

USO DE ARGÔNIO NA MICROFURAÇÃO COM LASER PULSADO ND:YAG EM AÇO AISI 316L

Dair Ferreira Salgado Junior, dair.junior@pdl.ifmt.edu.br
Vicente Afonso Ventrella, ventrella@dem.feis.unesp.br

Instituto Federal De Mato Grosso - Campus Primavera Do Leste, Av. Dom Aquino, 1500 - Parque Eldorado, Primavera do Leste - MT, 78850-000
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS - UNESP, Av. Brasil, 56 - Centro, - Ilha Solteira - SP, 15385-000

Resumo: A evolução da furação nos trouxe a furação por laser pulsado, onde temos a recomendação dos fabricantes de uso de atmosfera protetora de argônio, mas esse gás é realmente necessário ou mesmo útil na microfuração de chapas de aço inoxidável? O presente estudo observou como o uso de argônio pode influenciar nas profundidades obtidas, como também diâmetros de entrada. Produziram-se combinações dos parâmetros usadas para obter furos em chapas de aço AISI 316L com 1 mm de espessura com o uso de um laser pulsado Nd:YAG comparando as propriedades em cada combinação, como diâmetros de entrada e de saída, profundidades, conicidade observados em estereomicroscópio e microscópio eletrônico de varredura, como também mudanças na composição com uso ou não de atmosfera protetora. O uso de atmosfera protetora de argônio mostrou-se ineficiente pois para a obtenção de microfuros com mesmas dimensões sem o uso de argônio foi necessária uma potência maior do laser e por não haver mudanças na composição do material nem indícios de oxidação o argônio se torna desnecessário.

Palavras-chave: Microfuro, Laser, Nd:YAG, AISI 316L, Argônio.

1. INTRODUÇÃO

O processo de furação é uma das operações de usinagem mais antigas registradas, embora tal processo tenha evoluído muito no decorrer de milênios ele não consegue superar barreiras físicas inerentes do processo convencional, barreiras como as altíssimas rotações necessárias para alcançar as velocidades de corte em micro furos, dificuldade de furação de ligas endurecidas e superligas, furação em superfícies não planas ou fora da direção normal.

A furação a laser não enxerga tais barreiras para a execução de furos com diâmetros que variam de 5 µm a 1 mm com razões de aspecto de 1:200. Geralmente a operação é realizada com um único pulso ou uma sequência de pulsos curtos, com banda temporal de 0,01 ms a 100 ms, e potências de pico que chegam a 50kW (ARRIZUBIETA et al, 2013).

Furação por laser pulsado progrediu notavelmente ao longo dos anos para tornar-se uma ferramenta essencial para a geração de micro furos em muitos componentes utilizados na indústria (THAWARI, SARIN SUNDAR, SUNDARARAJAN, JOSHI, 2005). O Nd:YAG (granada de ítrio e alumínio dopado com neodímio; $\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) é um cristal que é utilizado como um material gerador de lasers de estado sólido. O dopante, neodímio triplamente ionizado, Nd(III), substitui tipicamente uma pequena fração (1%) dos íons de ítrio na estrutura cristalina hospedeira da granada de ítrio e alumínio (YAG), uma vez que os dois íons são de tamanho semelhante. É o íon de neodímio, que fornece a propriedade de emissão de laser no cristal, da mesma forma como o íon de cromo vermelho em lasers de rubi (KOECHNER, 1988).

Os fabricantes recomendam o uso de atmosferas protetoras quando são usinados materiais metálicos, mas essa recomendação é realmente necessária na microfuração onde processo leva cerca de 2 ms para acontecer?

2. OBJETIVO

A presente pesquisa determinou a necessidade do uso de argônio como atmosfera protetora para a usinagem de microfuros com laser pulsado Nd:YAG em chapas de aço AISI 316L com espessura de 1 mm. O parâmetro estudado foi a existência de atmosfera protetora, com variação na potência de pico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Laser

O laser é frequentemente agrupado com o transistor e o computador como invenções marco de meados do século 20, todas tecnologias que cresceram muito pós segunda guerra mundial (HECHT, 2010).

A palavra "laser" é um acrônimo para amplificação de luz por emissão estimulada por radiação em inglês. Ele foi primeiramente proposto por Schawlow e Townes em 1959 (STEEN, MAZUMDER, 2008).

A maioria dos níveis de energia atômica e molecular envolvidos no laser foi estudada e investigada na década de 30, no entanto, o desenvolvimento de sistemas que usassem o laser não foi imediato (MELO, 2007).

Somente em 1954 o "maser" criado por Charles Townes e colaboradores com a finalidade de amplificar micro-ondas por emissão estimulada de radiação. Em 1958 Townes e Schawlow sugeriram a utilização da emissão estimulada nas regiões do espectro da faixa do infravermelho e do visível retomando o interesse da comunidade científica e vários laboratórios que trabalharam para desenvolver o laser (HECHT, 2010; MELO, 2007; READY, 1997).

O nascimento do laser deve ser datado em 16 maio de 1960, que é a data da entrada no caderno de anotações por T. M. Maiman (1927-2007), considerado o pai do laser. Em setembro de 1961 um laser foi lançado no Instituto Lebedev Physical (FIAN), então na URSS, por Galanin, Leontovich e Chizhikova. Percebe-se então que o laser advém de várias pesquisas paralelas, dificultando assim termos um referencial exato de sua criação, mas podemos dizer que a pedra fundamental foi colocada por Albert Einstein em 1916 com seu estudo de equilíbrio estatístico entre moléculas e a radiação térmica com a densidade de energia espectral espacial determinada pela fórmula de Planck (SHCHERBAKOV, 2011).

Na década de 1960 foram desenvolvidos praticamente todos os tipos de laser, lasers de gás, lasers químicos, excimer lasers, laser de estado sólido, advanced Diode-Pumped Solid-State (DPSS), dye laser (Laser de corante), além de surgirem possíveis aplicações práticas.

A Tabela (1) cita algumas características dos lasers.

Tabela 1. Tipos e características de processos de soldagem a laser (KATAYAMA, 2013)

Tipos de Laser	Características do Laser
Laser de CO ₂	Comprimento de onda: 10,6µm; Raio infravermelho distante; Mídia: CO ₂ -N ₂ -He mistura; Potência média: 50Kw (máximo), 1-15Kw (normal)
Laser Nd: YAG	Comprimento de onda: 1,06µm; Raio infravermelho próximo; Mídia: Nd ³⁺ :Y ₃ Al ₅ O ₁₂ , garnet (sólido); Potência média: 10Kw (máximo), 50W – 7Kw (normal), (eficiência: 1-4%)
Laser Diodo (LD)	Comprimento de onda: 0,8 – 1,1µm; Raio infravermelho próximo; Mídia: InGaAsP, etc. (sólido); Potência média: 10Kw (máximo pilha), 15Kw (máximo fibra), (eficiência: 20-60%)
Laser Diodo, bombeamento de estado sólido	Comprimento de onda: 1µm; Raio infravermelho próximo; Mídia: Nd ³⁺ :Y ₃ Al ₅ O ₁₂ , garnet (sólido); Potência média: 13,5Kw (máximo fibra), 6Kw (máximo placa)
Laser de Disco	Comprimento de onda: 1,03µm; Raio infravermelho próximo Mídia: Yb ³⁺ : YAG ou YVO, sólido, etc.; Potência média: 16Kw (máximo pilha), (eficiência: 15-25%)
Laser de Fibra	Comprimento de onda: 1,07µm; Raio infravermelho próximo Mídia: Yb ³⁺ : SiO ₂ , sólido, etc.; Potência média: 100Kw (máximo fibra), (eficiência: 20-30%)

Nesse período foi observada a capacidade de o laser fundir e vaporizar pequenas porções de metal, trazendo o interesse em investigações da aplicação do laser em solda, corte e furação. As aplicações do laser eram claras, porém os equipamentos eram frágeis, não confiáveis e de baixa durabilidade, somente demonstradas em laboratório. Na década de 1970, houve uma corrida para melhorarem os lasers para aplicações na indústria. Somente na década de 1990 que ocorreram desenvolvimentos significativos, atualmente os equipamentos a laser são utilizados em corte, solda, furação, marcação e em outros tipos de aplicações (MELO, 2007).

3.1.1. Componentes básicos do laser

Um laser deve ter os seguintes três componentes básicos:

- Meio ativo, o qual serve como um meio para amplificar a luz;
- Fonte de bombeamento, que é um meio para excitar o meio ativo para o estado de amplificação e;
- Ressonador óptico, que é um meio para fornecer realimentação óptica.

O meio ativo pode ser qualquer material que seja sólido, líquido, gasoso ou de plasma (HÄNSCH, PERNIER, SCHAWLOW, 1971). Os meios de laser comuns incluem rubi, Nd:YAG e Nd:vidro (sólidos); corantes orgânicos, tais como rodamina 60, cumarina 2 e cumarina 30, dissolvidos em solventes tais como o álcool ou água (líquidos); e He-Ne, CO₂, argônio e nitrogênio (gases). Qualquer fonte de energia pode ser utilizada como uma fonte de bombeamento. As fontes de bombeamento comuns incluem lâmpadas flash (luz incoerente), lasers (luz coerente), elétrons (DC, RF ou de descarga de gás pulsada, feixe de elétrons), reações químicas, feixes de íons e fontes de raios-X (STEEN, MAZUMDER, 2008).

3.1.2 Laser ND:YAG

O Y₃Al₅O₁₂ puro é um cristal opticamente isotrópico incolor com a estrutura cúbica de granada. Se cerca de 1% dos átomos de ítrio é substituído por neodímio a rede irá então conter íons de Nd³⁺, mudando sua coloração. Estes íons podem sofrer transições, os íons Nd³⁺ absorvem em bandas específicas de absorção, e a decadência a um estado metaestável a partir do qual a ação lasering pode ocorrer para um estado terminal. Este estado terminal requer refrigeração para chegar ao estado fundamental. O resfriamento é geralmente atingido com água deionizada que flui em torno da haste YAG e a lâmpada flash. A haste e as lâmpadas flash estão situados em diferentes focos de uma cavidade elíptica reflexiva, que é banhada a ouro ou feita de alumina. A eficiência quântica é de 30-50%. Usando lâmpada de criptônio a eficiência operacional cai para cerca de 2% (STEEN, MAZUMDER, 2008).

O cristal de Nd:YAG é considerado, no caso dos lasers de meio ativo sólido, o mais comum em aplicações industriais. Fornece uma radiação com comprimento de onda de 1,06 micrometros, a Tabela 2 mostra outras propriedades do Nd:YAG, sendo transmitida facilmente por fibras óticas flexíveis de quartzo e o meio ativo pode ser excitado tanto por luz de xenônio como de criptônio. Em comparação ao laser gasoso (CO₂), o sistema é consideravelmente simples e o comprimento de onda da radiação é mais facilmente absorvido pelos metais, fazendo com que tenha uma melhor eficiência, variando na faixa de 1 a 4%.

O esquema de construção do laser Nd:YAG geralmente é formado por um par de espelhos em ambas as extremidades paralelos entre si que proporcionam a realimentação de luz. Os espelhos são revestimentos óticos que determinam as propriedades reflexivas, tipicamente um é totalmente refletivo e outro parcialmente. O último é chamado de acoplador de saída, pois permite que uma parte da luz saia da cavidade para produzir o feixe de laser. A luz proveniente do meio, produzida pela emissão estimulada, é refletida pelos espelhos e volta para o meio onde é amplificada (KOECHNER, 1992).

O cristal é geralmente em forma de vareta e tem (dependendo da potência), um diâmetro de 10mm e um comprimento de 150mm. O Nd³⁺ é responsável pela emissão de luz com um comprimento de onda em torno de 1.06µm. Por haste podem ser gerados cerca de 500 W de potência, para obtenção de potências elevadas são necessárias várias outras hastes dispostas em série.

3.2. Aços inoxidáveis

Adições de cromo aumentam a resistência à oxidação e à corrosão do aço, com teores acima de 12% são comumente chamados de aços inoxidáveis. São aços de grande interesse para a engenharia graças a resistência a corrosão, propriedades mecânicas a altas temperaturas. A resistência a corrosão de ligas a base de Fe + Cr deve-se ao fenômeno da passivação, que é a formação de óxidos mistos como de ferro, de cromo e outros (SILVA, MEI, 2006).

As composições mais comuns dos aços inoxidáveis foram desenvolvidas acidentalmente no início do século XX, destas composições foram estudados os efeitos dos elementos de liga como carbono, níquel, molibdênio entre outros. Os aços inoxidáveis são separados em cinco grupos para fins de classificação e estudo

de propriedades, estes grupos são martensíticos, ferríticos, ferrítico-austeníticos (duplex), endurecidos por precipitação (PH), austeníticos (SILVA, MEI, 2006).

3.2.1 Aço AISI 316L

O aço grau AISI 316L é um aço inoxidável austenítico com composição dada pela Tab. (2).

Tabela 2. Composição aço grau AISI 316L (CHIAVERINI, 1998)

C	Mn max.	P max.	S max.	Si max.	Cr	Ni	Mo
0,03 max	2,0	0,045	0,03	1,00	16,0/18,5	11,0/14,0	2,5/3,0

Nos últimos cinquenta anos, aços inoxidáveis têm sido amplamente utilizados em vários campos, variando de indústrias nucleares ou aeroespaciais à química ou de processamento de alimentos e bebidas, em particular o 316L por sua elevada ductilidade e a resistência a cargas termomecânicas complexas. Nas últimas décadas, aço inoxidável tipo 316L ganhou uma posição privilegiada entre os materiais empregados em dispositivos biomédicos, por exemplo, stents, filtros de veia cava, fios-guia para cateteres e marca-passo (AURICCHIO, CONSTANTINESCU, SCALET, 2014).

3.3. Microfuração a laser

Há muitas vantagens da utilização de laser para perfuração, e os mais importantes são: os furos podem ser localizados com precisão, uma grande proporção de aspecto e diâmetros de orifícios muito pequenos podem ser alcançados, uma variedade de materiais pode ser perfurada, a perfuração é muito rápida, os furos podem ser perfurados em ângulos de entrada difíceis, o processo pode ser automatizado, o custo de funcionamento é baixo e sem o desgaste da ferramenta e a ruptura, tornando-se uma alternativa barata para a perfuração, WEDM, brochamento ou outros métodos destrutivos de perfuração populares. Há algumas limitações, tais como: alto custo do equipamento, alguns defeitos, um furo cego de profundidade precisa é difícil de produzir, a espessura é restrita, o material aderente deve ser removido, a qualidade do furo é determinada por características geométricas: o diâmetro do furo, conicidade, relação de aspecto, e circularidade; e características metalúrgicas: ZTA (zona termicamente afetada), camada ressolidificada, respingos e as microfissuras (BHARATISH, et al, 2013; PETRONIĆ et al, 2010).

Diversos estudos foram feitos sobre microfuração e micro usinagem com laser pulsado Nd:YAG mas nenhum estudando especificamente o aço grau AISI 316L e a necessidade do uso de argônio como atmosfera protetora.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado um laser pulsado Nd:YAG com uma potência máxima de 7 kW guiado por fibra óptica, com uma câmera instalada junto ao cabeçote para posicionamento adequado do laser e um bico de gás para a expulsão do material. O cabeçote possui deslocamento vertical e ajustes de angulação manuais.



Figura 1. Sistema laser Nd:YAG pulsado, modelo UW-150A United Winners, montado no Laboratório de Soldagem

Fez-se uso de um estereoscópio integrado a um sistema de captura de imagem e aquisição de dimensões para obtenção dos diâmetros de entrada e saída, e área dos furos.

Os corpos de prova foram apoiados em uma mesa que possui um fuso para deslocamento horizontal da mesma. O metal utilizado no estudo foi o aço inoxidável AISI 316L na forma de chapas com 1mm de espessura. Foram confeccionados corpos de prova na dimensão 22 mm por 100 mm. Nos corpos de prova traçamos linhas auxiliares para posicionamento do laser pois este não possuía controle de deslocamento por controle numérico. As linhas auxiliares foram espaçadas 2 mm na direção de laminação e 5 mm na direção transversal à laminação.

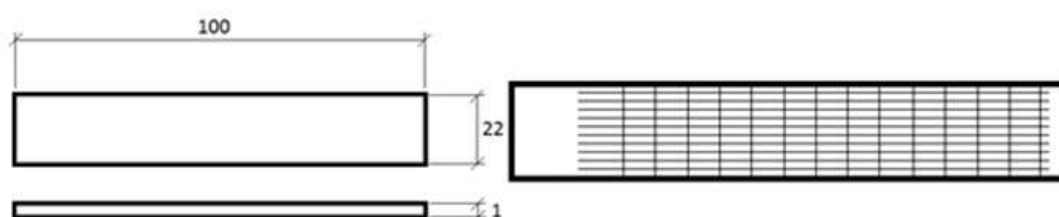


Figura 2. Dimensões e referências do corpo de prova

Como a potência de pico e a largura temporal foram ajustadas como no Quadro (1).

Quadro 1. Ajustes selecionados para potência de pico e largura temporal

Potência de Pico (kW)	1	2	3	4	5	6	7	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
Largura Temporal (ms)	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Energia do Processo (J)	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14

Para cada combinação fizeram-se 10 disparos com e sem atmosfera protetora com argônio a uma vazão de 22 l/min. Após a execução dos disparos os corpos de prova foram levados ao estereoscópio e foram medidos seus diâmetros de entrada e de saída quando existiam medidos na direção de laminação e na transversal a mesma e medição da área como visto na Fig. (3).

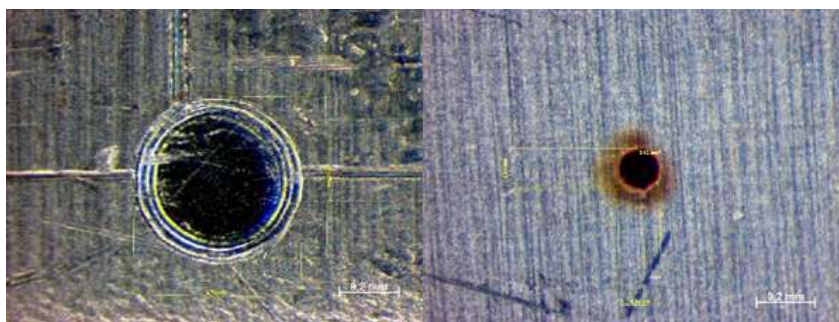


Figura 3. Medição do diâmetro e área de entrada do disparo

Em seguida as medições os corpos de prova tiveram seus lados de disparos lixados para identificar quais disparos obtiveram alguma profundidade e quais apenas fundiram a superfície.

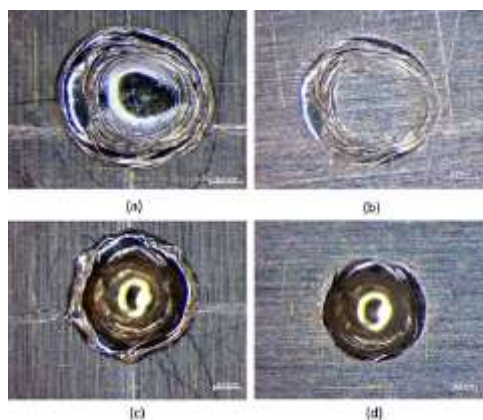


Figura 4. Comparação antes e após lixamento, (a) e (b) 3 kW 1 ms com atmosfera protetora não obteve profundidade, (c) e (d) 7 kW 1 ms com atmosfera protetora

A etapa seguinte é a medição dos novos diâmetros e áreas de entrada para termos as dimensões sem influência do metal expulso. Para podermos analisar o perfil dos furos que efetivamente apresentaram profundidade os corpos de prova foram cortados na direção da espessura por um processo de eletroerosão a fio. Para não perdermos a parte central dos furos alinhou-se a fileira de furos com o fio da máquina e deslocou-se 0,25 mm. Mediu-se a distância entre alinha de corte e o quadrante superior do furo para determinar o quanto cada peça deveria ser lixada após o embutimento para atingirmos o centro do furo, Fig. (5).

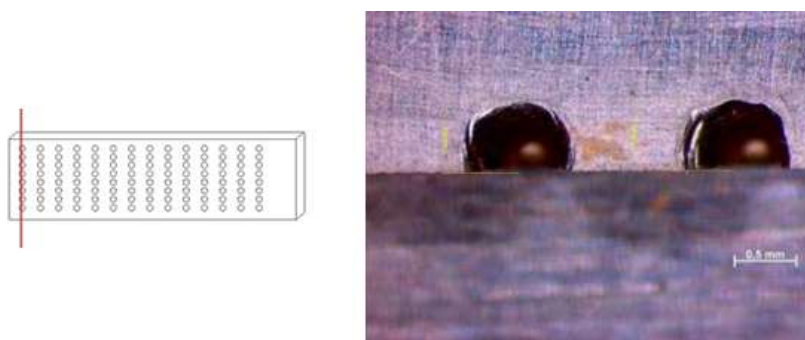


Figura 5. Corte dos corpos de prova por eletroerosão a fio

Os corpos de prova foram embutidos em baquelite e lixados manualmente, tendo suas dimensões acompanhadas com o uso de um paquímetro para atingir a dimensão requerida. Com isso pode-se comparar os formatos e profundidades para cada condição, Fig. (6).

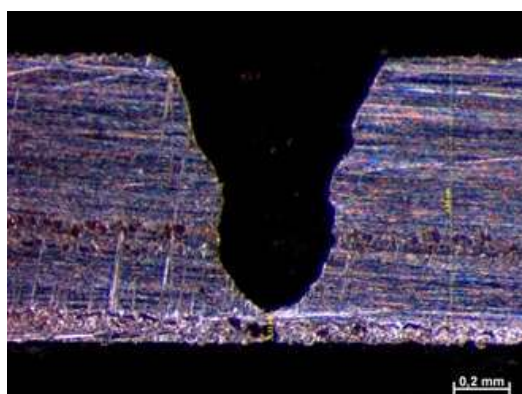


Figura 6. Medida de profundidade do furo

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura (7) compara os diâmetros médios de entrada antes do lixamento para as diferentes condições para largura temporal de 2 milissegundos. Nota-se que apenas na condição de potência de pico de 6 kW obteve-se um diâmetro maior sem atmosfera protetora.

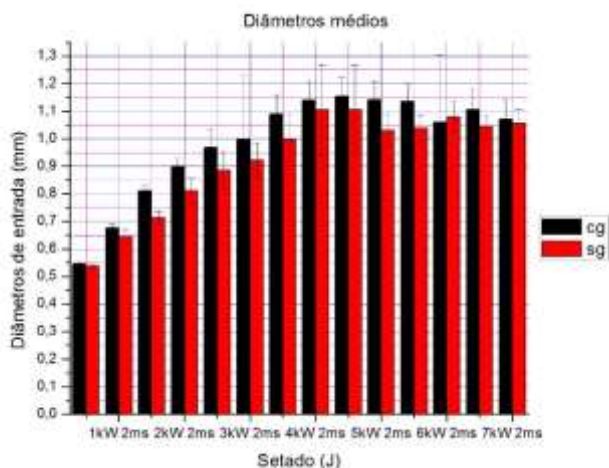


Figura 7. Comparação de condições para 2ms

Na Figura 8 quando verificamos as saídas dos furos vemos que apenas seis condições alcançaram 1mm de profundidade e que o diâmetro de saída aumenta com a quantidade da energia do processo, exatamente o contrário do que foi mostrado por RAJESH et al, 2015, onde o diâmetro de saída diminuiu com o aumento da energia, e que processos sem atmosfera protetora apresentam diâmetros de saída maiores.

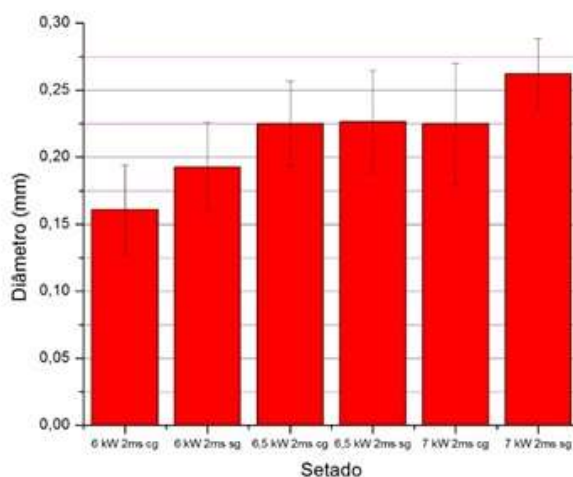


Figura 8. Diâmetros de saída

Com o aumento da energia de processo a saída do furo vai perdendo seu formato circular e começa a ter expulsão de material fundido na saída, apresentado na Fig. (9). A Figura (9) mostra que a expulsão de metal é

maior em processos sem atmosfera protetora, o que pode ser inconveniente quando a superfície de saída não pode ser retrabalhada como em bicos aspersores.

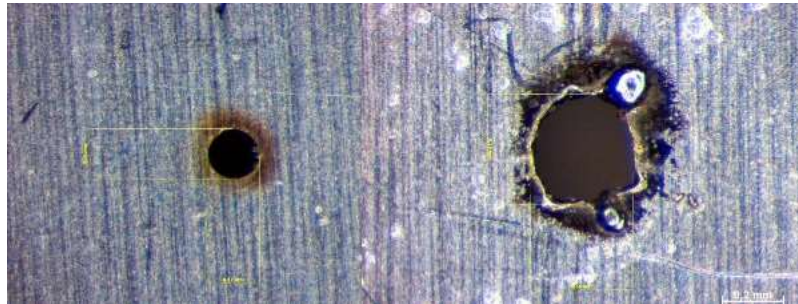


Figura 9. Saída 6kW 2ms cg e saída 7kW 2ms sg

Com o uso do MEV (microscópio eletrônico de varredura) podemos observar melhor os efeitos da variação de largura temporal e uso ou não de atmosfera protetora a Figura 29 que a marca deixada pelo pulso com atmosfera protetora apresenta relevo mais suave do que o pulso sem atmosfera protetora apresentada na Figura 30 que apresenta no centro o que aparenta ser o início da expulsão de fundido.

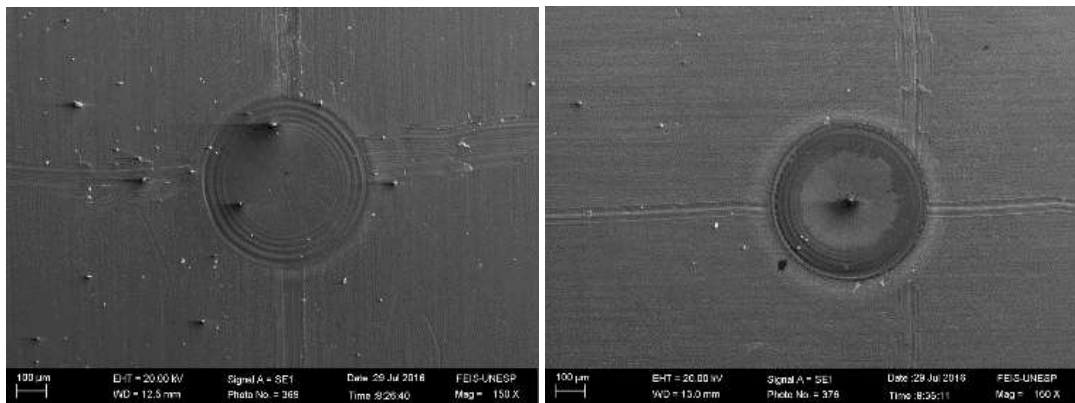


Figura 10. Superfície após pulso de 1kW 1ms cg e de 1kW 1ms sg

Esse menor efeito quando empregada em atmosfera protetora provavelmente ocorre porque o argônio também é um meio ativo para produção de laser possuindo bandas de absorção de radiação e por não haver realimentação do sistema ele não produz a ampliação somente a absorção reduzindo assim a potência do laser.

Realizando uma análise química pelo método EDS (energy dispersive x-ray detector) no metal base e na região ressolidificada observou-se que não houve variação dos elementos além das variações inerentes da liga em pontos distintos. A Figura (11) mostra os resultados da espectrografia de forma gráfica. Todas as condições testadas neste estudo apresentaram resultados semelhantes.

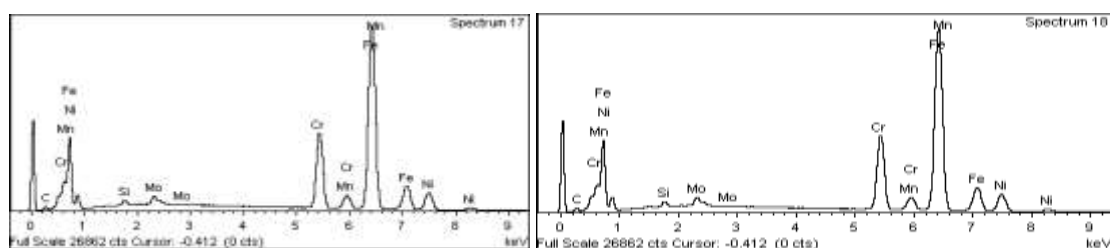


Figura 11. Espectrografia do metal base e do metal ressolidificado

6. CONCLUSÃO

O uso de argônio nos obriga a usar maiores potências de pico para conseguir o mesmo resultado pois ele absorve parte da energia do laser.

Potências de pico excessivas deformam as saídas dos furos diminuindo a conicidade, mas há uma deformação da saída perdendo sua circularidade.

A partir de uma energia de processo de 7J o diâmetro de entrada se estabiliza em aproximadamente 0,95 mm.

A análise EDS não apresentou indícios de oxidação, então para microfuração em aço AISI 316L não é necessário uso de atmosfera protetora de argônio.

7. REFERÊNCIAS

- ARRIZUBIETA, I. et al., 2013, Internal characterization and hole formation mechanism, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Birmingham, v. 75, n. 1, p. 55-62.
- AURICCHIO, F. CONSTANTINESCU, A. SCALET, G., 2014, Fatigue of 316L stainless steel notched μ m-size components, *International Journal of Fatigue*, Plymouth, v. 68, n. 1, p. 231-247.
- BHARATISH, A. et al., 2013, Characterization of hole circularity and heat affected zone in pulsed CO₂ laser drilling of alumina ceramics. *Optics & Laser Technology*, Benevento, v. 53, n. 1, p. 22-32.
- CHIAVERINI, V., 1998 Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos, 7. ed. ampliada e revisada, São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. 599 p.
- HÄNSCH, T. A.; PERNIER, M.; SCHAWLOW, A. L., 1971, Laser action of dyes in gelatin, *IEEE Journal of Quantum Electron*, Provo, QE-7, n. 1, p. 47.
- HECHT, J. Short history of laser development, *Optical engineering*, Ohio, v. 49, n. 9, p. 1-23, 2010.
- KATAYAMA, S., 2013, Handbook of laser welding technologies. [S. l.]: Woodhead Publishing Limited.
- KOECHNER, W., 1988, Solid-state laser engineering, Berlim, Springer-Verlag, 606 p.
- KOECHNER, W., 1992, Solid-State Laser Engineering. 3. ed. Berlim: Springer-Verlag, p. ISBN 0-387-53756-2.
- MELO, A. L. V., 2007, Análise das propriedades de chapas de ti astm grau 5 (Ti6Al4V) soldadas por laser Nd:YAG. 119 f., Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- PETRONIĆ, S. et al., 2010, Analysis of geometrical characteristics of pulsed nd:yag laser drilled holes in superalloy nimonic 263 sheets. *Technical Gazette*, Slavonski Brod, v. 17, n. 1, p. 61-66.
- RAJESH, P. et al., 2015, Experimental and parametric studies of Nd:YAG laser drilling on austenitic stainless steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Nottingham, v. 169, n. 1, p. 38-44.
- SHCHERBAKOV, I., 2011, Development history of the laser. *Physics Uspekhi*, Moscou, v. 54, n. 1, p. 65 -71.
- SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R., 2006, Aços e ligas especiais, 2. ed. São Paulo: Blucher, 646 p.
- STEEN, W. M.; MAZUMDER, J., 2010, Laser Material Processing, 4. Ed. London: Springer, ISBN 978-1-84996-062-5
- THAWARI, G. ; SARIN SUNDAR, J. K. ; SUNDARARAJAN, G. ; JOSHI, S. V., 2005, Influence of process parameters during pulsed Nd:YAG laser cutting of nickel-base superalloys. *Journal of Materials Processing Technology*, Dortmund, v. 170, n. 1-2, p. 229-239.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

USE OF ARGON IN MICRODRILLING WITH ND:YAG PULSED LASER IN AISI 316L STEEL

Dair Ferreira Salgado Junior, dair.junior@pdl.ifmt.edu.br
Vicente Afonso Ventrella, ventrella@dem.feis.unesp.br

Federal Institute of Mato Grosso - Campus Primavera Do Leste, Av. Dom Aquino, 1500 - Park Eldorado,
Primavera do Leste - MT, 78850-000, Brazil
Ilha Solteira Engineering College - FEIS - UNESP, Av. Brasil, 56 - Centro, - Ilha Solteira - SP, 15385-000

ABSTRACT: The evolution of drilling has brought us the pulsed laser drilling, where we have the manufacturers' recommendation to use protective atmosphere of argon, but is this gas really necessary or even useful in microdrilling of stainless steel sheets? The present study observed how the use of argon can influence the depths obtained as well as the input diameters. Combinations of the parameters used to obtain holes in 1 mm thick AISI 316L steel plates were produced using a Nd:YAG pulsed laser comparing the properties in each combination, such as input and output diameters, depths, observed taper in stereomicroscope and scanning electron microscope, as well as changes in composition with or without protective atmosphere. The use of protective atmosphere of argon was inefficient because to obtain micro-holes with the same dimensions without the use of argon was necessary a greater power of the laser and because there are no changes in the composition of the material nor signs of oxidation the argon becomes unnecessary.

Keywords: Micro-hole, Laser, Nd:YAG, AISI 316L, Argon.