

Soldagem

Estudo investiga aplicação de *laser* pulsado de Nd:YAG na união de aços especiais

O *laser* é uma ferramenta flexível que está se difundindo cada vez mais na indústria, como consequência do desenvolvimento de sistemas modernos, com maior confiabilidade e menor custo. Na soldagem, o *laser* fornece soluções técnicas a muitos problemas, e apresenta maior produtividade em comparação com processos convencionais. Além disso, as juntas soldadas a *laser* apresentam uma zona afetada pelo calor reduzida e provocam pouca distorção no metal de base. Este trabalho estudou a aplicação de *laser* pulsado na soldagem do aço API 5L Grau 70, empregado na indústria de petróleo e gás natural. Foi analisada a influência da largura temporal do pulso e da profundidade de foco do feixe de *laser* nas características geométricas do cordão de solda. Os resultados mostram que tanto a microestrutura quanto a geometria do cordão variaram mais em função da largura temporal do que da posição focal do feixe de *laser*.

V. A. Ventrella, J. R. Berretta e W. De Rossi

O uso do *laser* vem crescendo rapidamente em muitas áreas da indústria moderna, como na soldagem. As propriedades de coerência espacial e alta radiancia da luz *laser* são as bases de suas vantagens sobre métodos tradicionais de processamento de materiais⁽⁵⁾. A coerência espacial permite a focalização da luz em um ponto muito pequeno, o que fornece uma

densidade de radiação localizada e extremamente alta.

Por meio do controle da carga térmica fornecida a um dado material, podemos obter praticamente qualquer regime dependente do tempo na área afetada. Isto dá ao *laser* uma incrível versatilidade em aplicações distintas. Comparando o *laser* com tecnologias clássicas, ele vem sendo utilizado também em lotes pequenos de

peças, embora se tenha observado um aumento da demanda por produtos de diferentes materiais e geometrias^(4,6,9).

Na fabricação de tubos há a necessidade de uso de aços de alta resistência mecânica à tração, como por exemplo, os aços da série API 5L – X70 (limite de escoamento mínimo de 480 MPa). Especificações internacionais requerem propriedades ele-

Vicente Afonso Ventrella (ventrella@dem.feis.unesp.br) faz parte do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista, Unesp – Campus de Ilha Solteira (SP). José Roberto Berretta (berretta@ipen.br) e Wagner de Rossi (wderossi@ipen.br) são pesquisadores do Centro de Lasers e Aplicações do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), em São Paulo, SP. Este artigo foi apresentado no 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – Cobef, realizado entre os dias 11 e 15 de abril de 2011 em Caxias do Sul, RS. Publicação autorizada.



More power in the world. More power in Brazil.



**Prima Industrie e Finn-Power no mundo inteiro agora é Prima Power.
Prima Power no Brasil agora é Prima Power South America.**

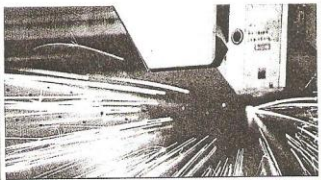
Da fusão de dois nomes fortes e históricos, Prima Industrie e Finn-Power, nasce uma nova marca. Oferecendo a mais ampla gama de máquinas laser e máquinas para trabalhar chapas de metal agora é chamada de Prima Power. Nossos Clientes se beneficiarão melhor de nossa gama de produtos totalmente integrados, sempre mais inovadores e sustentáveis, combinado por nossos eficientes departamentos de vendas e rede de serviços.

Contate-nos para saber mais sobre Laser e máquinas para trabalhar chapas de metal:

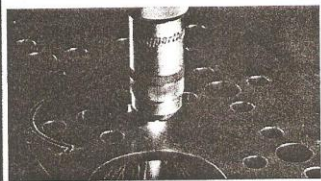
Prima Power South America - Av. Fuad Lutfalla, 1182 Freguesia do Ó
02968-000 - São Paulo Brasil info.br@primapower.com
primapower.com

Seu Problema é

Corte laser?



Corte Plasma?



Dobra CNC?



Nós somos a solução!

Projeto Perfilados

Aço Carbono - Aço Inex - Alumínio



Fone: (11) 3857-9027
3857-5362
Fax: (11) 3856-0972

VISITEM NOSSO NOVO SITE!
www.projeto perfilados.com.br

Soldagem

vadas de impacto para este aço e, naturalmente, também para as suas juntas soldadas (o metal de solda deve absorver 56 J a -20°C e 40 J a -25°C).

Estas exigências refletem não apenas a necessidade de os aços e as juntas soldadas possuírem uma temperatura de transição a mais baixa possível (característica essencial para usos em regiões frias), mas também um alto patamar de energia de impacto, particularmente em gasodutos cujas tensões de serviço elevadas podem contribuir para a ocorrência de falhas no modo dúctil de propagação de trincas^(1,7).

Os aços API, com características de resistência elevada aliada à boa soldabilidade, baixo nível de inclusões e boa qualidade superficial, são especificados pelo American Petroleum Institute, no caso o grau API 5L⁽¹⁾. De acordo com as exigências dos tubos, as qualidades API-5L-A e B são usadas em tubulações de baixa pressão, enquanto as API-5L-X42, X46, X52, X60 e X70 são utilizadas em tubulações de alta pressão.

O principal guia para a soldagem de tubulações é a norma API 1104, que fornece dados necessários à obtenção de juntas soldadas com boa qualidade. As juntas em tubulações são soldadas no campo e somente do lado externo. Como o tubo é fixo, a união deve ser realizada em diversas posições. O tipo de eletrodo revestido geralmente utilizado na soldagem de tubulações é o AWS EXX10, pois possui elevada penetração e pode ser utilizado em todas as posições. Atualmente o eletrodo revestido celulósico começa a ser substituído pelo processo automático com arame

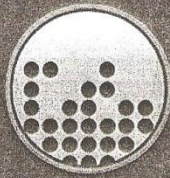
tubular. Isso vem acontecendo muito lentamente, pois a indústria de soldagem de tubulações é muito conservadora^(7,10).

A terminologia dos diversos constituintes presentes em metais de solda dos aços de baixa liga, no caso os aços API, não está totalmente padronizada até hoje. A terminologia adotada pelo Instituto Internacional de Soldagem (IIW/IIIS), baseada fundamentalmente em observações feitas por microscopia óptica e na relação constituinte-tenacidade, ainda é a mais utilizada, na qual os microconstituintes são definidos como segue⁽³⁾:

- a) Ferrita primária de contorno de grão - PF(G)
- b) Ferrita poligonal intragranular - PF(I)
- c) Ferrita acicular - AF
- d) Ferrita com segunda fase alinhada - FS(A)
- e) Ferrita com segunda fase não-alinhada - FS(NA)
- f) Agregado ferrita-carboneto - FC
- g) Martensita - M

Enquanto as vantagens do uso do *laser* vêm se disseminando rapidamente em vários segmentos da indústria, a soldagem de aços API para tubulações tem se mostrado um segmento conservador, adaptando-se muito lentamente a novos processos. Parece que esta situação está começando a mudar, visto que a soldagem semi-automática com arame tubular vem substituindo o eletrodo revestido na indústria naval, justamente em razão de sua baixa susceptibilidade à falta de fusão.

No presente trabalho foi realizada uma análise sobre o uso do



AJAN[®]
www.ajancnc.com

**MUITOS PAÍSES JÁ
CONHECEM A
AJAN, CHEGOU
A VEZ DO BRASIL
E DE TODA A
AMÉRICA DO SUL.**

AJAN Elektronik Servis San. ve Tic. Ltd. Sti.
IAOSB 10014 Sokak No: 1 Çiğli - İZMİR - TÜRKİYE
E-mail: info@ajancnc.com
www.ajancnc.com

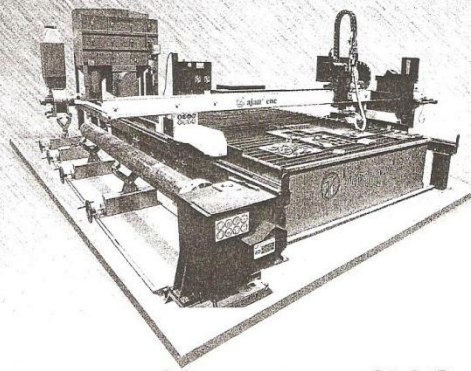
Tel: + 90 232 328 12 02
Fax: + 90 232 328 15 01



AJAN do Brasil

Fone: 41 3044 1222
E-mail: info@ajancnc.com.br

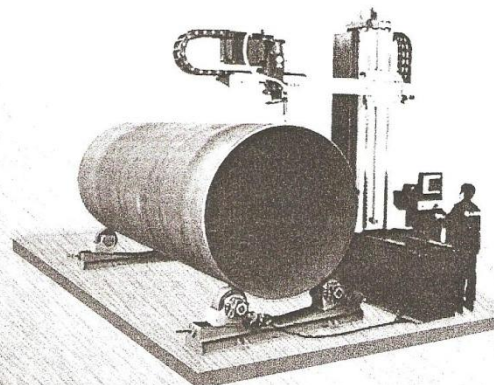
www.ajancnc.com.br



VISUALITY

KOMBINE CNC PLASMA MACHINE SERIES

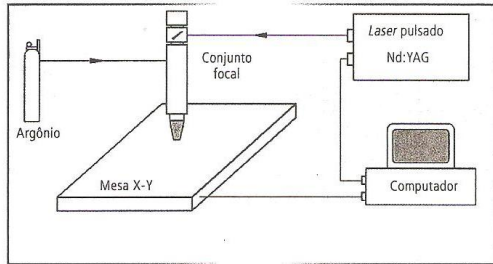
MÁQUINA COMBINADA PARA CORTE E MARCAÇÃO À
PLASMA EM ALTA DEFINIÇÃO PARA CHAPAS E TUBOS:
DIÂMETROS ADMITIDOS: 50 / 300 / 600MM X 6.000MM



BKM SERIES

MÁQUINA PARA CORTES E MARCAÇÃO À PLASMA EM
TUBOS:
DIÂMETRO MÁXIMO DE TRABALHO: 2.500MM X 12.000MM

Soldagem



Tab. 1. Composição química analisada (% em peso) e carbono equivalente (CE) do aço API 5L X-70

Elemento	C	Mn	P	S	V	Nb	Al	CE
Teor (%)	0,117	1,49	0,018	0,006	0,020	0,017	0,014	0,37

Fig. 1 - Diagrama esquemático do sistema de soldagem por laser pulsado de Nd:YAG

laser de Nd:YAG no modo pulsado para a soldagem de chapas de aço API X-70, com 1 mm de espessura. Foi estudado o efeito da largura temporal do pulso de soldagem e da profundidade de foco do feixe laser sobre as características do cordão de solda, buscando obter um cordão livre de defeitos.

Materiais e métodos

O presente trabalho de pesquisa foi realizado com uso de um sistema a laser de Nd:YAG na condição pulsado, cujo arranjo

experimental é mostrado na figura 1. O metal de base utilizado foi o aço API 5LX Grau 70, na forma de chapas com 1 mm de espessura. As amostras foram cortadas nas dimensões 25 x 75 mm. A composição química do metal de base é mostrada na tabela 1. Os resultados experimentais foram analisados com base na relação entre largura temporal do pulso, profundidade de foco, geometria do cordão de solda, microestrutura e presença de descontinuidades. As amostras foram preparadas e limpas para garantir a mesma condição

superficial das chapas e um acabamento homogêneo.

Para avaliar a influência da largura temporal do pulso e da posição do foco do feixe de laser nas características do cordão, as soldas foram realizadas na condição "bead on plate". As soldagens foram realizadas com feixe de diâmetro 0,2 mm, ângulo de 90°, taxa de repetição de 9 Hz e velocidade de soldagem de 150 mm/min. A energia do pulso (E_p) foi fixada em 6 J, com larguras temporais (Lt) de 4, 6, 8 e 10 ms. As profundidades de foco analisadas foram de 1,0; 1,5 e 2,0 mm abaixo da superfície da peça, resultando em fluência de 8,6.103 J.cm², 13,6.103 J.cm² e 24,0.103 J.cm², respectivamente.

As amostras foram soldadas em uma atmosfera de gás argônio utilizando um fluxo de 12 l/min.

Perfiladeiras da UCP MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Tecnologia & Produtividade em Perfis Metálicos

- Perfiladeiras
- Desbobinadores
- Linhas de Cortes Transversal e Longitudinal

Desbobinadores Simples ou Duplo.

Unidade para estampar, furar e adequar a chapa antes da entrada na Perfiladeira.

Projeto e Ferramentaria próprios para assegurar confiabilidade e prazos de entrega.

Perfiladeiras de 8 a 26 estágios.

Estação de Corte.

Financie nossos produtos pelo

FINAME e Cartão BNDES

Fone (17) 3253-4317
vendas@ucpmaquinas.com.br
www.ucpmaquinas.com.br
Av. Engº Newton Flávio Silva Pinto, 2.523
CEP 15130-000 - Mirassol - SP

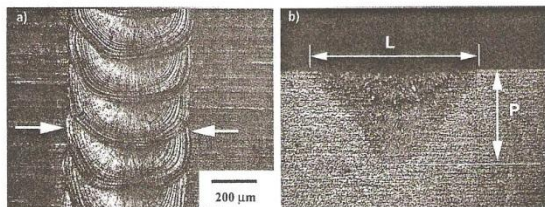


Fig. 2 - Vista superior (a) e seção transversal (b) do cordão de solda obtido por laser pulsado de Nd:YAG (L = largura do cordão e P = profundidade do cordão).

Após a soldagem as amostras foram cortadas e preparadas para análise metalográfica da seção transversal do cordão de solda, por meio de lixamento e polimento das amostras. A revelação da estrutura do cordão foi feita por ataque com reagente Nital a 2%. As medidas do cordão de solda foram realizadas por meio de um microscópio óptico e um software de análise de imagem.

A figura 2 mostra uma vista superior e uma seção transversal do cordão de solda com os parâmetros geométricos analisados.

Resultados

A geometria do cordão de solda está diretamente relacionada com os parâmetros envolvidos no

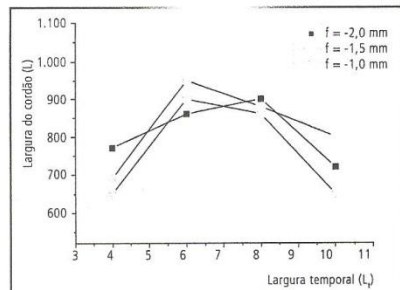
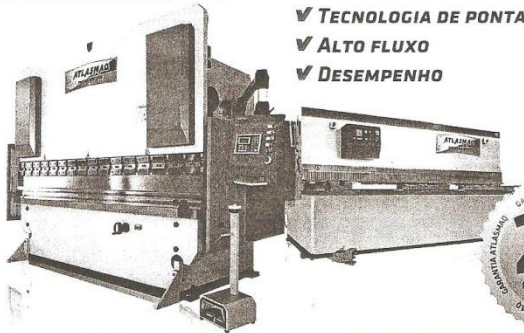


Fig. 3 - Variação da largura do cordão de solda (L) em função da largura temporal (Lt) do feixe laser para distância focal de -2,0; -1,5 e -1,0 mm

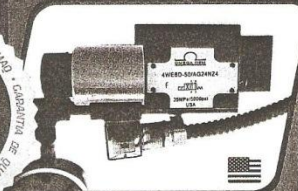
processo de soldagem a laser pulsado, tais como a largura temporal (Lt) e a posição do foco (f) do feixe em relação à superfície do metal de base. A figura 3 mostra a variação da largura do cordão de solda em função da largura temporal para três posições de foco do feixe de laser, isto é, a 2;

Na linha de Corte e Dobra Atlasmaq, você sempre encontrará componentes da mais alta qualidade!

VÁLVULAS HIDRÁULICAS OMEGA™
BENEFÍCIOS INCOMPARÁVEIS.



- ✓ TECNOLOGIA DE PONTA
- ✓ ALTO FLUXO
- ✓ DESEMPENHO



Sempre pensando em agregar qualidade aos seus produtos, a ATLASMAQ procurou uma empresa que é referência em válvulas para Pressas Viradeiras e Gullhotinas, nossa linha de Corte e Dobra conta com as válvulas eletro-hidráulicas de alta pressão da Omega, empresa americana, atuante no mercado internacional que possui tecnologia e qualidade de ponta neste segmento, a ATLASMAQ disponibiliza modernidade e qualidade, com a garantia e peças de reposição.

ATLASMAQ

Atender bem para atender sempre



0098/11 www.ATLASMAQ.COM.BR

FÁBRICA E SHOW ROOM - SP
Rua Piratininga, 557/607 - Brás
São Paulo - SP - TEL.: (11) 3511 3030

ASSIST. TÉCNICA E SHOW ROOM - MG
Av. Dom Pedro II, 1065 a 1085 - Carlos Prates
Belo Horizonte - MG - TEL.: (31) 3201 0575

Atlasmaq e ATLASMAQ são marcas e taxas de financiamento (exceto a alteração), bem como seu termo de garantia, condições de assistência técnica, pronta entrega e sua disponibilidade, entrega técnica e treinamento, Desenvolvimento, Comercialização, Locação, Montagem e Manutenção de máquinas operadoras. As normas SCS ICS Certificadora Ltda, acerca de extensão de escopo, quando da certificação ISO 9001:2008 são válidas para as atividades nela especificadas no Estado de São Paulo/SP - Brasil. **Válvulas Hidráulicas Omega somente para os modelos GHA e PVA. Consulte disponibilidade com um de nossos consultores. As marcas são propriedades de seus respectivos detentores.

Soldagem

1,5 e 1 mm abaixo da superfície do metal de base.

Observa-se, a partir da figura 3, que o aumento da largura temporal de 4 para 6 ms ocasionou um aumento da largura do cordão de solda, com posterior estabilização entre 6 e 8 ms. Aumentando novamente a largura temporal de 8 para 10 ms, a largura do cordão sofreu uma redução significativa.

Em relação à profundidade do cordão (figura 4), observou-se que a redução da largura temporal do feixe provocou um aumento significativo da profundidade do cordão de solda. Essas variações na dimensão do cordão podem ser bem entendidas por meio das macrografias mostradas nas figuras 5, 6 e 7.

As macrografias da figura 5 mostram que a solda obtida com largura temporal de 10 ms foi realizada no modo de condução, enquanto as soldas com largura temporal de 8, 6 e 4 ms foram realizadas no modo *key hole*. Fica evidente que, para uma energia de pulso constante, a redução da largura temporal do feixe altera o modo de soldagem de condução para *key hole*, modificando completamente a geometria do cordão de solda. Além disso, ocorreu o aparecimento de vazios e grande perda de material líquido do metal de solda.

As figuras 6 e 7 – amostras soldadas com foco nas posições -1,5 e -1 mm – apresentaram macrografias com comportamento semelhante ao da figura 5, isto é, a redução da largura temporal aumentou a penetração devido a um *key hole* mais intenso. Nessas amostras, mesmo com uma

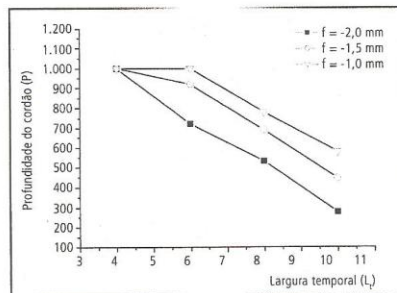


Fig. 4 – Variação da profundidade do cordão de solda (P) em função da largura temporal (Lt) do feixe de laser para distância focal de -2 mm; -1,5 mm e -1 mm

largura temporal de 10 ms, as soldagens foram todas realizadas na condição de *key hole*, ou seja, a energia de pulso de 6 Joules e o foco próximo da superfície favoreceu o aparecimento do *key hole*.

Dessa forma, podemos dizer que o aparecimento do *key hole*, para pulsos com energia constante, está relacionado à redução

da largura temporal e ao aumento da fluência. Resultado semelhante foi observado por Quan et al.⁽⁸⁾, quando um *key hole* severo gerou a formação de vazios na zona de fusão e grande perda de material devido a respingos e vaporização de elementos químicos, o que também favorece o aparecimento de poros.

A figura 8 (pág. 48) mostra a dependência da razão de aspecto do cordão em relação à variação da largura temporal do feixe de laser e à sua posição focal. Observa-se que o aumento da largura temporal do feixe favorece um aumento da relação largura/profundidade do cordão. Isso pode ser explicado pela redução da intensidade do *key hole* com o

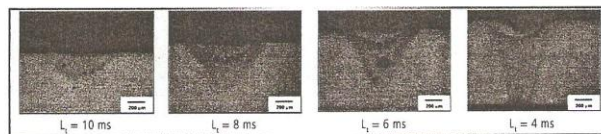


Fig. 5 – Influência da largura temporal na geometria do cordão. Foco 2 mm abaixo da superfície e fluência de 8,6.103 J.cm².

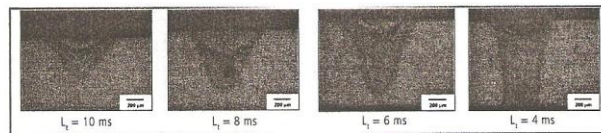


Fig. 6 – Influência da largura temporal na geometria do cordão. Foco 1,5 mm abaixo da superfície e fluência de 13,6.103 J.cm².

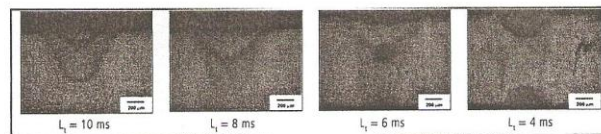
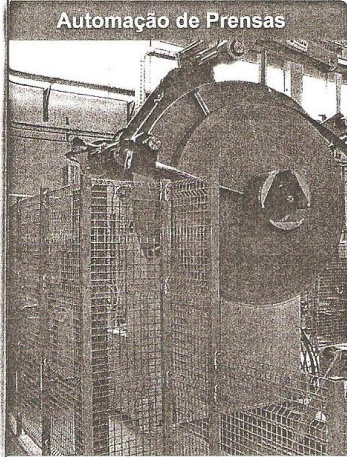



Fig. 7 – Influência da largura temporal na geometria do cordão. Foco 1 mm abaixo da superfície e fluência de 24,0.103 J.cm².


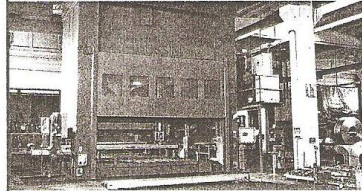

Equipamentos para conformação de metais

A CTE fornece as melhores marcas

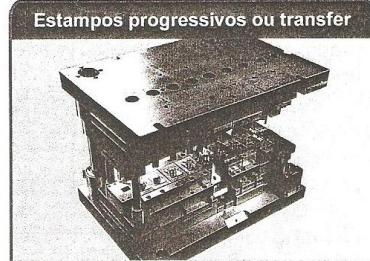
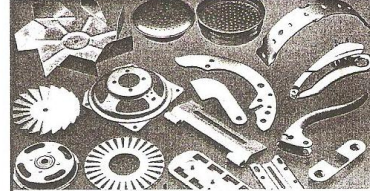

Automação de Prensas

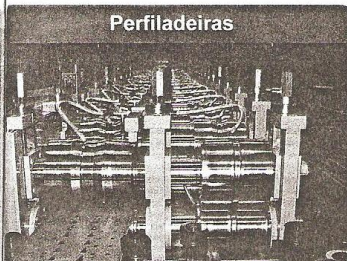
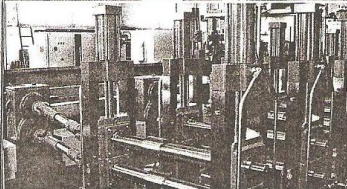

Prensas


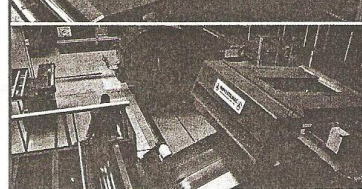

Estampos progressivos ou transfer


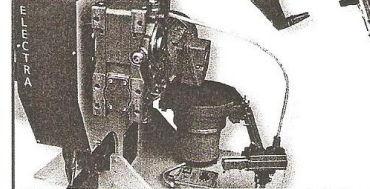

Perfiladeiras

Linhas de Corte Bobinas/Blanks e Dobradeiras Especiais

Rebitadeiras e sistemas de rebitagem automatizados


Centro Tecnologie Europee
Máquinas e Equipamentos

Alameda Santos, 1398 - Cj. 117 | Cerqueira Cesar | São Paulo
Tel: +55 11 3798-7111 | Fax: +55 11 3798-7118
www.ctebrasil.com.br | cte@ctebrasil.com.br

Soldagem

aumento da largura temporal, chegando até mesmo ao modo de soldagem por condução.

Em relação às análises microestruturais, observou-se que não houve grandes alterações na fração volumétrica dos constituintes microestruturais do cordão de solda em relação à variação da profundidade do foco do feixe de *laser*. Por outro lado, observou-se que, à medida que se aumenta a largura temporal do feixe, constituintes microestruturais de baixa temperatura de transformação são favorecidos como, por exemplo, as ferritas de segunda fase alinhada-FS(A).

A figura 9 mostra a micrografia do cordão da amostra soldada com largura temporal de 4 ms e foco do feixe de *laser* a 2 mm abaixo da superfície da peça. Essa

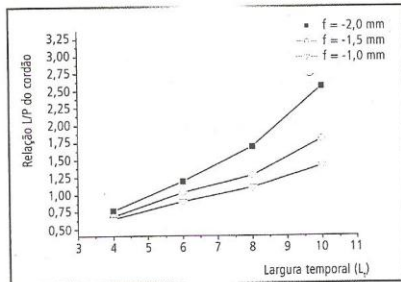


Fig. 8 - Variação da relação L/P do cordão de solda em função da largura temporal (Lt) do feixe de laser para as distâncias focais de -2 mm; -1,5 mm e -1 mm

amostra apresentou um *key hole* bem acentuado, com perda de material líquido da zona fundida e, conseqüentemente, baixa taxa de resfriamento. Isso favoreceu o aparecimento dos microconstituintes do tipo ferrita primária de contorno de grão-PF(G), ferrita primária poligonal intragranular-PF(I) e ferrita acicular-AF.

A figura 10 mostra a micrografia do cordão de solda da amostra soldada com largura temporal de 10 ms e foco do feixe de *laser* 2 mm abaixo da superfície da peça. Essa



Fig. 9 - Micrografia do cordão de solda obtido por laser pulsado Nd:YAG, com Lt = 4 ms e f = -2 mm

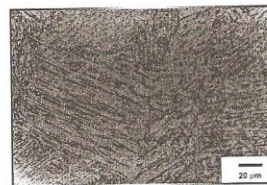


Fig. 10 - Micrografia do cordão de solda obtido por laser pulsado Nd:YAG, com Lt = 10 ms e f = -2 mm

amostra foi soldada no modo de condução e, conseqüentemente, apresentou alta taxa de resfriamento. Isso favoreceu o aparecimento dos microconstituintes de baixa temperatura de transformação, como a ferrita com segunda fase alinhada-FS(A).



Qualidade que excede suas expectativas



**Perfiladeiras · Desbobinadores
Ferramentas e Automação**

A Camasi tem como seus principais modelos de perfiladeiras CMSP, máquinas para chapas de espessuras de 0,30mm até 6,35mm com diversos materiais: aço, alumínio, inox, cobre e chapas de aço com ligas específicas para implementos rodoviários. Todas com velocidade de 15m/min a 60m/min.

SEGMENTOS DE ATUAÇÃO

- Implementos Rodoviários · Linha Branca
- Automobilística · Metalúrgicas · Construção
- Implementos Agrícolas · Armazenagem

R. Alberto José Ismael, 630 - Quinto das Palmeiras - São José do Rio Preto/SP | CEP: 15080
Tel/Fax: 17 3216-3704 · comercial@camasi.com
www.camasi.com

Conclusões

- A diminuição da largura temporal, mantendo-se a densidade de energia, alterou o modo de soldagem de condução para o modo *key hole*.
- A focalização do feixe no intervalo de 1 mm influenciou pouco a geometria do cordão de solda ao serem mantidos constantes os demais parâmetros.
- O aumento da fluência sem o aumento da energia favoreceu muito pouco a profundidade de penetração.
- A largura temporal de 4 ms gerou uma penetração total devido ao *key hole* profundo.
- A perda de material fundido aumentou com a redução da

largura temporal e com o aumento da fluência.

- A microestrutura do metal de solda variou mais em relação à largura temporal do que em relação à posição do foco do feixe de *laser*.
- A melhor condição de soldagem foi obtida com largura temporal de 6 ms e foco na posição -1,5 mm.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

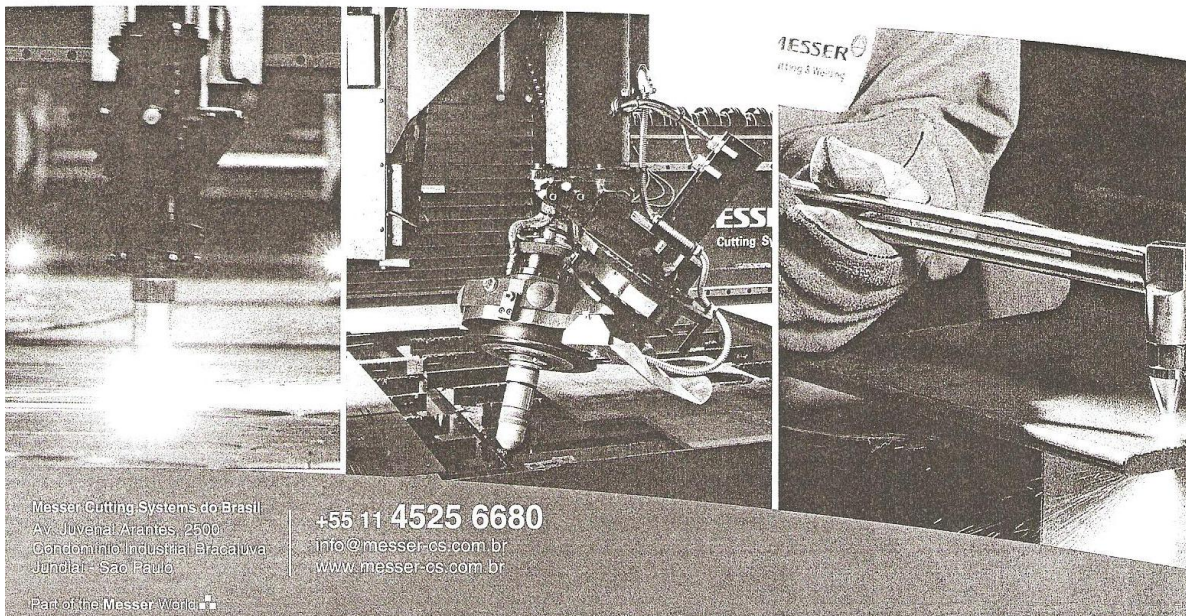
Referências

- 1) AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. *Specification for Line Pipe 5L*. – API, Washington, 25p, 1995.

- 2) AMERICAN WELDING SOCIETY. *Welding Handbook*, vol. 4, 8 ed., Miami, USA, 621 p, 1992.
- 3) DOLBY, R.E. *Guidelines for classification of ferritic steel weld metal microstructural constituents using the light microscope*, *Welding in the World*, v. 24, n. 7/8, p. 144-148, 1986.
- 4) DULEY, W.W. *Laser Welding*, Ed. John Wiley & Sons, USA, 251p, 1999.
- 5) GILLNER, A., HOLTkamp, J., HARTMANN, C., OLOWINSKY, A., GEDICKE, J., KLAGES, K., BOSSE, L., BAYER, A. *Laser applications in microtechnology*. In: *Journal of Materials Processing Technology*, v. 167, p.494-498, 2005.
- 6) ION, J.C. *Laser Processing of Engineering Materials*, Ed. Elsevier, UK, 556p, 2005.
- 7) KIRKWOOD, P.R.; TAIT, W.P. *Developments in welding consumables for the seam welding of high strength X70 line pipe*, Paper 33 IIW, p. 299-306, 1996.
- 8) QUAN, Y.J.; CHEN, Z.H.; GONG, X.S.; YU, Z.H. *Effects of heat input on microstructure and properties of laser welded magnesium alloy AZ31*. In: *Materials Characterization*, v.59, p. 1491-1497, 2008.
- 9) STEEN, W.M. *Laser Material Processing*, Springer, USA, 408 p, 2005.
- 10) WIDGERY, D. *Linepipe welding beyond 2000*, *Svetsaren*, vol. 54, p. 8 – 10, 1999.

MESSER 
Cutting Systems

113 anos de inovação e tecnologia



Messer Cutting Systems do Brasil
Av. Juvenal Avarés, 2500
Condomínio Industrial Bracatuva
Jandiaí - São Paulo

+55 11 4525 6680
info@messer-es.com.br
www.messer-es.com.br

Part of the Messer World 