

Análise da resistência flexural em barras de Ti-6Al-4V com as juntas soldadas em X sob diferentes formas de configuração da solda TIG

Leandro Miranda Silva de Resende, Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Uberlândia, leomirandaresende@hotmail.com

Asbel Rodrigues Machado, Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Uberlândia, asbelmachado@hotmail.com

Leandro Maruki Pereira, Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Uberlândia, leandromaruki@gmail.com

Luisa de Andrade Lima Cavalcante, Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Uberlândia, luisa.cavalcante@gmail.com

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

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

Resumo. Este estudo objetivou avaliar a resistência flexural de barras de Ti-6Al-4V com as juntas soldadas em X formando um ângulo de 60° e soldagem TIG (Tungstênio Inert Gas), sob diferentes configurações da máquina. Foram confeccionados 40 corpos de prova em formato cilíndricos e com diâmetro de 3,18mm, divididos em 4 grupos (n= 4): Grupo Controle (GC), constituídos por barras intactas da liga sem solda; Grupos G2, G3 e G4, usinados em suas metades e com chanfro no formato em X formando um ângulo de 60°, para posteriormente receberem solda. Os espécimes foram posicionados em um dispositivo para padronização do processo de soldagem. A técnica de soldagem TIG foi realizada nos seguintes parâmetros: grupo G2 foram utilizados corrente de 5(A) e tempo 2(ms), grupo G3 5(A) e 3(ms) e grupo G4 utilizados 5(A) e 4(ms). Em seguida, as amostras dos grupos experimentais foram avaliadas por meio de radiografias e por líquidos penetrantes para detectar poros, trincas e descontinuidades internas e externas, respectivamente. Na sequência, todas as amostras foram submetidas ao ensaio de resistência à flexão até a ruptura em máquina de ensaio mecânico com célula de carga de 500 N e velocidade de 0,5mm/min. Os valores obtidos no teste foram utilizados na fórmula para a obtenção da tensão de flexão (MPa) de corpos de seção transversal circular. Após o ensaio, as amostras foram fotografadas e analisadas e as áreas soldadas calculadas para avaliação da penetração da solda. Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias ($p \leq 0,05$). Os resultados apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Entre os grupos testes G2 e G4 e o grupo controle, sendo que o grupo G3 não apresentou diferença estatística para com o grupo controle. Em relação a área soldada não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

Palavra chave: Soldagem TIG, Liga de titânio, Resistência à flexão.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento e domínio das técnicas de soldagem são de suma importância para obter resultados previsíveis e duráveis na confecção de infraestruturas protéticas. Embora estudos demonstrem que o emprego da soldagem possa melhorar a adaptação das estruturas aos pilares (Abduo *et al.*, 2010), algumas limitações devem ser consideradas, tais como a formação de poros, trincas e vazios internos decorrentes de contaminação, penetração incompleta da solda ou pelo próprio processo de soldagem, que afetam significativamente a resistência das junções (Castro, 2012).

Pesquisas demonstram que quando se realiza soldagem com extremidades posicionadas em justaposição, a penetração da solda pode ficar prejudicada, gerando um grande vazio interno (Castro, 2012). Buscando superar esta limitação, foram propostas variações no desenho das juntas, que tem como finalidade maior penetração do material de adição e assim conferir maior resistência à junção (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 (Nuñez-Pantoja *et al.*, 2011).

Além disso, o advento da Implantodontia trouxe consigo ampla utilização do titânio comercialmente puro (Ti) e, suas ligas de uso odontológico (Ti6Al4V - Titânio-Alumínio-Vanádio) também em prótese dentária, (Cardoso, 2007). O Ti apresenta propriedades mecânicas e biológicas favoráveis como: baixa densidade, excelente biocompatibilidade, baixo potencial alérgico, boa relação resistência/peso e baixo módulo de elasticidade (Nuñez-Pantoja *et al.*, 2011).

Entretanto, muitos problemas práticos estão associados ao uso do Ti e suas ligas em virtude do alto ponto de fusão, necessitando de altas temperaturas de processamento uma vez que a temperatura de fusão do Ti aproxima-se de 1700° C

(Wang & Welsch, 1995) e sua alta reatividade química com os elementos oxigênio, nitrogênio e hidrogênio especialmente sob altas temperaturas (Wang & Welsch, 1995; Liu *et al.*, 2002) que tornam o Ti frágil.

Dessa forma, métodos convencionais de solda que usam a chama de oxigênio são inadequados para serem usados para a soldagem do Ti (Taylor *et al.*, 1998). Soldagem TIG, Laser e Brasagem por Radiação Infravermelha são técnicas que têm sido usadas para união de metais com proteção gasosa, minimizando a contaminação por oxigênio durante o processo de soldagem e preservando as propriedades originais do metal (Wang & Welsch, 1995).

As soldagens TIG (Tungstênio Inert Gas) é um processo no qual a união é obtida pelo aquecimento dos materiais por um arco estabelecido entre o eletrodo não consumível de tungstênio e a peça a ser soldada (Taylor *et al.*, 1998). A proteção do eletrodo e da zona a ser soldada é feita por um gás inerte, normalmente o argônio (Rocha *et al.*, 2006), ou mistura de gases inertes (Argônio e Hélio). Metal de adição pode ser utilizado ou não. Permite a execução de soldas de alta qualidade e excelente acabamento, particularmente em juntas de pequena espessura, permite a soldagem em qualquer posição e apresenta excelente controle da poça de fusão, ou seja, região localizada que está sendo soldada (Marques *et al.*, 2007).

Desta forma, para implementação de novos materiais e técnicas na área de soldagem odontológica um amplo estudo sobre as suas propriedades mecânicas deve ser elaborado para posterior indicação clínica. Em função do alto custo da soldagem a Laser, visamos com essa pesquisa buscar alternativa a esse processo, por meio da utilização de equipamento nacional, desenvolvido especificamente para área odontológica com menor custo e alto potencial de desenvolvimento. Assim sendo, o objetivo é avaliar, qual a melhor configuração da máquina de solda TIG para soldagem das barras de Ti-6Al-4V.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Confeção dos corpos de prova

Foram confeccionados 40 corpos de prova a partir de barras pré-fabricadas de liga Ti-6Al-4V com 3,18 mm de diâmetro (REALUM, Indústria e Comércio de Metais Puros e Ligas LTDA, São Paulo, Brasil). Estes foram divididos em quatro grupos (n=10), Grupo Controle (GC) constituídos por barras intactas da liga sem solda; Grupo G2 com corrente de 5(A) e tempo 2 (ms); Grupo G3 com corrente de 5(A) e tempo 3 (ms); Grupo G4 com corrente de 5(A) e tempo 4 (ms).

Tabela 1: Distribuição dos grupos.

Grupo	Numero de amostras	Diâmetro	Potência	Tempo (ms)
GC	10	3,18	-	-
G2	10	3,18	5	2
G3	10	3,18	5	3
G4	10	3,18	5	4

As barras foram seccionadas para obtenção dos corpos de prova com 40 mm de comprimento para o grupo controle e para os grupos experimentais. As barras dos grupos experimentais foram inicialmente usinadas para estabelecer o ângulo de 60° para formar o chanfro em X (Burch, 1968) e posteriormente foram cortadas no tamanho de 20 mm, para que ao serem soldadas, obtenham um tamanho final de 40 mm.

2.2. Soldagem e avaliação da qualidade da solda

As metades dos corpos de prova dos grupos experimentais G2, G3 e G4 foram unidas por meio de dispositivo confeccionado no Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM) da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, que permite a padronização da posição de soldagem. A técnica de soldagem feita pela máquina de solda TIG (NTY 60, Kernit – Indaiatuba, SP – Brasil) foi realizada nos seguintes parâmetros: grupo G2 foram utilizados corrente de 5(A) e tempo 2(ms), grupo G3 com corrente de 5(A) e tempo de 3(ms) e grupo G4 com corrente de 5(A) e tempo 4(ms). Os grupos G2, G3 e G4 foram submetidos à inspeção radiográfica, para investigar bolhas e porosidades internas na junta soldada, e ao ensaio por líquido penetrante para detectar falhas e descontinuidades superficiais.

2.3. Ensaio mecânico e avaliação da área soldada

O ensaio de resistência à flexão de três pontos foi realizado em máquina de ensaio mecânico EMIC 2000 DL (São José dos Pinhais – PR – Brasil), lotada no Laboratório Integrado de Pesquisa Odontológica (LIPO) da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia. Foi empregada a “Eq. (1)” para obtenção da tensão de flexão (em MPa) em corpos de secção circular:

$$TF = \frac{8 \cdot Q \cdot L}{\pi D^3} \quad (1)$$

Equação 1: TF= tensão de flexão (MPa); Q= carga de fratura ou limite elástico (N); L= distância entre apoios da base (mm); D= diâmetro da peça (mm).

Após o ensaio de resistência à flexão, as amostras dos grupos G2, G3 e G4 foram submetidas à avaliação de penetração da solda na região da fratura, A fim de se obterem imagens para o cálculo da área soldada. As imagens capturadas foram analisadas no software Motic Images Plus 2.0ML for Windows (Motic instruments, INC, Richmond, Canadá) onde foram feitas as medições das áreas de penetração da solda. A medida da área da secção das amostras foi subtraída pela área não soldada, o resultado foi submetido à análise estatística por meio de software SPSS 11.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago EUA).

3. RESULTADOS

3.1. Avaliação da qualidade da solda

Após à inspeção radiográfica não foi verificado falhas ou porosidades que influenciaram nos resultados dos testes de flexão. Também não foram verificadas falhas e descontinuidades superficiais após o teste por líquidos penetrantes.

3.1. Tensão de Flexão e área de penetração da solda

Os dados foram primeiramente submetidos ao Programa Sigmaplot 11.0 para Windows (Systat Software Inc. San Jose, USA), foi utilizado o teste de homogenicidade de variância (Levene) e em seguida o teste de normalidade (Shapiro-Wilk), como os dados não se apresentaram normais ou homogêneos, eles foram convertidos na sua Raiz quadrada e/ou Log₁₀ e em seguida aplicado novamente os teste de normalidade e Homogenicidade, mesmo aplicando esse teste eles ainda não se mostraram normais, dessa forma, foi utilizado o teste Kruskal-Wallis ($\alpha=0,05$) e para comparação múltipla entre o grupo controle e grupo teste foi utilizado o teste de Dunnett ($\alpha=0,05$). Por se mostrarem normais, na comparação dos valores de área soldada foi utilizado o teste de análise de variância (Anova-One-Way)($\alpha=0,05$)

Tabela 3: Mediana e percentil dos dados da análise de Flexão (Mpa) submetidos ao teste de Kruskal-Wallis ($p<0,001$).

	Mediana	25%	75%
Grupo Controle	2290,495	2277,110	2319,890
Grupo 2	1762,895*	1331,080	1923,730
Grupo 3	2339,700	2074,270	2519,560
Grupo 4	2065,560*	1752,590	2174,110

Na Comparação múltipla entre Grupos controle e Grupos teste submetido ao Teste de Dunnett ($\alpha=0,05$), verificou-se que não houve diferença significativa entre o grupo controle e o grupo 3 e que houve diferença significativa entre o grupo controle e os grupos 2 e 4.

Tabela 4: Comparação dos valores de área soldada, suas médias e desvio padrão.

	Média	Análise da variância
Tempo 2	6,536 $\pm$ 0,817	P=0,135
Tempo 3	6,029 $\pm$ 0,604	
Tempo 4	6,678 $\pm$ 0,766	

O grupo controle não é analisado na comparação o dos valores de área soldada, pois não apresenta área de solda e na avaliação entre os grupos experimentais não foi constatada diferença estatística.

4. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a melhor configuração da máquina de solda TIG para soldagem de barras de Ti-6Al-4V foi a com tempo de 5 ampères e tempo de 3 milissegundos.

5. REFERÊNCIAS

- Becker, C.M., Kaiser, D.A. e Jones, J.D., 2000, "Guidelines for splinting implants", JProsthet Dent, Vol.84 (2), pp. 210-4.
- Bertrand, C., Poulon-Quintin, A., 2010, "Proposals for optimization of laser welding in prosthetic dentistry", J Prosthodont, Vol.19 (1), pp. 69-76.
- Cardoso, L.M., 2007, "Avaliação da resistência à flexão de liga de titânio submetida a soldagens laser e TIG, visando prótese dentária", Dissertação de mestrado, Instituto de pesquisas energéticas e nucleares – lasers em odontologia, São Paulo, Brasil. 126p.
- Castro, M.G., 2012, "Avaliação da resistência mecânica de liga ti-6al-4v soldada com processos laser e plasma de uso odontológico", Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil. 97 f.
- Cavalcante, L.A.L., Silva, J.P.L., Ferreira, V.R.N., Neves, F.D., Fernandes Neto, A.J., Araújo, C.A., Simamoto Júnior, P.C., 2010, "Avaliação da resistência à flexão em ligas de Titânio (Ti6Al4V) soldadas com diferentes configurações pelo processo plasma" Horizonte Científico, Vol. 6, Uberlândia, Brasil. nº.1.
- Hart, C.N.; Wilson, P.R., 2006, "Evaluation of welded titanium joint used with cantilevered implant-supported prostheses", J Prosthet Dent, Vol.96, pp. 25-36.
- Abduo, J., Bennani V., Lyons, N.W.K., Swain M., 2010, "Assessing the Fit of Implant Fixed Prostheses: A Critical Review", Int J Oral Maxillofac Implants Vol.25. pp. 506–515.
- Marques P;V., Modenesi P.J. e Bracarense A.Q., 2007, "Soldagem – Fundamentos e Tecnologia", Editora UFMG Vol. 1, Belo Horizonte, Brasil. 263p.
- Núñez-Pantoja, J.M., Takahashi J.M.F.K., Nóbilo M.A., Consani R.L.X., Mesquita M.F., 2011, "Radiographic inspection of porosity in Ti-6Al-4V laser-welded joints", Braz Oral Res, Vol.25, São Paulo, Brasil, pp. 103-8..
- Rocha R., pinheiro A.L. e Villaverde A.B., 2006, "Flexural strength of pure Ti, Ni-Cr and Co-Cr alloys submitted to Nd:YAG laser or TIG welding" Braz Dent J. Vol.17(1), São Paulo, Brasil, pp. 20-3.

6. AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, ao Centro de Pesquisa Biomecânica, Biomateriais e Biologia celular (CPBio) da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, ao Laboratório de metalurgia e cerâmica da Escola Técnica de Saúde da Universidade Federal de Uberlândia (ESTES/UFU), à FAPEMIG, CAPES e CNPq (Projeto CNPQ2012-SAU025).

7. ABSTRACT

This study aimed to evaluate the flexural strength of Ti-6Al-4V bars welded with TIG (Tungsten Inert Gas) technique in X joints forming an angle of 60 °, under different configurations of the machine. Forty specimens were create in cylindrical shape and was divided into 4 groups (n=10): Control group (CG) constituent with intact bars of the alloy, groups G2, G3 and G4, machined into halves and with chamfer in X forming an angle of 60 °, for later to be weld. The specimens were placed in a device designed to standardize the secimens during the welding process. The TIG welding was executed in diferrent parameters: for the group G2 were used current of 5(A) and time of 2 (ms), grup G3 5(A) e 3(ms) e grupo and group G4 5(A) e 4(ms). Then, samples of the experimental groups were assessed by radiographs and non-penetrant liquid to detect pores, cracks and discontinuities internal and external, respectively. These specimens were subjected to flexural strength with a load cell of 500 N and a speed of 0.5 mm / min. The values obtained in the test were used in the formula for obtaining the bending stress (MPa) in bodies of circular cross section. After the test, the specimen were photographed and analyzed and the welded areas were calculated to evaluate the weld penetration The results were evaluated by analysis of Kruskall-Walis ($\alpha=0,05$) and the comparison between the control group and group tests was taken by Dunnet test ($\alpha=0,05$). the comparison of the welded area values was used analysis of variance test variância (Anova-One-Way)($\alpha=0,05$). The results showed statistically significant difference between groups. Between the test groups G2 and G4 and the control group, and the group G3 showed no statistical difference with the control group. Regarding the welded area penetration no significant difference were detected.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.