



20 A 24 DE MAIO DE 2018 SALVADOR – BA – BRASIL

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA VIBRAÇÃO MECÂNICA SOBRE A MICROESTRUTURA DO METAL DE SOLDA EM JUNTAS SOLDADAS DO AÇO ASTM A516 GR. 60

Jaime Matias da Silva Neto¹, jaimematias20@yahoo.com.br
Theophilo Moura Maciel², theophilo.maciell@ufcg.edu.br
Antonio Almeida Silva³, antonio.almeida@ufcg.edu.br
Rafael Barbosa Carneiro dos Santos⁴, rafaelbarbosacs@gmail.com
Epitácio Bronzeado Neto⁵, netoebn@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Avenida Aprígio Veloso 882, C.P. 10.069, Bairro Universitário, CEP: 58429-900, Campina Grande – PB, E-mail: ppgem@ufcg.edu.br Fones: (83) 2101 1126 / 1127 Fax: (83) 2101 1272

Resumo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da vibração mecânica sobre a microestrutura do metal de solda em juntas soldadas do aço ASTM A516 Gr.60, aplicado em caldeiras e vasos de pressão. Para o tratamento de vibração mecânica foi utilizado o processo VWC (Condicionalamento de Soldagem Vibratória). Para tal, foi projetada e desenvolvida uma bancada vibratória para realização dos experimentos. Foi utilizado o processo de soldagem GMAW, no qual as soldagens foram executadas sem vibração e com excitação mecânica nas frequências de vibração de 205, 210, 215 e 220 Hz. Foi percebido que a aplicação do tratamento por vibração durante a soldagem resultou no refino de grãos do metal de solda em todas as condições de soldagem, chegando a refinar em torno de 113% para uma amplitude de $51,2 \text{ m/s}^2$ e frequência de 220 Hz, em relação a condição sem vibração. Portanto, foi possível validar a técnica de tratamento de vibração mecânica (VWC), em todas as condições de soldagem realizadas, promovendo uma melhor distribuição dos grãos na poça de fusão, tornando a microestrutura mais homogênea, ocorrida pelo refino no metal de solda.

Palavras-chave: Junta Soldada, Microestrutura, Vibração Mecânica, ASTM A516 Gr.60.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é o mais importante processo industrial de fabricação e união de peças metálicas, permitindo a montagem de conjuntos com rapidez, segurança e economia de processo e de materiais. Processos de soldagem são também utilizados na recuperação de peças desgastadas, através da aplicação de revestimentos de características especiais sobre superfícies metálicas e para corte (Modenesi et al., 2012).

Durante o processo de soldagem, uma elevada intensidade de calor é gerada na região da junta, provocando um severo ciclo térmico no cordão de solda, produzindo fenômenos metalúrgicos e mecânicos tais como, deformação plástica e transformação de fase e modificação na morfologia e no crescimento do grão (Okumura, 1982). O crescimento de grãos na região da solda devido o ciclo térmico prejudicam a integridade e o desempenho da junta soldada, reduzindo a sua tenacidade.

Para minimizar os efeitos do crescimento de grão, diversas técnicas têm sido utilizadas não só para garantir as propriedades pré-estabelecidas como melhorar as propriedades da junta soldada, principalmente quanto ao refino de grãos. Entre elas, podemos citar: inoculação, oscilação do arco, pulsação do arco, nucleação superficial estimulada, excitação eletromagnética, excitação ultrassônica, tratamento térmico e vibrações. A técnica mais tradicional, que é o tratamento térmico, consiste no aquecimento à uma temperatura constante por um tempo pré-determinado e um resfriamento controlado. Porém, sua utilização é contestada por motivos diversos, entre eles, podemos citar de forma resumida: tempo, custo, dimensões, alterações metalúrgicas (Chuvas, 2012; Maciel, 2014).

A indução vibratória vem surgindo como uma alternativa interessante em substituição ao tratamento térmico convencional. Essa tecnologia iniciou em torno do ano 1950, quando a Marinha dos Estados Unidos e a defesa alemã usaram vibrações harmônicas, também chamada de vibrações ressonantes para testar cascos metálicos em asas de avião

(Bonal, 2017). No Brasil, esse estudo ainda não é bem consolidado. Seu funcionamento consiste em vibrar as peças durante ou após o processo de soldagem numa faixa próxima a frequência natural da mesma por um determinado tempo (Martins, 2012).

O Condicionamento de Soldagem Vibratória (VWC - *Vibratory Welding Condition*) é um tratamento em que ocorre a vibração da peça durante a soldagem, promovendo a homogeneização e quebra dos grãos colunares em grãos menores durante a vibração, melhorando sensivelmente as propriedades mecânicas da junta (Weite, 1999; Kalpana et al., 2017).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Bancada Vibratória

Foi projetada uma bancada de excitação vibratória que permite realizar a fixação das amostras e do excitador pneumático durante a soldagem, conforme ilustrado na Fig. 1.

Para proporcionar a vibração durante o processo de soldagem, foi utilizado um excitador pneumático, que produz vibração mecânica quando acionado numa dada faixa de pressão (2 à 6 bar). A frequência natural da bancada vibratória foi obtida experimentalmente numa mesa inercial utilizando um Analisador de Sinal Dinâmico e um Martelo de Impacto com acelerômetro. Já para medir as amplitudes e frequências emitidas pelo excitador pneumático na bancada vibratória, utilizou-se o Coletor Analisador de Sinais com acelerômetro piezoelétrico, conforme ilustrado na Fig. 2.

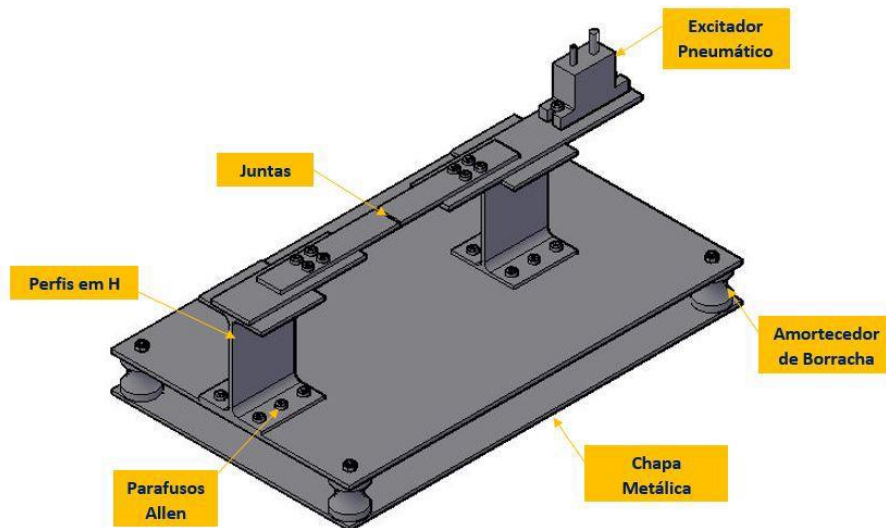


Figura 1. Ilustração da bancada vibratória para execução das soldagens



Figura 2 – Bancada e instrumentação de coleta de dados (espectros de frequência), com aparelho analisador de campo (Vibtron)

2.2 Execução dos Experimentos em Várias Condições de Soldagem

Visando a avaliação dos benefícios do processo de tratamento de vibração mecânica (VWC), cinco cenários distintos de soldagem foram executados, mantendo os parâmetros de soldagem fixos. Os parâmetros de vibração foram variados, conforme ilustrado no Tab. 1 (Neto, 2017).

Tabela 1 - Parâmetros e condições de soldagem

Condição de Soldagem	Processo de Soldagem	Pressão (Bar)
C1	Soldagem sem vibração	-
C2	Soldagem com vibração	2
C3	Soldagem com vibração	3
C4	Soldagem com vibração	4
C5	Soldagem com vibração	5

As juntas para realização dos tratamentos foram executadas em um único passe e divididas da seguinte forma, quatro juntas foram tratadas por vibração mecânica no processo de soldagem GMAW, com frequência variando nas pressões 2, 3, 4 e 5 Bar. O tempo de vibração foi de 100 segundos, mantendo fixo os parâmetros de soldagem, foi separada uma amostra sem vibração para comparação com processo vibracional, totalizando um experimento com 5 amostras.

2.3 Contagem de Grãos na Junta Soldada

Para realizar uma análise quanto ao refino de grãos pelo tratamento de vibração mecânica, foi realizado uma contagem de grãos na região central da junta (metal de solda), para melhor quantificar os resultados nas várias condições testadas. Foram utilizadas as imagens de microestrutura das oito condições de soldagem, com aumento de 50X e nital 2%. Nas imagens capturadas, aplicou-se uma malha com dez linhas e dez colunas, totalizando 100 pontos de interceptação. Em cada ponto de cruzamento foi registrado a existência ou não de grãos, conforme ilustrado na Fig. 3.

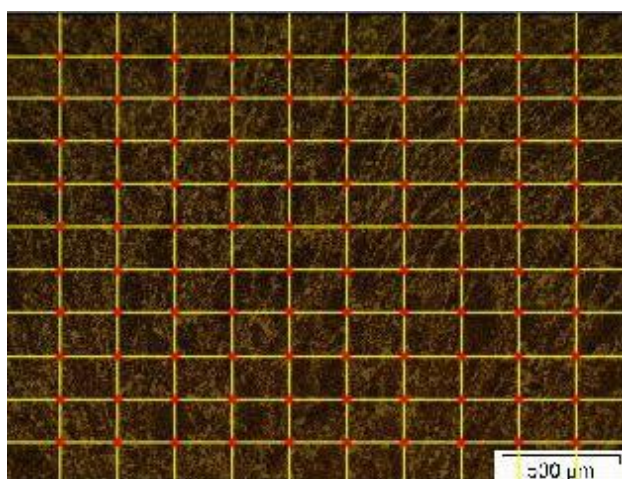


Figura 3 – Malha 10X10 sob metalografia para contagem de grãos na junta

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação da Frequência Natural da Bancada Vibratória

Para fins da determinação das frequências naturais do sistema em vibração livre, foram realizados testes experimentais através do martelo de impacto na estrutura de testes fixada numa mesa inercial do LVI, aplicando 10 marteladas seguidas e captando suas médias (Average) pelo analisador de sinal dinâmico (Agilent). A Fig. 4 ilustra o espectro em frequência obtido para a bancada vibratória.

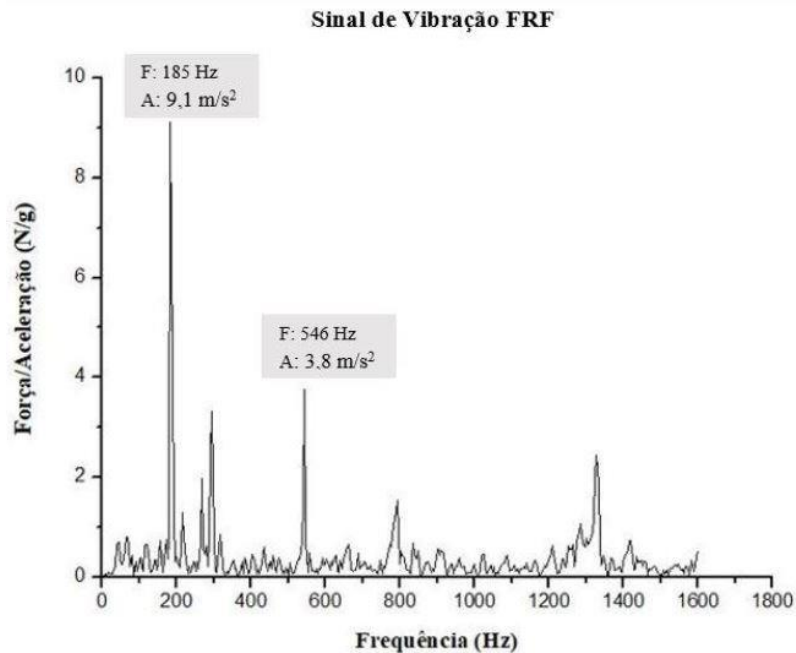
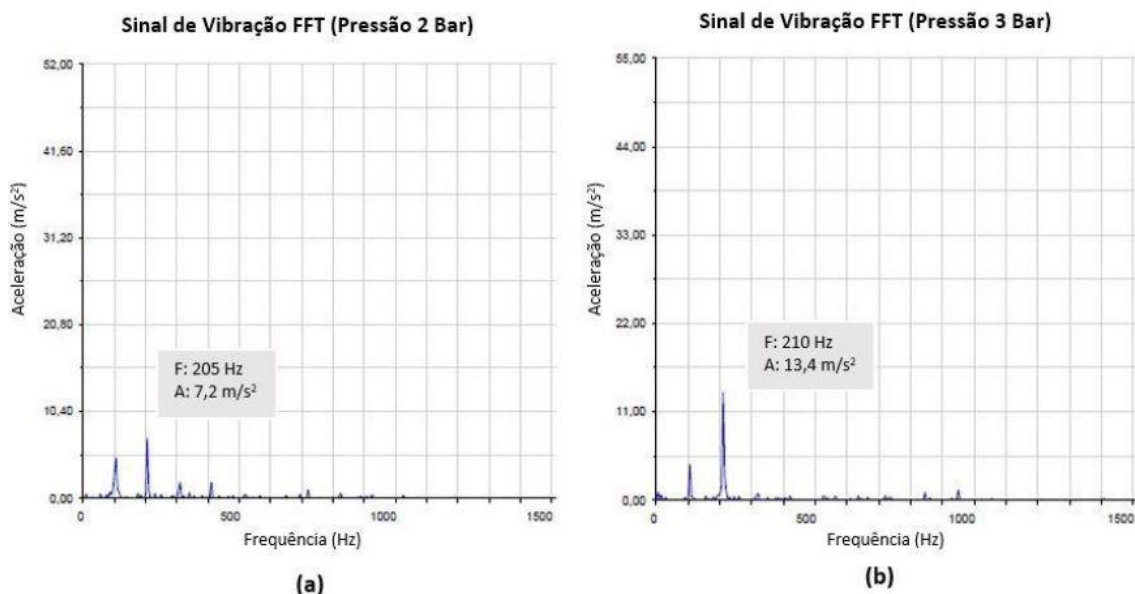


Figura 4 - Espectro da Função de Resposta em Frequência (FRF) da bancada vibratória

O espectro da FRF (Função Resposta em Frequência) apresentou com mais evidência três picos, correspondentes às três primeiras frequências naturais do sistema. A primeira encontrada foi de 185 Hz, a segunda de 300 Hz e a terceira em 546 Hz. Quando o sistema foi submetido a excitação forçada na bancada vibratória (com pressões variando de 2 a 5 bar), foi utilizada como referência a primeira frequência ressonante de 185 Hz, pois foi a que representou maior amplitude. Portanto, para o tratamento por vibração mecânica, serão adotadas frequências de excitação próxima da região de ressonância, porém fora da frequência ressonante.

3.2 Análise do Espectro de Frequências do Excitador Pneumático na Bancada Vibratória

As Figs. 5 (a, b, c e d) apresentam os espectros FFT, para obtenção das amplitudes e frequências de vibrações geradas pelo excitador pneumático utilizando-se pressões de 2, 3, 4 e 5 bar, aplicadas na bancada vibratória.



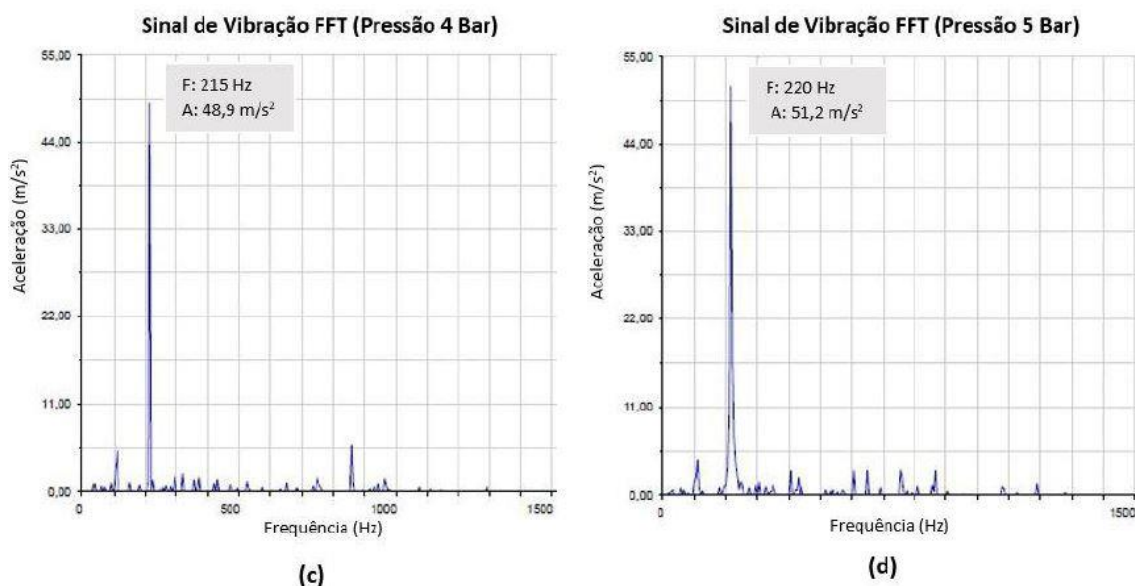


Figura 5 - Espectro de vibração FFT em Aceleração da bancada vibratória, obtido para as pressões de tratamento: a) 2 bar; b) 3 bar; c) 4 bar e d) 5 bar.

Para o espectro da Fig. 5a, utilizando-se 2 bar de pressão, observa-se que o maior pico de aceleração foi de 7,2 m/s² correspondendo a uma frequência de 205 Hz, porém à medida que as pressões vão aumentando as amplitudes e frequências relativas desses picos vão aumentando (Fig. 5 b-d). Isto indica que houve uma decomposição das forças de excitação, que foram variando à medida que a frequência de excitação aumentava (210, 215 e 220 Hz) junto com os valores de amplitudes de aceleração. Na frequência de 220 Hz, pode-se observar que houve uma maior amplitude do pico, o que indica uma região típica de ressonância do conjunto.

A Tab. 2, apresenta os respectivos valores de pressão, frequência e amplitude de aceleração da vibração aplicada nas várias condições de soldagem

Tabela 2 – Valores de pressão, frequência e aceleração para cada condição de soldagem

Condição de Soldagem	Processo de Soldagem	Pressão (Bar)	Frequência (Hz)	Aceleração (m/s ²)
C1	Soldagem sem vibração	-	-	-
C2	Soldagem com vibração	2	205	7,20
C3	Soldagem com vibração	3	210	13,41
C4	Soldagem com vibração	4	215	48,85
C5	Soldagem com vibração	5	220	51,21

3.3 Análise Microestrutural do Metal de Solda

A Fig. 6 ilustra as microestruturas do metal de solda sem vibração e com quatro diferentes níveis de vibração aplicados.

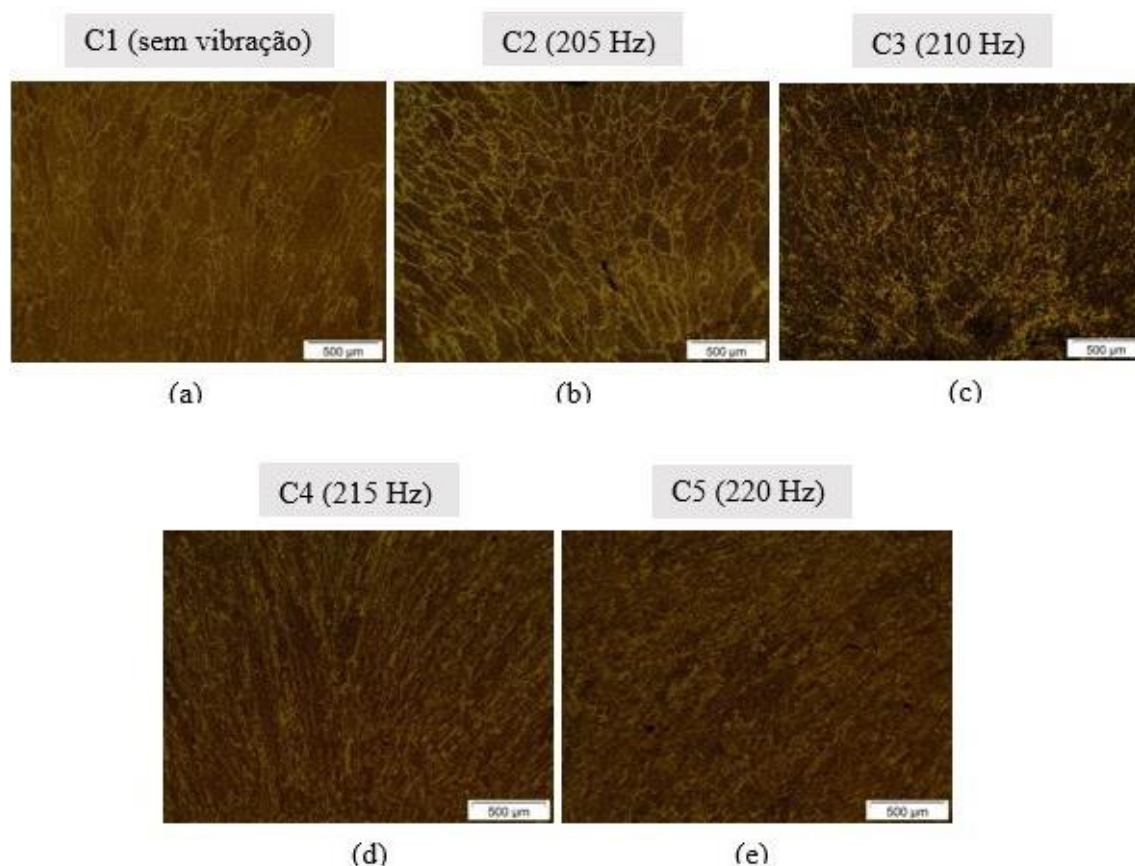


Figura 6 - Microestrutura do metal de solda para as cinco condições de soldagem, com Aumento de 50X e Nital 2%: a) C1; b) C2; c) C3; d) C4; e) C5

Para a condição sem vibração (C1), o metal de solda obtido através o processo GMAW apresenta também uma microestrutura colunar, entretanto com uma menor proporção de PF (CG) e maior proporção de Ferrita Acicular (AF). Provavelmente devido aos maiores percentuais de C, Si e Mn presentes no metal de adição. Assim como Alves (2016), utilizando o processo de soldagem GMAW e arame AWS ER 70S - 6, observou a mesma proporção dos microconstituintes, com menor proporção de PF (CG) e maior de AF.

A medida que inicia a vibração, 205 Hz (C2), nota-se que houve nitidamente uma alteração na morfologia e granulometria da microestrutura, proporcionando grão menos colunares (quase equiaxiais) e com menor dimensão.

Para uma frequência de 210 Hz (C3), verifica-se uma maior redução do grão e uma morfologia ainda mais equiaxial, promovida pelo acréscimo na frequência de vibração.

Com 215 Hz (C4), observa-se que mesmo que tenha havido uma redução no tamanho do grão, observou-se nesse caso uma maior proporção de Ferrita Primária de Contorno de Grãos – PF (CG). Este resultado, em princípio não esperado, pode ser atribuído ao elevado nível de energia promovido pela vibração muito elevada que pode ter aumentado demasiadamente a temperatura da poça de fusão e promovido uma redução na taxa de resfriamento o que possibilita maior tempo para a nucleação da ferrita nos contornos de grãos da austenita. Fonseca (2016) obteve resultado similar, utilizou o processo de soldagem GMAW e o aço ao carbono ARBL com 12,5 mm de espessura, realizou a vibração simultânea a soldagem do material, constatando um refino do metal de solda e correspondente redução de dureza.

Na frequência de 220 Hz (C5), pode-se verificar a homogeneização da microestrutura e elevada proporção de Ferrita Primária (PF) promovida pela possível redução na taxa de resfriamento, o que propiciou a geração da mesma. Maciel (2014) obteve resultado parecido, utilizando o aço ASTM A-131, submeteu o mesmo a vibração durante a soldagem, obtendo refino no metal de solda.

3.4 Contagem de Grãos na Junta Soldada

A Fig. 7 apresenta a relação entre a quantidade de grãos medidos na região da junta soldada em função da frequência de vibração utilizada aplicando-se o processo GMAW.

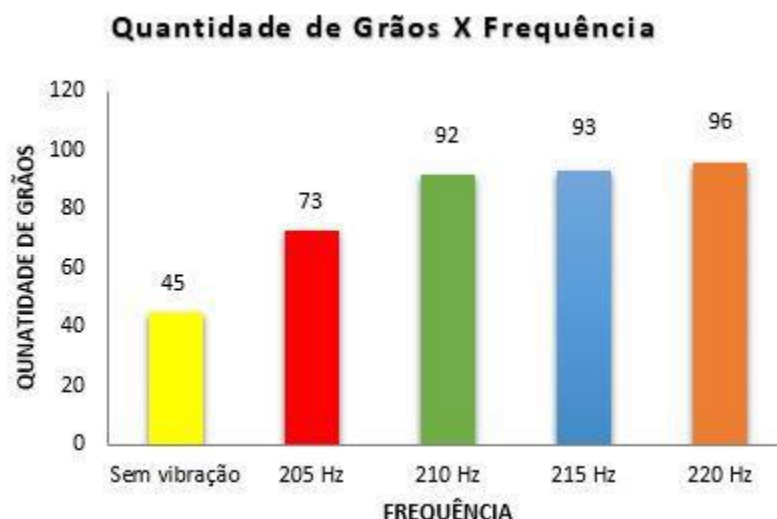


Figura 7 – Quantidade de grãos versus condição de soldagem (C1, C2, C3, C4 e C5)

Conforme a Fig. 7, observa-se o significativo aumento na quantidade de grãos ao se aumentar a frequência de vibração sendo observado um maior refino na frequência de 220 Hz (113%) em relação a condição sem vibração até atingir a frequência de 210 Hz. A partir desse valor observa-se que a vibração não promoveu refino significativo no metal de solda. Resultado semelhante foi obtido por Fonseca (2016) que utilizou o processo de soldagem GMAW e o aço ao carbono ARBL com 12,5 mm de espessura, realizou a vibração simultânea a soldagem do material, promovendo um refinamento e distribuição homogênea entre as fases ferrita e perlita.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados e análises realizadas, foi percebido que o processo de tratamento por vibração resultou no refino de grãos do metal de solda em todas as condições de soldagem, chegando a refinar em torno de 113% para uma amplitude de $51,2 \text{ m/s}^2$ e frequência de 220 Hz em relação a condição sem vibração.

A vibração mecânica, em todas as condições de soldagem realizadas, promoveu uma melhor distribuição dos grãos na poça de fusão, tornando a microestrutura mais homogênea, ocorrida pelo refino no metal de solda.

5. REFERÊNCIAS

- Alves, S. M. S.; “Características microestruturais e mecânicas de juntas soldadas em multipasses pelo processo GMAW de um aço API 5L X65Q”, 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
- Bonal Technologies Inc., Disponível em <http://www.bonal.com/>, 2003 - Acesso em julho de 2017.
- Chuvás, T. C., “Estudo da Influência dos Parâmetros de Tratamento de Alívio das Tensões Residuais por Vibração Mecânica em Juntas Soldadas a Plasma”, 2012. 104 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2012.
- Fonseca, L. N., “Caracterização macro e microestrutural e comportamento mecânico de juntas em aço USI-SAR-80T soldadas pelo processo GMAW com auxílio de processos vibracionais”, 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2016.
- Kalpana, J.; RAO, P. Srinivasa; RAO, P. Govinda. Influence of Amplitude on the Tensile Strength of Welded Joints Fabricated under Vibratory Weld Conditioning. “Journal of Mechanical Engineering Research and Developments”, v. 39, n. 3, p. 757-762, 2017.
- Maciel, L. F. C. “Efeitos da Vibração Simultânea nas Propriedades Mecânicas de Juntas de Aço ASTM A131 Soldadas pelo Processo Arame Tubular (FCAW)”, 2014. 111 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, SP, 2014.
- Martins, C.A.P.; MORILLA, J.C., VILLANI, P.V. et al.”Alívio de Tensões e Condicionamento de Solda por Vibrações Sub-Ressonantes”, 2012. Trabalho apresentado no XXXVIII Congresso Nacional de soldagem – ABS Ouro Preto, Minas Gerais.2012.
- Modenesi, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. “Introdução à Metalurgia da Soldagem”, Belo Horizonte: UFMG, 2012.

Neto, J. M. S. “Influência da Frequência de Vibração Mecânica Sobre o Refino de Grãos em Metais de Solda de Juntas do Aço ASTM A516 Gr.60”, 2018. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), PB, 2018.

Okumura, T., TANIGUCHI, C., “Engenharia de Soldagem e aplicações, Livro, Editora LTC, Rio de Janeiro, 1982.

Weite WU, Influence Of Vibration Frequency On Solidification Of Weldments”, Department of Materials Science and Engineering, I-Shou University, 1, Section 1, Hsueh-Cheng Rd., Ta-Hsu Hsiang, Kaohsiung County 84008, Taiwan, Republic of China, Scripta mater. 42 (2000) 661–665 - 1999.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EVALUATION OF THE MECHANICAL VIBRATION ON THE WELD METAL MICROSTRUCTURE OF ASTM A516 GR. 60 STEEL WELDED JOINTS

Jaime Matias da Silva Neto¹, jaimematias20@yahoo.com.br

Theophilo Moura Maciel², theophilo.maciel@ufcg.edu.br

Antonio Almeida Silva³, antonio.almeida@ufcg.edu.br

Rafael Barbosa Carneiro dos Santos⁴, rafaelbarbosacs@gmail.com

Epitácio Bronzeado Neto⁵, netoebn@gmail.com

Federal University de Campina Grande – UFCG. Avenida Aprígio Veloso 882, C.P. 10.069, University district, CEP: 58429-900, Campina Grande – PB, E-mail: ppgem@ufcg.edu.br Fones: (83) 2101 1126 / 1127 Fax: (83) 2101 1272

Abstract. *The purpose of this study was to evaluate the effects of mechanical vibration on the weld metal microstructure of ASTM A516 Gr.60 steel welded joint, applied to boilers and pressure vessels. For the mechanical vibration treatment, the VWC (Vibratory Welding Conditioning) process was used. For this, a vibratory workbench was designed and developed to perform the experiments. The welds were executed without vibration and with vibration frequencies of 205, 210, 215 and 220 Hz, using the GMAW welding process. It was noticed that the vibration resulted in the refining of grains of the weld metal in all the welding conditions, reaching about 113% of refining for an amplitude of 51.2 m/s² and a frequency of 220 Hz. The mechanical vibration, in all the conditions of welding carried out, promoted a better distribution of the grains in the fusion well, making the microstructure more homogeneous, caused by the refining in the weld metal.*

Keywords: Weld Joint, Microstructure, Mechanical Vibration, ASTM A516 Gr.60.