGNATO,2001).

Uma parte importante do laser é a sua cavidade ótica ou ressonador. A sua finalidade é justamente fazer com que os fótons possam voltar para o meio ativo, produzindo mais e mais emissão estimulada. O sistema mais simples de uma cavidade é construído com dois espelhos paralelos colocados nas extremidades e um meio ativo inserido entre os espelhos. A figura 2 mostra um esquema de cavidade (BAGNATO,2001).

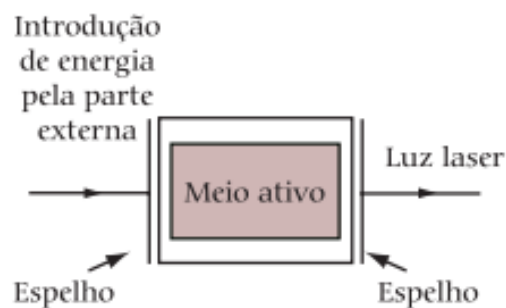


Figura 2. Cavidade laser com dois espelhos e um meio ativo.

Fonte: (BAGNATO,2001), p.8.

A figura 3 mostra as etapas da produção de um laser. Na etapa a é mostrada um meio ativo com seus átomos no estado fundamental. Em b, uma fonte externa deverá ser usada para deixar uma grande parte dos átomos no estado excitado, tais como uma descarga elétrica no meio ou outro laser, criando o que se chama de uma inversão de população. Em c, ocorre a emissão espontânea de dois fótons devido ao decaimento de dois átomos. Na etapas d, e, f, esses fótons se refletem nos espelhos da cavidade, retornando ao meio ativo e provocando a emissão estimulada, até que todos tenham decaído. Em g, tem-se um feixe de luz gerado por todas essas emissões estimuladas.

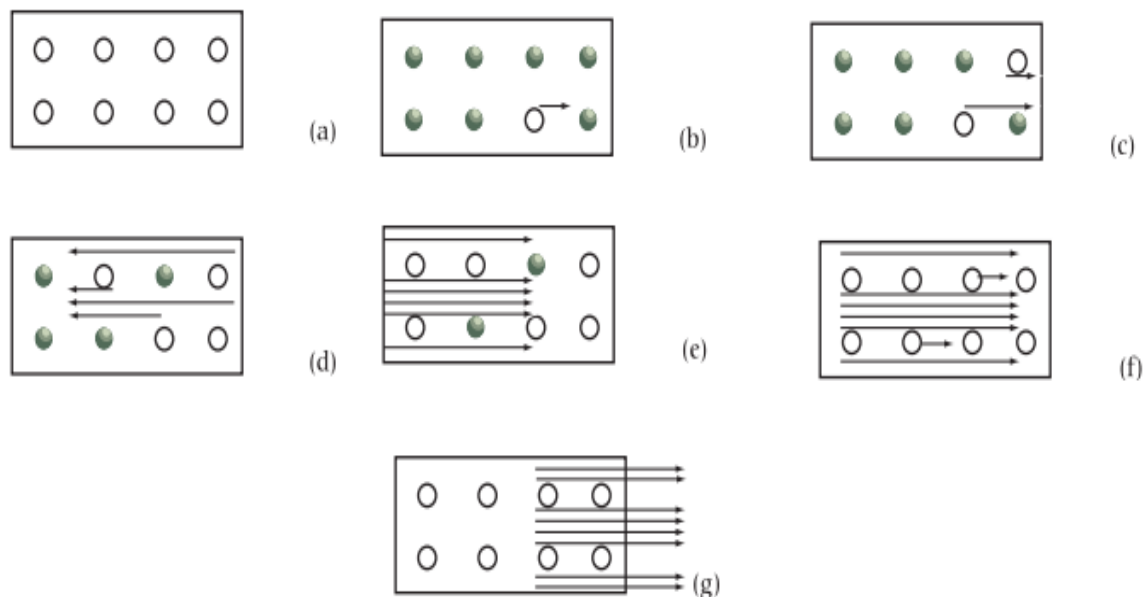


Figura 3 - Etapas da produção do laser.

Fonte: (BAGNATO,2001), p.8.

O feixe de laser que atravessa o espelho na etapa g da figura 3 deverá ser monocromático, coerente e colimado. A monocromaticidade da luz laser é importante em espectroscopia e em outras áreas de pesquisa que exigem que a luz tenha uma energia determinada. Um feixe espacialmente coerente é aquele que tem radiação em fase e temporalmente coerente é quando onde os trens de onda possuem única direção e o mesmo comprimento de onda. A importância de ter o feixe colimado significa que a grandes distâncias não há grandes variações em sua intensidade (BAGNATO,2001).

Para entender o fenômeno de coerência basta imaginar como transformar uma lâmpada que emita em vários comprimentos de ondas e com radiações fora de fase em um laser (figura 4). Nesse caso, precisa usar um primeiro filtro para aumentar a coerência espacial e um segundo filtro para aumentar a coerência temporal (ERDOGAN, 2011).

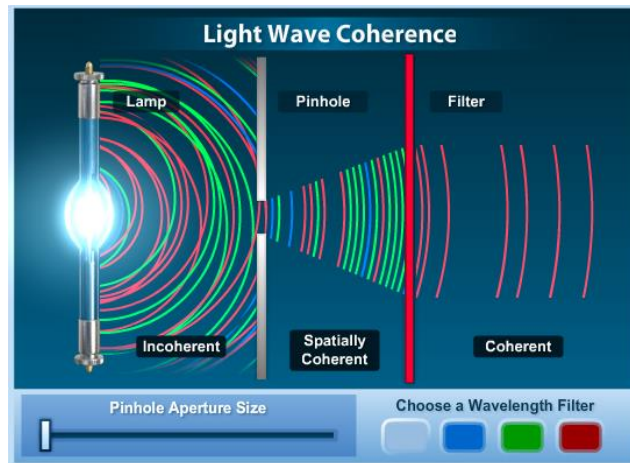


Figura 4. Transformando luz incoerente em coerente.

Fonte: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/tutorials/coherence/indexflash.html>

A aplicação do laser pode ser verificada em diversas áreas como no processamento de materiais, incluindo soldagem, corte, tratamento térmico superficial como a têmpera, usinagem e gravação; controle dimensional; medicina; odontologia, entretenimento, telecomunicações, etc (O processo de corte a laser, 2013). Ao se focar especificamente na indústria que realiza o processamento de materiais, a aplicação do laser se faz presente no seguinte mercado automobilístico:

- texturização de componentes como bielas, bloco de motores e anéis de pistão,
- têmpera a laser,
- fratura de biela e capa de mancal,
- gravação para rastreabilidade industrial como data matrix, part number código de barra, logos e imagens.

III. TEXTURIZAÇÃO EM COMPONENTES DE MOTORES

A redução de atrito pode ser obtida por texturização. Uma das primeiras aplicações dessa técnica foi em cilindros de motores em combustão interna realizadas por brunimento. Porém, uma técnica chamada de LST Laser Surface Texturing (figura 5) tem apresentado resultados muito promissores no que se refere a reduzir atrito em componentes de motores. O laser remove o material através de um processo chamado laser ablation e dessa forma, cria micro cavidades homogêneas na superfície. O uso desse procedimento traz muitas vantagens em relação ao uso de ferramentas, uma vez que o laser é rápido e estável, sendo mais fácil garantir as características das micro cavidades (PROFITO, 2010).

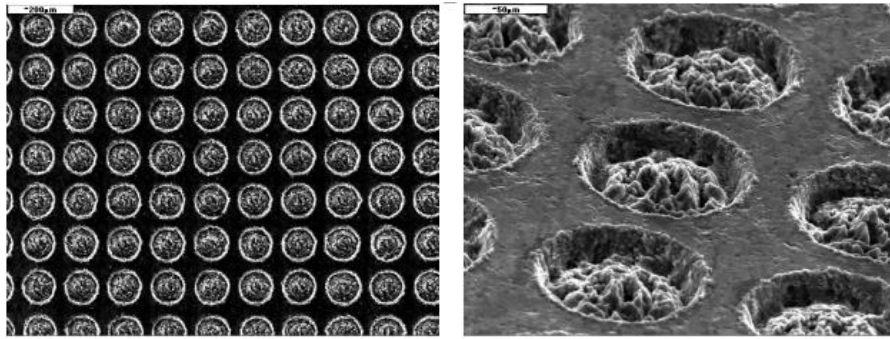


Figura 5 - Imagens obtidas de um processo de LST em SiC.

Fonte: (ANTOSZEWSKI, 2012).

Uma biela conecta o pistão ao virabrequim e consiste de um olhal menor, olhal maior e alma nos motores de combustão interna (figura 6). Elas têm como função transformar a energia de câmara de combustão em movimento através do eixo do virabrequim suportando cargas cada vez maiores (SIBELLA; SILVA; SILVA, 2009).

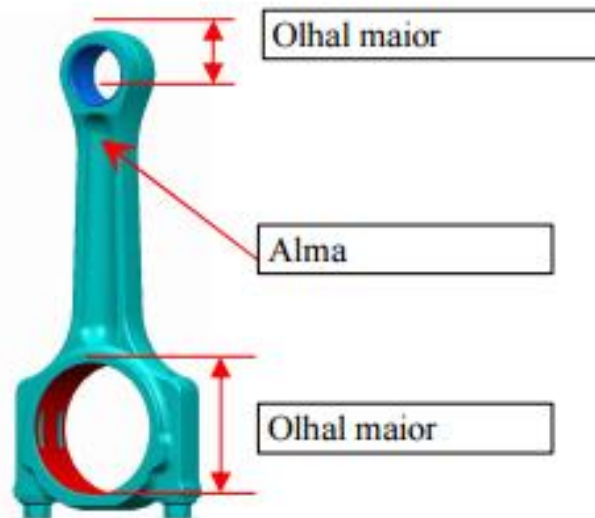


Figura 6. Partes de uma biela.

Fonte: (SIBELLA, 2006).

A patente da Mahle EP 2521865 B1 (Profiled connecting rod bore with micro-dimples, 2014) descreve o processo para fazer a texturização em bielas, o qual pode ser feito a laser segundo o que está descrito no parágrafo 22. Nesse processo, são criadas microcavidades que devem ter configurações bem definidas como profundidade, diâmetro e espaçamento. Para se atingir essas configurações o laser deve ter potência, posicionamento e comprimento de onda bem definidos.

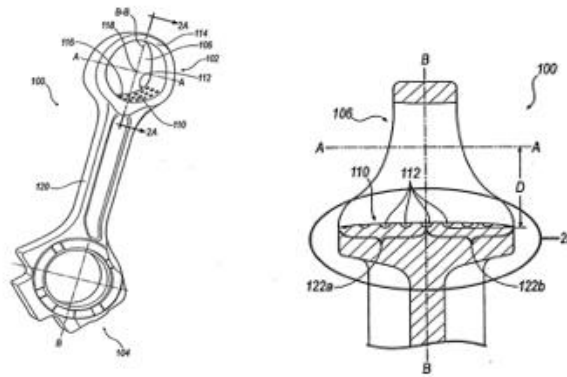


Figura 7. Biela perfilada e com microcavidades.

Fonte: (Profiled connecting rod bore with micro-dimples, 2014).

IV. TÊMPERA A LASER

Em (ASSUMPÇÃO; D'OLIVEIRA,2001) é descrito o processo de se fazer têmpera a laser e em chumbo. Essa é uma técnica que poderia ser estudada, por exemplo, em virabrequins, uma vez que em processo de fábrica se utiliza a têmpera por indução (MACHADO, 2014).

Na têmpera por indução forma-se a estrutura martensita no aço, resultando em um aumento da dureza devido ao aquecimento e resfriamento brusco. Esse processo aumenta a fragilidade e as tensões mecânicas que precisam ser minimizadas por um processo posterior, chamado de revenimento. Tal processo é um tipo de tratamento térmico que em geral se dá à temperaturas entre 180° a 300°C. Essa etapa diminui a dureza, o que leva a um aumentando na resistência à fadiga. (MACHADO, 2014).

O laser pode ser capaz de substituir o processo de têmpera por indução uma vez que para um feixe de alta densidade de energia (W/mm²) uma fina camada do componente metálico é aquecida até altas temperaturas e assim que o laser é removido, o material passa por um processo de resfriamento (figura 8). Lasers usados na indústria para esse tipo de tratamento são de CO₂ e de Nd:YAG (ASSUMPÇÃO; D'OLIVEIRA,2001).

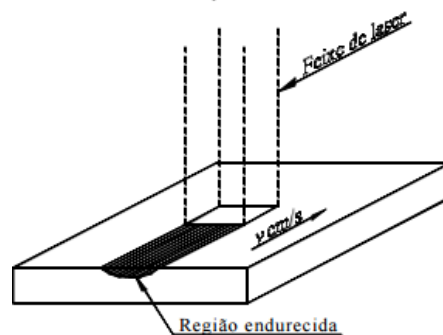


Figura 8. Representação esquemática de uma têmpera a laser.

Fonte: (ASSUMPÇÃO; D'OLIVEIRA,2001).

Uma imagem da secção transversal de uma superfície com têmpera a laser pode ser visualizada na figura 9. Pode-se observar a forma gaussiana do modo TEM₀₀ do laser na região temperada (ASSUMPÇÃO; D'OLIVEIRA,2001).

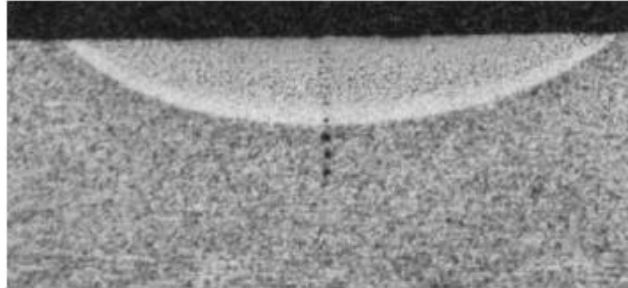


Figura 9. Aspecto transversal de um feixe de laser de modo TEM₀₀ aplicado em superfície metálica.

Fonte: (ASSUMPÇÃO; D'OLIVEIRA,2001).

V. FRATURA DE BIELA E CAPA DE MANCAL

O método de fratura (*fracture splitting method*) é amplamente usado na indústria automotiva para fraturar bielas. Nesse caso, um laser é passado em dois lados opostos do olhal maior sendo a capa e o corpo separados por uma força mecânica proveniente de uma cunha. Esse mesmo método pode ser aplicado para separar a capa do mancal do bloco do motor (figura 10).

Em 2006, a Tupy Fundições, enfrentou um desafio proposto pela montadora General Motors o qual poderia render-lhe um contrato milionário. O desafio proposto era de provar que a empresa era capaz de realizar fraturas induzidas por laser em estruturas de motores automotivos como as capas (figura 10) que fixam o virabrequim no bloco do motor (VASCONCELOS,2007).

Por não dominar o processo a laser, a Tupy contactou o IEAv para verificar a possibilidade do processo. Em pouco tempo, os especialistas foram capazes de fazer micro ranhuras a laser guiadas por fibra óptica no bloco de ferro, com precisão, e fraturá-lo por uma cunha hidráulica (VASCONCELOS,2007).

A partir desse momento, o IEAv adquiriu novos equipamentos como uma nova estação de processamento de materiais com laser a fibra óptica de alta potência. Esse tipo de laser possui propriedades superiores às dos lasers mais comumente empregados em processos industriais, como os de dióxido de carbono (CO₂) e o de neodímio-YAG (Nd:YAG). Sem dúvida, a qualidade do feixe emitido é bem maior possibilitando um diâmetro focal (área iluminada pelo feixe) menor, elevando-se dessa forma, a intensidade da luz (potência dividida por área). Devido a essa convergência de luz gerando maior aumento da intensidade, os processos de soldagem ou cortes de materiais são executados com maiores rapidez e qualidade (VASCONCELOS,2007).



Figura 10. Capa de um mancal.

Fonte: (HAMMIL, 2005).

Em (RIVA, 2007) mostrado todo o trabalho desenvolvido no IEAv com o laser de fibra. Um dos resultados é mostrado na figura 11. O laser incide na amostra na vertical e em outro experimento formando um ângulo de 45° com ela. Quando o laser sai de sua posição focal era de se esperar que as microcavidades ficassem mais rasas, o que pode ser verificado. Embora as microcavidades mais profundas se consigam com o laser incidindo na vertical, somente com o ângulo de 45° a profundidade delas é mais estável. Conforme relatado, para uma variação de 5% no valor da profundidade, tem-se $\Delta f=0,16$ mm para o laser incidindo na vertical e $\Delta f=0,5$ mm com o laser incidindo a 45° . A larga tolerância na posição focal permite produzir muitas microcavidades estáveis, sendo que para a indústria, a repetibilidade é muito importante para se garantir o controle de qualidade dos componentes.

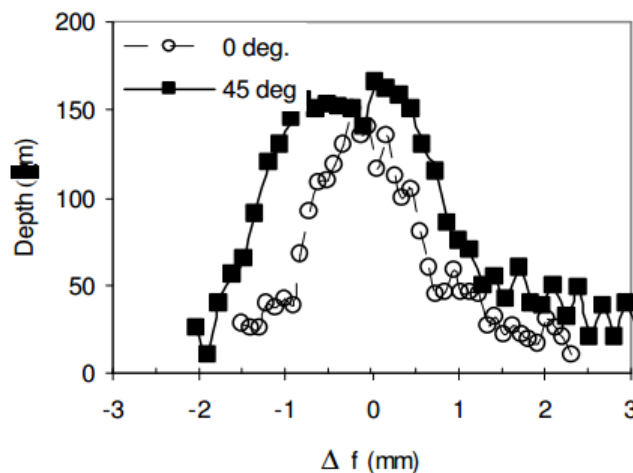


Figura 11. Profundidade da microcavidade (μm) X distância focal (mm).

Fonte: (RIVA, 2007).

VI. GRAVAÇÃO A LASER

Os sistemas de marcação a laser aplicam códigos claros, desde códigos alfa-numéricos a imagens, e de alta qualidade em uma grande variedade de materiais. As marcações são aplicadas utilizando calor proveniente do feixe em vez de tinta, assim, no geral, os lasers são considerados mais rápidos, limpos e exigem menos manutenção quando comparados a outros equipamentos de marcação (Guia técnico, 2014).

Segundo (Guia técnico, 2014) existem vários métodos de realizar a marcação a laser conforme mostrado na figura 12. Um dos métodos é a alteração de cor resultante da reação química entre o laser e a peças. Outros incluem a remoção ou eliminação de cores do revestimento da superfície que revelam uma cor alternativa subjacente. Pode falar também dos métodos que envolvem a carbonização ou queima controlada de madeira ou materiais feitos de papelão.

	Ilustração	Descrição	Materiais	Amostra
Remoção		Remoção da camada superior de um substrato, normalmente pintado, pela vaporização da pintura.	Papelão, plástico, metal de vidro	
Gravação		Remoção profunda de materiais que causam envergamento no material.	Plástico, metal	
Temperamento		O substrato reage ao feixe de laser de certo comprimento de onda ao modificar a formação da estrutura.	Plástico	
Mudança na cor/descoloração		Mudança na cor no local em que o laser toca a superfície do substrato.	PVC, metal, plástico, alumínio	
Gravação interna		Remoção interna de cor sem afetar a laminação da camada superior.	Vidro, acrílico	
Rompimento		O material reage ao feixe de laser criando pequenas rupturas na superfície.	Vidro	

Figura 12. Métodos de marcação a laser.

Fonte: (Guia técnico, 2014).

A figura 13 mostra algumas peças metálicas gravadas a laser.



Figura 13. Exemplos de marcação a laser em peças metálicas.

Fonte: (Guia técnico, 2014).

VII. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresenta um pequeno estudo sobre como o laser atua no setor automotivo. Em destaque, foi falado da texturização (microcavidades), têmpera, fratura e gravação.

A texturização a laser é bem estudada. O laser garante com maior qualidade a fabricação das microcavidades, sendo fabricadas aos milhares de maneira uniforme sobre uma superfície metálica. Uma operação de usinagem deve ser realizada após o tratamento a laser para eliminação das rebarbas devido a elas aumentarem a rugosidade da superfície ou poderem se desprender da peça e sujar o óleo lubrificante dentro do motor.

Têmpera a laser é estudada para endurecer a superfície, onde o laser é passado de forma contínua.

Gravações a laser são muito comuns para rastreamento da peça.

Faturas a laser podem ser aplicadas tanto no bloco do motor quanto em bielas, para separação precisa das peças.

REFERÊNCIAS

ANTOSZEWSKI, B. "The effect of laser surface texturing on frictional performance of sliding pair". Scientific Journals, 31(103) s. 14–18, 2012.

ASSUMPÇÃO, L. F.; D'OLIVEIRA, A. S. C. M. "Têmpera superficial por laser de aço ao chumbo".1º COFEB, Curitiba, Paraná. Abril, 2001.

BAGNATO, V. S. "Os fundamentos da luz laser. Física na escola", v. 2, n. 2, 2001.

ERDOGAN, T. "Optical filters: coherence and combining filters". Semrock, a unit of idex corporation. 2011.

Guia técnico. Métodos de marcação direta de peças identificação legível de máquina para indústrias automotivas e aeroespaciais. Videojet. 2014.

HAMMIL, D. "How to power tune rover v8 engines for road & track", Veloce publishing LtdA, 2005.

MACHADO Jr., J. "Têmpera de virabrequim: aplicação em motores leves de combustão com emissão reduzida de CO_2 ", Industrial Heating", Out., 2014.

MOUSSA, S. "Aplicação industrial da radiação laser", Ed. Moussa Salen Simhon, 2011.

O processo de corte a laser. Redação indústria hoje em: 18, Mai., 2013.

Profiled connecting rod bore with micro-dimples. EP 2521865 b1. Mahle International GMBH. Data de publicação 16.04.2014.

PROFITO, F. J. “Modelagem unidimensional do regime misto de lubrificação aplicada a superfícies texturizadas”, tese de mestrado. USP. 2010.

RIVA, R. et al., “Using an ytterbium fiber laser to fracture splitting of compacted graphite iron bearing caps”, Proceedings of the fourth international wlt-conference on lasers in manufacturing 2007, Munich, Jun., 2007.

SIBELLA, F.A.; SILVA, H.A.; SILVA, I. B. “Substituição do processo de brunimento por mandrilamento: aplicação numa fabricante de autopeças”, V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Belo Horizonte, MG, Abr., 2009.

SIBELLA, F.A. “Eliminação da operação de brunimento”, trabalho de graduação Unimep. Santa Bárbara d’Oeste, São Paulo, 2006. 78 p.

VASCONCELOS, Y. “Laser nas fábricas: luz guiada por fibra óptica impulsiona o uso industrial”. Pesquisa Fapesp. Abril. 2007.