

Quando o laser Nd:Yag pulsado pode ser mais interessante

O mercado de processamento de materiais a laser, especialmente o de corte, tem crescido muito no Brasil. Mas, ao contrário do que acontece no resto do mundo, que é bem dividido entre sistemas que empregam o CO₂ e o neodímio, no Brasil o CO₂ predomina quase com exclusividade. A maior capacidade de corte e velocidade de processamento tornaram o laser CO₂ o preferido das empresas que cortam aços com espessuras de 0,5 mm a mais de 6 mm. Este trabalho apresenta aspectos de corte e furação obtidos com o laser pulsado, resultados experimentais sobre aspectos como rugosidade, zona afetada pelo calor e largura de corte e estudos de casos reais nos quais o laser Nd:Yag pulsado apresenta vantagens em relação aos tradicionais feixes de contínuos.

W. Rossi, N. D. V. Júnior, J. R. Berretta, I. A. de Almeida e S. P. Morato

A possibilidade de controle de diversos parâmetros simultâneos torna os sistemas a laser Nd:Yag pulsado extremamente versáteis e úteis em uma gama muito grande de aplicações. Eles permitem, por exemplo, o controle exato da potência pico (energia/largura temporal de cada pulso) sobre o ponto de trabalho. O posicionamento por CNC, com utilização de uma mesa de deslocamento de alta precisão, possibilita a escolha do ponto exato a ser processado; a manipulação do feixe laser, com o uso de controle dos parâme-

tros do ressonador óptico, admite ainda um refinamento da ferramenta de usinagem (diâmetro do feixe focalizado) e o consequente controle da intensidade e da largura de *kerf* – ou largura da região de corte.

A maioria dos atuais sistemas de corte a laser empregados no Brasil utiliza CO₂, com alta potência, mesas muito grandes e pouca possibilidade de controle dos parâmetros de corte. Estes equipamentos, ao contrário dos feixes de laser de neodímio, não são adequados para cortes de precisão em materiais muito finos e não podem ser utilizados na furação de precisão nem com alta razão de aspecto. São mais limitados às aplicações de soldagem.

No caso do laser pulsado, o controle da potência pico e da intensidade possibilita o exato balanço entre o fluxo de energia entregue ao material e a perda desta energia por reflexão e condução. Este balanço da dinâmica do fluxo de energia por elemento volumétrico permite estabelecer o quão rápido este elemento irá se aquecer, o que de-

Tabela 1 - Variação da largura (k) do corte (*kerf*) em função da velocidade (V) para diferentes espessuras (e) para o aço inoxidável AISI 304 com utilização de O₂ como gás de processo

Velocidade	k (e = 0,5 mm)	k (e = 1 mm)	k (e = 1,5 mm)
0,5 V _{máx}	0,174		
0,65 V _{máx}	0,174	0,245	0,260
0,75 V _{máx}	0,184	0,256	
0,8 V _{máx}	0,195	0,262	0,260
0,9 V _{máx}	0,194	0,270	
V _{máx}	0,199	0,281	0,284

Wagner de Rossi e Nilson Dias Vieira Júnior são do Centro de Laser e Aplicações do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN, SP). José Roberto Berretta é do Centro Tecnológico da Marinha (CTMSP, SP). Ivan Alves de Almeida e Spero Penha Morato são da empresa LaserTools Tecnologia (São Paulo, SP). Este artigo foi apresentado originalmente no Congresso Corte e Conformação de Metais 2003, realizado entre os dias 21 e 23 de outubro em São Paulo (SP). Reprodução autorizada.

10988

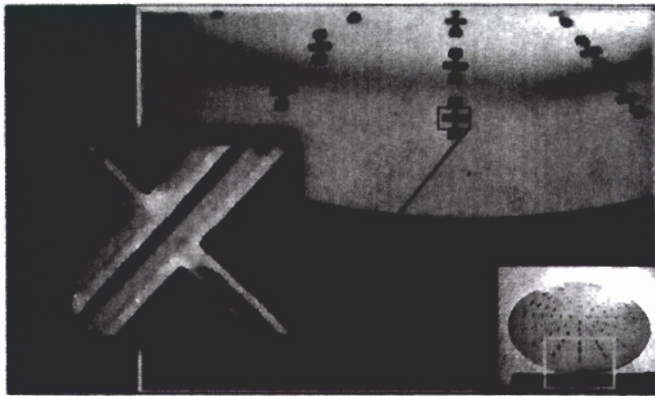


Fig. 1 – Cortes feitos em aço inoxidável AISI 304 de 0,2 mm de espessura. O detalhe à direita mostra a peça inteira e a inserção à esquerda mostra o detalhe da parede obtida, de 0,15 mm de espessura.

terminará seu estado físico durante o pulso *laser*. Assim, com intensidade moderada, pode-se apenas liquefazer o material no preciso ponto focal, que se estende por toda a espessura do material (chapa plana).

O deslocamento desta “poça líquida” segundo um desenho predeterminado, ao mesmo tempo em que um forte jato de gás é direcionado sobre o ponto focal do *laser*, faz surgir um corte limpo, com pequeno

kerf seguindo precisamente o projeto armazenado no CNC. Se a intensidade for reduzida ainda mais, pode-se liquefazer o material com baixíssima perda por evaporação e/ou ejeção.

Neste caso, uma solda de precisão pode ser obtida e, no lugar de um forte jato de gás, utiliza-se uma atmosfera protetora de gás inerte. A utilização de altas intensidades tem como consequência uma grande perda de material por evaporação e, principalmente, por ejeção de líquido. Este regime é, portanto, utilizado para a furação por percussão, na qual uma alta razão de aspecto exige que o material seja expulso do fundo do buraco (antes de se completar o furo) com alta energia cinética.

O máximo na flexibilidade de usinagem

MASPE
TRANSFER MACHINES

The ultimate
in machining
flexibility

MEMBER OF
IMR
GROUP

Máquinas
Transfer
Rotatórias

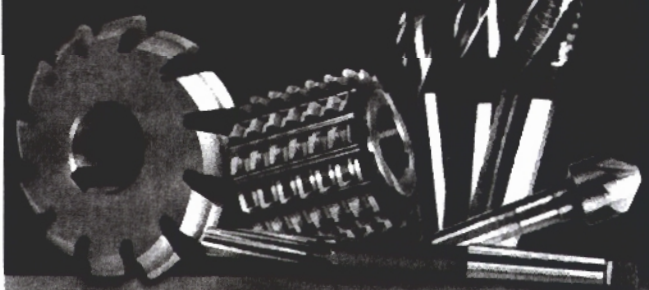


Contacto no Brasil: Roberto
E-mail: Rkrtd1@aol.com
Tel. / fax: (31) 32745313

Serviço de consulta 5831

INDUFRESA
INDAÇO

FRESAS ALARGADORES
ESCAREADORES



A mais ampla linha de ferramentas de corte
do mercado nacional.

Fabricamos em AÇO M2, AÇO COBALTO
e AÇO SINTERIZADO.

Fresas de topo em METAL DURO.

www.indufresa.com.br

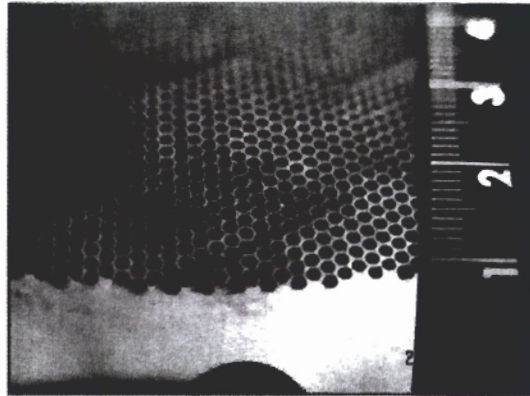
Tel.: (11) 3608-0162 Fax: 3608-2676

Serviço de consulta 5832

Fig. 2 – Tela de molibdênio feita com 12.000 furos de 1 mm de diâmetro com espaçamento de 1,3 mm entre centros

Os parâmetros de operação de um *laser* pulsado e, em particular, do equipamento utilizado neste trabalho, são, portanto, a energia por pulso, a largura temporal de cada pulso *laser* e a sua taxa de repetição. A relação entre a energia e a largura temporal fornece a desejada potência pico, enquanto a taxa de repetição determina a velocidade permitida para o processo.

A manipulação do feixe *laser* fornece ainda a possibilidade de se controlar o preciso diâmetro deste feixe em seu ponto focal. Isto, além de determinar a intensidade utilizada, também possibilita o controle do *kerf* e do diâmetro do furo para o caso de furação. A região de extensão destes parâmetros determina ainda a espessura do material processado e a velocidade do processo.



Equipamento utilizado

Os resultados experimentais apresentados neste trabalho foram obtidos com o uso de uma central de processamento de materiais a *laser* (CPML) inteiramente desenvolvida no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN, SP). O equipamento, com capacidade para usinagem em duas dimensões, é constituído por uma fresadora CNC

**Tá pensando em retrofitar?
Chegou a hora!**

CNC FAGOR 8035

Para aplicações de baixo custo em máquinas-ferramenta

CNC FAGOR 8035M

- Para fresadoras e aplicações gerais
- 3 eixos e 1 eixo-árvore

CNC FAGOR 8035T

- Para torno
- 2 eixos e 1 eixo-árvore

O CNC 8035 integra num só módulo, os seguintes elementos:

- Unidade central de controle com PLC integrado.
- Monitor LCD 7,5" colorido.
- Teclado alfanumérico completo com soft-keys e painel de comando integrado.
- 12 teclas para uso livre do usuário (que podem ser personalizadas).

FAGOR



Fagor Automation do Brasil

Rua Homero Vaz do Amaral, 331 - Vila Friburgo
04774-030 - São Paulo - SP

Home Page: <http://www.fagorautomation.com.br>

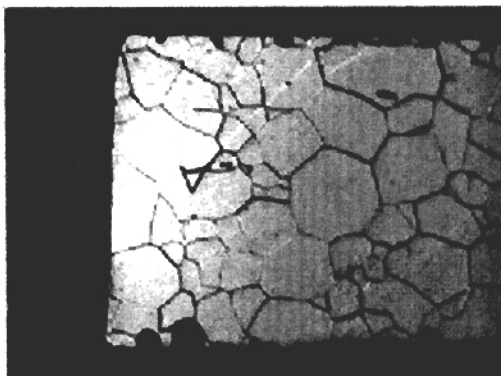
E-mail: brazil@fagorautomation.com.br

Tel.: (011) 5694-0822 - Fax: (011) 5681-6271



MONDRAGON
CORPORATION COOPERATIVA

Fig. 3 – Perfil da borda de corte de uma fita de aço elétrico Epstein 2% Si não-orientado, de 0,485 mm de espessura⁽¹⁾



à qual foram acoplados *laser* de neodímio e um sistema de guiamento e focalização do feixe.

O sistema incorpora ainda um bico injetor de gás com pressão e fluxo controlados, o que possibilita o uso de gases inertes ou reativos durante o processo. Um sistema CAD/CAM, com pós-processador dedicado ao CNC e ao conjunto do *laser*, possibilita a entrada de arquivos de desenhos nos formatos *dwg* e *dxg*, para reconhecimento imediato pelo CNC, o que facilita a programação de usinagem.

A fresadora tem capacidade para trabalhar em um plano com 700 x 300 mm ou em um eixo de rotação, com possibilidade de interpolação entre quaisquer dois eixos. O

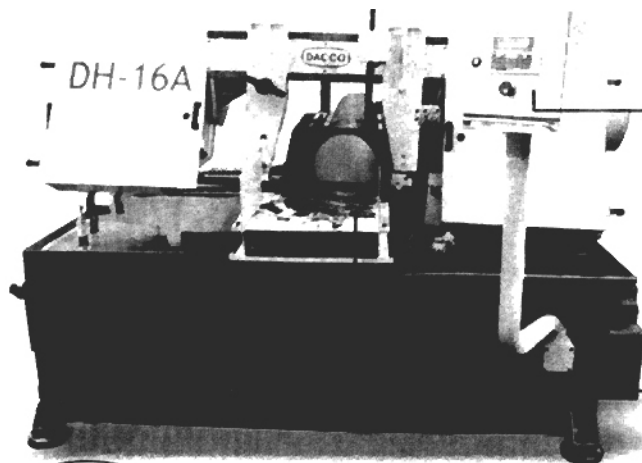
laser Nd:Yag do tipo pulsado, especialmente projetado para o processamento de materiais, tem energia por pulso de até 8 J, taxa de repetição de até 500 Hz, potência média no ponto focal de 100 W, potência pico de 3 kW e largura temporal dos pulsos continuamente controlada entre 0,2 e 10 ms. O modo espacial do feixe *laser* pode ser multimodo ou TEM₀₀, com M² máximo de 12.

Estas características e a possibilidade da escolha do tipo de ressonador tornam o equipamento adequado às diversas aplicações na área de processamento de materiais. A sua área de atuação abrange o corte, furação, solda e tratamento térmico de uma gama bastante ampla de materiais, a exemplo de cerâmicas, aços em geral e metais não-ferrosos. A seguir, serão apresentados alguns resultados relevantes obtidos com este equipamento especialmente desenvolvido para uso prático da indústria.

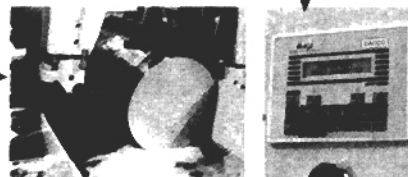
Kerf

O *kerf* é um parâmetro de suma importância no corte a *laser*. Em qualquer desenho, esta largura de corte deve ser compensada para se atingir uma precisão dimensional adequada. O conhecimento prévio da sua dimensão

Serras de fita automáticas e semi-automáticas



DACCO



- Modelos para corte até 1300 x 1400 mm
- Projetos especiais sob consulta
- Assistência técnica permanente



Fabricada sob licença por RESTAUPARTS COMÉRCIO IMPORTAÇÃO E SERVIÇOS LTDA.
Rua Portela de Góis, 225 - CEP: 04829-070 - Santo Amaro - São Paulo - SP
Tel.: (11) 5973-0742 - Fax: (11) 5973-9976 - E-mail: restauparts@osite.com.br - Site: www.restauparts.com.br



e a manutenção desta dimensão durante o corte são fatores determinantes da precisão do corte. Contudo, teoricamente, este valor não é simples de obter e uma medida experimental, nas condições do processo, geralmente é necessária para a sua determinação.

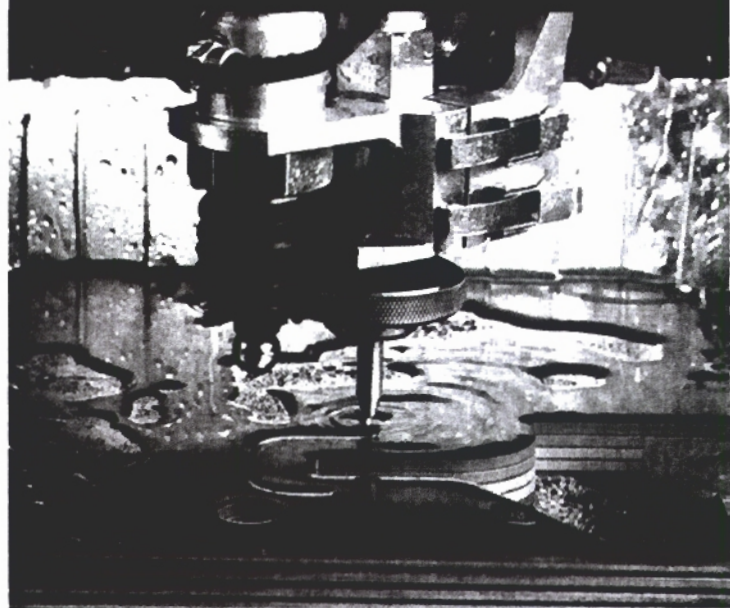
Como o *kerf* é uma função complexa do aporte térmico fornecido ao material, da espessura e das características térmicas deste material e ainda das características espaciais do feixe *laser*, qualquer flutuação em um destes parâmetros pode levar a uma variação indesejável da sua medida. Uma flutuação de apenas 5% na velocidade de corte ou na potência do *laser* pode levar, no caso de um *laser* contínuo, a uma variação de mais de 10% na largura do corte. Por isso, devem ser tomados cuidados especiais para evitar qualquer flutuação nos parâmetros do processamento. Mais que isto, programas especiais devem ser desenvolvidos para as regiões de cantos vivos e nas que exigem variação da velocidade.

No caso de um *laser* pulsado, com pulsos de largura temporal da ordem de fração de milissegundo ou de até poucos milissegundos, este problema é extremamente minimizado. A tabela 1 (pág. 112) mostra a variação da largura do *kerf* em função da velocidade de corte para três espessuras diferentes do aço inoxidável AISI 304. Como visto, esta variação é consideravelmente menor do que no caso de um *laser* contínuo. *Embora a espessura exerça uma influência importante na largura do corte, a variação desta largura em função da variação da velocidade é relativamente pequena.*

A pouca influência da velocidade na largura do corte pode ser explicada pela pequena variação do aporte térmico ao material em função desta velocidade de corte. Ou seja, no caso de um *laser* pulsado, o que determina primordialmente este aporte térmico é a energia, o diâmetro do feixe *laser* e a largura temporal do pulso. A velocidade de deslocamento da peça em relação ao ponto focal é de importância secundária, visto que durante a entrega da energia ao material (determinada pela largura temporal), o deslocamento da peça em relação ao feixe é muito pequeno.

Assim, para uma velocidade de 1 m/min, tem-se um deslocamento da peça de apenas

Agora tem um jeito melhor de cortar todos os tipos de materiais



Jato de Água a Pressão Ultra Elevada

Flow

agora com a nova tecnologia...

dynam/c
W A T E R J E T



F | o w

Flow Latino

Rua do Curtume, 694 - Lapa
05065-001 - São Paulo - S.P.

Tel. (11) 3611-2822
Fax. (11) 3611-3322

www.flowlatino.com

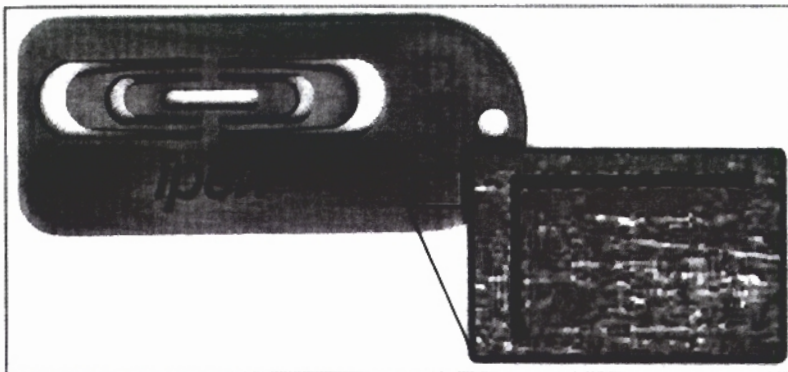


Fig. 4 - Corte típico feito com o sistema laser da CPML

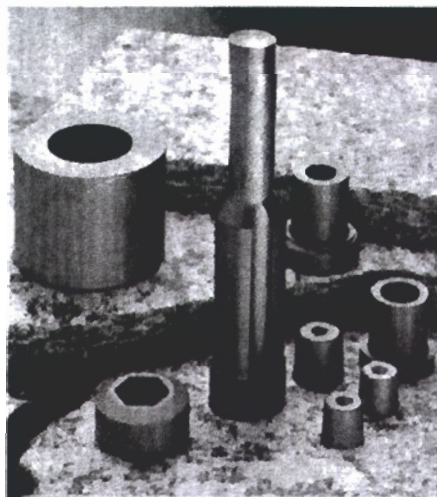
0,01 mm; para qualquer variação desta velocidade, tem-se uma variação de deslocamento proporcional a essa variação de velocidade. A variação do volume afetado será, portanto, muito pequena, o que afetará muito pouco a largura do corte.

Outro fato que contribui para a variação da largura do *kerf* é a pluma formada sobre o ponto focal durante o corte. Esta pluma é formada por vapor e plasma do material ejetado, que espalha e desfocaliza o feixe *laser* de seu ponto original. O espalhamento e desfocalização diminuem a retirada de material e, conseqüentemente, de vapor e plasma, diminuindo o espalhamento e a desfocalização.

A intensidade volta ao seu valor máximo e o processo é restaurado até que o vapor e o

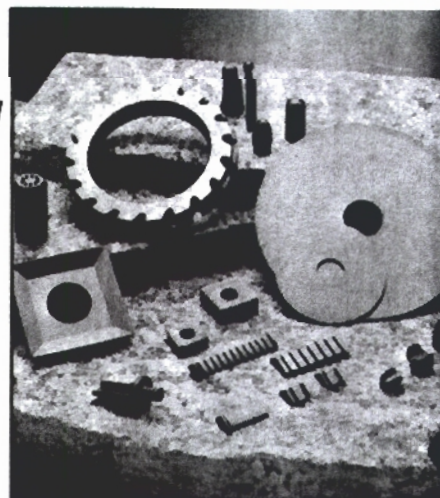
plasma formado novamente diminuam a intensidade do feixe. Essa flutuação de intensidade experimentada pelo material resulta na formação de estrias na superfície de corte e também contribui para a variação da largura do *kerf*. Como o espalhamento da luz *laser* é mais intenso para comprimentos de onda maiores, o feixe de *laser* de neodímio (comprimento de onda de 1,064 μm) é consideravelmente menos espalhado do que o feixe de *laser* CO_2 , cujo comprimento de onda é 10 vezes maior (10,6 μm). Assim, os efeitos da pluma são muito menores para o *laser* de neodímio do que para o *laser* CO_2 .

Outra vantagem do uso do *laser* pulsado de estado sólido em relação à largura do corte é a possibilidade de "projetar" a sua largura. Ou seja, pode-se obter uma largura de *kerf* conforme desejado, com razoável precisão dimensional. Isto pode ser feito pela escolha adequada de um conjunto de parâmetros, como a energia por pulso, o comprimento focal da lente de focalização, o posicionamento do foco em relação à superfície na chapa e, principalmente, pela escolha do modo espacial. A largura de corte, desde poucas dezenas de microns até 0,5 mm, pode ser obtida com erro menor do que $\pm 8\%$.



QUALIDADE E SEGURANÇA EM METAL DURO

- Buchas para estampagem de parafusos e afins.
- Blanques para insertos e serras circulares.



Quinteiro & Santos Indústria e Comércio de Equipamentos LTDA.
Rua Anália Maria de Jesus, 08 - Cidade Ademar - CEP 04385-110 - São Paulo - SP
Fones: (11) 5562-6192 - Fax: (11) 5563-5570 - E-mail: quinteirosantos@uol.com.br

Distribuidor e Representante Exclusivo no Brasil



Harditalia

Harditalia SpA Oggiona con S. Stefano - Itália

Dois exemplos reais de controle da largura do corte foram feitos para rasgos controlados para a produção de filtros. Um para a obtenção de água potável em estação de saneamento e outro para a produção de centrífuga para filtragem em processos químicos. Foram feitos rasgos de 0,25 mm em chapa de 1,5 mm de espessura, para o primeiro caso, e de 0,3 mm em chapa de aço inoxidável de 2,3 mm, para o segundo caso.

Zona afetada pelo calor

A zona afetada pelo calor (ZAC) é outro fator que diferencia bastante o corte por *laser* pulsado do corte por *laser* contínuo. Quanto à variação da sua extensão, o raciocínio é semelhante ao utilizado para a explicação da variação do *kerf*, ou seja, a variação da ZAC é pequena em função de flutuações nos parâmetros de corte. Aqui, porém, tem-se uma das principais vantagens da utilização do regime pulsado, que é a dimensão bastante reduzida desta ZAC. Obviamente, ela depende de muitos fatores, principalmente do material e do aporte térmico. Mas a sua extensão típica não vai além de 50 μm , para a grande maioria dos casos, e pode ser reduzida em caso de ne-

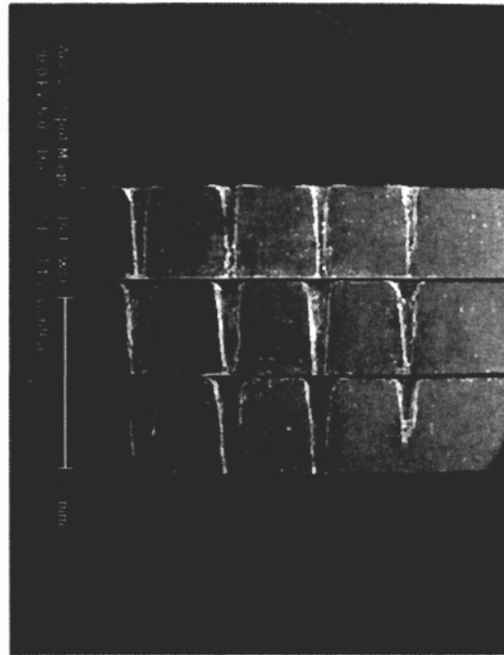


Fig. 5 – Furos feitos por percussão em aço inoxidável de 1 mm de espessura

cessidade. Isto é feito reduzindo-se a largura temporal do pulso *laser* com um aumento relativo da intensidade no ponto focal.

A energia geralmente é depositada em uma fração de milissegundo (a largura temporal típica utilizada em feixes de *laser* pulsados de neodímio) e, por isso, o tempo de interação da radiação com o material é demasiadamente pequeno para que o calor se propague muito além da superfície de

MAPData



Nós ajudamos você a
projetar e analisar...

...fornecendo e implantando as soluções de projeto e detalhamento mecânico da Autodesk: **AutoCAD Mechanical e Inventor**.

...desenvolvendo aplicações baseadas em AutoCAD ou Inventor específicas para sua empresa ou aplicações totalmente independentes baseadas em Visual Basic, Oracle, SQL Server etc, incluindo integrações com sistemas ERP.

...fornecendo e implantando as soluções de análise de engenharia (incluindo elementos finitos) da MSC.Software: **MSC.visualNastran Desktop e MSC.visualNastran for Windows**.

...analisando os seus componentes e conjuntos pelo método dos Elementos Finitos.

...elaborando protótipos eletrônicos e analisando o funcionamento dos seus equipamentos.

Entre em contato conosco pelos telefones (11) 5507-5012 ou (19) 3406-2159, pelo e-mail mapdata@mapdata.com.br ou pelo site www.mapdata.com.br e agende a visita de um de nossos engenheiros de aplicação.



TECNO TOOLS
Tecnologia em Superabrasivos

Serviço de consulta 5838

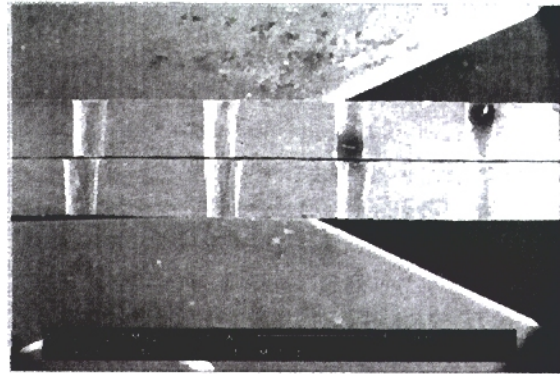


Fig. 6 – Corte transversal de duas lâminas de aço inoxidável de 1 mm de espessura, mostrando furos feitos por trepanação

corde. A alta intensidade afeta ainda a relação entre a quantidade de material líquido e a quantidade de material em forma de vapor na frente de corte.

Como no caso pulsado esta intensidade é maior, a relação líquido/vapor é menor e faz com que o material fundido, além de estar em menor quantidade, seja retirado mais rapidamente da região do corte. As expressões a seguir mostram a intensidade típica na região do corte, para o caso de um *laser* pulsado em comparação com um *laser* contínuo.

Para o caso de emissão contínua:

$$I = P.(\phi.V.t)^{-1} \quad (1)$$

Onde:

I = intensidade,

ϕ = diâmetro do feixe *laser* no ponto focal,

V = velocidade de corte e

t = tempo de interação.

Para o caso pulsado:

$$I = E.(t_p.A)^{-1} \quad (2)$$

Onde:

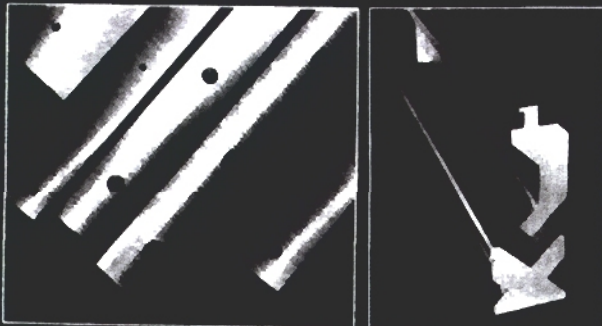
E = energia por pulso,

t_p = largura temporal do pulso *laser* e

A = área do feixe no ponto focal.

No caso de um *laser* típico de emissão contínua (CW) de CO₂ de 5 kW, diâmetro do feixe de 0,2 mm e velocidade de corte de 2 m/min, tem-se uma intensidade de 750

SE VOCÊ CORTA E DOBRA...
PENSE INPLAF



- Ferramentas para prensas dobradeiras até 8 000 mm de comprimento
- Facas para guilhotinas até 6 000 mm de comprimento
- Serviços de usinagem em plaina de mesa de até 8 000 mm de comprimento
- Afiação de facas para guilhotinas até 6 000 mm de comprimento

INPLAF

Indústria de Plainas e Ferramentas Ltda.

Rua Paraíba, 145 - CEP 03013-030 - Pari - SP

PABX: (011) 3311-0311

E-mail: inplaf@inplaf.com.br - www.inplaf.com.br

Serviço de consulta 5839

W/mm². Para um *laser* como o utilizado neste trabalho, com potência pico de até 3 kW, pode-se atingir intensidades de até 10⁵ W.mm⁻².

A pequena zona afetada pelo calor (e o seu controle) pode levar à execução de peças com grande importância prática. As figuras 1 (pág. 114) e 2 (pág. 115) mostram dois exemplos. No primeiro caso, foram feitos rasgos em aço inoxidável AISI 304 de 0,2 mm de espessura, no qual a mínima distância deveria ser obtida. Como visto na foto, uma distância entre cortes de 0,15 mm foi alcançada, com uma distorção muito pequena da peça.

O caso da figura 2 refere-se a uma tela feita em molibdênio com uma densidade de furos muito alta. São furos de 1 mm de diâmetro, distribuídos em um arranjo hexagonal, espaçados de 1,3 mm entre centros, o que dá uma parede de largura muito pequena entre os furos. Em um diâmetro de 150 mm foram executados mais de 12.000 furos, com uma distorção mínima da superfície da peça.

Como exemplo da pequena zona afetada pelo calor, a figura 3 (pág. 116) mostra o perfil da borda de corte de um aço elétrico Epstein 2% Si não-orientado, de 0,485 mm

Tabela 2 – Rugosidade da superfície de corte em função da posição do ponto focal

t ₀ (ms)	F (Hz)	E (J)	V (mm/min)	Foco (mm)	R _a entrada (μm)	R _a saída (μm)
0,8	37	157	250	0	10,24	6,17
0,8	37	157	250	-0,5	6,70	8,58
0,8	37	157	250	-1	4,51	5,04
0,8	36	161	250	-1,5	3,47	3,77
0,8	37	157	250	-1,75	2,75	2,88

R_a entrada = rugosidade média medida próxima à superfície de entrada do feixe *laser*;

R_a saída = rugosidade média medida próxima à superfície de saída do feixe *laser*;

t₀ = largura temporal do pulso *laser*; F = taxa de repetição do *laser*; E = energia por pulso;

V = velocidade de corte; Foco = distância do ponto focal em relação à superfície da chapa, valores negativos significam foco dentro da peça.

de espessura, cortado com o *laser* da CPML com os seguintes parâmetros: largura temporal do pulso *laser* de 0,2 ms, energia por pulso de 0,5 J, taxa de repetição de 165 Hz e velocidade de corte de 300 mm/min. Nota-se que nas condições do corte e do aumento utilizado não foi notada modificação na estrutura do material próxima à região do corte.

Piercing

O fato de se poder controlar de maneira mais efetiva a intensidade de um pulso *laser* do que de um feixe contínuo possibilita a obtenção de um *piercing* (primeira

Serviços de Corte Laser

• CORTE A LASER

- Máquinas de última geração,
- Sem limite de quantidade.
- Orçamento e entrega rápida.
- Qualidade garantida.

• MATERIAIS

- Aço carbono até 16 mm
- Aço inox até 10 mm
- Acrílico
- Alumínio
- Outros materiais sob consulta.

• ADICIONAIS

- Corte de guilhotina CNC
- Dobradeira CNC
- Solda
- Montagens

Curvadora de
Tubos CNC
5 eixos



Martiaço

Rua Luiz Andretta, 186
Fone/Fax: (41) 675.6627
Cep 83413-240 - Atuba - Colombo - PR
e-mail: martiaco@martiaco.com.br

www.martiaco.com.br

entrada do feixe *laser*) com uma qualidade muito melhor. Para um mesmo diâmetro de feixe no ponto focal (ou seja, sem a mudança da lente de focalização ou da óptica do *laser* ou ainda do sistema de guiamento do feixe), é possível mudar o diâmetro do furo obtido e até mesmo minimizar a quantidade de material respingado nas suas bordas.

O aumento da intensidade do pulso *laser* (ou intensidade de pico) leva, como visto, a uma maior relação vapor/líquido na poça produzida pelo feixe focalizado. O vapor, mais quente, apresenta-se como um filamento no centro da poça líquida. Esse filamento de vapor serve ainda de condutor para o restante do feixe, o que torna a poça mais profunda do que larga, exatamente como no caso de uma soldagem por *key hole*. A rápida expansão deste vapor fornece energia suficiente para a retirada do líquido do restante da poça e, quanto maior

for a intensidade, maior será a relação vapor/líquido. Quanto maior for esta relação, maior será a quantidade de material líquido retirado e maior será a sua energia cinética.

Assim, as pequenas partículas líquidas são ejetadas com energia cinética grande o suficiente para não serem depositadas nas imediações das bordas do furo. Obviamente, o processo se torna menos eficiente, mas, para os casos nos quais não se pode desprezar a região do *piercing*, isso se torna uma alternativa importante. A foto mostrada na figura 4 (pág. 118) apresenta um exemplo de *piercing* reduzido com praticamente nenhum respingo na sua borda. As letras CPML foram feitas com um único corte, têm 0,15 mm de *kerf* e a entrada do pulso é praticamente imperceptível.

Além do controle da intensidade para a minimização do material espirrado, no caso de *laser* pulsado de neodímio, pode-se ain-

COMPONENTES PARA FERRAMENTARIA E ELEMENTOS DE FIXAÇÃO



BUCHAS E LÂMINAS EXTRATORAS
MUSCA CURVA DIN 3032
FORMA "A"

PINOS DE GUIA

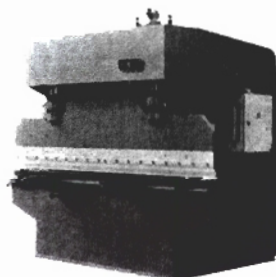
MACHOS PARA MODELAGEM PLÁSTICA

GARANTIA DA QUALIDADE TOTAL PELO MENOR PREÇO

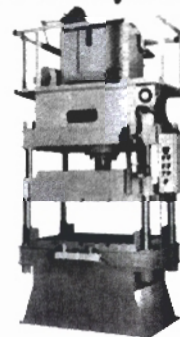
Perfuração e Fixação LTDA.
R. Sargento Francisco Boeming, 180 - Cep: 04675-060 - São Paulo - SP
Tel: (11) 5686-6488 Fax: (11) 5522-2522-5521-7810
www.perfix.com.br Email: perfix@perfix.com.br

Serviço de consulta 5841

Viradeiras, Guillotinas e Pressas Hidráulicas Rio Negro. Rápidas e precisas como você procura.



Viradeira
Até 600 toneladas. Para dobra de chapas até 6.050 mm.



Pressa de 50 até 1.000 ton.

Fabricamos modelos especiais sob encomenda.

Qualidade
Garantida

30

Anos



Guilhotina
Para corte de chapas até 2".

Rio Máquinas Ltda.
Rua Euclides Pacheco, 1.545
CEP 03321-001 - São Paulo - SP
Tel.: 293-8411 - Fax: 293-8821

RIO NEGRO

Serviço de consulta 5842

da escolher um ressonador com um modo espacial de menor ordem, levando a um diâmetro menor do furo. O limite depende da espessura do material, da óptica de focalização e das características do próprio *laser*. Esta solução, contudo, deve levar em conta o corte que segue logo após este *piercing*. Ou seja, as condições da óptica e do ressonador não podem ser modificadas para a execução do corte subsequente e estas novas condições podem ser muito desfavoráveis ao corte.

Furação

Na furação, um *laser* pulsado pode oferecer uma solução muito eficiente para inúmeros casos práticos. Muitas vezes, a furação a *laser* não é o método mais preciso para se obter um determinado furo, mas certamente é o mais rápido e, freqüentemente, é o escolhido quando se analisa o custo benefício de todo o processo.

As principais maneiras de se obter um furo com *laser* pulsado são:

- Por pulso único,
- por percussão e
- por trepanação.

No primeiro caso, um único pulso *laser* retira o material da chapa e deixa um buraco circular com as dimensões do feixe *laser* focalizado. No segundo caso, uma seqüência de pulsos é necessária para a retirada do material até que toda a sua espessura seja vazada. A trepanação é, na verdade, um corte circular cujo diâmetro é o pretendido para o furo.

A furação por pulso único é utilizada quando a velocidade de processo é o mais importante. Esta velocidade é dada pela relação da energia por pulso e taxa de repetição do equipamento *laser*, ou seja, da potência média do *laser*. Pode chegar a dezenas ou mesmo centenas de furos por segundo, dependendo da potência do *laser* utilizado. As desvantagens deste método estão na conicidade intrínseca do furo obtido, na razão de aspecto (espessura/diâmetro) relativamente pequena (< 5) e ainda em uma certa quantidade de material espirrado e aderido às bordas da superfície superior do furo.

Na furação por percussão, o feixe *laser* focalizado permanece estacionado sobre a peça, enquanto uma seqüência de pulsos retira pouca quantidade de material de cada

Eletoerosão CNC com motores lineares

Eletoerosão a fio com motores lineares

Show - Room

Testes práticos

Suporte técnico total

Serviços de eletroerosão

Eletoerosão
JAPAX

Avenida Damasceno Vieira Nº 815
São Paulo SP 04363-040 Brasil
Tel: 11 5564-7488 Fax: 5564-7467
e-mail: japax@japax.com.br

Sodick

Precisão com velocidade !

123

COMPRO SEUS REBOLOS E DISCOS ABRASIVOS USADOS

Processo de reciclagem e recuperação de
abrasivos aprovado pelo órgão ambiental.
A solução para quem busca a ISO 14.000

A MAIS COMPLETA LINHA DE GRÃOS ABRASIVOS

PARA: JATEAMENTO, ABRASIVOS E POLIMENTO

- Linha completa de GRÃOS SEDIMENTADOS 240 a 800
em carbeto de silício
e óxido de alumínio

A + PERFEITA
CLASSIFICAÇÃO



Estrada Municipal Vassoural, Km 7,7 s/n.
Tel.: (12) 3153-3012 / 3151-8027
CEP 12615-000 - B. Vassoural - Canas - SP
E-mail: ascontec.abrasivos@terra.com.br

Serviço de consulta 5844

vez. Uma alta intensidade produzindo alta relação vapor/líquido expele pouca quantidade de material para longe da superfície do furo, deixando pouco ou nenhum respingo. Razões de aspecto bastante altas podem ser conseguidas com conicidade relativamente pequena. Com o uso da CPML, furos de 18 μm foram feitos em lâminas de aço 1020, de 0,5 mm de espessura, e furos de 50 μm foram feitos em aço inoxidável AISI 304, de 1,5 mm de espessura. A figura 5 (pág. 119) mostra uma seqüência de furos feitos por percussão em aço inoxidável de 1 mm de espessura, nos quais a intensidade e a largura temporal do pulso *laser* foram variadas^[2]. A intensidade aumenta da esquerda para a direita. A largura temporal utilizada foi de 0,3 ms, 0,6 ms e 0,9 ms de cima para baixo. Os furos maiores têm diâmetro de 0,3 mm e, os menores, de aproximadamente 0,15 mm.

No caso de furação por trepanação, o feixe *laser* descreve o movimento de um círculo para cortar a chapa com o diâmetro desejado. Aqui, o *kerf* obviamente deve ser levado em conta e ter uma dimensão de, no mínimo, três vezes menos que o diâmetro pretendido. As dimensões possíveis com este método são consideravelmente maiores do que as obtidas por percussão. Mas, neste caso, tem-se ausência quase completa de material espirrado e uma conicidade muito pequena. As dimensões práticas possíveis dependem do modo espacial de oscilação do ressonador *laser*, da sua potência e do sistema óptico de focalização. No caso da CPML, furos com diâmetro de até 70 μm foram feitos pelo método de trepanação em chapas de aço inoxidável de 0,5 mm de espessura. A figura 6 (pág. 120) mostra uma série de furos típicos obtidos por trepanação em aço inoxidável de 1 mm de espessura. Os diâmetros são de aproximadamente 480 μm , o que é muito próximo do pretendido.

Rugosidade

No caso de *laser* pulsado, a rugosidade na superfície de corte pode ser significativamente diferente da observada durante o corte feito por um *laser* contínuo, especialmente

EMA

DE-STA-CO EMA
Indústria e Comércio Ltda.

Soluções Completas em
Sistemas de Fixação

Fabricado
no Brasil

Vendas e Marketing
Tel.: (11) 5181.6895 - Fax (11) 5181.6893
fix@destaco-ema.com.br - www.destaco-ema.com.br

Serviço de consulta 5845

de CO₂. Aqui, a superfície apresenta-se com estrias inclinadas homogêneas e frequentemente contínuas, que vão desde a superfície de entrada até a superfície de saída do feixe *laser*.

Quando se trata de um *laser* pulsado de neodímio, estas estrias dão lugar a uma rugosidade menos homogênea, mais pontiaguda, também inclinada em função da velocidade, mas muitas vezes de profundidade relativamente pequena. A tabela 2 (pág. 121) mostra um exemplo típico de medidas de rugosidade obtidas em aço inoxidável AISI 304 de 1,5 mm de espessura, cortado com atmosfera de N₂ a uma pressão de 120 psi.

A tabela 2 é resultado de um estudo que envolveu o corte de chapas e teve como objetivo a otimização da rugosidade pela variação da posição do ponto focal em relação à superfície da chapa. Neste caso, obteve-se um corte praticamente sem oxidação da superfície, com rugosidade homogênea desde a superfície superior até a inferior – que se manteve abaixo de 3 µm. No caso de corte com o uso de O₂ como gás de assistência, a rugosidade é ainda menor – próxima ou mesmo abaixo de 1 µm para a superfície de entrada.

Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que o *laser* pulsado Nd:Yag é uma alternativa útil para o processamento de materiais a *laser*, no qual os tradicionais feixes de *laser* CO₂ são ineficientes ou mesmo incapazes de atuar. Estes são os casos em que se necessita de pequena zona afetada pelo calor, de alta precisão dimensional, de distância entre cortes muito pequenas, de controle da dimensão do *kerf* e de furação de precisão, por exemplo. O sistema *laser* desenvolvido pelo IPEN e montado na Central de Processamento de Materiais a Laser (CPML) mostrou ser bastante útil, versátil, de precisão e alta confiabilidade.

Bibliografia

- 1) Emura, E.; Landgraf, J. F.; Rossi, W.; Berretta, J. R.: – The influence of cutting technique on the magnetic properties of electrical steels. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 254-255, p. 358-360, 2003.
- 2) Rossi, W.; Brito, R.; Berretta, J. R.; Almeida, I. A.; Vieira Jr, N. D.: – Microfuração a laser em chapa de aço inoxidável AISI 304. *Anais do Primeiro Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação*, p. 1-8, abril de 2001.
- 3) Yilbas, B. S.: – Effects of process parameters on the kerf width during the laser cutting process. *Proc. Instr. Mech. Engrs.*, vol. 215 part B, p. 1.357-1.367, 2001.

Centros de Usinagem High Speed

Torno Vertical Pick-up até 72m/min.

Tornos CNC Horizontais e de Cabeçote Móvel

Centro de Usinagem de até 96m/min.

Centros de Usinagem Portal



agora é




Dynamach Máquinas e Equipamentos
Rua Galileu, 276.
04632-040 - São Paulo - SP
Tel/fax: (11) 5034-3339
E-mail: vendas@dynamach.com.br
Website: www.dynamach.com.br

Breve novas instalações e endereço

A consagrada linha **DYNAMYTE** de Centros de Usinagem e Tornos CNC está de casa nova. Não que isso signifique caras novas. A equipe da **Dynamach** é encabeçada pelas mesmas pessoas que iniciaram a bem sucedida implantação da **DYNAMYTE** no Brasil. Contando com um parque de máquinas instaladas de mais de 500 equipamentos, a linha de Centros de Usinagem **DYNAMYTE** é uma das mais populares e de melhor histórico no Brasil. Veja também os outros tipos de equipamentos e serviços fornecidos pela **Dynamach**.

Abaixo você vê algumas pessoas que formam a nossa equipe:



Marco Fontolan
Vendas

Fabio Sant'Ana
Aplicações

Jack Lin
DynaMyte - EUA

Suporte Técnico

Sistemas
CAD/CAM

Peças de
Reposição

Estudos de
Tempo
Pré - Venda

Assistência
Técnica em
São Paulo,
Santa
Catarina e Rio
Grande do Sul