

Efeito do Desenho de Junções e Tipo de Solda na Resistência Flexural do Ti-6Al-4V

Fernanda Lopes Santiago, Universidade Federal de Uberlândia, ferlsantiago@yahoo.com.br

Morgana Guilherme de Castro, Universidade Federal de Uberlândia, morgana_castro3@hotmail.com

Asbel Rodrigues Machado, Universidade Federal de Uberlândia, asbelrm@hotmail.com

João Paulo Lyra Silva, Universidade Federal de Uberlândia, joaoplyra@hotmail.com

Leandro Miranda, Universidade Federal de Uberlândia, leomirandaresende@hotmail.com

Veridiana Resende Novais Simamoto, Universidade Federal de Uberlândia, veridianaresende@hotmail.com

Paulo César Simamoto Júnior, Universidade Federal de Uberlândia, psimamoto@foufu.fo.ufu.br

Resumo: Este estudo objetivou avaliar diferentes desenhos de junções e técnicas de soldagem de liga de Ti-6Al-4V. Setenta espécimes foram divididos em sete grupos (n=10): C, grupo controle (intactos); grupos TI, TX30° e TX45° com junções chanfradas em 0°, 30° e 45° respectivamente, soldadas à TIG (Tunsten Inert Gas) e Grupos LI, LX30° e LX45° com junções chanfradas em 0°, 30° e 45° respectivamente, soldadas à Laser. As amostras foram submetidas ao ensaio de flexão, as áreas soldadas foram quantificadas e as imagens mais representativas foram levadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). Após análise estatística, os resultados mostraram que os grupos TX30° e TX45° resultaram em valores de tensão máxima de flexão semelhante ao grupo controle e os demais grupos experimentais com valores significativamente menores que este. A solda TIG apresentou tensão máxima de flexão significativamente maior que a solda Laser, independente da junção. As junções em “X” resultaram em valores significativamente maiores que a junção “I” para ambas as técnicas. A técnica TIG resultou em valores significativamente maiores de área soldada para a junção “I” e significativamente menores para a X30°. A junção X45° não apresentou diferença estatística. Houve correlação positiva entre área soldada e tensão máxima de flexão. As imagens obtidas em MEV mostraram maior presença de poros nas superfícies soldadas à Laser e aspectos sugerindo presença de ductibilidade nas superfícies soldadas à TIG. Foi possível concluir que o emprego da soldagem TIG e do desenho de junção em “X” resultam em maiores valores de resistência flexural.

Palavras Chave: Resistência Flexural, Solda, Junções

1. Introdução

O conhecimento e domínio dos processos de soldagem são de suma importância para obter resultados previsíveis e duráveis na confecção de infraestruturas protéticas (Byrne, 2011). Tais processos são frequentemente empregados para compensar deficiências oriundas do processo de fundição, gerando estruturas com menores distorções, melhor adaptação e distribuição mais uniforme das forças (Chai & Chou, 1998; Tiozzi et al., 2008; Simamoto-Júnior et al., 2008; da Silveira Júnior et al., 2009; Tiozzi et al., 2010; Byrne, 2011).

Embora estudos tenham demonstrado que o emprego dos processos de soldagem pode melhorar a adaptação das infraestruturas (Chai & Chou, 1998; Tiozzi et al., 2008; Simamoto-Júnior et al., 2008; da Silveira Júnior et al., 2009; Tiozzi et al., 2010; Byrne, 2011), algumas limitações devem ser consideradas como a formação de poros, trincas e vazios internos decorrentes de penetração incompleta, que afetam a resistência das infraestruturas soldadas (Tehini & Stein, 1993; Nuñez-Pantoja et al., 2011a). A penetração da solda é um dos principais fatores que afetam a resistência mecânica das junções soldadas (Baba & Watanabe, 2005). Estudos têm demonstrado que quando se realiza soldagem com as extremidades posicionadas em justaposição, a penetração da solda pode ficar prejudicada, diminuindo a resistência da junção (Nuñez-Pantoja et al., 2011b; Pantoja et al., 2012). No sentido de superar esta limitação, foram propostas variações no desenho das junções (Bertrand & Poulon-Quintin, 2010). A utilização do chanfro em “X” tem como finalidade maior penetração do material de adição e assim conferir maior resistência à junção (Zupancic et al., 2006; Silva, 2007; Shimakura et al., 2009; Nuñez-Pantoja et al., 2011a; 2011b; Pantoja et al., 2012). O sucesso em longo prazo das reabilitações protéticas fixas está diretamente relacionado com a capacidade de resistência das junções soldadas (Chaves et al., 1998; Bertrand & Poulon-Quintin, 2010; Byrne, 2011).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do desenho das junções e tipo de solda, em barras de liga de Ti-6Al-4V, por meio de ensaio mecânico de flexão. Três hipóteses foram testadas: (I) a utilização da junção com desenho em “X” resultaria maior resistência flexural; (II) os processos de soldagem TIG e Laser alcançariam valores de resistência similares para os diferentes desenhos de junção avaliados; (III) angulações diferentes nas junções com desenho em “X” resultariam em diferentes valores de resistência flexural.

2. Material e Métodos

Setenta espécimes foram divididos em sete grupos (n=10): C, grupo controle (intactos); grupos TI, TX30° e TX45° com junções chanfradas em 0°, 30° e 45° respectivamente, soldadas à TIG (Tunsten Inert Gas) e Grupos LI, LX30° e LX45° com junções chanfradas em 0°, 30° e 45° respectivamente, soldadas à Laser. Os espécimes foram obtidos a partir de barras pré-fabricadas de liga de Ti-6Al-4V de 3,18mm de diâmetro, usinadas com 40mm de comprimento em torno mecânico. Os espécimes dos grupos experimentais foram seccionados ao meio, perpendicularmente aos seus longos eixos, para posteriormente serem soldados. As amostras do grupo controle foram mantidas intactas. Após a soldagem, as amostras foram submetidas aos ensaios não destrutivos de inspeção radiográfica para investigar bolhas e porosidades no interior da junção soldada e teste por líquidos penetrantes para detectar discontinuidades que fossem abertas superficialmente, tais como trincas, poros, dobras, etc. Em seguida foram submetidos ao ensaio de flexão de três pontos em máquina de ensaio EMIC 2000 DL, célula de carga de 500N e velocidade de 0,5mm/min (Figura 7). O ensaio foi considerado finalizado com a ruptura do espécime ou com sua deformação plástica com deslocamento máximo de 5mm, em seguida foram obtidos os valores de tensão máxima de flexão. Após o ensaio as amostras foram fotografadas com máquina digital à uma distância padronizada e calibrada com função macro e automático e as áreas soldadas foram calculadas. Em seguida segmentos representativos de cada grupo foram aleatoriamente levados ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). Uma vez que os dados apresentaram distribuição normal e homogênea, foram usados testes estatísticos paramétricos. Anova Two and three way para avaliar a influência do tipo de solda (TIG e Laser) e o tipo de junção (I, X30° e X45°) bem como a interação dos dois fatores. O teste de Dunnett foi usado para comparação dos grupos testados com o grupo controle e teste de Tukey para verificar diferenças entre os grupos testados. O teste de correlação de Pearson averiguou a correlação entre os valores de tensão máxima de flexão e área soldada.

3. Resultados e Discussão

Os resultados serão apresentados em quatro divisões: tensão máxima de flexão, área soldada, correlação de Pearson e MEV. Após análise estatística, os resultados apresentados na Tab. (1) mostraram que os grupos TX30° e TX45° resultaram em valores de tensão máxima de flexão semelhante ao grupo controle e os demais grupos experimentais com valores significativamente menores que este.

Tabela 1. Médias (MPa) e Desvio-Padrão de Tensão Máxima de Flexão para os grupos experimentais em comparação ao grupo controle, e valores de p calculado pelo teste Dunnett.

Grupos	Médias	Valor de P	Significância vs Grupo Controle
Controle	2311,0 ± 55,4	-	-
LI	1134,9 ± 400,3	P<0,001	*
LX30°	1831,8 ± 259,8	P=0,002	*
LX45°	1673,3 ± 340,2	P<0,001	*
TI	1906,3 ± 184,5	P=0,013	*
TX30°	2287,4 ± 226,0	P=0,990	NS
TX45°	2298,3 ± 173,4	P=0,995	NS

A Tabela (2) mostra que a solda TIG apresentou tensão máxima de flexão significativamente maior que a solda Laser, independente da junção. As junções em “X” resultaram em valores significativamente maiores que a junção “I” para ambas as técnicas.

Tabela 2. Médias (MPa) e Desvio-Padrão de Tensão Máxima de Flexão comparando os fatores em estudo (tipo de junção e tipo de solda), categorias estatísticas definidas pelo teste de Tukey (P<0,05).

Junção	Solda	
	Laser	TIG
I	1134,9 ± 400,3 ^{Bb}	1906,3 ± 184,5 ^{Ab}
X30°	1831,8 ± 259,8 ^{Ba}	2287,4 ± 226,0 ^{Aa}
X45°	1673,3 ± 340,2 ^{Ba}	2298,3 ± 173,4 ^{Aa}

A técnica TIG resultou em valores significativamente maiores de área soldada para a junção “I” e significativamente menores para a X30°. Como podemos observar na Tab. (3), a junção X45° não apresentou diferença estatística.

Tabela 3. Médias (mm²) e Desvio-Padrão da área soldada comparando os fatores em estudo (tipo de junção e tipo de solda), categorias estatísticas definidas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Junção	Solda	
	Laser	TIG
I	3,6 ± 0,6 ^{Bb}	4,7 ± 0,4 ^{Ac}
X30°	6,9 ± 0,6 ^{Ba}	6,0 ± 0,6 ^{Ab}
X45°	6,7 ± 0,4 ^{Aa}	6,8 ± 0,5 ^{Aa}

Houve correlação positiva entre área soldada e tensão máxima de flexão. As imagens obtidas em MEV Fig. (1) e Fig. (2) mostraram maior presença de poros nas superfícies soldadas à Laser e aspectos sugerindo presença de ductibilidade nas superfícies soldadas à TIG.

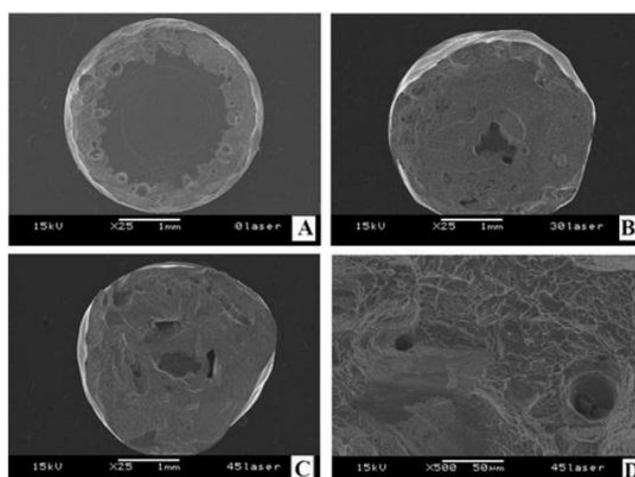


Figura 1. Imagens grupo Laser. A) Amostra grupo LI (Mag. 25X); B) Amostra grupo LX30° (Mag. 25X); C) Amostra grupo LX45° (Mag. 25X); D) Amostra grupo LX45° (Mag. 500X).

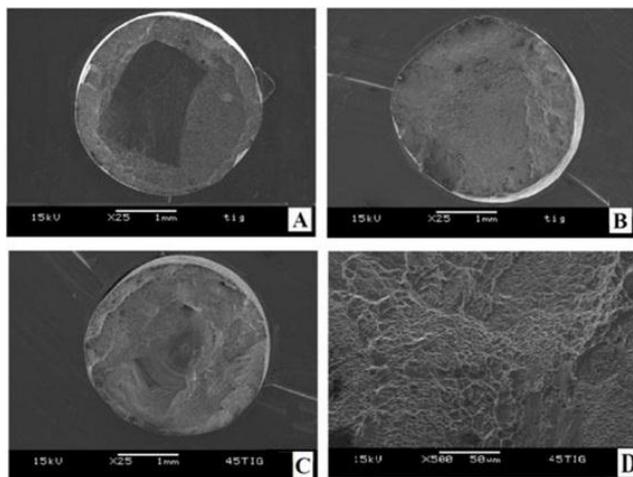


Figura 2. Imagens grupo TIG. A) Amostra grupo TI (Mag. 25X); B) Amostra grupo TX30° (Mag. 25X); C) Amostra grupo LX45° (Mag. 25X); D) Amostra grupo TX45° (Mag. 500X).

4. Conclusão

Dentro das limitações desse estudo *in vitro* foi possível concluir que o desenho da junção em “X” apresentou maior resistência aos esforços flexurais e maior penetração da solda, para os dois processos de soldagem utilizados; O processo de soldagem TIG conferiu resistência flexural significativamente superior ao processo Laser e a variação do ângulo da junção em “X” em 30° e 45°, não influenciou significativamente os resultados de resistência flexural para ambos os processos de soldagem; O desempenho da solda TIG foi superior ao processo Laser quanto à penetração da solda para o desenho “T”, porém inferior para o desenho da junção X 30°; O aumento da área soldada resultou no aumento da resistência flexural para os dois processos de soldagem.

5. Referências

- Baba N, Watanabe I. Penetration depth into dental casting alloys by Nd:YAG laser. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005 Jan;72(1):64–8.
- Bertrand C, Poulon-Quintin A. Proposals for optimization of laser welding in prosthetic dentistry. *J Prosthodont* 2010 Jan;19(1):69-76.
- Byrne G. Soldering in prosthodontics--an overview, part I. *J Prosthodont*. 2011 Apr;20(3):233-43.
- Chai T, Chou CK. Mechanical properties of laser-welded cast titanium joints under different conditions. *J Prosthet Dent*.1998 Apr;79(4):477-83.
- Da Silveira-Júnior CD, Neves FD, Fenandes-Neto AJ, Prado CJ, Simamoto-Júnior PC. Influence of different tightening forces before laser welding to the implant/framework fit. *J Prosthodont* 2009 Jun;18(4):337-41.
- Nuñez-Pantoja JM, Takahashi JM, Nóbilo MA, Consani RL, Mesquita MF. Radiographic inspection of porosity in Ti-6Al-4V laser-welded joints. *Braz Oral Res*. 2011(a) Mar-Apr;25(2):103-8.
- Nuñez-Pantoja JM, Vaz LG, Nóbilo MA, Henriques GE, Mesquita MF. Effects of laser-weld joint opening size on fatigue strength of Ti-6Al-4V structures with several diameters. *J Oral Rehabil*. 2011(b) Mar;38(3):196-201.
- Pantoja JM, Farina AP, Vaz LG, Consani RL, Nóbilo MA, Mesquita MF. Fatigue strength: effect of welding type and joint design executed in Ti-6Al-4V structures. *Gerodontology*. 2012 Jun;29(2):e1005-10.

- Simamoto-Júnior PC, Novais VR, Nóbilo MAA, Barbosa GAS, Soares CJ, Neves FD. Influence of the soldering type in fitting prostheses on implants: a scanning electronic microscopy analysis. *Arquivos em Odontologia* 2008;44:23-29.
- Shimakura M, Yamada S, Takeuchi M, Miura K, Ikeyama J. Influence of irradiation conditions on the deformation of pure titanium frames in laser welding. *Dent Mater J.* 2009 Mar;28(2):243-7.
- Tehini GE, Stein RS. Comparative analysis of two techniques for soldered connectors. *J Prosthet Dent* 1993 Jan;69(1):16-9.
- Tiozzi R, Falcão-Filho H, Aguiar Júnior FA, Rodrigues RC, Mattos Mda G, Ribeiro RF. Modified section method for laser-welding of ill-fitting cp Ti and Ni-Cr alloy one-piece cast implant-supported frameworks. *J Oral Rehabil.* 2010 May 1;37(5):359-63.
- Tiozzi R, Rodrigues RC, de Mattos Mda G, Ribeiro RF. Comparative analysis of the fit of 3-unit implant-supported frameworks cast in nickel-chromium and cobalt-chromium alloys and commercially pure titanium after casting, laser welding, and simulated porcelain firings. *Int J Prosthodont* 2008 Mar-Apr;21(2):121-3.
- Zupancic R, Legat A, Funduk N. Tensile strength and corrosion resistance of brazed and laser-welded cobalt-chromium alloy joints. *J Prosthet Dent* 2006 Oct;96(4):273-82.

Abstract:

The aim of this study was to evaluate the effect of different drawings of joints and welding processes Tungsten Inert Gas (TIG) and Laser in flexural bar alloy Ti-6Al-4V. Seventy specimens with dimensions of 3.18mm diameter and 40mm length were divided into seven groups (n = 10): C, control group (intact); groups TI, TX30° and TX45° with joint beveled at 0°, 30° and 45° respectively, TIG welded; and Groups LI, LX30° and LX45° with joint beveled at 0°, 30° and 45° respectively, Laser welded. After the mechanical test, the values bending fracture strength (N) were converted to maximum bending stress (MPa) and the fracture surfaces were measured to obtain the soldered areas. Data were initially subjected to Factorial ANOVA (2 x 3) followed by Tukey test. Then, only the data of maximum bending stress were analyzed with Analysis of Variance for single factor followed by Dunnett's test to detect differences between the control group and six experimental groups. Was applied the Pearson correlation to the factors type of weld and joint type. For all tests were considered statistical differences for $\alpha=0.05$. Dunnett's test showed that the groups TX30° (p=0.990) and TX45° (p=0.995) resulted in values of maximum tension bending similar to the control group. The other experimental groups resulted in significantly lower values than the control group. Comparing the type of solder, the Tukey test showed that the TIG welding resulted in maximum flexion significantly greater than the Laser weld (p<0.05), regardless of the type of junction. For the factor welded joints area with drawing "X" resulted in significantly higher values than the junction "I" for both welding processes. In comparing the welded areas between the two processes of welding, TIG process resulted in significantly higher values of welded area employed when the junction type "I" and significantly lower for the type X30° (p<0.05). For the type of junction X45° no statistical difference (p>0.05). The Pearson correlation between variables welded area and maximum bending stress was moderate (0.5520) and significant (p<0.0001). The images obtained by SEM showed increased presence of pores on the fracture surfaces and Laser welded aspects suggesting the presence of ductility TIG welded surfaces. It was concluded that the use of TIG welding and drawing joint "X" resulting in higher flexural strength, which are more suitable for welding bars alloy Ti-6Al-4V 3.18mm in diameter when high values of flexural strength are required.

Responsabilidade Pelas Informações

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.