

Tecnologia laser aplicada em chapa de aço inoxidável

Uma central de processamento de materiais a laser construída no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares permitiu o desenvolvimento de um sistema de microfuração a laser para os métodos de pulso único, percussão e trepanação.

Foram utilizadas chapas planas de aço inoxidável, com espessuras de 0,1 a 2 mm, com os intervalos de diâmetros mais convenientes.

As variáveis de controle para cada espessura foram a largura temporal t_p do pulso laser, a sua energia e intensidade. Os resultados foram os parâmetros relacionados com a capacidade de extração de material, diâmetro dos furos, conicidade, rugosidade interna e quantidade de respingos na borda de entrada.

Foram obtidos furos abaixo de 20 μm de diâmetro e com razão de aspecto maior que 10.

W. Rossi, R. Brito, J. R. Berretta, I. A. Almeida e N. D. Vieira Jr.

Quando um pulso muito curto de luz laser é focalizado em um ponto muito pequeno, qualquer material é vaporizado e/ou fundido quase que instantaneamente. As pressões resultantes dos gases e vapores formados expulsam o material vaporizado e fundido, produzindo um furo no material. As densidades de potência usadas são da ordem de 10^7 a 10^8 W/cm² e o tempo de operação de 10^{-3} a 10^{-5} s. O diâmetro do furo é controlado pela variação da potência do laser e pelo grau de focalização da lente. O máximo diâmetro é limitado pela energia por pulso, enquanto o comprimento de onda, a óptica de focalização, a qualidade do feixe e o material em si determinam o diâmetro mínimo.

Normalmente, a furação a laser envolve um mecanismo no qual o material é removido tanto na forma de líquido quanto na forma de vapor, sendo que a razão entre eles depende do nível da densidade de potência. Quanto maior for a intensidade, maior será a quantidade de material no estado de vapor. No caso extremo, quando laser chaveado (pulsos de nanossegundos) é usado, a razão líquido-vapor é muito pequena e uma transformação direta sólido-vapor acontece em quase todo o volume afetado. No

entanto, a maioria dos processos a laser utiliza pulsos de duração mais longa, onde a razão líquido-vapor é bastante alta.

Este método de furação é mais eficiente e a elevação de temperatura quase instantânea, somada à pequena quantidade de material que chega à temperatura de vaporização, causa uma expulsão quase completa do material líquido do furo. Isto é provocado porque a alta pressão gerada quando da expansão do vapor na parte central da área afetada é muito maior que as forças de adesão entre a fase líquida e a parede sólida. O material líquido que não é expelido é removido por vaporização direta ou permanece como uma fina e tênue película (menos de 50 μm) aderida à parede lateral do furo e é normalmente chamada de material refundido.

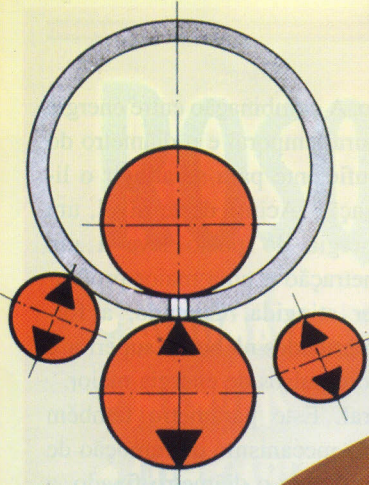
A natureza explosiva da expulsão do material fundido causa uma certa conicidade na entrada do furo com uma incontrollável, mas reprodutiva, variação no diâmetro de furo a furo de $\pm 10\%$. O melhor procedimento para o controle da qualidade de um furo é a indução da sublimação direta do material base, por meio do uso de intensidades muito altas (10^8 W/cm²). Isto leva a um processo de ablação com quantidade reduzida de mate-

ROUND

CALANDRAS

3 ou 4 rolos

Também com CNC!



Representante exclusivo no Brasil:



TECTOOL

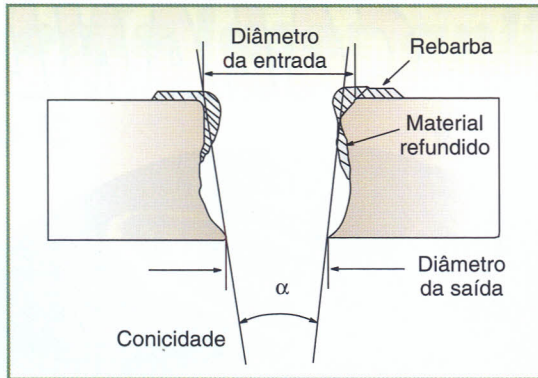
Av. Brig. Faria Lima, 2012 - cj. 42 - CEP 01452-002 - São Paulo - SP

Tel.: (11) 3097-0926 - Fax: (11) 3819-4527

e-mail: tectool@tectool.com.br - site: www.tectool.com.br

Serviço de consulta 7943

Fig. 1 – Seção transversal típica de um furo feito a laser



rial fundido, resultando em um contorno melhor do furo. A figura 1 mostra esquematicamente uma seção transversal típica de um furo feito a laser.

A qualidade de um furo feito a laser é função de interações complexas entre um grande número de variáveis. Estas variáveis dependem de características do material (tipo, espessura e refletividade), do laser (comprimento de onda, energia e largura temporal t_p do pulso, estrutura do modo e taxa de repetição), do gás de assistência (tipo de gás, pressão e desenho do bico) e também do sistema particular de focalização, onde os parâmetros mais importantes são o comprimento focal e a posição do foco.

As influências dos parâmetros do laser sobre a qualidade do furo são^[1]:

- Energia do pulso. A combinação entre energia do pulso, a largura temporal e o diâmetro do foco deve ser suficiente para se atingir o limiar de vaporização. Acima deste nível, um aumento da energia do pulso leva a um aumento da penetração e uma maior profundidade pode ser atingida. Contudo, a formação de irregularidades na borda superior é mais evidente com pulsos de energia maior.
- Largura temporal. Este parâmetro também está conectado ao mecanismo de remoção de material. Uma vez com o diâmetro fixado, a energia e a largura temporal determinam a intensidade do feixe laser sobre o material. Como um aumento na energia do pulso leva a uma degradação da qualidade do furo, uma diminuição na sua largura temporal também leva a um aumento da intensidade acima do limiar de vaporização, melhorando a qualidade do furo. Assim, a escolha entre maior energia ou menor largura temporal torna-se um compromisso entre eficiência e qualidade. Pulsos mais curtos produzem furos de melhor qualidade, mas com menor eficiência, necessitando-se de mais pulsos para a furação.
- Número de pulsos. O número de pulsos usados para furar um material pode ter uma influência decisiva na sua qualidade. Por exemplo, para furos com razão alta de aspecto, o melhor resultado é obtido com energia de pulso reduzida e com um acréscimo do

Mecânica Famma Ltda



CALDEIRARIA COM PRECISÃO CNC

AÇO CARBONO

- Carenagens
- Proteções
- Tanques
- Peças sob medida.



Consulte-nos

www.famma.com.br
mecfamma@terra.com.br

TEL: (0XX11) 4024-4987 - FAX: (0XX11) 4024-0675 / ITU-SP

CORTE A LASER



Puncionadeira CNC
Dobradeiras CNC
 Soldagens Mig, Tig, Ponto
 Pintura e montagens de acessórios

ISO 9002 Implantação

Gutschnitt

QUALIDADE FAMINOX

CALDEIRARIA EM AÇO INOXIDÁVEL

Gabinetes e Caixas Metálicas

Sob encomenda:
 Inóx Polido, Escovado, 2B, Solda Tig e Mig

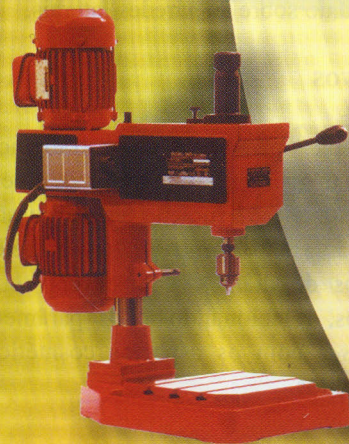
TEL: (0XX11) 4025-9003

ROSQUEADEIRAS DAUER

- AUTOMÁTICAS
- MANUAIS
- COM CABEÇOTES MÚLTIPLOS



ÚNICA
ROSQUEADEIRA
ARTICULÁVEL
NACIONAL



MÁQUINAS DAUER IND. E COM. LTDA.
Tel.: (11) 5611-1964 - Fax: (11) 5611-4335
www.maquinasdauer.com.br - E-mail: dauer@uol.com.br

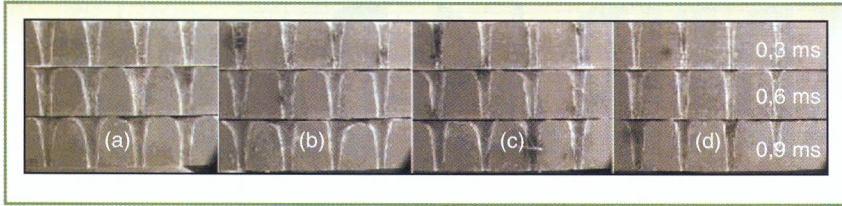


Fig. 2 – Furos feitos por percussão, com intensidade do feixe laser diminuindo de d para a e largura temporal de 0,3, 0,6 e 0,9 ms de cima para baixo, respectivamente

número de pulsos necessários para furar o material. Por outro lado, furos com baixa razão de aspecto, feitos com apenas um pulso, geralmente exibem uma menor conicidade.

- Comprimento focal da lente. Quanto mais curto for o comprimento focal da lente, menor será o diâmetro do furo. Como a profundidade do foco é diretamente proporcional ao comprimento focal, a espessura do material processado fica limitada por este comprimento focal da lente. Para aumentar a profundidade de penetração com a mesma lente, é necessário aumentar a qualidade do feixe, ou seja, diminuir o valor do fator de qualidade M2. Um feixe com M2 menor pode ser focalizado em um diâmetro menor ao longo de uma profundidade maior.

A furação a laser pode ser feita de três maneiras diferentes^[3]:

- **Pulso único.** Um único pulso laser é utilizado para a furação do material. O intervalo de diâmetros obtidos varia entre 20 e 250 µm e a razão de aspecto varia entre 2:1 e 6:1. A qualidade do furo e a eficiência do processo depende quase que exclusivamente das características do feixe e, portanto, freqüentemente um laser com modo fundamental é utilizado para este tipo de furação.

- **Percussão.** Este modo de furação utiliza uma série de pulsos laser incidindo em uma mesma área. O diâmetro e a profundidade obtidos dependem da energia e do número de pulsos. Furação por multipulsos resulta em furos com qualidade melhorada, quando comparada ao modo de pulso único, além de fornecer a possibilidade de obtenção de furos mais profundos com maior razão de aspecto.
- **Trepanação.** Aqui, o furo é produzido de acordo com um contorno pré-programado e o feixe laser movimenta-se em relação à peça, seguindo o contorno de uma circunferência. O processo é o mesmo de um corte a laser, necessitando de uma alta taxa de repetição, um bom controle do modo espacial do feixe laser e um jato de gás de assistência para a remoção do material fundido. Este método oferece três importantes vantagens sobre o modo de percussão^[2]: maior precisão e repetibilidade no diâmetro, maior linearidade das paredes e camada mais fina de material refundido sobre as paredes laterais.

Objetivos

Os objetivos principais deste trabalho foram determinar os intervalos ótimos de intensidade do feixe laser para furação por percussão e por trepanação, bem como de se estabelecer os intervalos de diâmetros possíveis com estes processos, relacionando-se os parâmetros do feixe laser com os aspectos cosméticos dos furos obtidos.

Descrição do sistema laser

O trabalho foi realizado utilizando uma central de processamento de materiais a laser, chamada de CPML, constituída por uma fresadora CNC com um laser acoplado em seu eixo-árvore. Neste sistema, o feixe laser é direcionado verticalmente para baixo e focalizado sobre uma superfície plana, que se movimenta no plano horizontal (X, Y). Portanto, o movi-

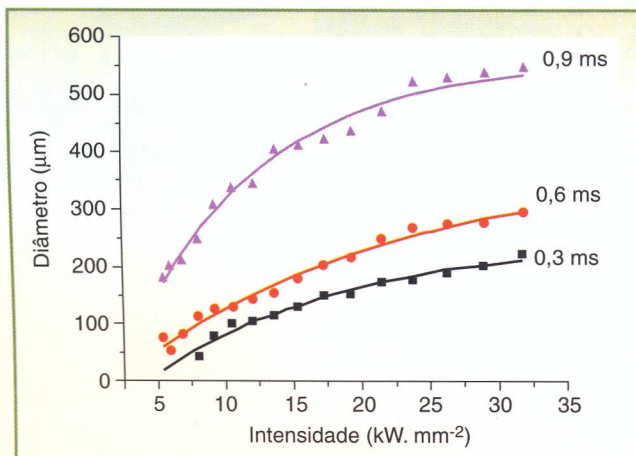


Fig. 3 – Diâmetro do furo obtido em função da intensidade do feixe laser

Em 71 anos de atividades a Romi já fabricou e vendeu mais de 135.000 máquinas, das quais cerca de 25.000 foram exportadas. Seus principais mercados internacionais são: Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Inglaterra, Itália, Espanha e países do Mercosul.

Centro de Usinagem Vertical

Novo

Discovery 1250

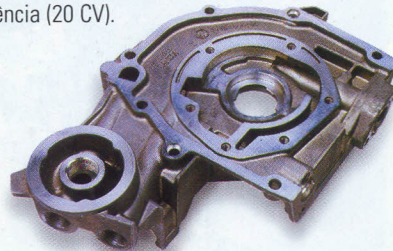


CNC Siemens 810D
possibilita versatilidade
total ao centro de usinagem

Curso da mesa superior (eixo X): 1270 mm
Curso da mesa inferior (eixo Y): 610 mm
Curso do cabeçote (eixo Z): 640 mm

Potência, versatilidade e espaço para trabalhos simples e complexos.

O novo Centro de Usinagem Vertical Discovery 1250 tem características de precisão e alta produtividade aliados a um curso de trabalho de 1270 mm e uma motorização de alta potência (20 CV).



ISO 9001
Certificate No. 31120



ROMI®

Comercialização: (11) 3873 3388

RAI - Romi Assistência Integral: (19) 455 9333

Site: www.romi.com.br

E-mail: maqfer@romi.com.br

Indústrias Romi S.A. Sede Social Fábrica Santa Bárbara d'Oeste SP Av Pérola Byington,56 CEP 13453 900 Fone (19) 455-9000 Fax (19) 455-2499 Comercialização São Paulo SP Rua Coriolano, 710 CEP 05047 900 Fone (11) 3873-3388 Fax: (11) 3865-9510 Escritórios Regionais ABCD (11) 6915-7537 Araçatuba (16) 9761-0265 Araraquara (16) 9761-0263 Belo Horizonte (31) 3361-2526 Campinas (19) 9791-3440 Campo Grande (67) 9983-2560 Caxias do Sul (54) 9979-9271 Curitiba (41) 333-6941 Fortaleza (85) 238-2644 Goiânia (62) 295-2790 Indaiatuba (19) 9771-5402 Joinville (47) 433-1381 Manaus (92) 611-3494 Maringá (44) 9972-3104 Mococa (16) 9761-0264 Passo Fundo (54) 9971-5111 Piracicaba (19) 9781-4845 Porto Alegre (51) 3342-5066 Recife (81) 3423-2244 Ribeirão Preto (16) 627-0999 Rio de Janeiro (21) 2270-1454 Salvador (71) 341-6060 Sta. Bárbara d'Oeste (19) 455-9735 Sorocaba (15) 9771-5450 Sorocaba (11) 9976-2105 Taubaté (12) 9781-3033 Vila Velha (27) 3340-1450

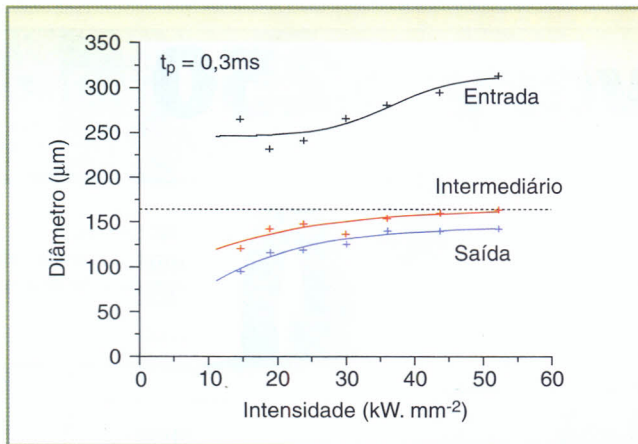


Fig. 4 – Variação da conicidade do furo em função da intensidade do feixe laser

mento vertical (Z) é utilizado somente para ajuste de altura da peça e do ponto de focalização do feixe laser. Um sistema CAD-CAM possibilita a execução de qualquer movimento no plano X, Y e o controle dos parâmetros de processo, como velocidade, atuação do gás de processo e parâmetros do laser. Atuando em conjunto com o feixe laser, um jato de gás colinear ao feixe é incidido sobre o ponto focal a uma pressão controlada de até 20 bar. Esse gás

serve para a retirada do material fundido da zona de atuação do feixe e para a proteção da lente de focalização. Gases inertes de proteção como N₂ ou Ar, ou reativos como o O₂, podem ser utilizados.

Para a visualização da região afetada, uma câmara em circuito interno (CCD) foi acoplada colinearmente ao feixe laser, com um sistema óptico de aumento de aproximadamente 60 vezes. Isto permitiu a inspeção tanto do aspecto cosimético do corte quanto de medidas dimensionais, sem a retirada da peça.

As lentes de focalização disponíveis são dupletos de alta qualidade óptica, com aberrações controladas e minimizadas, de comprimentos focais de 50 e 100 mm. A primeira fornece um diâmetro do ponto focal de aproximadamente 70 µm, enquanto a segunda fornece um diâmetro de aproximadamente 150 µm. Como a profundidade do campo focal é inversamente proporcional à distância focal da lente, um comprimento focal f de 50 mm é utilizado somente para espessuras menores do que 0,5 mm.

Componentes Rotolineares para Estampas

LEMPCO

Exclusividade Intermek



1984
2001
INTERMEK
17 ANOS

OHM Propaganda



INTERMEK ROLAMENTOS LTDA.
Rua Agostinho Cantú, 44 - Butantã
São Paulo - SP - CEP 05501-010
Fone: (55) (0 xx 11) 3814-7522 - Fax: (55) (0 xx 11) 3032-2381
E-mail: intermek@intermek.com.br - Site: www.intermek.com.br

Serviço de consulta 7947

Distribuidores De Ferramentas Industriais

Empresa norte-americana líder na fabricação de ferramentas de serrilhar, matrizes de modelagem cilíndricas e tornos, padronizações e de uso específico, procura distribuidores para venda no mercado industrial brasileiro. Nossos produtos são utilizados para processos de usinagem com modelagem a frio, cujas aplicações abrangem uma enorme gama de indústrias metalúrgicas.

Interessados podem utilizar os seguintes meios para contato:

FAX: +1-508-892-1789;

E-mail: info@accu-track.com, ou endereço postal abaixo indicado. Veja a nossa página na Internet: www.accu-trak.com

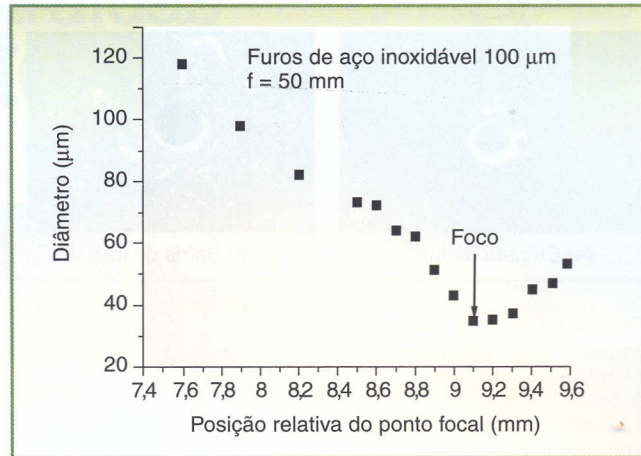


Accu Trak Tool Corp.

490 Stafford Street
Cherry Valley, Massachusetts 01611-3307, U. S. A.

Serviço de consulta 7948

Fig. 5 – Variação do diâmetro de furo obtido em função da posição focal



O laser utilizado foi desenvolvido pelo grupo de lasers do Ipen e é de estado sólido de Nd:YAG (*itrium aluminum garnete*), com comprimento de onda de 1,06 μm. É do tipo pulsado, com taxa de repetição controlada, desde pulso único até 500 Hz; energia por pulso de até aproximadamente 10 J e largura temporal variável desde 0,2 ms até 20 ms. A potência média máxima é de 100 W, o que restringe o número de combinações entre taxa de repetição e energia por pulso. A potência pico máxima de saída é limitada a 3 kW, o que também restringe o intervalo de energia em função da largura temporal. O feixe próximo ao espelho de saída apresenta um diâmetro de aproximadamente 6 mm, com perfil multimodo de distribuição de intensidade. A inserção de íris intracavidade reduz o número de modos oscilantes e uma íris de 1,2 mm de diâmetro pode levar à oscilação do modo fundamental com perfil gaussiano de distribuição de intensidade.

Resultados experimentais

Neste trabalho, uma série de ensaios de furação foram executados tanto pelo método de percussão quanto pelo de trepanação.

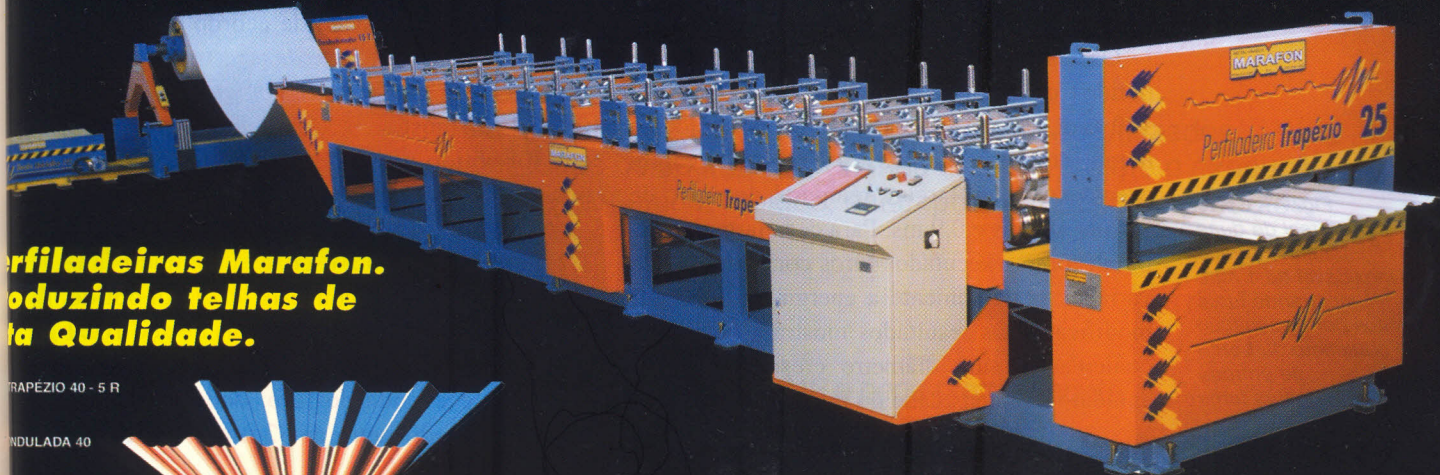
Furação por percussão

Uma característica marcante desse processo de furação é a presença de uma certa conicidade.

Serviço de consulta 7949

Perfiladeiras

PERFILADEIRAS
MARAFON



Perfiladeiras Marafon.
Produzindo telhas de
alta Qualidade.

TRAPEZIO 40 - 5 R

ONDULADA 40

TRAPEZIO 40

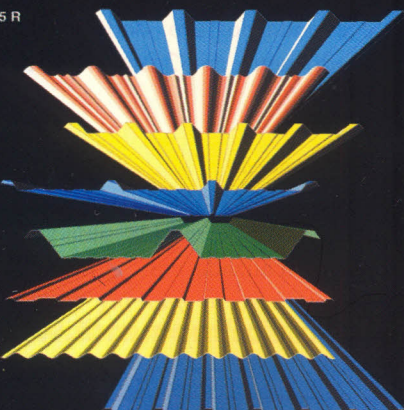
TRAPEZIO 35

TRAPEZIO 100

TRAPEZIO 10

ONDULADA 18

TRAPEZIO 25



PERFILADEIRAS MARAFON LTDA.

Rua Antônio Alcântara Machado, 331 • Jardim Pacaembú
CEP 13424-240 • Piracicaba • SP • PABX: (19) 434-1800
e-mail: marafon@marafon.com.br • site: www.marafon.com.br

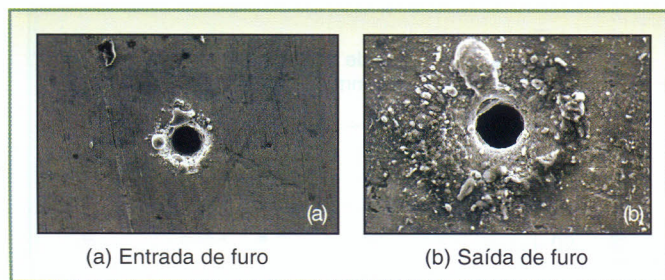
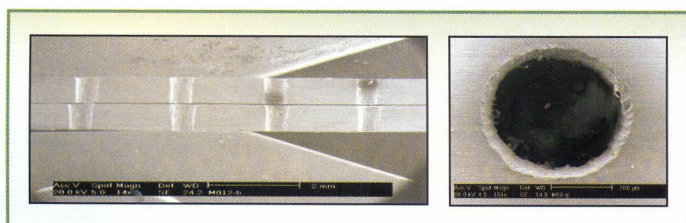


Fig. 6 – Entrada e saída de furo feito com feixe laser no modo fundamental (em escalas diferentes)

A adequação dos parâmetros do *laser* pode diminuir esta conicidade, mas ela sempre estará presente no processo de percussão. Isto acontece devido à natureza explosiva do início do processo, na qual uma grande quantidade de material é ejetado para fora da região de atuação do *laser*. O fenômeno provoca o aparecimento de uma cratera na parte de entrada do furo, que tem um diâmetro consideravelmente maior do que o diâmetro do feixe *laser*. Como é impossível eliminar este fenômeno, o que se faz é minimizar o seu efeito, tornando esta cratera de entrada menor e o menos profunda possível. Assim, um furo por percussão pode apresentar uma alta conicidade até cerca de 20% da profundidade total do furo, mas torna-se razoavelmente paralelo para o restante do material. Além disso, como a extração acontece principalmente com material fundido, há um acúmulo de respingos e/ou material refundido na borda de entrada. A figura 2 (pág. 172) mostra uma série de furos feitos por percussão, em chapas de aço inox AISI 304 de 2 mm de espessura.

Os resultados mostrados na figura 2 foram obtidos com lente de comprimento focal $f = 100$ mm, com a posição do foco coincidente com a superfície da amostra. Três séries foram executadas, com largura temporal do pulso de 0,3 ms, 0,6 ms e 0,9 ms. Para cada largura temporal, foram executados furos com intensidade variável, onde somente a energia do feixe foi modificada. Os resultados mostram uma certa conicidade e um diâmetro crescente com o aumento da intensidade do feixe *laser*. O gráfico

Fig. 7 – Corte transversal de duas lâminas de aço inoxidável de 1 mm, mostrando furos feitos por trepanação e o aspecto da borda de entrada de um destes furos



co da figura 3 (pág. 172) mostra claramente estes efeitos.

O fato de o diâmetro do furo sempre aumentar com a intensidade do feixe deve-se, em parte, ao aumento do diâmetro e da divergência do feixe com o aumento da potência pico de bombeamento. Isto acontece porque quanto maior for o bombeamento no elemento *laser*, maior será o número de modos oscilantes na cavidade ressonante. Assim, para restringir este aumento do número de modos, foi inserida dentro da cavidade *laser* uma íris de 4 mm de diâmetro, que diminuiu a eficiência do sistema, mas levou a um melhor resultado de furação.

O gráfico da figura 4 (pág. 174) mostra os resultados obtidos desta maneira. Vê-se claramente que, excetuando-se a entrada do furo (que tem baixa profundidade), a conicidade tende a ser muito pequena e o diâmetro do furo tende a um valor constante para intensidades acima de 45 Kw.mm^{-2} .

O diâmetro do feixe foi posteriormente restringido pela inserção de uma íris de 1,4 mm de diâmetro dentro do ressonador *laser*. Desta maneira, observou-se a emissão *laser* do modo fundamental somado um modo não-determinado. A energia, neste caso, é demasiadamente reduzida e a capacidade de extração de material não possibilita a furação de material espesso. Assim, utilizando uma lâmina de aço inoxidável 304 de 0,1 mm de espessura e uma lente de comprimento focal $f = 50$ mm, foi obtida uma série de furos com diâmetros que variavam de acordo com a posição do foco do feixe *laser* em relação à superfície da amostra. O gráfico da figura 5 (pág. 175) mostra os resultados, onde se vê que foi obtido um diâmetro de $34 \mu\text{m}$ para a posição do foco sobre a amostra.

A diminuição do diâmetro da íris para 1,2 mm possibilitou a oscilação do modo fundamental do *laser* e, com este feixe, foi obtido um furo de $18 \mu\text{m}$ em uma lâmina de aço 1020 de 0,5 mm de espessura. A figura 6 mostra a entrada e a saída do furo, onde a entrada apresenta um diâmetro de $32 \mu\text{m}$, porém com baixa profundidade.

Furação por trepanação

Para diminuir a conicidade do furo e o material refundido na sua borda de entrada, uma série de experimentos foi realizada com o método de trepanação. Neste caso, o *piercing* (furo que

Ferramentas construídas pelo tempo

CATIA
PLM Solutions

ZAW

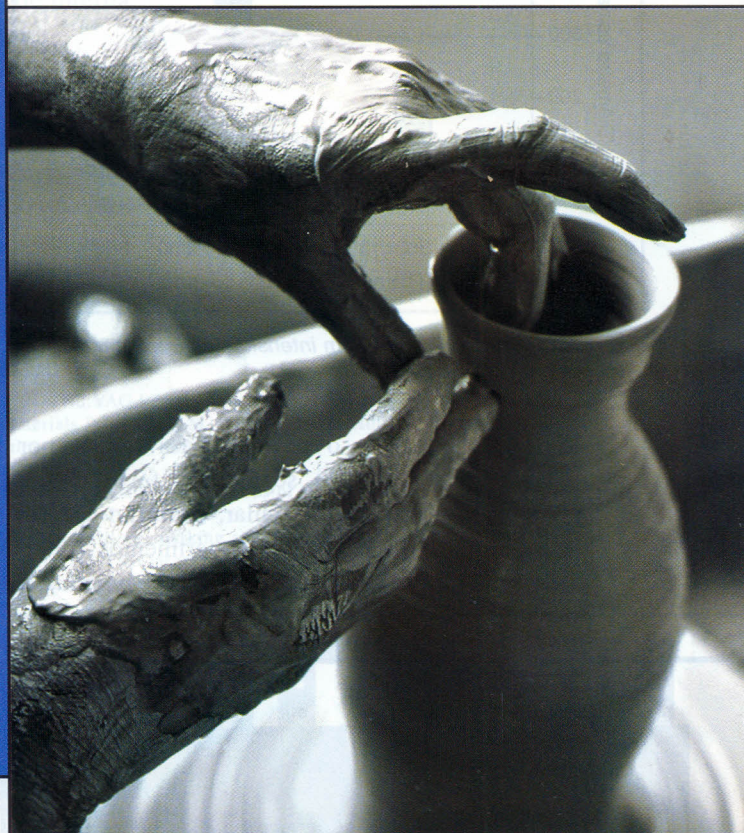
Talento, precisão, técnica.

Em alguns momentos criar um produto é como conceber uma obra de arte.

Mais do que conhecer o método é preciso usar a ferramenta certa.

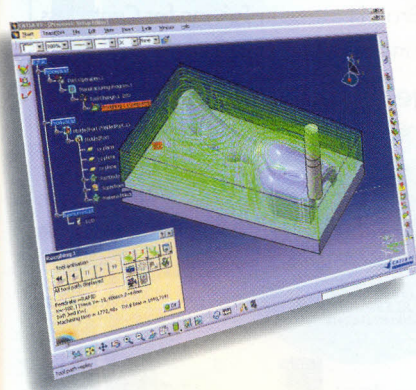
Os módulos de usinagem do **CATIA V5** em plataforma Windows® são versáteis, poderosos e flexíveis, no escritório ou chão de fábrica, adaptando-se ao desenvolvimento de qualquer produto.

Seja ele qual for.



CATIA. Tecnologia aplicada à vida.

Conheça também **ENOVIA** - Solução para Gestão de Engenharia



Os módulos de usinagem do **CATIA V5** são utilizados por todos os segmentos da indústria, no projeto e execução de ferramentas, moldes, estampos, protótipos e produtos.

Ligue para **0800 155012** e peça gratuitamente o CD de demonstração do **CATIA V5**

TECMES debis engework NV SISTEMAS



www.ibm.com/solutions/plm

Serviço de consulta 7950

Windows® é marca registrada da Microsoft Corporation.

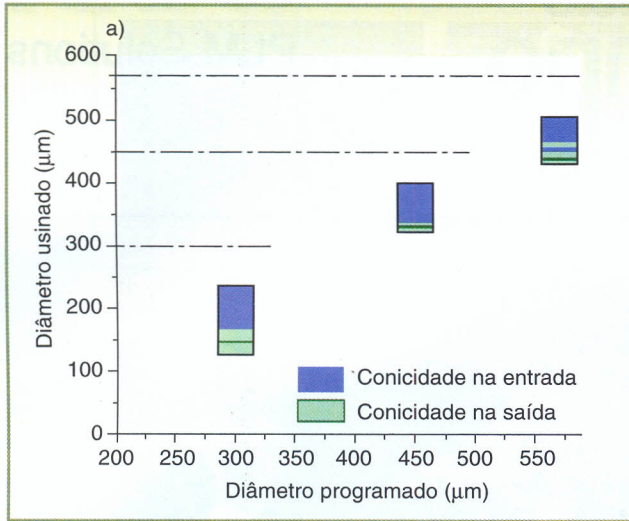


Fig. 8a – Furos trepanados com intensidade 12 kW.mm⁻²

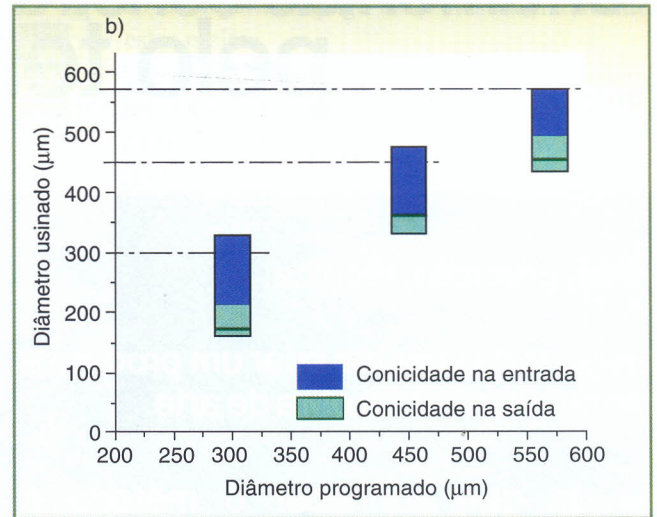


Fig. 8b – Furos trepanados com intensidade 50 kW.mm⁻²

inicia o processo) foi obtido por percussão para, em seguida, o feixe desenvolver uma excursão circular, como no caso de um corte. Uma série de experimentos foi feito para se verificar a influência do *piercing* na borda do

furo e os resultados mostraram que não houve influência apreciável neste sentido. Obviamente, para que o diâmetro do feixe ficasse menor do que o diâmetro do furo desejado, foi necessária a introdução de íris intracavidade. A



PRENSAS EXCÊNTRICAS E HIDRÁULICAS

Capacidade de 25 à 1500 ton.
Ajuste automático do martelo
Sistema hidráulico de segurança contra sobrecarga
Fricção em banho de óleo
Condução do martelo prismática - 6 guias
Garantia de peças - 1 ano
Assistência técnica permanente
Prensas com maior tonelagem - sob consulta

IMPRESS

Fone: (11) 55112688
Fax: (11) 55117488



11. COMUNICAÇÃO



FAMOUS WORLDWIDE, QUALITY & QUANTITY FIRST

One of the Three Biggest Brand Names in Taiwan for Centerless Grinders, Cylindrical Grinders and CNC Grinders

Agents And OEM Wanted



Standard Series
CENTERLESS GRINDER
PC-12/14/16/18



High Speed Series
CENTERLESS GRINDER
PC-20/24/2412/2416



CNC CENTERLESS GRINDER
PC-12/14/16/18/20/24CNC



CYLINDRICAL GRINDER
2040S/2040NC/3260S/3260NC
32100S/32100NC/32150S/32150NC



CNC CYLINDRICAL GRINDER
2025CNC/3250CNC
32100CNC/32150CNC



ENGINE VALVE GRINDER
GV-70

PALMARY MACHINERY CO., LTD.

196, JENG GUANG ST, TAIPIN CITY, TAICHUNG HSIEN, TAIWAN.
TEL: 886-4-2271 4979 FAX: 886-4-2271 5579
E-mail: palmarg@ms27.hinet.net
<http://grinding.com.tw/> <http://grinding.ap-trade.net/>

figura 7 (pág. 176) mostra um corte transversal de duas lâminas de aço inoxidável de 1 mm de espessura e a borda de entrada de um destes furos. É notável aqui a diminuição da conicidade e a ausência de respingos e de material refundido na borda de entrada.

Para executar o processo de excursão circular, foram construídos programas numéricos para circunferências de diâmetros de 300 μm , 450 μm e 570 μm . A figura 8 (a e b) mostra os gráficos das medições feitas em duas séries de furos com estes diâmetros, nos quais pode-se visualizar a conicidade intrínseca.

As amostras medidas na figura 8a (pág. 178) foram construídas com intensidade de 12 $\text{kW}\cdot\text{mm}^{-2}$, largura temporal de pulso de 0,4 ms e feixe com diâmetro de 190 μm . Fica evidente que por conta da baixa potência do feixe, o diâmetro esperado não foi conseguido, uma vez que a extração ficou comprometida. Para evidenciar esta proposta, construiu-se outra série de furos nas mesmas condições, modificando-se apenas a intensidade do feixe, como mostra o gráfico da figu-

ra 8b (pág. 178). Com o aumento significativo da intensidade do feixe, mantendo as demais condições, observa-se que o diâmetro usinado foi o mesmo que o programado. A conicidade dada pela diferença entre os diâmetros de entrada e de saída tem ângulo de, no máximo, 4° na parede interna.

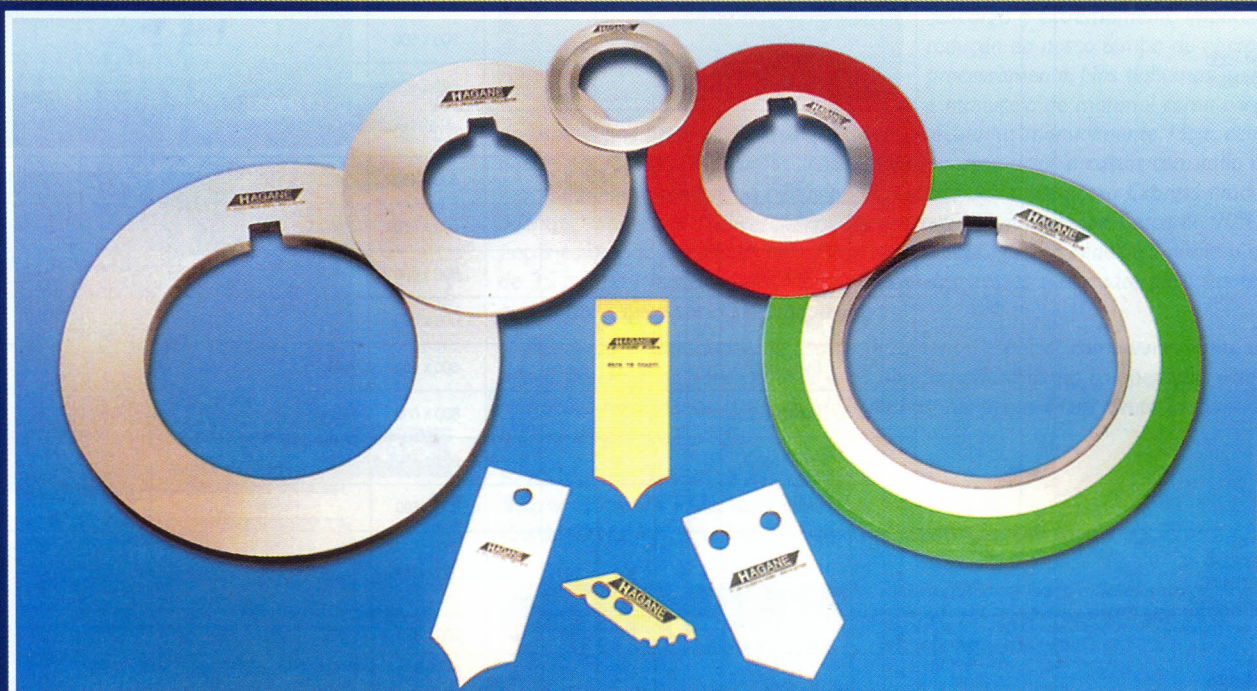
Conclusões

Os métodos de percussão e trepanação foram estudados e caracterizados para a CPML do Ipen. Foi possível a obtenção de furos com boa qualidade cosmética, baixa conicidade, razão de aspecto de até 1:27 e com dimensões controladas de até 18 μm .

Bibliografia

- 1] Bolin, S. R.: - Nd:YAG laser applications survey. In laser Materials Processing. M. Bass ed. North-Holland Publishing Company, p. 409-437, 1983.
- 2] Morato, S. P.; de Rossi, W.; Wetter, N. U.: - High level publication on industrial applications of lasers, ed. Unido, Trieste, Italy, 1999.
- 3] Tiffany W. B.: - Drilling, marking and other applications for industrial Nd:YAG lasers. Applications of High Power lasers, SPIE v. 527, p. 28-36, 1985.

FACAS INDUSTRIAIS



Star Hagane Facas Industriais Ltda.

Rua João Dias da Motta, 147 CEP 08290-400 São Paulo - SP
site: www.starhagane.com.br e-mail: comercial@starhagane.com.br

Fone/Fax (11) 6524-3887