

CARACTERIZAÇÃO DO METAL DE SOLDA DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 316L COM LASER PULSADO Nd:YAG

G.G. Andrade, M.S. Sato, P.E.R. Nascimento, J.Gallego, V.A.Ventrella
UNESP Departamento de Engenharia Mecânica, ventrella@dem.feis.unesp.br,
Av. Brasil Centro 56, CEP 15385-000, Ilha Solteira – SP, Brasil.

RESUMO

O laser é uma ferramenta flexível e poderosa com muitas aplicações relevantes na indústria, principalmente na área de soldagem. Os lasers de hoje fornecem à indústria de soldagem soluções técnicas a muitos problemas. O presente trabalho estudou o metal de solda obtido por soldagem laser pulsado de Nd:YAG do aço inoxidável Austenítico AISI 316L empregado nas indústrias que requerem resistência à corrosão e mecânica, analisando a influência da alta taxa de resfriamento, decorrente do processo laser, na formação da estrutura resultante. Foram realizados cordões de solda em juntas de topo com diferentes taxas de repetição. As diferentes condições obtidas foram correlacionadas com propriedades mecânicas através de ensaios de tração e dureza. Os resultados mostraram que o aumento da sobreposição na junta soldada, influencia diretamente na resistência mecânica e também a dureza do material.

Palavras-chave: Soldagem laser, Nd:YAG, aço austenítico, AISI 316L.

INTRODUÇÃO

O uso do laser na indústria moderna vem crescendo rapidamente, pois o laser é uma ferramenta poderosa em muitas áreas, como a da soldagem. As propriedades da coerência espacial e a alta radiança da luz laser são as bases de suas vantagens sobre métodos tradicionais de processamento de materiais ⁽¹⁾. A coerência espacial permite a focalização da luz em um ponto muito pequeno, fornecendo uma

densidade de radiação localizada e extremamente alta. Através 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 tantas aplicações distintas. Comparando o laser com tecnologias clássicas, o mesmo ainda vem sendo utilizado em lotes de peças pequeno, embora tem se observado um aumento na demanda por produtos de diferentes materiais e geometrias (2, 3, 4).

Quando há necessidade de se trabalhar com ambientes corrosivos e realizar manutenções com uma frequência menor, indústrias como a petroquímica e de papel e celulose têm fabricado seus componentes de trabalho com aço inoxidável. Aços são considerados inoxidáveis quando o teor de cromo dentre os elementos de liga está acima de 10%, que é o montante necessário para criação de uma camada passiva protetora. Resistência à corrosão e ótima soldabilidade são algumas características dos aços inox. Dentro dessa família de aços os mais utilizados são os Aços Inoxidáveis Austeníticos, que possuem tal característica devido a um teor de níquel maior que 7%; e sua faixa de aplicações inclui utensílios domésticos, *containers*, tubulação industrial, vasos de pressão, tanques, instrumentos cirúrgicos e hospitalares (5,6,7).

No presente trabalho foi realizada uma análise sobre o uso do laser de Nd:YAG, no modo pulsado, em soldagem de chapas de aço inoxidável austenítico AISI 316L, com 1,0 mm de espessura. Foi estudado o efeito da energia de soldagem nas características do cordão de solda.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho de pesquisa foi realizado utilizando um sistema laser de Nd:YAG na condição pulsado, cujo arranjo experimental é mostrado na Fig. 1.

O metal base utilizado neste estudo foi o aço inoxidável Austenítico AISI 316L, na forma de chapas com 1,0 mm de espessura. As amostras foram cortadas na dimensão 50 mm x 120 mm. A composição química do metal base é mostrada na Tab. 1. Os resultados experimentais foram analisados com base na relação entre taxa de repetição do pulso, geometria do cordão de solda, ensaio de tração, fractografia e presença de descontinuidades. As amostras foram preparadas e limpas para garantir a mesma condição superficial das chapas e um acabamento

homogêneo, utilizando-se para análise da geometria do cordão um ataque químico eletrolítico (Ácido Oxálico 10%, 6V e 30s).

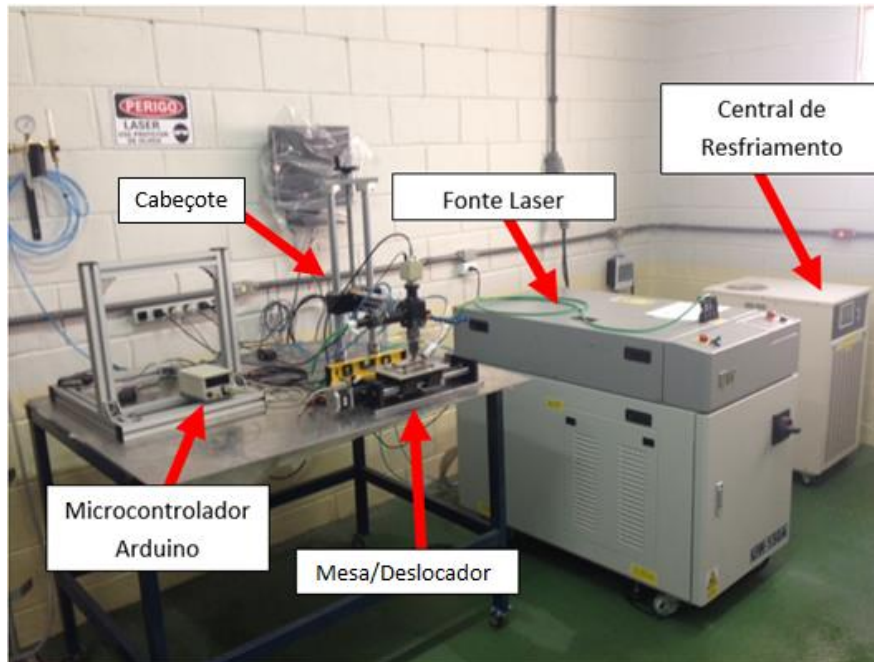


Figura 1. Sistema laser pulsado de Nd:YAG, modelo UW 150A.

Tabela 1. Composição química analisada (% em peso) do aço inoxidável AISI 316L.

Elementos	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	Mo
AISI 316 L	0,030	17,28	13,00	0,80	0,75	0,045	0,003	2,3

Para avaliar a influência do aporte térmico, as chapas foram posicionadas em junta de topo, sem abertura de raiz. Elas foram soldadas com feixe de diâmetro de 0,2 mm e ângulo de 90°. A energia do pulso (E_p) foi mantida fixa em 8J, potência de pico de 1 kW, largura temporal (t_p) de 8 ms, velocidade de soldagem (v) 1 mm/s e frequência variável, no qual tais parâmetros foram escolhidos através de testes previamente feitos. Dessa maneira, obtiveram-se amostras com taxa de sobreposição de 50, 60, 70, 80, e 90 %. Os parâmetros de soldagem laser utilizados no presente trabalho estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem laser Nd:YAG pulsada.

Amostra	Potência de Pico [kW]	Largura temporal [ms]	Energia do Pulso [J]	Velocidade Soldagem [mm/s]	Taxa de sobreposição [%]	Frequência [Hz]	Aporte Térmico [kJ/mm]
L50	1	8	8	1,0	50	2	0,16
L60	1	8	8	1,0	60	2,5	0,20
L70	1	8	8	1,0	70	3,3	0,26
L80	1	8	8	1,0	80	5	0,40
L90	1	8	8	1,0	90	10	0,80

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra uma vista superior do cordão de solda onde observa-se a sobreposição dos pulsos do cordão de solda em 90%.



Figura 2. Vista superior do cordão de solda obtido por laser pulsado de Nd:YAG. Fonte:

Através dos parâmetros fixados na Tabela 2, foi feito ensaio de tração em todos os corpos de prova, em que a média dos Limites de Escoamento e Limites de

Ruptura obtidos para as condições propostas, podem ser vistas em comparação com valores de uma condição sem nenhum tipo de modificação, na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados do ensaio de tração.

	Sem Solda	L50	L60	L70	L80	L90
Limite de Escoamento (MPa)	419,21	349,44	347,385	438,265	434,16	434,45
Limite de Ruptura (MPa)	698,68	582,4	578,975	730,44	723,595	724,085

Os limites de escoamento e de ruptura das condições L50 e L60 apresentaram um valor menor em relação aos valores da condição “Sem Solda”, o que poderia inferir que provavelmente quando realizado o ensaio, os corpos de prova para 50 e 60% de sobreposição sofreriam fratura na zona fundida, enquanto as demais condições romperiam no metal base. Porém, não aconteceu exatamente desta forma; todos os corpos de prova utilizados no ensaio de tração romperam na zona fundida, como mostra a Figura 3. A questão é: como ocorreram as fraturas exatamente no cordão de solda sendo que os resultados de resistência mecânica indicam outra situação?

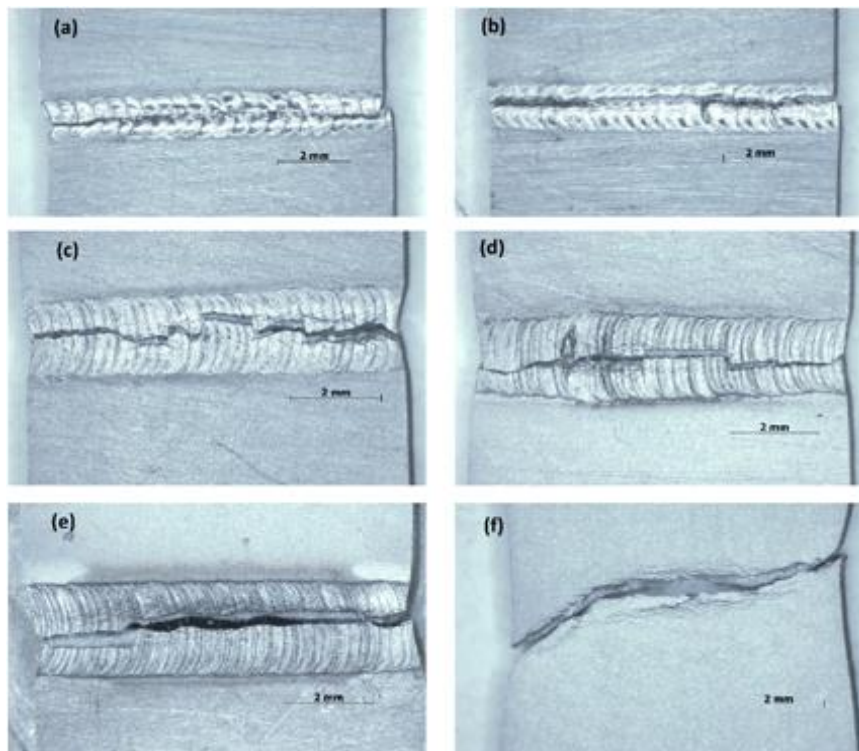


Figura 3. Cordões rompidos. (a) L50; (b) L60; (c) L70; (d) L80; (e) L90; (f) Sem solda.

Observando-se a Figura 3 é possível identificar que as fraturas das condições L50 e L60 são diferentes das outras condições, obtendo-se uma trinca praticamente sem desvios, como se fossem trincas transgranulares. Já as condições L70, L80 e L90 apresentam trincas irregulares, como se fossem trincas intragranulares. Para entender exatamente o que houve, foram realizadas fractografias no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), como mostra a Figura 4.

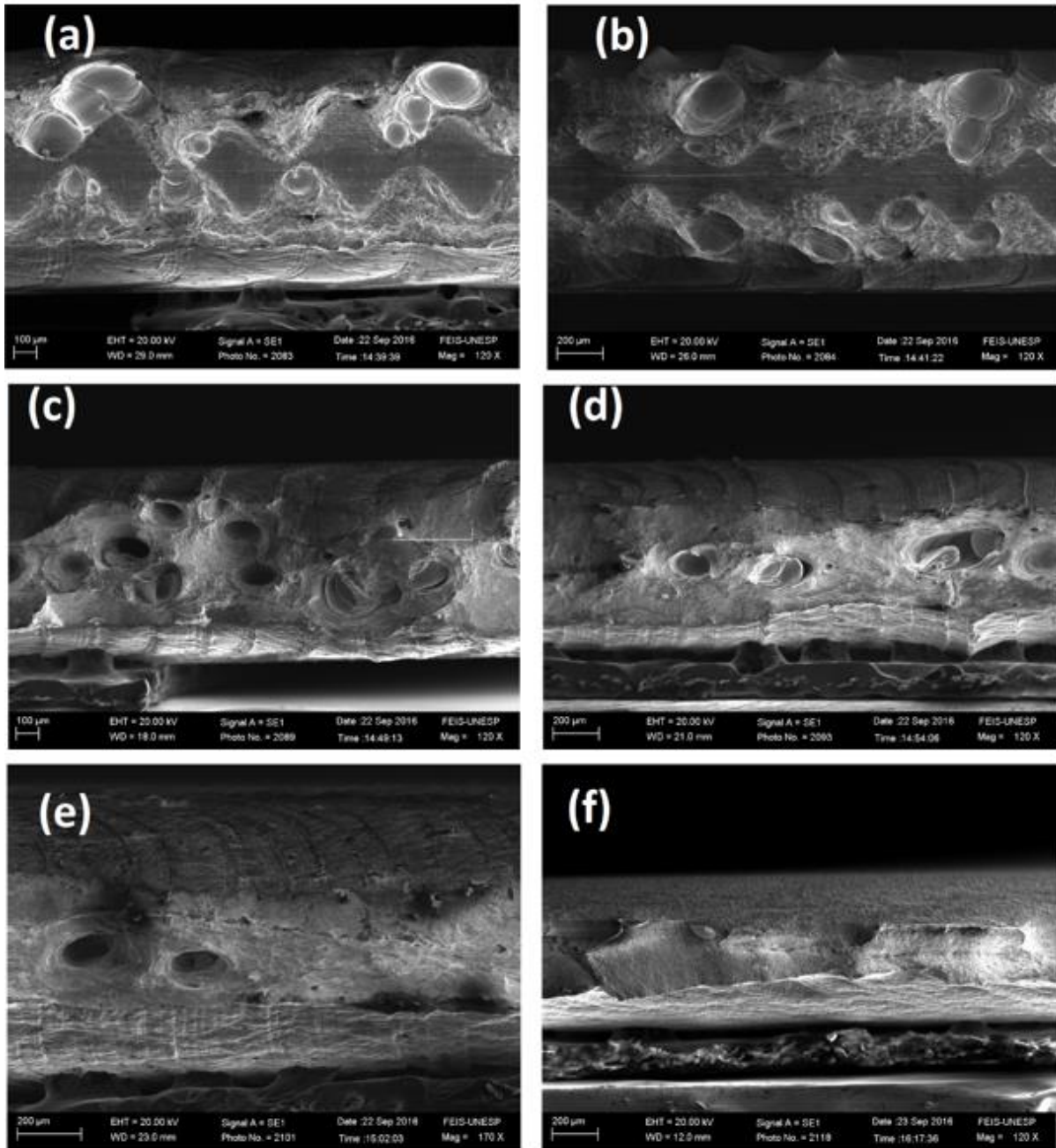


Figura 4. Fractografias com aumento de 120x. (a) L50; (b) L60; (c) L70; (d) L80; (e) L90; (f) Sem Solda.

Através da Figura 4 (a) e (b) percebe-se que para as condições L50 e L60 não obtiveram penetração total dos cordões de solda, o que obviamente diminuiria a resistência mecânica do corpo de prova, porém para as condições restantes a fractografia mostra que houve penetração total mas com uma série de microcavidades, circuladas em vermelho na Figura 5.

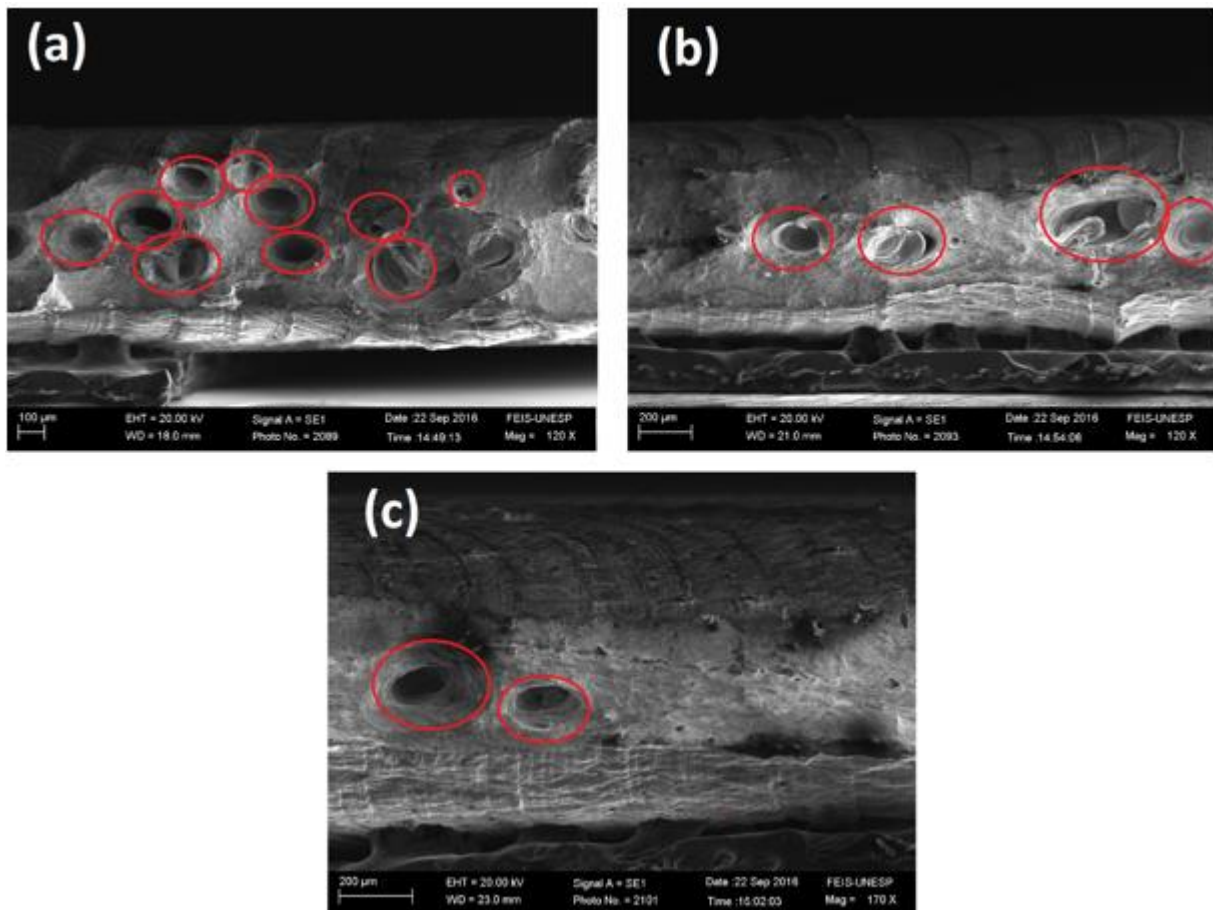


Figura 5. Microcavidades em destaque, com aumento de 120x. (a) L70; (b) L80; (c) L90.

Elas indicam algum tipo de impureza que, ao realizar a soldagem provoca o aparecimento de microbolhas no interior da solda, sendo que um maior número desse tipo de defeito apareceu na condição de menor sobreposição porém nas de maior sobreposição este número desce. Dentro dessas microbolhas ocorre a formação de pequenas zonas fundidas, conforme mostra a Figura 6, o que faz com que mesmo não existindo a falta de fusão nas condições L70, L80 e L90, os corpos de prova rompem-se exatamente no cordão de solda seguindo um caminho que

parece intragranular quando na verdade segue apenas a direção dos lugares de menor resistência, que no caso são caracterizados por essas microbolhas.

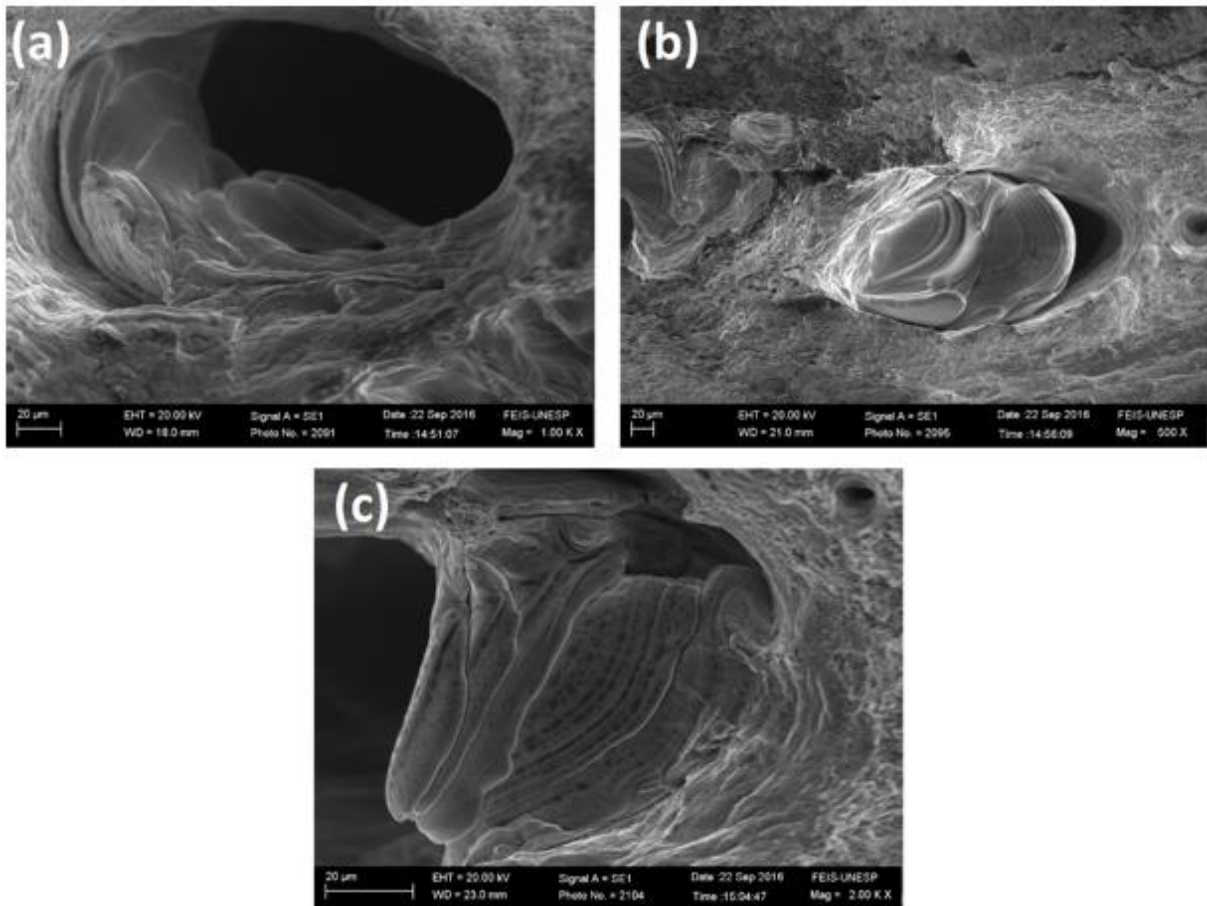


Figura 6. Microbolhas em destaque com aumento de 1000x, 500x e 2000x respectivamente. (a) L70; (b) L80; (c) L90.

Já o resultado do ensaio de microdureza Vickers pode ser visto na Tabela 4, em que compreende as zonas de Metal Base (MB), Zona Térmicamente Afetada (ZTA) e Zona Fundida (ZF). No entanto, o processo de soldagem à laser faz com que uma zona de transição entre o MB e a ZF seja muito pequena ou praticamente inexistente, fazendo com que as medidas feitas para a ZTA fossem realizadas em cima da fronteira entre MB e ZF.

Tabela 4. Medidas de Dureza.

	L50	L60	L70	L80	L90
MB (HV)	249	237	236	246	246
ZTA (HV)	249	244	244	249	247
ZF (HV)	212	195	206	247	241

A Figura 7 mostra graficamente a dureza medida ao longo do corpo de prova para todas as condições.

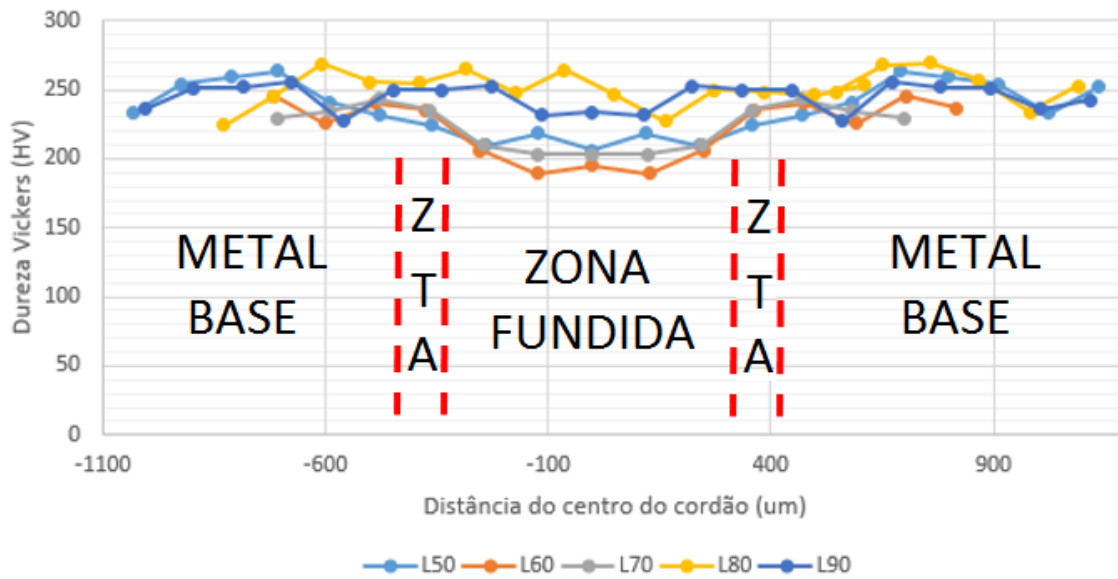


Figura 7. Medidas de microdureza ao longo do corpo de prova.

Através da Figura 7, é possível entender que as condições de maior sobreposição possuem uma dureza maior na região da zona fundida, em relação à outras condições. Isto se deve ao número de refusões que ocorrem, em menor número nas condições de menor sobreposição e em maior número nas condições de maior sobreposição como mostra a Figura 8.

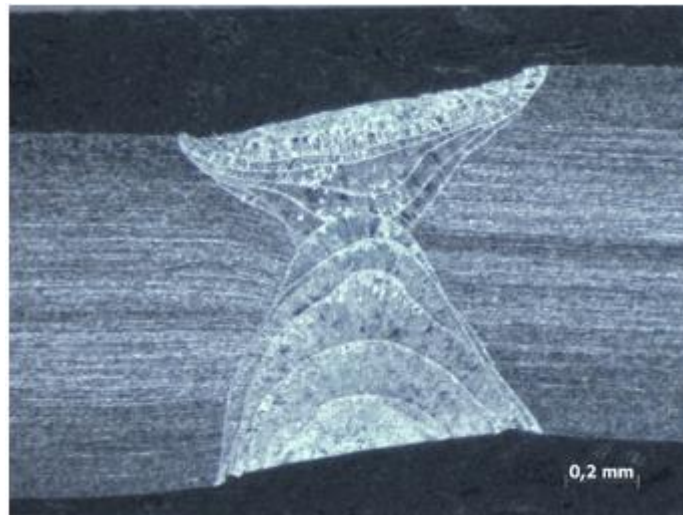


Figura 8. Macrografia L90 - Refusões. Fonte: Próprio autor.

Ao comparar a dureza e o limite de escoamento obtido em cada condição, de acordo com o seu aporte térmico, é possível visualizar que os corpos de prova de menor sobreposição apresentam menor dureza e menor limite de escoamento, conforme é mostrado na Figura 9.

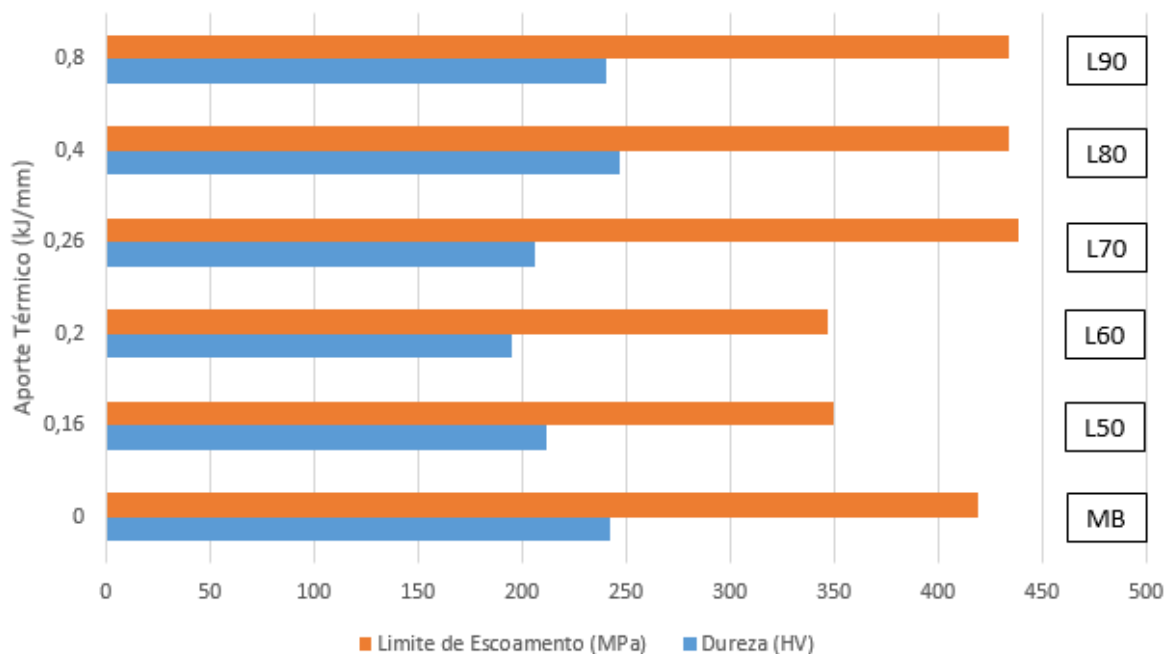


Figura 9. Comparação entre dureza e limite de escoamento em relação ao aporte térmico. Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

- Diminuir a sobreposição provoca falta de fusão, que diminui a resistência mecânica do componente;
- Mesmo com sobreposições maiores, impurezas no material podem fazer com que a resistência mecânica do componente seja boa porém frature na zona fundida;
- Quanto maior a sobreposição, maior a área de refusão na zona fundida, aumentando assim a sua dureza;
- Quanto maior a sobreposição, maior a homogeneidade da junta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro da FAPESP e da CAPES.

REFERÊNCIAS

1. GILNER, A., HOLTKAMP, J., HARTMANN, C., OLOWINSKY, A., GEDICKE, J., KLAGES, K., BOSSE, L., BAYER, A., 2005, Laser applications in microtechnology, Journal of Materials Processing Technology 167, pp.494-498.
2. ION, J.C., 2005, "Laser Processing Materials", Ed. Elsevier, UK, 556p.
3. STEEN, W.M., 2005, "Laser Material Processing", Springer, USA, 408 p.
4. DULEY, W.W., 1999, "Laser Welding", Ed. John Wiley&Sons, USA, 251p.
5. ANAWA, E. M.; BOGRARAH, M. F.; SALEM, S. B.. Investigation of the Weldability of Austenitic Stainless Steel. Msa, [s.l.], v. 05, n. 08, p.639-648, 2014. Scientific Research Publishing, Inc,. DOI: 10.4236/msa.2014.58066. Disponível em: <<http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/msa.2014.58066>>. Acesso em: 27 fev. 2016.
6. SILVA, André Luiz da Costa e; MEI, Paulo Roberto. Aços e ligas especiais. 2. ed. Sumaré: Eletrometal S.a. Metais Especiais, 1988. 512 p.
7. ZAMBON, A.; BONOLLO, F. Rapid solidification in laser welding of stainless Steels, Materials Science and Engineering A, 178, 1994, pp. 203-207.

AISI 316L AUSTENITIC STAINLESS STEEL WELD METAL CHARACTERIZATION WITH PULSED Nd:YAG LASER

ABSTRACT

Laser is a flexible and powerful tool with many relevant applications in industry, mainly in the welding area. The actual lasers provides welding laser industry with technical solutions to many problems. The present work studied the weld metal obtained by Nd:YAG pulsed laser welding of the austenitic stainless steel AISI 316L, used in industries that demands mechanical and corrosion resistance, analyzing the influence of high cooling rates due to the laser process, in the formation of the resultant structure. It was been made weld beads in butt joints with different repetition rates. The different conditions acquired were correlated with mechanical properties through micro hardness and tensile test. The results showed that the effect of increasing overlap of the joint welded, lead to a better mechanical properties and high values of material hardness.

Key-words: Laser welding, Nd:YAG, austenitic steel, AISI 316L.