

ESTUDO COMPARATIVO DAS TRANSFORMAÇÕES METALÚRGICAS DA ZONA FUNDIDA DE JUNTAS SOLDADAS DO AÇO AISI 316L PELO PROCESSO GMAW E GTAW AUTÓGENO *

Rudinei Demarquer¹
Ellem Patricia dos Santos²
Rafaela dos Santos Siva³
José Adilson de Castro⁴

Resumo

Os aços AISI316L são utilizados em usinas nucleares e necessitam ser soldados. Para garantir qualidade e segurança da junta soldada é necessário conhecer profundamente as propriedades metalúrgicas do aço 316L quando soldado. Os processos de soldagem mais utilizados são o GMAW e o GTAW. Este trabalho teve como principal objetivo mensurar quantitativamente e qualitativamente a diferença entre os resultados desses processos. No presente estudo foi avaliada a influência da variação do aporte térmico sobre a geometria do cordão de solda, o espaçamento dendrítico na região da zona fundida (ZF), a microdureza na ZF, e a fração volumétrica de ferrita δ na ZF, utilizando o processo MIG, e TIG em chapas de aços 316L. As amostras soldadas tiveram sua microestrutura caracterizada realizando um estudo comparativo entre os resultados obtidos com o processo GMAW e o GTAW para as mesmas condições de soldagem. A partir de variações nos aportes térmicos foi analisada de forma qualitativa e quantitativa, as diferenças sobre fenômenos metalúrgicos na junta soldada, diferença que já era esperada devido à presença do metal de adição, mas que através deste trabalho pôde ser quantificada.

Palavras-chave: Aço Inoxidável Austenítico; Simulação Computacional; GMAW; GTAW

COMPARATIVE STUDY OF METALLURGICAL TRANSFORMATIONS OF THE MELT ZONE OF WELDED JOINTS OF AISI 316L STEEL BY THE GMAW AND AUTOGENOUS GTAW PROCESS

Abstract

AISI 316L steels are used in nuclear power plants and need to be welded. To ensure quality and safety of the welded joint, it is necessary to know the metallurgical properties of 316L steel when welded. The most used welding processes are GMAW and GTAW. The main objective of this work was to quantify qualitatively the difference between the results of these processes. In the present study, the influence of the thermal input variation on the weld bead geometry, the dendritic spacing in the zone of the molten zone (MZ), the microhardness in the MZ, and the δ ferrite δ fraction in the MZ were evaluated using the process GMAW, and GTAW in 316L steel plates. The welded samples had their microstructure characterized by performing a comparative study between the results obtained with the GMAW and GTAW process for the same welding conditions. Differences in metallurgical phenomena in the welded joint were analyzed qualitatively and quantitatively from differences in the heat input, a difference that was already expected due to the presence of the addition metal, but which could be quantified through this work.

Keywords: Austenitic Stainless Steel; Computational Simulation; GMAW; GTAW

¹ Engenharia Metalúrgica, Mestre, Professor Assistente, Engenharia Mecânica, UFRJ- Campus Macaé, Doutorando UFF-Volta Redonda, Macaé, RJ, Brasil.

² Engenharia Metalúrgica, Mestre, Macaé, RJ, Brasil.

³ Engenharia Metalúrgica, Mestranda, PPGEM, UFF-Volta Redonda, Volta Redonda, RJ, Brasil

⁴ Engenharia Metalúrgica, Ph.D., Professor Adjunto, PPGEM, UFF-Volta Redonda, Volta Redonda, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Devido à combinação de propriedades que os aços inoxidáveis austeníticos apresentam como resistência a corrosão, ductilidade, tenacidade, soldabilidade e resistência mecânica em temperaturas elevadas segundo Modenesi [1], são muito utilizados em componentes de reator em indústrias nucleares além de indústria química, petroquímica, farmacêutica, alimentícia e de biotecnologia. Como muitas dessas aplicações são de elevada responsabilidade é fundamental a realização de constantes estudos e pesquisas do material em condições extremas.

Com a expansão de setores como o petroquímico buscando fontes de energia alternativa, a soldagem em aço inoxidável como AISI316L, foco deste estudo, foi impulsionada. Alguns estudos têm sido realizados quanto à estrutura obtida com a soldagem de aços inoxidáveis. Rodrigues [2] avaliou a ocorrência da contração mecânica do arco na soldagem A-TIG de aços inoxidáveis austeníticos. Ronqueti [3] estudou o efeito do modo de transferência metálica sobre o comportamento térmico e as transformações metalúrgicas na soldagem MIG dos aços austeníticos aisi 304 e 316 utilizados em projetos de instalações nucleares. Morelos [4] estudou a melhoria da resistência à corrosão localizada das juntas de aço inoxidável duplex AISI 2205 soldadas por GMAW sob interação eletromagnética de baixa intensidade. Rentería [5] estudou o efeito da interação eletromagnética durante a soldagem do aço inoxidável duplêx AISI2205 na resistência a corrosão. Qin [6] avaliou a sensibilidade das forças motrizes sobre o comportamento e defeito na formação da poça de fusão na soldagem TIG de alta velocidade.

Uma revisão dos estudos existentes mostra que a maioria das investigações centraram-se na evolução morfológica da dendrita para diferentes condições de solidificação na região local do metal de solda utilizando um modelo numérico. Alguns estudos também simularam os grãos na estrutura da solda. Contudo, uma investigação comparativa utilizando resultados experimentais da evolução morfológica das diversas estruturas de solidificação na seção transversal da solda aliada a um modelo numérico que simule o ciclo térmico sofrido pelo material soldado não foi relatada, e uma relação entre dois processos de soldagem distintos (GMAW e GTAW), utilizando os mesmos aportes térmicos ainda não foi estabelecida. Para tal comparação revelar claramente o mecanismo de formação de diferentes estruturas de solidificação da solda, é necessário avaliar as estruturas resultantes de no mínimo três faixas de aportes para cada processo, simular para os dois processos de soldagem o comportamento de transferência de calor no componente soldado com os três aportes utilizados e assim definir as tendências.

Este artigo objetiva realizar uma avaliação das transformações de fases, morfologias macro e micro, influência destas sobre a micro dureza da ZF. Induzidas pela interação da energia adicionada e o metal base (aço AISI316L) no processo GTAW autógeno, e pela interação da energia de soldagem, com o metal de adição (arame) e o metal base (AISI316L) no processo GMAW.

2. MATÉRIAS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os materiais utilizados no processo de soldagem experimental do presente trabalho foram seis chapas do aço inoxidável austenítico AISI 316L. As Tabelas 1 e 2

apresentam, respectivamente, as dimensões das chapas analisadas e a composição química das chapas.

É importante lembrar que os materiais, após o processo de fabricação, foram submetidos a tratamento térmico adequado de solubilização com o objetivo de dissolver precipitados formados durante a solidificação. Na tabela 1 tem-se as dimensões dos corpos de prova utilizados para os dois processos. Na tabela 2 tem-se a composição química o AISI316L. Na tabela 3 é apresentado a faixa de composição química do arame segundo a ESAB, que foi utilizado para o processo de soldagem GMAW em três corpos de prova.

Tabela 1: Dimensões das chapas dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 316L.

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
110	60	10

Tabela 2: Composição química (% em peso) dos aços inoxidáveis AISI 316L

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
0,021	1,33	0,420	0,034	0,001	17,08	10,02	2,026	0,1010	0,05

Tabela 3: Faixa de composição química do arame de adição ER316L de acordo com a ESAB (2005) (% em peso).

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P e S
<0,03	18,0 – 20,0	11,0 – 14,0	2,0 – 3,0	1,0 – 2,5	0,25 – 0,6	≤0,03

2.2 Métodos

O presente trabalho emprega os processos de soldagem GMAW e o GTAW autógeno utilizando três aportes distintos, com a finalidade de se realizar uma análise comparativa das características das juntas soldadas.

A soldagem de todas as seis chapas foi realizada em um único passe, os três primeiros com deposição de material (processo GMAW), e os três últimos sem deposição de material de adição (processo GTAW autógeno), formando um cordão com extensão média de 180 mm ao longo do comprimento das chapas conforme figura 1.

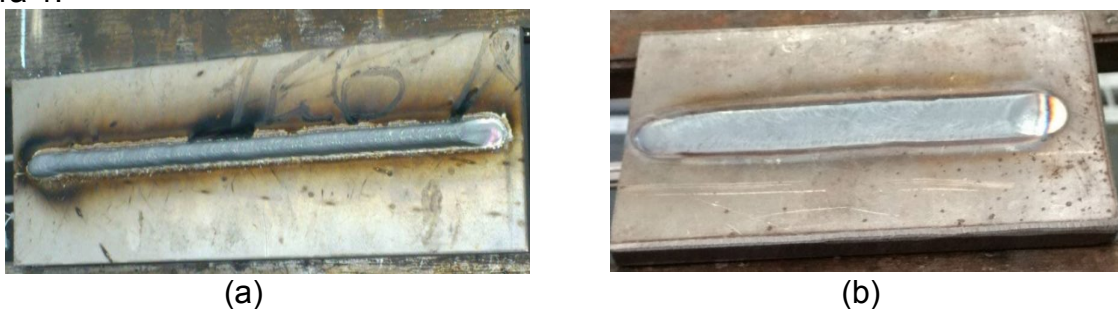


Figura 11: Exemplo da deposição de cordão de solda sobre a chapa utilizando (a) o processo MIG, (b) o processo TIG.

Considerando como objetivo principal deste estudo, a análise e comparação das alterações nas características das juntas soldadas pelo processo GMAW e o GTAW para diferentes faixas de aportes térmicos no mesmo aço, vale lembrar que o fator de rendimento η para o processo GTAW é 0,6 com metal de adição, já para a soldagem autógeno o fator de rendimento η é 0,8 assim como o processo GMAW. O aporte térmico pode ser calculado através da equação 1.

$$HI = \frac{I \times V \times \eta}{1000 v} (1)$$

Onde HI é o aporte térmico, I e V são respectivamente a corrente e a tensão utilizada no processo, η é o rendimento e v é a velocidade de soldagem.

As faixas de aportes térmicos apresentadas na Tabela 4 foram escolhidas visando estudar um limite inferior ao recomendado para a soldagem destes materiais (0,5 kJ/mm), um limite superior ao recomendado (1,5 kJ/mm) e um valor muito acima da faixa recomendada (2,5 kJ/mm). Além disso, os aportes utilizados na soldagem das seis chapas do AISI 316L foram todos iguais, sendo a variação do aporte obtida apenas pela variação da velocidade de soldagem.

Tabela 4: Subdivisão das chapas a serem soldadas no processo GMAW e GTAW para diferentes aportes térmicos.

Material	Processo de soldagem	Aportes térmicos (kJ/mm)	Amostra
AISI 316L	GTAW	0,5	1
		1,5	2
		2,5	3
AISI 316L	GMAW	0,5	4
		1,5	5
		2,5	6

2.3 Caracterização microestrutural

Após corte e embutimento da amostra como recebida, para fins comparativos a mesma foi lixada e lixadeira manual utilizando lixas de carbetto de silício das seguintes granulometrias: 100, 220, 320, 400, 600, 800, 1200, 2500 e 4000 mesh. Posteriormente, foi realizado o polimento mecânico das amostras em politrizes manuais utilizando como abrasivo pasta de diamante de granulometria de 1 μ m e, então, a amostra foi atacada por imersão com o reagente beraha, com composição conforme tabela 5.

Tabela 5: Solução utilizada para ataque dos materiais como recebido, Beraha

AISI 316L- Reagente	
Água destilada	80ml
Ácido Clorídrico (HCl) 37%	25ml
Metabissufito de Potássio	0,5g

Após o processo de soldagem, foi retirada uma amostra de cada chapa para realização de caracterização microestrutural (análise de fases, medição de tamanho de grão austenítico, quantificação de ferrita δ na zona fundida), dimensionamento da zona fundida, medição da Microdureza Vickers nas diferentes zonas (zona fundida e metal base), e medição do espaçamento dendrítico.

2.4 Metodologia numérica

A modelagem computacional aplicada nesta avaliação objetiva simular os efeitos da variação do aporte térmico de soldagem sobre o ciclo térmico de temperatura no material soldado (AISI 316L). No processo de modelagem computacional são considerados os fenômenos de transferência de calor (radiação, convecção e condução) acoplados aos fenômenos de transferência de massa (aquecimento, fusão, resfriamento e solidificação). A fim de simplificar e tornar viável a elaboração

do modelo para simulação computacional, algumas considerações foram feitas segundo Xavier [7]:

- ✓ A velocidade de soldagem é constante;
- ✓ A perda de calor na superfície da chapa ocorre por convecção e radiação;
- ✓ Deposição de somente um cordão de solda;
- ✓ Eletrodo de soldagem percorrendo a chapa;
- ✓ A distância entre eletrodo e chapa é constante.

Este modelo se baseia na resolução da equação diferencial da conservação de energia (Equação 2), sendo a temperatura (T) a variável dependente, conforme equação 2:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) + \text{div}[\rho c_p (\vec{u})T] = \text{div}[k[(\text{grad}(T))]] + S \quad (2)$$

Onde:

ρ : Densidade do aço

c_p : Calor específico

k : Condutividade térmica

\vec{u} : Vetor velocidade

T: Campo de temperatura

S: Termo fonte, que corresponde a todas as fontes de entrada ou perda de calor no processo (energia/calor adicionado na soldagem, transformação de fase, fusão e solidificação) que neste trabalho será dado pelo modelo duplo-elipsóide proposto por Goldak [8].

O modelo de Goldak [7] (Equação 2) é também conhecido como duplo-elipsóide, pois a distribuição de calor é modelada (em volume) como duas elipses, uma à frente da fonte de calor e outra atrás, conforme mostra a Figura 2. Para modelar o processo de soldagem e fazer a previsão de temperatura na chapa foram considerados os mesmos parâmetros do processo experimental, e foram feitas algumas considerações adicionais a fim de tornar viável a simulação computacional. O modelo numérico de previsão de temperatura consiste na resolução da equação de conservação de energia (Equação 2) aplicada sobre o volume da chapa como domínio de estudo.

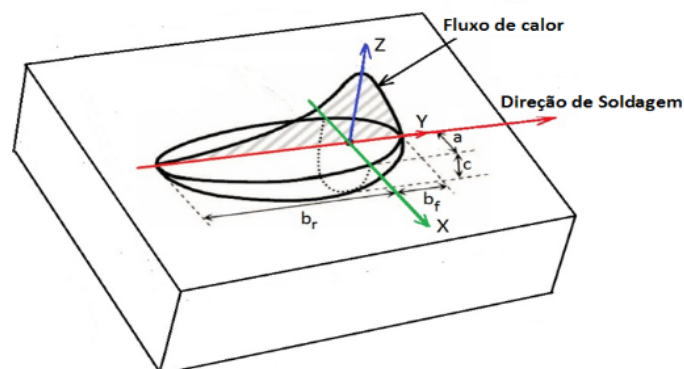


Figura 2: Modelo da fonte de calor duplo elipsóide. Adaptada de Goldak e Akhlaghi [9].

Neste trabalho de Goldak et al. [9], o calor do arco de soldagem em movimento é aplicado como uma fonte de calor volumétrica com uma distribuição em duplo elipsóide.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Microestrutura do Material no Estado como Recebido

A Figura 3 mostra a micrografia do metal base (MB) deste estudo, o aço AISI 316L obtido por microscopia óptica. A microestrutura deste aço é constituída por grãos recristalizados de austenita, com a presença de maclas de recozimento que são características deste material. Porém, observou-se heterogeneidade da matriz, evidenciada pelos diferentes tamanhos de grãos. Além disso, pode-se perceber a presença de pequenas bandas de ferrita δ confirmadas por Tiedra [10].

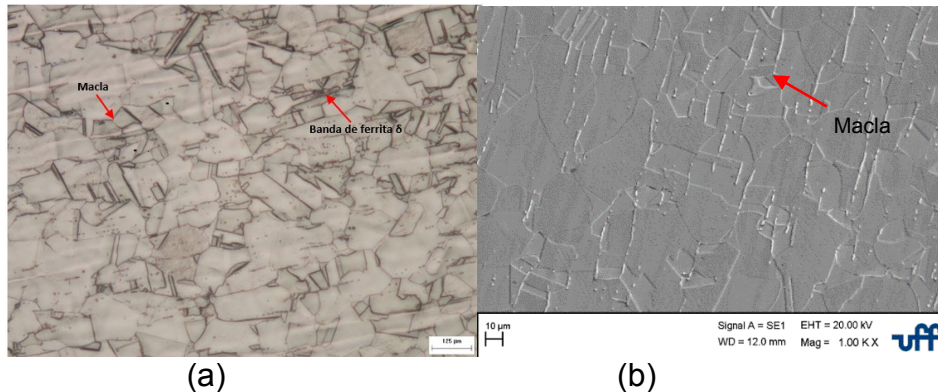


Figura 3: Microestrutura do aço AISI 316L como recebido. Matriz constituída por grãos poligonais de austenita, presença de maclas e bandas de ferrita δ . Ataque Beraha, (a) microscopia óptica aumento 200x. (b) MEV aumento 1000x.

3.2 Micro dureza e quantificação de fases do material como recebido

A tabela 6 apresenta o percentual médio de ferrita delta calculada através do software imagepro- plus, e a microdureza do material como recebido:

Tabela 6: Propriedades do material como recebido

Material como recebido	Microdureza	Fração de Volumétrica de Ferrita Delta
AISI 316L	168HV	5%

Estes valores serão utilizados como referências, para comparação com os valores obtidos nas juntas soldadas após os processos de soldagem.

3.3 Interface MB/ZAC/ZF das juntas soldadas

As ZAC's do aços inoxidáveis austeníticos AISI 316L tanto com o processo MIG quanto TIG são formadas por uma quantidade de ferrita δ e por grãos austeníticos crescidos. Além disso, a zona de transição entre a zona fundida e a zona afetada pelo calor é diferenciada pela morfologia da ferrita δ , esta apresenta no geral, uma morfologia vermicular e quando em temperaturas menores de resfriamento pode ser observada a presença de austenita de Widmanstatten e intergranular. A ferrita δ , geralmente na zona fundida é vermicular e laminar. Além disso outra característica marcante em juntas soldadas destes aços é a dimensão da ZAC, que se apresenta de forma comprimida dando origem a uma ZAC pequena, este fenômeno ocorre devido a baixa condutividade térmica desses aços. Na figuras 4 (a) a 6 (b) são apresentados as interfaces para os processos MIG e TIG respectivamente.

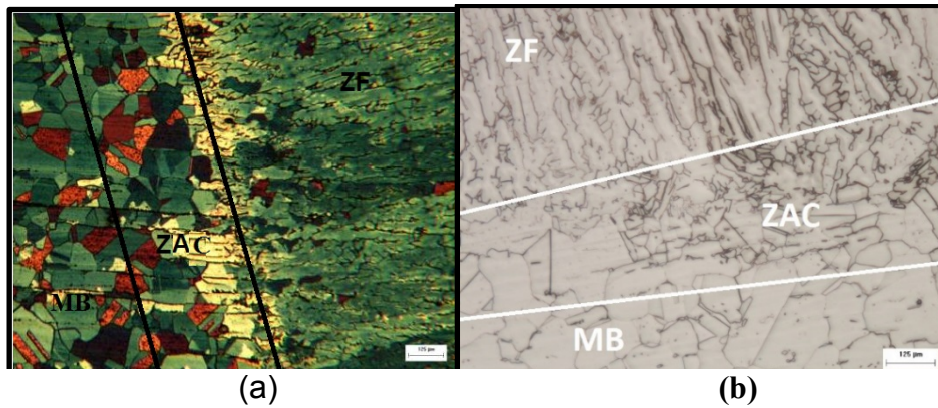


Figura 4: Microestrutura interface MB/ZAC/ZF do AISI 316L, soldado com aporte térmico de 0,5KJ/mm. Ataque Beraha, aumento 200X (a) GMAW (b) GTAW.

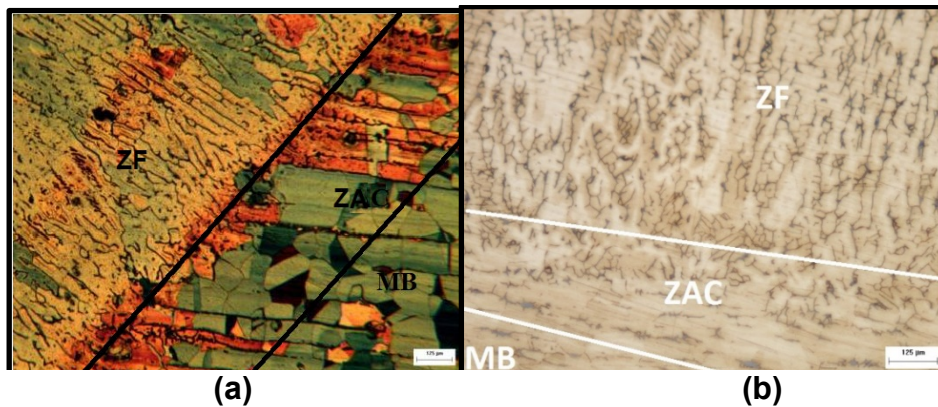


Figura 5: Microestrutura interface MB/ZAC/ZF do AISI 316L, soldado com aporte térmico de 1,5KJ/mm. Ataque Beraha, aumento 200X (a) GMAW (b) GTAW.

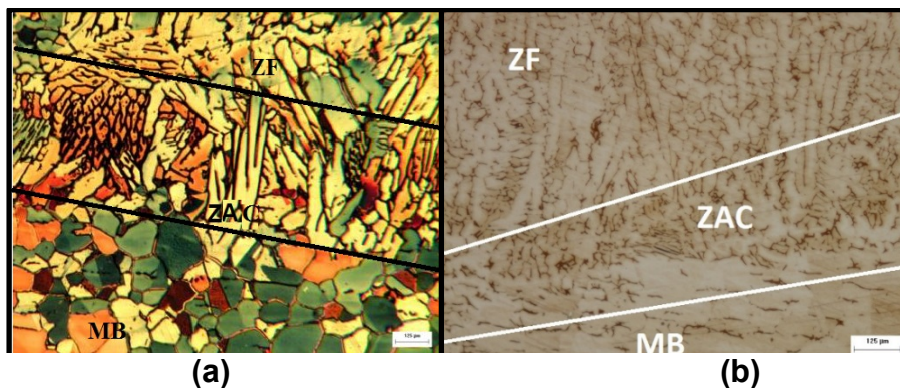


Figura 6: Microestrutura interface MB/ZAC/ZF do AISI 316L, soldado com aporte térmico de 2,5KJ/mm. Ataque Beraha, aumento 200X (a) GMAW (b) GTAW.

Pode-se observar nas figuras 4, 5 e 6 que o aumento do aporte térmico ocasionou um aumento na região da ZAC, com maior intensidade para o processo MIG comparado com o TIG. Assim como os grãos da ZAC obtida pelo processo MIG, apresentaram um aumento mais expressivo que os grãos da ZAC obtida pelo processo TIG para aporte térmico e aumento equivalentes.

3.4 Microestrutura do MS das Juntas Soldada

As figuras 7, 8 e 9 apresentam as microestruturas da Zona Fundida das juntas soldadas com aporte térmico de 0,5KJ/mm, 1,5 KJ/mm e 2,5 KJ/mm pelos processos

MIG e TIG. Vale ressaltar que as regiões apresentadas nas micrografias, para haver certa equivalência, não são regiões de transição.

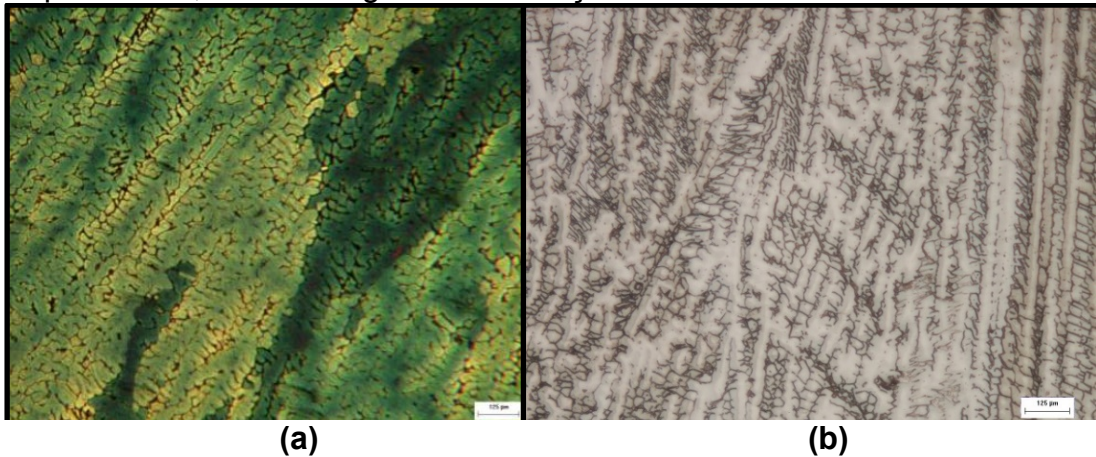


Figura 7: Microestrutura da ZF do AISI 316L, aporte térmico de 0,5KJ/mm. Ataque Beraha, aumento 200X (a) GMAW (b) GTAW.

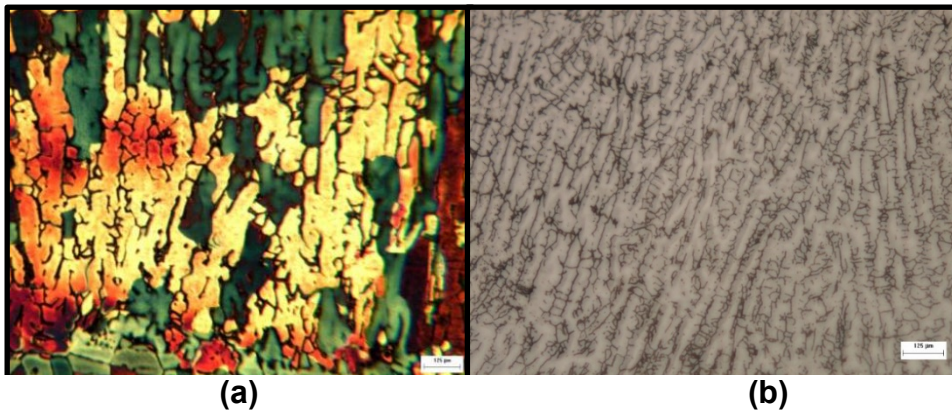


Figura 8: Microestrutura da ZF do AISI 316L, aporte térmico de 1,5KJ/mm. Ataque Beraha, aumento 200X (a) GMAW (b) GTAW.

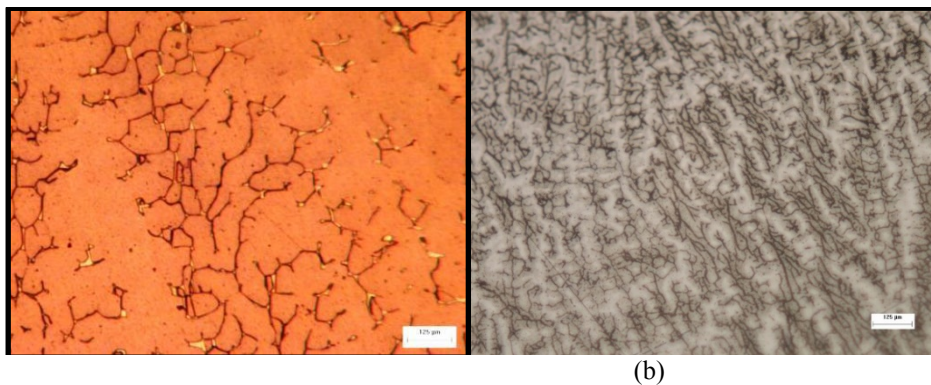


Figura 9: Microestrutura da ZF do AISI 316L, aporte térmico de 2,5KJ/mm. Ataque Beraha, aumento 200X (a) GMAW (b) GTAW.

Pode-se observar que para as mesmas faixas de aporte térmico as dendritas resultantes do processo GMAW e apresentaram mais grosseiras que as resultantes do processo GTAW. Mesmo o processo GMAW tendo que fundir o arame de adição e o metal, essa estrutura dendrítica indica que a temperatura atingida na poça de fusão para o processo GMAW é maior que a no processo GTAW. Esse fato pode ser atribuído à distância da tocha a peça que no processo MIG é maior devido à existência de Stick-out, ocasionando um aumento na tensão devido à distância, logo

a uma energia real concentrada na poça de fusão maior que na do processo GTAW, apesar do aporte térmico calculado ser o mesmo para os dois processos.

À luz da caracterização microestrutural, energia na poça de fusão menor resulta em temperaturas menores logo em taxas de resfriamento maior e por sua vez em dendritas mais finas com espaçamentos dendríticos menores (figuras 7b, 8b e 9b), já mais energia na poça de fusão resulta em temperaturas maiores logo em taxas de resfriamento menor e por sua vez em dendritas mais grosseiras com espaçamentos dendríticos maiores (figuras 7a, 8a e 9a).

3.5 Espaçamento Dendrítico

Para realizar a medida do espaçamento dendrítico das amostras soldadas foi utilizado o software SMART SEM instalado no microscópio eletrônico de varredura (MEV), conforme mostrado na figura 10. Para obter uma maior confiabilidade foram feitas três imagens de regiões diferentes do metal de solda com aumento de 2000 vezes, em cada imagem foram realizadas 10 medidas totalizando 30 medidas por amostra e então foi calculado um espaçamento médio para cada imagem, posteriormente foi calculada uma média final a partir das três médias para cada amostra. A tabela 7 traz as médias dos valores obtidos com as medidas realizadas com cada processo.

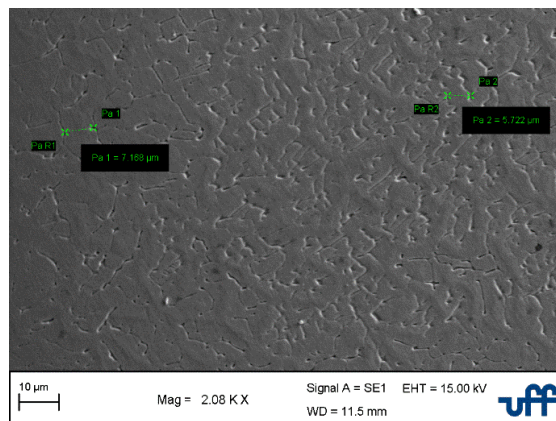


Figura 10: Método utilizado para medir o espaçamento dendrítico, Microscopia eletrônica de Varredura.

Tabela 7: Valores médios do espaçamento dendrítico para os três aportes com os dois processos de soldagem

Amostra	Processo	Aporte [kJ/mm]	Espaçamento dendrítico[µm]
1	GTAW	0,5	0,396
2	GTAW	1,5	0,52
3	GTAW	2,5	0,6075
4	GMAW	0,5	0,63
5	GMAW	1,5	0,986
6	GMAW	2,5	1,463

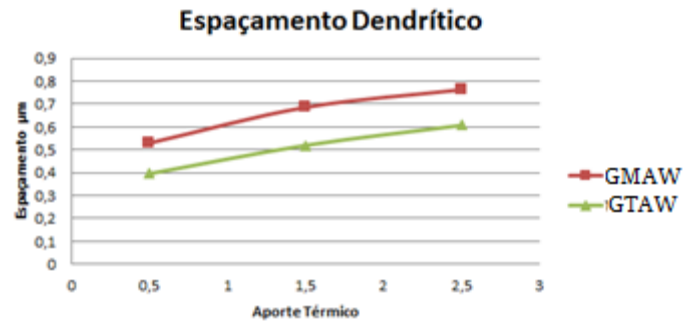


Figura 11: Gráfico do espaçamento dendrítico obtido para os três aportes com os processos GMAW e GTAW.

Assim como pode ser observado nas figuras 7, 8 e 9 o aumento do aporte térmico ocasiona um aumento no espaçamento dendrítico, devido a maior temperatura que resulta em uma menor taxa de resfriamento e assim obtém uma dendrita mais grosseira. Esse processo ocorre com maior intensidade no processo MIG como pode ser observado no gráfico da figura 11.

3.6 Microdureza Vickers e fração volumétrica da ZF

A análise do perfil de microdureza Vickers da junta soldada é de fundamental importância quando se deseja avaliar as características da região soldada, pois, esta propriedade está diretamente ligada a fenômenos de transformações de fases e microestruturais decorrentes dos diferentes ciclos térmicos sofridos em diferentes regiões.

A Tabela 8 exibe os valores médios de Microdureza Vickers da ZF de todas as chapas do AISI 316L soldadas com processo GMAW e GTAW.

Tabela 8: Valores médios de Microdureza Vickers (HV) das juntas soldadas do aço AISI 316L

Amostra	Processo	Aporte	Fv ferrita (%)	Microdureza(HV)
CR	###	###	5	168
1	GTAW	0,5	13,7	167
2	GTAW	1,5	15,2	172
3	GTAW	2,5	18,4	173
4	GMAW	0,5	10,5	174
5	GMAW	1,5	11,3	178
6	GMAW	2,5	12	191

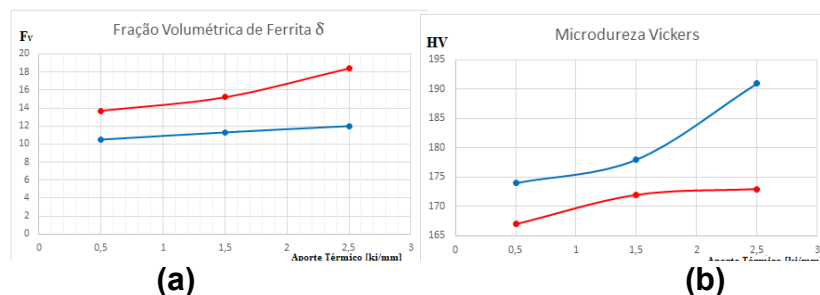


Figura 11: Gráfico aço AISI 316L soldado pelo processo GMAW e GTAW (a) Fração volumétrica de ferrita δ , (b) Microdureza Vickers. Em vermelho o processo GTAW e em azul GMAW.

Considerando-se que o valor de microdureza Vickers média do aço AISI 316L no estado como recebido é de 170 HV, percebe-se que os valores de microdureza Vickers para as diferentes zonas (ZF) não apresentaram variações significativas após o processo de soldagem (considerando a escala Vickers que abrange valores de 100HV até aproximadamente 900HV). Desta forma, este resultado pode ser explicado em função das medições terem sido realizadas na matriz austenítica, onde a espessura das dendritas de ferrita δ se apresenta muito fina, dificultando assim a medição da microdureza Vickers somente nesta fase. Resultado semelhante foi obtido por Pessanha [11] no estudo do aço inoxidável austenítico 347 soldado.

A fração volumétrica de ferrita delta aumentou com o aumento do aporte térmico para os dois processos, porém o processo GTAW apresentou um aumento superior a do processo MIG. Fato que pode ser justificado pela presença de um metal de adição (arame) no processo MIG, que reduziu a concentração de elementos ferritizantes presentes na ZF, diminuindo assim a fração de ferrita delta nas chapas soldadas pelo processo GMAW.

3.7 Distribuição de temperatura sobre a chapa

Este tópico tem como objetivo analisar os resultados de distribuição de temperatura nas chapas soldadas pelo processo GMAW e GTAW calculados pelo modelo numérico durante a soldagem. A figura 12 apresenta as distribuições calculadas.

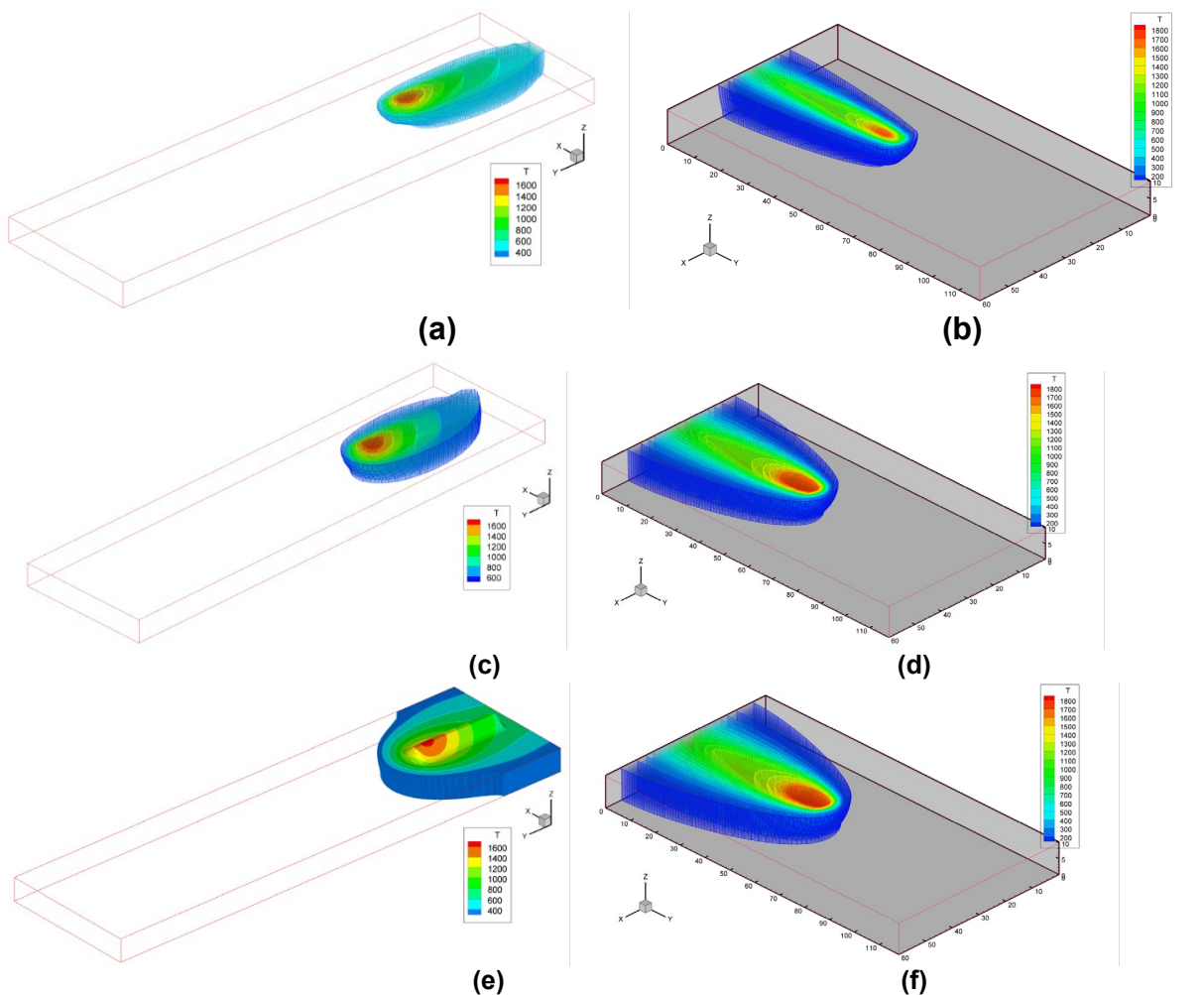


Figura 12: Gráfico aço AISI 316L soldado pelo processo com aporte térmico (a) GMAW 0,5kj/mm, (b) GTAW 0,5kj/mm, (c) GMAW 1,5kj/mm, (d)GTAW1,5kj/mm, (e) GMAW 2,5kj/mm, (f) GTAW 2,5kj/mm.

De forma comparativa, pode-se analisar na Figura 12 que aumento do aporte térmico para ambos os processos implicou em menores gradientes térmicos e menores taxas de resfriamento, o que irá influenciar nas transformações que ocorrem nas regiões mais diretamente afetadas pelo calor proveniente do processo de soldagem.

As figuras 12 (a, c, e) quando comparadas respectivamente com as figura 12 (b, d, f), pode-se observar que em áreas equivalentes, as chapas soldadas pelo processo GMAW apresentou temperaturas superiores as chapas soldadas pelo processo GTAW. Estes resultados calculados pelo modelo reforçam os resultados obtidos nas micrografias apresentadas nas figuras 7, 8 e 9, assim como os espaçamentos dendríticos apresentados na tabela 7.

4 CONCLUSÃO

O aumento do aporte térmico ocasionou um aumento de ferrita δ e no espaçamento dendrítico na região do ZF. A morfologia de ferrita δ na ZF é vermicular.

A microdureza Vickers medida nas ZF o processo GMAW ocasionou um aumento de até 12% e o GTAW de 2% quando comparados com o material no estado como recebido.

O processo GMAW apresentou microestruturas que evidenciam maior concentração de energia durante o processo de soldagem, para aportes equivalentes quando comparados com o processo GTAW. Resultado esse confirmado pela distribuição de temperatura sobre a chapa calculada pelo modelo numérico.

O espaçamento dendrítico do processo GTAW comparado com o GMAW sofreu um aumento de 59% para o aporte de 0,5kj/mm, de 90% para 1,5kj/mm, e 140% para 2,5kj/mm.

O aporte de 2,5 kJ/mm, para ambos os processos de soldagem, apresentou elevada fração volumétrica de ferrita δ , que juntamente com o crescimento excessivo das dendritas na ZF pode ocasionar fragilização da região, e até mesmo o surgimento de fases deletérias comuns em aços desta classe como a fase σ .

O aporte de 1,5 kJ/mm fornece os melhores resultados, para ambos os processos de soldagem, com menores teores de ferrita δ naZF, assim como espaçamentos dendríticos menores, que fornecem propriedades mecânicas e metalúrgicas mais favoráveis para a obtenção de propriedades melhores em uma junta soldada eficiente.

REFERÊNCIAS

- 1 MODENESI, P. J. Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis. São Paulo: SENAI-SP, 2001.
- 2 Rodrigues, F. G. P. Avaliação da Ocorrência de Constrição Mecânica do Arco na Soldagem A-TIG de Aços Inoxidáveis Austeníticos. Revista soldagem e Inspeção, 21(4), p. 428-443, 2016
- 3 Ronqueti, L.A., Efeito do modo de transferência metálica sobre o comportamento térmico e as transformações metalúrgica na soldagem GMAW dos aços austeníticos AISI 304 e 316 utilizados em projetos de instalações nucleares, Dissertação de Mestrado, Escola Engenharia Indústiral Metalúrgica de Volta Redonda, PPGEM,UFF, p 1-163, 2014.

- 4 Morelos, L. V. H., Improvement of localised corrosion resistance of AISI 2205 Duplex Stainless Steel joints made by gas metal arc welding under electromagnetic interaction of low intensity. Applied Surface Science, 321, p. 252–260, 2014.
- 5 Rentería, G. M. A., Effect of electromagnetic interaction during fusion welding of AISI 2205 duplex stainless steel on the corrosion resistance. Applied Surface Science, 396, P. 1187–1200, 2017
- 6 Qin, G., Sensitivity of driving forces on molten pool behavior and defect formation in high-speed gas tungsten arc welding. International Journal of Heat and Mass Transfer, 107, p.1119–1128, 2017.
- 7 XAVIER, C. R. Simulação numérica da soldabilidade dos aços ferríticos T/P23 e T/P24. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. 2009.
- 8 GOLDAK, J.; CHAKRAVARTI, A.; BIBBY, M. A New Finite Element Model for Welding Heat Sources. Metallurgical Transactions B, v. 15B, p. 299-305, 1984.
- 9 GOLDAK, J. A.; AKHLAGHI, M. Computational Welding Mechanics. Springer, 2005.
- 10 TIEDRA, P. de., MARTÍN, O. Effect of welding on the stress corrosion cracking behaviour of prior cold worked AISI 316L stainless steel studied by using the slow strain rate test. Materials and Design, p. 103 – 109, 2013.
- 11 PESSANHA, de C. E. Quantificação da ferrita delta e avaliação da relação microestrutura/ propriedades de um aço inoxidável austenítico 347 soldado. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense / UENF, Campos dos Goytacazes – RJ. 2011.