

EFEITO DA MICROESTRUTURA SOBRE A RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE METAIS DE SOLDA DE AÇOS FERRÍTICOS

Rafael Barbosa Carneiro dos Santos, rafaelbarbosacs@gmail.com¹

Theophilo Moura Maciel, theophilo.maciell@ufcg.edu.br¹

Jaime Matias da Silva Neto, jaimematias20@yahoo.com.br¹

Epitácio Bronzeado Neto, netoebn@gmail.com¹

Íverson Caio Pontes Pacheco, iversoncaiopontes@hotmail.com¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Avenida Aprígio Veloso 882. Bairro Universitário, 58429-900, Campina Grande, PB.

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência dos microconstituintes formados após processos de soldagem sob tratamento vibracional (VWC) em diferentes condições, no efeito causado sobre a resistência ao impacto. Foram analisadas três condições de vibrações diferentes, além de uma amostra que não foi submetida a vibração. Após rompidas no ensaio de impacto, as amostras passaram por uma preparação metalográfica, onde as imagens para identificação e quantificação dos microconstituintes foram obtidas. Após obtenção dos resultados do ensaio Charpy e dessa quantificação percentual dos microconstituintes, foi possível concluir que quanto maior for a frequência de vibração no VWC, maior seria a diminuição na formação de Ferrita Acicular e maior o aumento na formação de Ferrita Secundária e Ferrita Primária Intragranular, podendo justificar então a respectiva tendência de decaimento da energia absorvida ao impacto pelas amostras.

Palavras-chave: Ferrita Acicular, Ensaio Charpy, Condicionamento de Soldagem Vibratória.

1. INTRODUÇÃO

Os aços estruturais são largamente utilizados em diversos ramos da engenharia devido suas propriedades mecânicas como boa tenacidade e soldabilidade, elevada tensão de escoamento (COSTA, 2010) além de baixo custo. Dessa maneira, o aço ASTM A516 Gr 60 apresenta sua aplicação destinada a caldeiras e vasos de média pressão, visto que sua versatilidade quanto à temperatura de trabalho é notoriamente considerável.

Assim, atualmente se buscam melhorias nos processos e métodos de soldagem, e um dos métodos que apresenta bons resultados quanto ao refino de grão em uniões soldadas é o VWC (Condicionamento de Soldagem Vibratória) que se caracteriza como um tratamento vibracional que ocorre simultaneamente ao processo de soldagem (NETO, 2018).

Com o intuito de avaliar as propriedades mecânicas de materiais metálicos, diversos ensaios são aplicados. No que se diz respeito a energia absorvida ao impacto, um dos ensaios mais utilizados é o de Charpy.

Baseando-se nos valores obtidos através do ensaio Charpy e da quantificação percentual dos microconstituintes de solda apresentados nas amostras, este trabalho tem como objetivo exatamente relacionar o comportamento demonstrado da tenacidade do material estudado com a variação desses percentuais microestruturais.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia utilizada nesse trabalho seguiu conforme demonstra o cronograma:

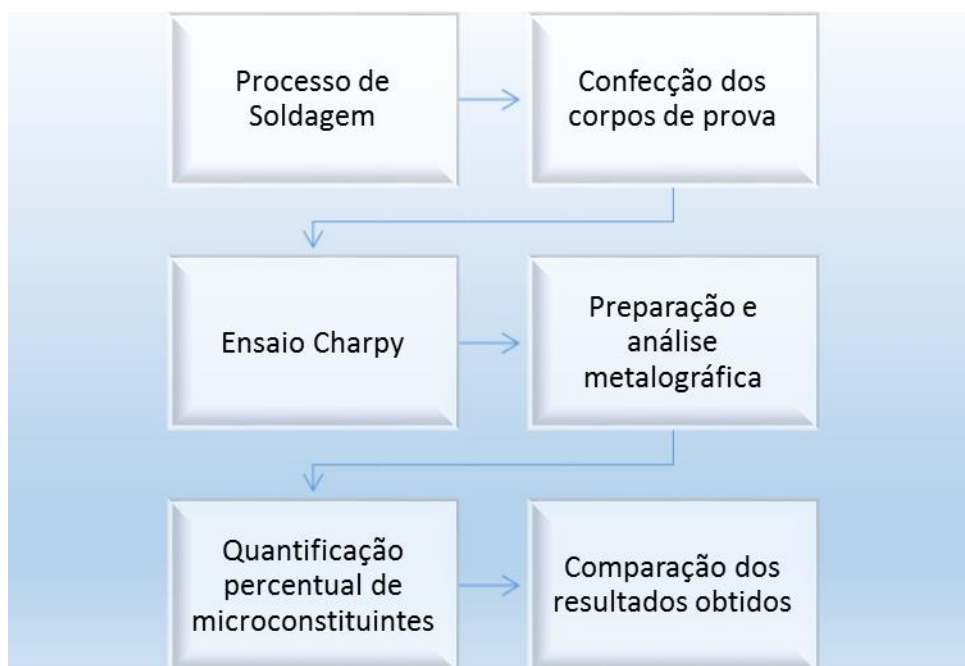


Figura 1. Cronograma das atividades.

2.1. Processo de Soldagem

As amostras de aço estrutural ASTM A516 Gr 60 foram soldadas como parte das atividades de uma dissertação de mestrado desenvolvida no Labsol (Laboratório de Soldagem – UFCG), através do processo GMAW (Gas Metal Arc Welding) popularmente conhecido como MIG/MAG, utilizando o arame AWS ER 70S-6 com 1,2 mm de diâmetro protegido com CO₂ (NETO, 2018). Inicialmente, as chapas utilizadas possuíam 200 mm de comprimento, 40 mm de largura e 6 mm de espessura.

Foi aplicado o VWC (Condicionamento de Soldagem Vibratória) que se caracteriza como um tratamento vibracional que ocorre simultaneamente ao processo de soldagem, com o intuito de obter melhor refino de grão para cada condição apresentada, conforme demonstra a tabela abaixo:

Tabela 1. Valores de pressão e frequência para cada condição de soldagem.

Condições de Soldagem	Processo de Soldagem	Pressão (Bar)	Frequência (Hz)
C1	Processo GMAW semi-automatizado sem vibração	-	-
C2	Processo GMAW semi-automatizado com vibração	2	205
C3	Processo GMAW semi-automatizado com vibração	3	210
C4	Processo GMAW semi-automatizado com vibração	4	215

2.2. Confeção dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram confeccionados conforme norma ASTM E-23 e devido suas dimensões foi necessário trabalhar com formatos sub-size. Para cada condição de soldagem foram obtidos três corpos de prova, tendo um número total de 12 amostras.

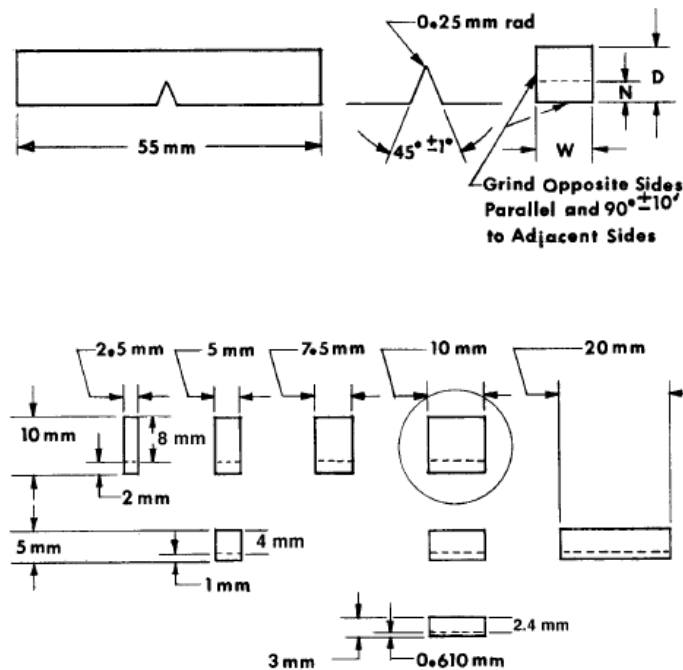


Figura 2. ASTM E23, seção A3.

Como dimensão final, obteve-se uma seção quadrada de 5 mm e o comprimento de 55 mm. Além das dimensões do corpo de prova, também é normatizado as dimensões do entalhe, que deve possuir 1 mm de profundidade e um ângulo de 45° (entalhe em V). O entalhe foi obtido através de uma máquina brochadeira, feito na superfície do cordão de solda e suas dimensões averiguadas e certificadas com precisão em um projetor de perfil horizontal de bancada.

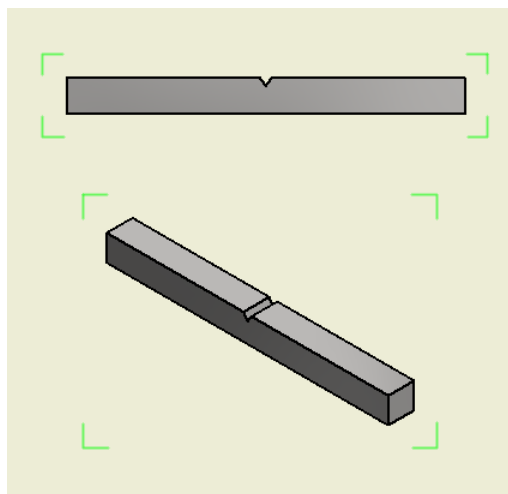


Figura 3. Corpo de prova finalizado (imagem realizada no software “Inventor”).

2.3. Ensaio de Impacto Charpy

O ensaio Charpy foi realizado segundo norma ASTM A370, à temperatura ambiente e com um martelo com capacidade de 300J. Como este ensaio possui caráter comparativo, para cada condição de soldagem três ensaios foram feitos.

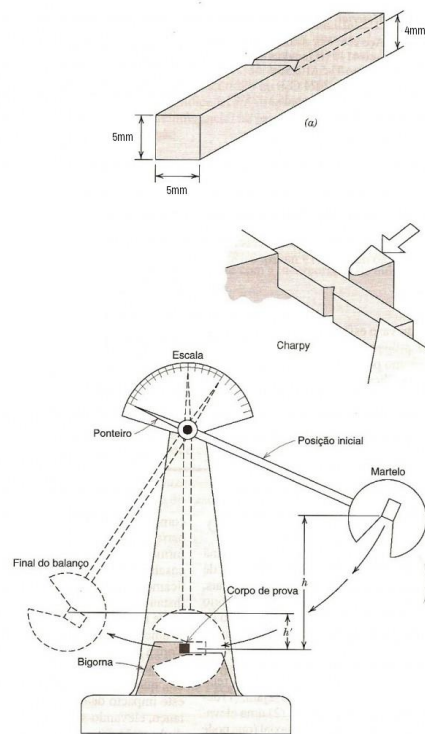


Figura 4. Ensaio Charpy.

O ensaio consiste em apoiar o corpo de prova entalhado e obter sua fratura através do impacto de um martelo pendular, conforme mostrado na Figura 4, medindo no próprio equipamento o valor da energia absorvida (em Joules). Para ser validado, é necessário que haja a separação completa das duas partes do corpo de prova, caso contrário os valores resultantes não podem ser comparados.

2.4. Preparação e Análise Metalográfica

Após o rompimento, a região onde ocorreu a fratura dos corpos de prova foi separada por corte e preparadas para análise metalográfica. Cada amostra foi embutida à quente com baquelite para facilitar o manuseio e obtenção das imagens. A sequência de lixas utilizadas seguia o aumento de granulometria (80, 110, 220, 400, 600 e 1200) e após a troca de cada lixa as amostras eram rotacionadas em 90° para eliminar os riscos inerentes da lixação anterior. O polimento foi realizado com a utilização de alumina número 4, 3 e 2, respectivamente.

Preparadas as amostras, houve o ataque com o reagente Nital 2% durante 8 segundos e obtidas as imagens via microscópio com ampliação de 200x. Três imagens foram obtidas para cada condição de soldagem.

2.5. Quantificação Percentual de Microconstituintes

A terminologia recomendada pelo IIW (International Institute of Welding) foi adotada para identificação dos microconstituintes.

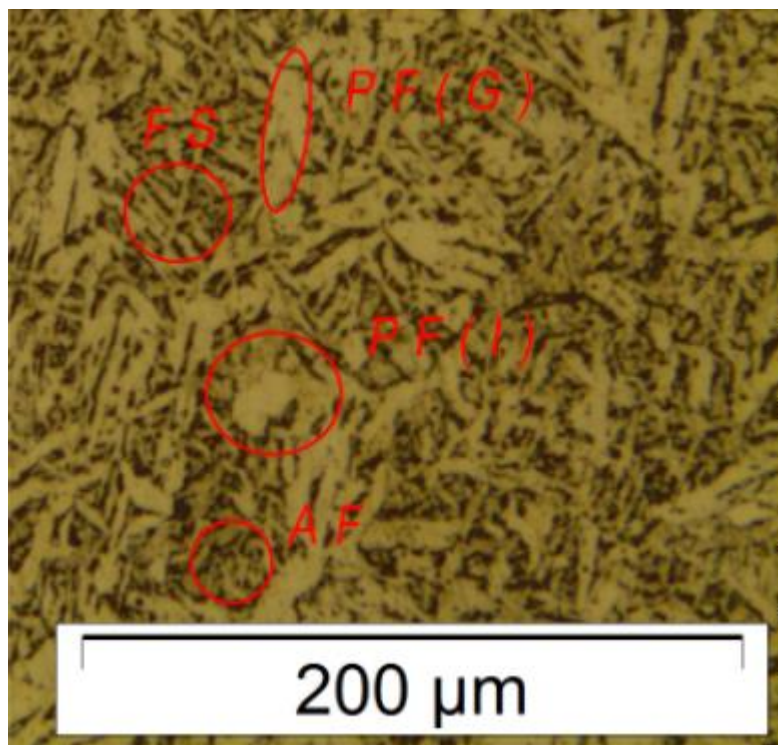


Figura 5. Identificação dos Microconstituintes.

Como explicitado na Figura 5, os microconstituintes verificados foram Ferrita Primária de Contorno de Grão (PF(G)), Ferrita Primária Intragranular (PF(I)), Ferrita Acicular (AF) e Ferrita Secundária (FS).

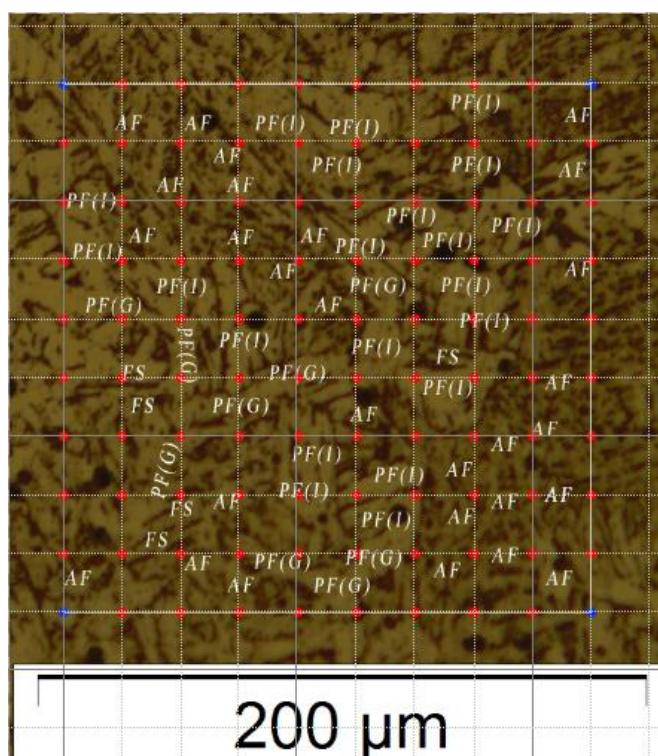


Figura 6. Malha sob metalografia, primeira imagem para C1.

Nas imagens capturadas, aplicou-se uma malha com dez linhas e dez colunas, totalizando 100 pontos de cruzamento. Em cada ponto de cruzamento foi registrado qual o microconstituente estava sob o mesmo, fazendo então a média percentual para cada condição

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Resultados do Ensaio de Impacto Charpy

Os resultados do ensaio Charpy foram obtidos no próprio equipamento onde o ensaio foi realizado, e registrados para comparação em cada condição.

Tabela 2. Resultados do Ensaio de Impacto Charpy.

GMAW	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA
Sem Vibração	19J	14J	11J	14,67J
205 Hz	8J	14J	14J	12J
210 Hz	10J	10J	16J	12J
215 Hz	8J	13J	11J	10,67J

É possível verificar maiores valores de energia absorvida na condição 1, onde não ocorreu a condição de vibração. O gráfico abaixo ajuda a melhor visualizar o comportamento da tenacidade média, bem como o desvio padrão para cada condição.

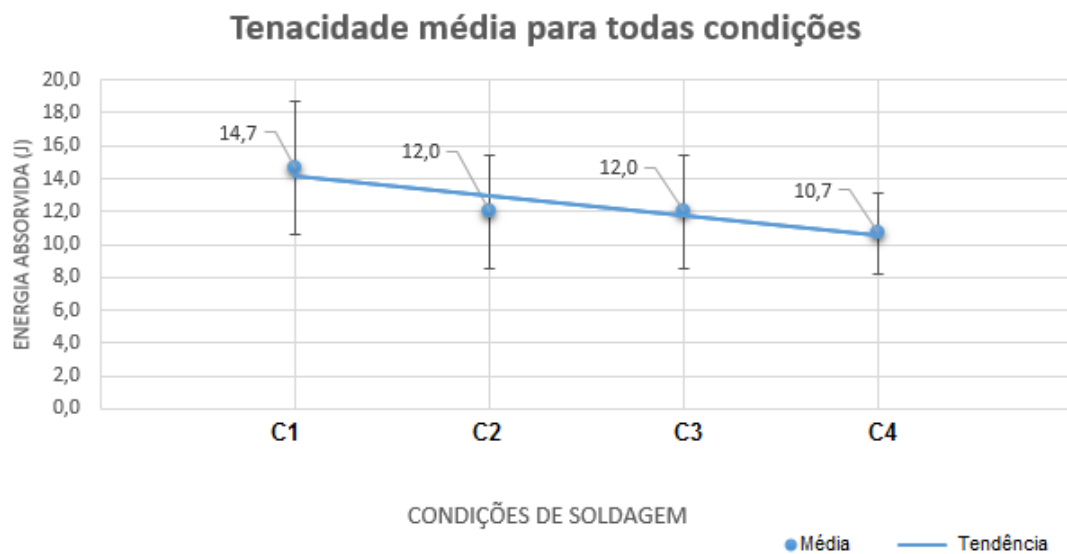


Figura 7. Gráfico da tenacidade média para cada condição.

Como demonstrado no gráfico, a tenacidade apresentou uma tendência de decaimento com o aumento da frequência de vibração, fator explicado com a análise de microconstituintes.

3.2. Valores Percentuais dos Microconstituintes

Abaixo são apresentados quadros com a quantificação de microconstituintes para cada uma das quatro condições.

Quadro 1. Percentual de Microconstituintes para C1.

SEM VIBRAÇÃO				
Constituinte	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)	MÉDIA
AF	44	31	44	39,7%
FS	7	13	13	11,0%
PF(G)	18	23	26	22,3%
PF(I)	31	33	17	27,0%

Quadro 2. Percentual de Microconstituintes para C2.

CONDIÇÃO 2				
Constituinte	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)	MÉDIA
AF	22	30	44	32,0%
FS	13	10	15	12,7%
PF(G)	31	27	15	24,3%
PF(I)	34	33	26	31,0%

Quadro 3. Percentual de Microconstituintes para C3.

CONDIÇÃO 3				
Constituinte	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)	MÉDIA
AF	30	29	26	28,3%
FS	19	16	16	17,0%
PF(G)	20	23	24	22,3%
PF(I)	32	32	34	32,7%

Quadro 4. Percentual de Microconstituintes para C4.

CONDIÇÃO 4				
Constituinte	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)	MÉDIA
AF	17	23	25	21,67%
FS	26	20	16	20,67%
PF(G)	27	27	30	28,00%
PF(I)	30	30	29	29,67%

O gráfico a seguir demonstra melhor a variação dos percentuais para cada condição.

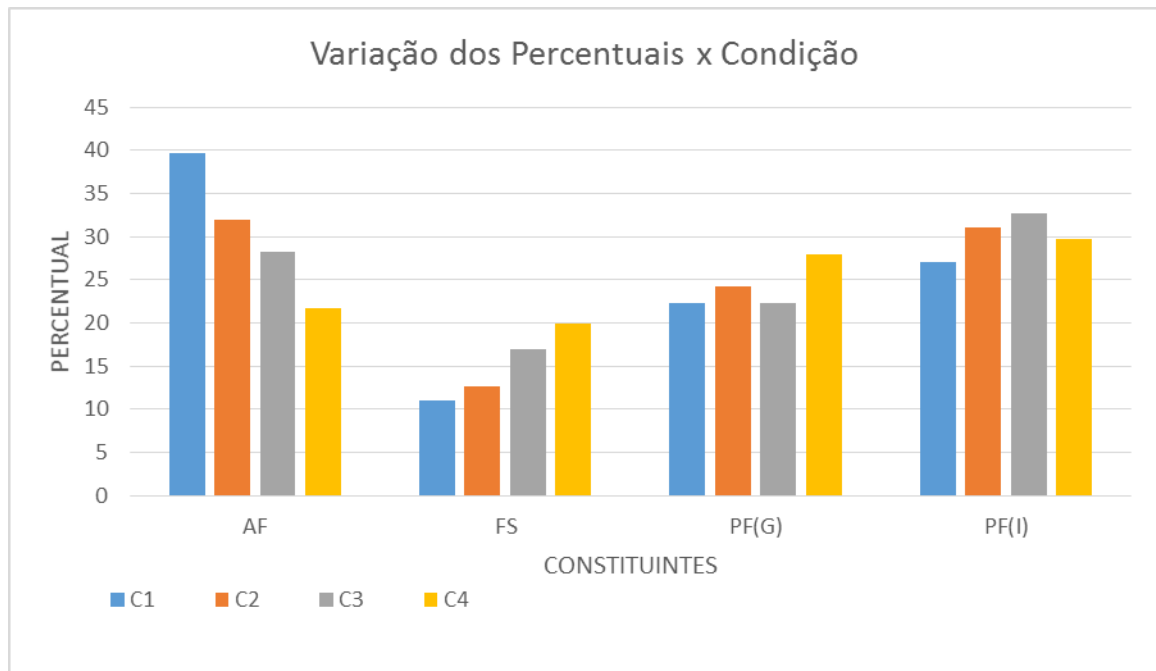


Figura 8. Variação dos microconstituintes para cada condição.

É possível perceber que o percentual de Ferrita Acicular diminuiu à medida que a frequência de vibração aumentou, comportamento contrário ao do percentual de Ferrita Secundária. A Ferrita Primária de Contorno de Grão e Intragranular também apresentaram aumento (mesmo que menos significativo) em seus percentuais.

O condicionamento de soldagem vibratória mostra que com maiores frequências de vibrações ocorrerá maior quebra de grãos dendríticos, gerando então um refino microestrutural no metal de solda (NETO, 2018). Essa diminuição do tamanho dos grãos é desfavorável à formação de ferrita acicular, pois quanto maior for o tamanho de grão, será relativamente maior a densidade de inclusões em seu interior, necessárias para o processo de nucleação deste microconstituente (HASHIMOTO, 2010).

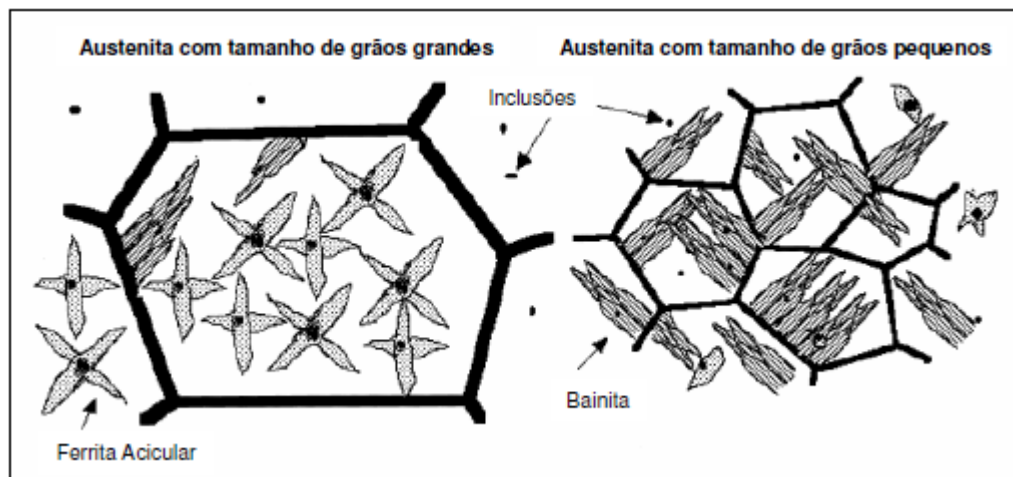


Figura 9. Efeito do tamanho dos grãos da austenita no desenvolvimento dos aços de microestrutura contendo ferrita acicular (Bhadeshia, 2001).

Outra hipótese que pode justificar a diminuição da formação de ferrita acicular é o fato de que durante o tratamento VWC pode ter ocorrido uma diminuição na taxa de resfriamento na poça de fusão, favorecendo então a formação de ferrita primária intragranular.

Essa diminuição dos percentuais de ferrita acicular pode explicar o motivo do decaimento da energia absorvida com o aumento da frequência de vibração, já que, dentre os constituintes, a ferrita acicular é considerada o melhor para se obter valores elevados de tenacidade (MODENESI, 2002). Os aumentos dos percentuais de Ferrita Secundária, Ferrita Primária Intragranular e Ferrita Primária de Contorno de Grão também pode causar uma diminuição nos valores de

tenacidade, influenciando de maneira mais positiva no aumento de dureza do material. O gráfico a seguir relaciona a energia absorvida com o percentual de ferrita acicular:

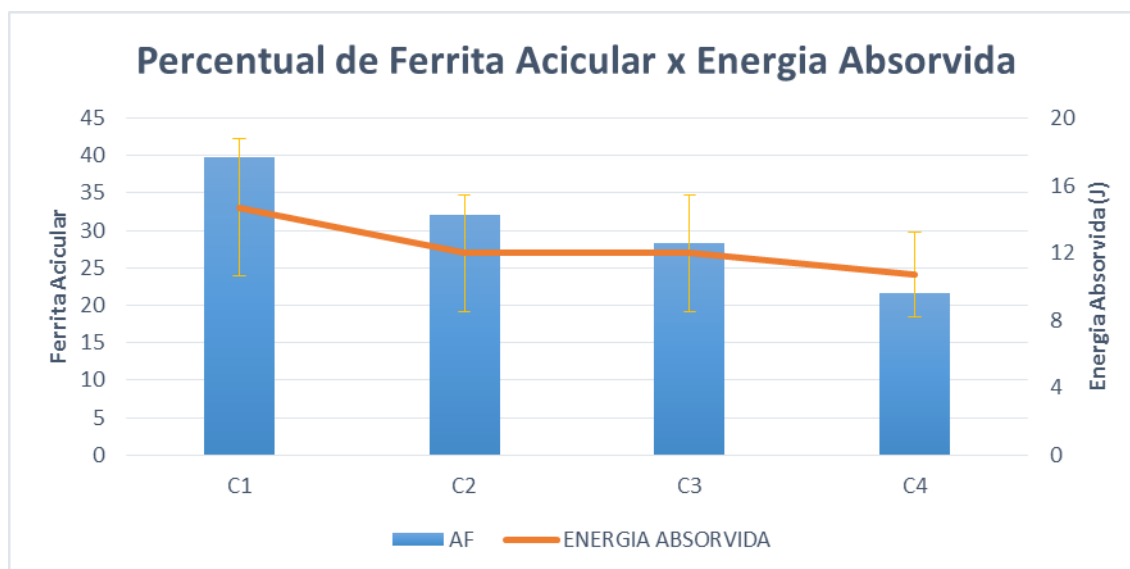


Figura 10. Percentual de Ferrita Acicular x Energia Absorvida.

4. CONCLUSÕES

Foi possível verificar que o VWC realizado sob as condições apresentadas neste trabalho teve influência na variação dos percentuais de formação dos microconstituintes, e consequentemente nos valores obtidos a partir do ensaio de impacto Charpy. Para um aumento na frequência de vibração durante o processo de soldagem, houve uma diminuição na formação de ferrita acicular devido possivelmente tanto por conta do refino de grãos, como pela diminuição da taxa de resfriamento, podendo esse ser o principal fator responsável pela diminuição da energia absorvida ao impacto dos corpos de prova.

Como sugestão para trabalhos futuros, a ampliação das frequências de vibração, verificação do que realmente ocorre na zona de ressonância e diversificação dos métodos de soldagem podem gerar resultados que compensem novas análises. Também é de grande valia a análise fractográfica dos corpos de prova, uma vez que identificar a forma como houve a fratura e o motivo desta pode vir a apresentar conclusões mais profundas acerca desta pesquisa.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Laboratório de Soldagem (LABSOL) da Universidade Federal de Campina Grande. A todos que fazem parte dessa equipe e contribuem sempre com enorme dedicação, muito obrigado.

6. REFERÊNCIAS

COSTA, AL da; MEI, P. R. Aços e ligas especiais. Blucher, Ltda, p. 425, 2010.

BHADESHIA H.K.D.H. Bainite in Steel. 2nd Ed. 458p. The Institute of Materials. London. 2001.

HASHIMOTO, M. M. B. Caracterização microestrutural de um aço baixo carbono e baixos teores de elementos de ligas com estrutura contendo ferrita acicular. 2010. 90f.

MODENESI, Paulo J. Soldabilidade dos aços transformáveis. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2004.

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.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

MICROSTRUCTURE EFFECT ON THE RESISTANCE TO THE IMPACT OF FERRITIC STEEL WELD METALS

Rafael Barbosa Carneiro dos Santos, rafaelbarbosacs@gmail.com¹

Theophilo Moura Maciel, theophilo.maciell@ufcg.edu.br¹

Jaime Matias da Silva Neto, jaimematias20@yahoo.com.br¹

Epitácio Bronzeado Neto, netoebn@gmail.com¹

Íverson Caio Pontes Pacheco, iversoncaiopontes@hotmail.com¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Avenida Aprígio Veloso 882. Bairro Universitário, 58429-900, Campina Grande, PB.

Abstract. *The present work aims to analyze the influence of the microconstituents formed after welding processes under vibration treatment (VWC) in different conditions, in the effect caused on the impact resistance. Three different vibration conditions were analyzed in addition to a sample that was not subjected to vibration. After breaking in the impact test, the samples passed through a metallographic preparation, where the images for identification and quantification of the microconstituents were obtained. After obtaining the results of the Charpy Test and the percentage of the microconstituents, it was possible to conclude that the higher the vibration frequency in the VWC, the greater the decrease in the formation of Acicular Ferrite and the greater the increase in the formation of Secondary Ferrite and Intragranular Primary Ferrite, and may then justify the respective tendency of the energy absorbed to the impact by the samples to decay.*

Keywords: *Vibratory Welding Conditioning, Charpy Testing, Welding Microconstituents.*