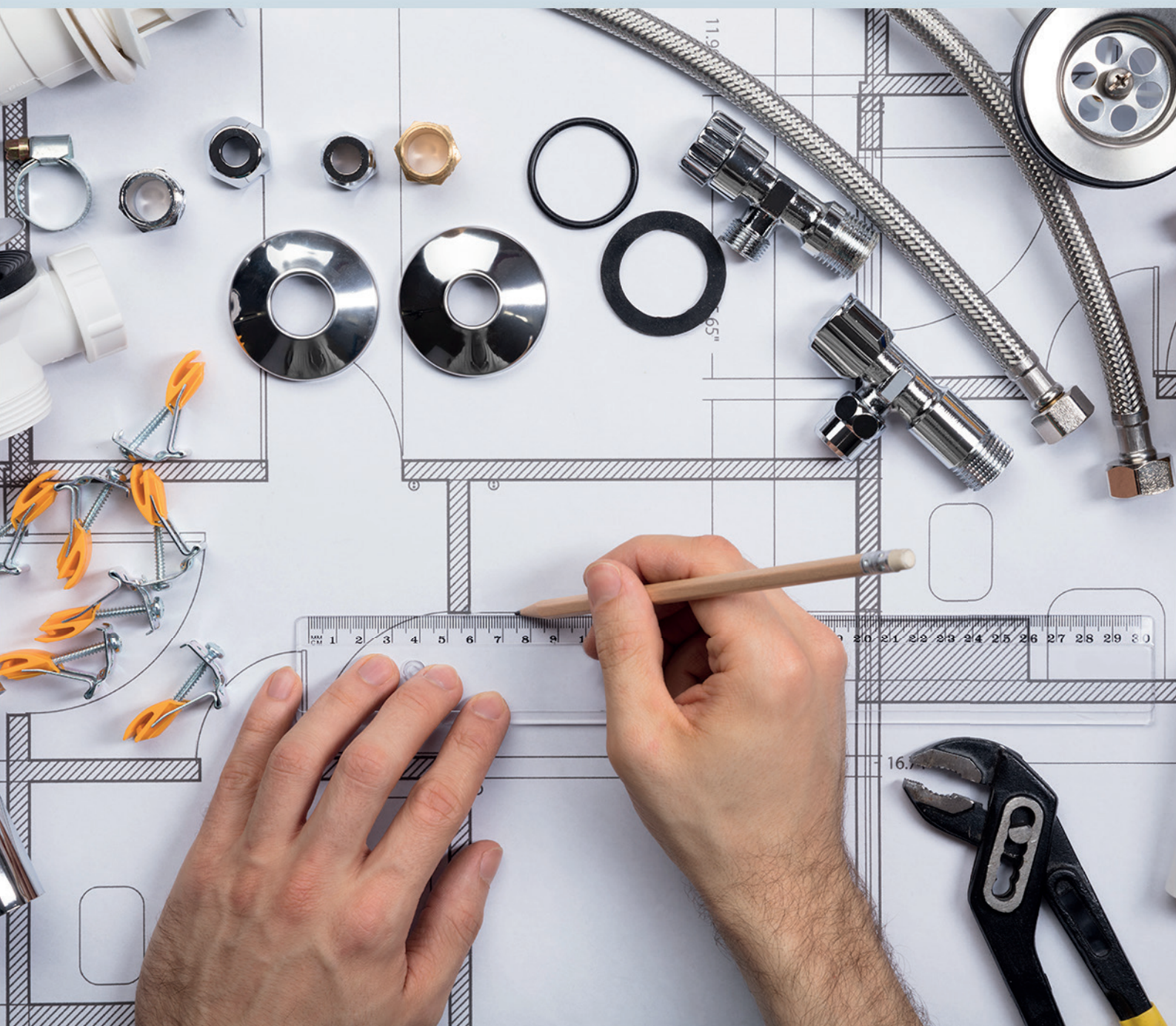


Ciência e Engenharia de Materiais

2

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)



Atena
Editora

Ano 2018

MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA

(Organizadora)

Ciência e Engenharia de Materiais

2

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais 2 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-63-5

DOI 10.22533/at.ed.635183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CARBETO DE VANÁDIO NA MOAGEM E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO AISI 52100, PRODUZIDO POR METALURGIA DO PÓ	
<i>Leandra Fernandes de Oliveira</i>	
<i>Bruna Horta Bastos Kuffner</i>	
<i>Daniela Sachs</i>	
<i>Gilbert Silva</i>	
<i>Geovani Rodrigues</i>	
CAPÍTULO 2	12
INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM INNERSHIELD NAS CARACTERÍSTICAS DA SOLDA DE UM AÇO ESTRUTURAL ASTM – A36	
<i>Waldemir dos Passos Martins</i>	
<i>Paulo Victor Cunha Caetano</i>	
<i>Valdemar Silva Leal</i>	
<i>Valter Alves de Meneses</i>	
CAPÍTULO 3	25
CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO AÇO INOXIDÁVEL 17-4 PH NITRETADO UTILIZADO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS	
<i>Ane Caroline Celestino Silva</i>	
<i>Lucas da Silva Vicente</i>	
<i>Christian Egídio da Silva</i>	
<i>Cristina de Carvalho Ares Elisei</i>	
<i>Cirlene Fourquet Bandeira</i>	
<i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
CAPÍTULO 4	32
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO BAIXO CARBONO APÓS PROCESSO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	
<i>Vanessa Moura de Souza</i>	
<i>Vinicius Martins</i>	
CAPÍTULO 5	43
COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DAS MATRIZES METÁLICAS DO SISTEMA FE-CU-NB OBTIDAS POR Prensagem a quente	
<i>Hellen Cristine Prata de Oliveira</i>	
<i>Marcello Filgueira</i>	
CAPÍTULO 6	58
ESTUDO DO EFEITO DA VIBRAÇÃO NA SOLIDIFICAÇÃO DA LIGA 356.0	
<i>Laura Ferrazza Kirch</i>	
<i>Amanda Yuki Shimosaka</i>	
<i>Dalmarino Setti</i>	
CAPÍTULO 7	65
ESTUDO SOBRE O PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO DAS MATRIZES METÁLICAS DE FE-CU-25%NB E FE-CU-25%CO DURANTE A Prensagem a quente	
<i>Hellen Cristine Prata de Oliveira</i>	
<i>Adriano Corrêa Batista</i>	
<i>Luis Guerra Rosa</i>	
<i>Paulo Santos Assis</i>	

CAPÍTULO 8	84
TRANSIÇÃO OBSERVADA ENTRE OS MODOS DE DESGASTE MICRO-ABRASIVO POR “RISCAMENTO” E POR “ROLAMENTO” EM WC-CO P20 E AÇO-FERRAMENTA M2	
<i>Ronaldo Câmara Cozza</i>	
CAPÍTULO 9	92
ANÁLISE DA DUREZA E MICROESTRUTURA DO AÇO ABNT 1045 APÓS TÊMPERA E REVENIMENTO	
<i>João Paulo Montalván Shica</i>	
<i>Matheus Henryque Almeida e Silva</i>	
CAPÍTULO 10	105
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE RIGIDEZ SOBRE AS FREQUÊNCIAS NATURAIS DE PLACAS DE ALUMÍNIO	
<i>Pietro Olegário da Silva</i>	
<i>Adriana Amaro Diacenco</i>	
CAPÍTULO 11	118
ANÁLISE DA MICRODUREZA E CORROSÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW NA CHAPA DE AÇO DOBRADA TIPO U	
<i>Josemairon Prado Pereira</i>	
<i>Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves</i>	
CAPÍTULO 12	129
ANÁLISE DO CICLO TÉRMICO DE UM AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA BAIXA LIGA UTILIZANDO MÉTODO DIRETO E EQUAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Thyálita Coêlho Moreira Mousinho</i>	
<i>Thaís Spíndola Garcêz</i>	
<i>José Francisco dos Reis Sobrinho</i>	
<i>Nelson Guedes de Alcântara</i>	
CAPÍTULO 13	138
MICROFURAÇÃO COM LASER PULSADO ND:YAG EM CHAPAS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 316L	
<i>Dair Ferreira Salgado Junior</i>	
<i>Vicente Afonso Ventrella</i>	
<i>Juno Gallego</i>	
CAPÍTULO 14	153
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE LÂMINAS DE SERRA NO CORTE DA MADEIRA COM APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	
<i>Daniel Villas Bôas</i>	
<i>Elder Jesus Lima Machado</i>	
<i>Vanessa Ferreira Neves</i>	
CAPÍTULO 15	160
O EFEITO DE DIFERENTES TIPOS DE HOMOGENEIZAÇÃO SOBRE O COMPORTAMENTO EM DEFORMAÇÃO A FRIO DAS LIGAS TI-35NB E TI-35NB-0,15SI	
<i>Késia Filadélfia Dionizio Silva Ramos</i>	
<i>Helton José Rodrigues Cabral</i>	
<i>Reinan Tiago Fernandes dos Santos</i>	
<i>Wilton Walter Batista</i>	
CAPÍTULO 16	173
LIGA DE MAGNÉSIO AZ91D: AVALIAÇÃO DA BIODEGRABILIDADE E DO COMPORTAMENTO MECÂNICO	
<i>Ronaldo Veronês Nascimento</i>	
<i>Ângela Beatriz Coelho Arnt</i>	
<i>Marcio Roberto da Rocha</i>	
<i>Steferson Luiz Stares</i>	

CAPÍTULO 17	184
INFLUÊNCIA DO PH E DO TEMPO DE IMERSÃO NA SILANIZAÇÃO JUNTO DE TANINOS PARA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DE AÇOS GALVANIZADOS	
<i>Bruno Pienis Garcia</i> <i>Álvaro Meneguzzi</i>	
CAPÍTULO 18	194
A NEW PROCEDURE TO DETERMINE THE PERMITTIVITY OF RADAR ABSORBING MATERIALS	
<i>Tamara Indrusiak Silva</i> <i>Iaci Miranda Pereira</i> <i>Jorge A. Mitrione Souza</i> <i>Marbey Manhães Mosso</i> <i>Ângelo M. Leite Denadai</i> <i>Jéferson Gomes da Silva</i> <i>Alan Reis de Oliveira</i> <i>Bluma Guenther Soares</i>	
CAPÍTULO 19	204
DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO A BASE DE NIÓBIO PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DE AÇO-CARBONO (SAE 1020)	
<i>Paloma Detlinger</i> <i>Brian Utri</i> <i>Guilherme Arielo Rodrigues Maia</i> <i>Rodrigo Helleis</i> <i>Cynthia Beatriz Fürstenberger</i> <i>Everson do Prado Banczek</i>	
CAPÍTULO 20	213
CORROSÃO E BIOCORROSÃO EM AÇO CARBONO	
<i>Diana Magalhães Frazão</i> <i>Ivanilda Ramos de Melo</i> <i>Severino Leopoldino Urtiga Filho</i>	
SOBRE A ORGANIZADORA	218

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM INNERSHIELD NAS CARACTERÍSTICAS DA SOLDA DE UM AÇO ESTRUTURAL ASTM – A36

Waldemir dos Passos Martins

Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo – Departamento de Mecânica e Materiais.

São Luís – MA.

Paulo Victor Cunha Caetano

Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo – Departamento de Mecânica e Materiais.

São Luís – MA.

Valdemar Silva Leal

Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo – Departamento de Mecânica e Materiais.

São Luís – MA.

Valter Alves de Meneses

Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo – Departamento de Mecânica e Materiais.

São Luís – MA.

RESUMO: Este trabalho apresenta a influência dos parâmetros do processo de soldagem Innershield, também conhecido como processo de soldagem com arame tubular autoprotetido (Flux Cored Arc Welding – Self Shielded/ FCAW-SS), nas características da solda do aço estrutural ASTM A-36. São variados os parâmetros de tensão e corrente do arco e a velocidade de soldagem a fim de se determinar suas influências sobre a largura, a penetração, reforço do cordão e a dureza da Zona Fundida (ZF) e Zona Termicamente Afetada (ZTA). As medições geométricas dos cordões de solda são

realizadas em macrografias obtidas da seção transversal da solda, por meio de estereoscopia óptica, e as análises da microestrutura através da microscopia óptica. As medições de dureza são realizadas com microdurômetro na seção transversal dos cordões. A taxa de deposição, em kg/h, é determinada pela pesagem dos corpos de prova antes e depois da deposição da solda. Com este estudo verifica-se o comportamento estável do processo de soldagem Innershield, com bom acabamento superficial e penetração satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: FCAW-SS, microestrutura, dureza, geometria do cordão.

ABSTRACT: This work presents the influence of the parameters of the Innershield welding process, also known as Flux Cored Arc Welding (FCAW-SS), on the structural characteristics of the ASTM A-36 structural steel. The arc voltage, current parameters and the welding speed varied in order to determine their influence on the width, penetration, reinforcement of the weld bead and the hardness of the melted zone and Thermal Affected Zone. The geometric measurements of the weld beads made in macrographs obtained from the cross section of the weld by means of optical stereoscopy, and the microstructure analyzes by optical microscopy. The geometric measurements of the weld beads made in macrographs obtained from the cross section

of the weld by means of optical stereoscopy, and the microstructure analyzes by optical microscopy. Hardness measurements are performed with a micro hardness test in the cross section of the weld beads. The deposition rate, in kg/h, is determined by weighing the specimens before and after the deposition of the welding. This study shows the stable behavior of the Innershield welding process, with good surface finish and satisfactory penetration.

KEYWORDS: FCAW-SS, microstructure, hardness, weld bead geometry.

1 | INTRODUÇÃO

O grande avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas tem contribuído consideravelmente no desenvolvimento de novos materiais. Dentre estes materiais os aços ainda se destacam como os mais utilizados e comercializados mundialmente. Entretanto, uma das principais características para comercialização de um aço é a sua soldabilidade, fortemente influenciado pelo teor de carbono presente em sua composição química (Fedele, 2002; Modenesi, 2012).

O processo de soldagem FCAW (Flux Cored Arc Welding), além da ótima aparência da solda e da alta qualidade do metal depositado, apresenta-se como uma excelente alternativa na soldagem dos aços estruturais, capaz de proporcionar ganhos na produtividade com um mínimo de investimento em relação a outros processos, visto que os princípios de funcionamento e os equipamentos do processo FCAW são semelhantes aos usados no processo com arame sólido (Gas Metal Arc Welding – GMAW), também conhecido como MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) (Modenesi, 2012; Bracarense, 2009).

O FCAW acumula as vantagens da alta taxa de deposição e alto rendimento do GMAW, aliadas à alta versatilidade da soldagem do processo com eletrodos revestidos (Shielded Metal Arc Welding – SMAW), fazendo com que o FCAW, apresente flexibilidade e produtividade superiores ao MIG/MAG devido à alta densidade de corrente, proporcionado pela forma tubular do eletrodo.

A soldagem FCAW, dada a sua excelente taxa de deposição, alcançando até 11 kg/h quando comparada à soldagem com eletrodo revestido (Machado, 1996), é de grande utilização na construção naval, na qual se tem grandes extensões de chapas a serem unidas e em posições fora da plana (Machado, 1996).

O uso do processo Innershielded (FCAW-SS) na soldagem de estruturas metálicas ainda é pouco conhecida e pode ser melhorada, por meio do aumento da taxa de deposição do metal de adição; porém a complexidade de resultados indesejáveis que podem ocorrer em razão da variação, sem um estudo científico, de valores da tensão, da velocidade de alimentação do arame e da distância bico de contato-peça (DBCP), pode resultar em riscos de não-conformidades da solda. Portanto, este trabalho apresenta uma avaliação da influência dos parâmetros de soldagem que conduzem a

uma soldagem Innershield sem comprometimento das características metalúrgicas e das propriedades mecânica da junta soldada.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Como material de base foi utilizado o aço de classificação ASTM Grau A36 (NBR 6648/6650/7007), correspondendo ao aço do tipo estrutural, em forma de chapas com dimensões de 200 mm x 100 mm x 10 mm (comprimento x largura x espessura), com bisel de 30° para junta em “V”, como mostra a Figura 1. Aos pares, essas peças geraram os corpos de prova com chanfro de 60°, como mostrado na Figura 2. A composição química e propriedades mecânicas do material são apresentadas na Tabela 1.

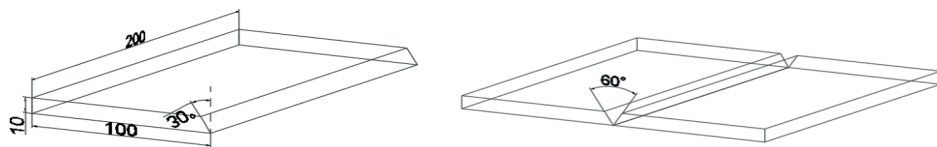


Figura 1 – Esquema ilustrativo das chapas biseladas para formação dos chanfros.

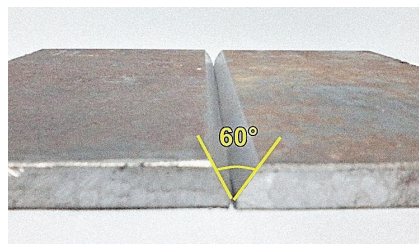


Figura 2 – Chapas biseladas com chanfro em angulo de 60°.

Composição	C	P	S	Si	Cu
% Máximo	0,26	0,04	0,05	0,40	0,20
Propriedade Mecânica	LE (MPa) 250 (mín.)	LR (MPa) 400 – 550	Alongamento 20 %	Ceq = 0,27	

Tabela 1 – Composição química e propriedades mecânicas do aço ASTM A36.

As características do consumível (ASME SFA A-5.20: E71T-11, diâmetro 1,6 mm) são apresentadas na Tabela 2. O arame tubular autoprottegido E71T -11 é indicado

para soldagem simples ou multipasse no modo de transferência spray e comumente utilizado em aços de baixo e médio teor de carbono até 3/4”.

Composição	C	Si	Mn	Al	P	S
E71T-11	0,25	0,40	0,70	1,60	-	-
Propriedade Mecânica	LE (MPa) 500	LR (MPa) 630	Alongamento 23 %		Ceq = 0,37	

Tabela 2 – Composição química (% em peso) e propriedades mecânicas do arame tubular

2.2 Equipamentos

Foi utilizada uma fonte de soldagem modelo ESAB LAI 400 e ângulo de soldagem da tocha a 90° de corrente nominal/soldagem (A): 300/400 – 300 e tensão em carga convencional (V): 34 – 29.

Os demais equipamentos utilizados serviram para a preparação das amostras a serem analisadas metalograficamente, entre eles:

1. Para retirada dos corpos de prova da junta soldada foi utilizada uma serra de fita marca S. Ramos, modelo 260 e os cortes foram executados em sentido transversal ao cordão da solda;
2. Para preparação das amostras foi utilizado uma lixadeira metalográfica marca Arotec, modelo Aropol E usando uma sequência de lixas de 80 a 1200 meshes;
3. Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados em um microdurômetro digital de bancada HMV SHIMADZU, MODELO MICROHARDNESS TESTER HV – 1000 com indentador piramidal de diamante.

2.3 Métodos

As soldagens foram realizadas na posição plana, junta de topo, sentido puxando, modo de transferência por curto-circuito, como mostra a Figura 3. A fonte de soldagem foi operada no modo “tensão constante” e ângulo de soldagem da tocha de 90°. Variou-se a velocidade de alimentação do arame e conseqüentemente a corrente de soldagem.

O processo de soldagem foi mecanizado objetivando-se boa repetibilidade dos parâmetros de soldagem. O Objetivo foi alcançado com a utilização de um suporte para a tocha de alimentação do arame tubular, fixado em uma máquina de corte do tipo MR 36 (tartaruga), de fabricação da White Martins, com os metais de base dispostos em um gabarito fixo na mesa de soldagem.

A DBCP foi mantida constante em 16 mm. Ensaios preliminares foram feitos e serviram para selecionar os cordões de solda com melhores características dimensionais e de acabamento (homogeneidade do cordão, quantidade de respingos e forma da escória) que se adaptaram ao passe de raiz, enchimento e acabamento.

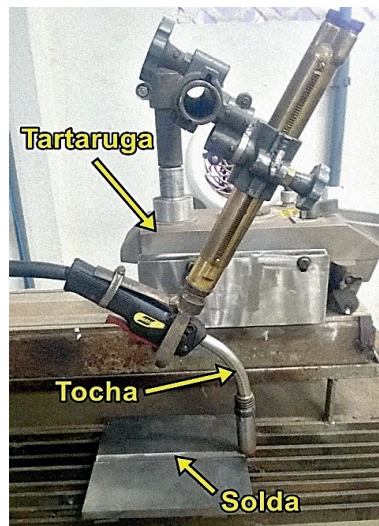


Figura 3 – Foto do arranjo utilizado para realização das soldagens em “V”.

Após o ensaio preliminar, novos ensaios de deposição foram realizados para que se ajustasse essa condição a condição real de soldagem e proporcionasse juntas soldadas livres de descontinuidades. Os corpos de prova soldados (CPs) podem ser vistos na Figura 4 e seus parâmetros na Tabela 3.

As chapas com chanfro em “V” foram ancoradas com cantoneiras na parte inferior, abaixo da raiz do cordão de solda, como mostrado segundo esquema da Figura 5. Esse procedimento visa garantir a restrição das chapas e evitar deformações do conjunto durante a solidificação dos cordões de solda. Foram utilizadas ainda chapas como cobre-junta no início do conjunto para auxiliar na abertura e manutenção do arco. Na figura 6, temos esquema de ancoragem das chapas.

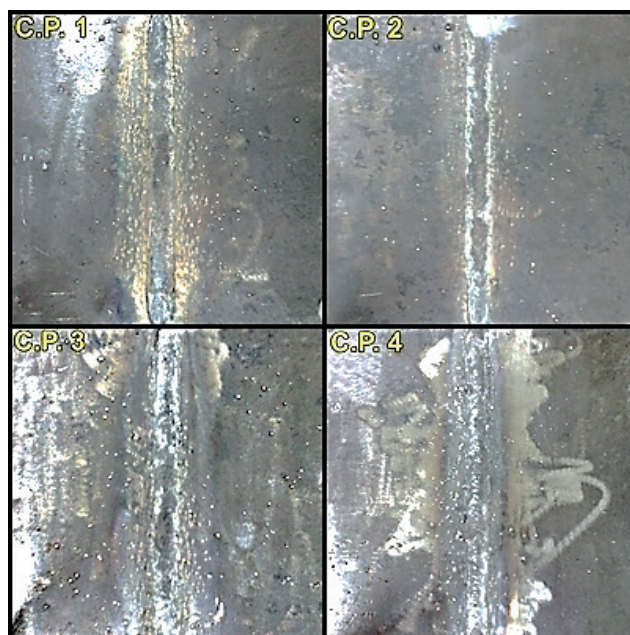


Figura 4 – Foto da chapa soldada durante os testes preliminares.

	CP1	CP2	CP3	CP4
Raiz	19 V/145 A 140 mm/min	19 V/145 A 140 mm/min	18,8 V/160 A 160 mm/min	18,8 V/160 A 150 mm/min
Enchimento 1	22 V/240 A 120 mm/min	22 V/244 A 120 mm/min	22 V/232 A 140 mm/min	19,6 V/180 A 150 mm/min
Enchimento 2	-	-	-	22 V, 172 A; 140 mm/min;
Reforço na Raiz	17,2 V/144 A 110 mm/min	17,2 V/144 A 110 mm/min	-	-

Tabela 3. Parâmetros de Soldagem.

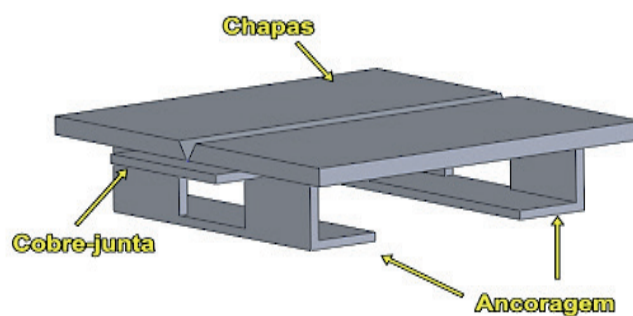


Figura 5 – Esquema ilustrativo das chapas com chanfro em “V”



Figura 6 – Visão de topo e inferior das chapas chanfradas com esquema de ancoragem.

A preparação metalográfica dos corpos de prova para análise microscópica foi realizada de maneira convencional, por lixamento com lixas de granulometria variando de 80 a 1200 mesh e polimento com alumina de 1 micron. O ataque químico foi feito com Nital a 2% e a análise microscópica realizada por microscopia óptica, objetivando avaliar qualitativamente a microestrutura do passe de acabamento na região da zona fundida (ZF).

Para o ensaio de microdureza foi adotado o método Vickers, sendo o ensaio realizado conforma a norma ASTM E384, onde os corpos de prova para este ensaio foram os mesmos usados na análise metalográfica. Em cada corpo de prova foram traçados 7 pontos de impressão aleatória de dureza na ZF, ZTA e MB como mostra o esquema ilustrativo da Figura 7.

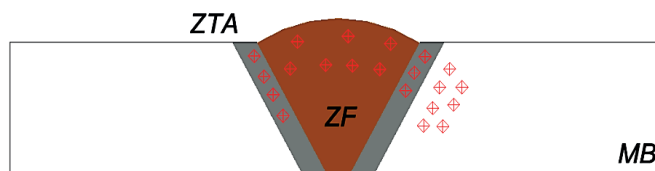


Figura 7 – Esquema ilustrativo das juntas soldada para ensaio de microdureza.

As propriedades geométricas dos cordões foram avaliadas de acordo com o mostrado na Figura 8. As características geométricas do metal depositado são definidas pela largura (l), reforço (r) e a ZTA, medidos a partir da seção transversal da solda e que têm influência significativa sobre as suas propriedades mecânicas.

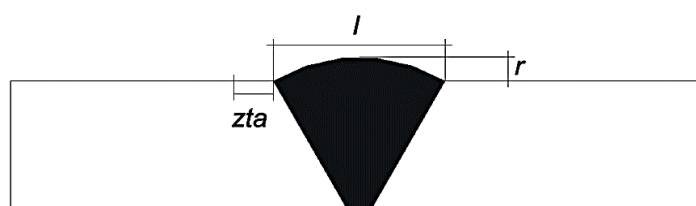


Figura 8 – Características geométricas do cordão de solda

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Energia de Soldagem

A Tabela 4 mostra os resultados das energias de soldagem obtidas no ensaio final dos corpos de prova soldados.

	CP1	CP2	CP3	CP4
Raiz	19 V/145 A	19 V/145 A	18,8 V/160 A	18,8 V/160 A
	140 mm/min	140 mm/min	160 mm/min	150 mm/min
	1,377	1,377	1,316	1,403
Enchimento 1	22 V/240 A	22 V/244 A	22 V/232 A	19,6 V/180 A
	120 mm/min	120 mm/min	140 mm/min	150 mm/min
	3,080	3,131	2,552	1,646

Enchimento 2	-	-	-	22 V, 172 A 140 mm/min 1,892
Reforço na Raiz	17,2 V/144 A 110 mm/min 1,576	17,2 V/144 A 110 mm/min 1,576	-	-

Tabela 4. Energia de Soldagem em Kj/mm.

Durante a soldagem, tentou-se manter a energia de soldagem a mais baixa e constante possível para o passe de raiz e foi variada nos demais passes para se obter características ideais de enchimento e acabamento como determinado nos ensaios preliminares.

Os cordões de solda resultantes nos CPs tiveram boa aparência e boas dimensões e não se constatou a falta de fusão, penetração, porosidade, inclusões de escória e mordeduras. Apesar da solda ter sido realizada de forma mecanizada e existir geração de respingos oriundos do processo Innershilded, o arco se manteve estável durante toda soldagem visto que esta é de grande importância e pode influenciar nas propriedades mecânicas dos conjuntos soldados uma vez que modificações de seus valores podem induzir a variações na morfologia do cordão de solda (penetração, largura e altura do reforço) e também na estrutura de solidificação devido às alterações provocadas no gradiente térmico na poça de fusão.

3.2 Material depositado

Com os parâmetros de soldagem e a massa dos corpos de prova antes e depois da soldagem, pode-se calcular a massa real de arame depositado. Na tabela 5, vemos as massas depositada em grama (g). Observa-se que, independentemente das variações de corrente e tensão nos passes de raiz, enchimento e acabamento a quantidade de material depositado variou de 55 a 69 gramas (em 200 mm).

CP	Raiz		P1		P2		Ref/Raiz		Massa (g)		Dif. (g)
	U	I	U	I	U	I	U	I	Antes	Depois	
1	19	145	22	240	-	-	17,2	144	2979	3044	65
2	19	145	22	244	-	-	17,2	144	2964	3019	55
3	18,8	160	22	232	-	-	-	-	2976	3045	69
4	18,8	160	19,6	180	22	172	-	-	2938	3007	69

Tabela 5. Massa depositada em grama

Simbologia: CP = Corpo de prova; P1,P2 = Passe de enchimento/acabamento; Ref/Raiz = Reforço na raiz; Dif.(g) = diferença em gramas. U = Tensão em Volts; I = Corrente em Ampères.

Nessas condições, a taxa de deposição obtida (calculada em função da densidade do arame) se encontra dentro dos valores estabelecidos pelo fabricante, que é de 0,95 Kg/h a 2,35 Kg/h, sendo que a maior taxa obtida neste trabalho foi de 1,6046 Kg/h. Taxa de deposição é sinônimo de velocidade de alimentação do arame e é determinada pela corrente utilizada.

3.3 Microestrutura

A microscopia óptica foi empregada para a análise qualitativa da microestrutura da ZF, ZTA e MB e a classificação dos microconstituintes seguiu o sistema adotado pelo IIW (Instituto Internacional de Soldagem). As Figuras 9 e 10 exibem o comportamento microestrutural do MB, ZF e ZTA respectivamente. Pode-se observar que a microestrutura do MB exibiu basicamente uma matriz de ferrita (em branco) com veios de perlita (tom escuro). A ferrita é a solução sólida de carbono em ferro alfa e origina-se na zona crítica, durante o resfriamento, por transformação alotrópica do ferro gama durante a laminação. Essa é sua forma estável à temperatura ambiente. A perlita é formada por finas lamelas justapostas de ferrita e cementita mais ou menos paralelas.

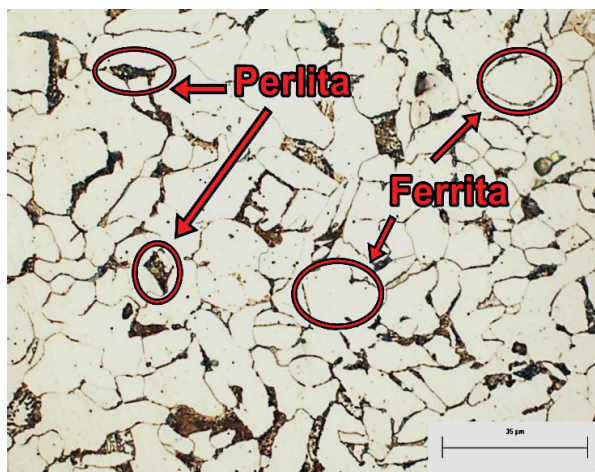


Figura 9 – Microestrutura do MB.

Na figura 10, temos a microestrutura do ZF e da ZTA. A ZF se constitui basicamente de ferrita primária (PF), perlita (P), ferrita de segunda fase alinhada (FS(A)) e ferrita acicular (AF). A ZTA apresenta ferrita de contorno de grão PF(G) e ferrita de segunda fase alinhada (FS(A)) em termos de classificação IIW e presentes em todos os corpos ensaiados.

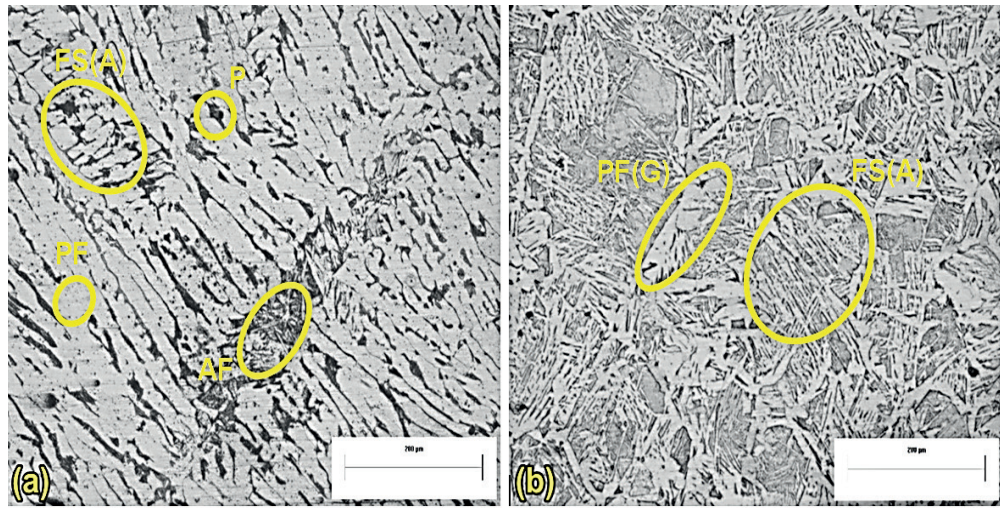


Figura 10 – Microconstituintes. (a) ZF. (b) ZTA.

A ferrita se encontra em grãos claros e a perlita em forma lamelar e em grãos escuros tanto na ZF, ZTA e MB, existindo em tamanhos de grão diferentes. A presença de apenas ferrita e perlita pode ser justificada pelo fato do aço ter sido resfriado lentamente, fator de formação desses microconstituintes concordando com Araújo (2005) e Bubnoff (2002).

A presença da AF na ZF está relacionada a presença de elementos de liga formador e estabilizador deste microconstituente, como o Mn, oriundo da composição química do arame eletrodo e ao maior carbono equivalente do consumível como visto por também por Maciel (1998). A AF constitui-se como microconstituente mais desejável para prevenir trincas devido o menor tamanho de grão e os contornos de alto ângulo favorecerem uma boa resistência mecânica.

A elevação na energia de soldagem decorrente dos passes subsequentes ao de raiz promoveram aumento de PF(G). Com a elevação da temperatura mantida praticamente constante a energia de soldagem elevou o percentual de PF(G), havendo em ambos os casos a ocorrência da redução no percentual de AF, por isso não são verificadas nas microestruturas das ZTA apresentadas, sendo isto uma consequência da redução da taxa de resfriamento da ZF com a elevação dos parâmetros de corrente e tensão, onde as taxas lentas de resfriamento induzem a difusão do carbono que promove a nucleação de ferrita primária nos contornos dos grãos gerando PF(G).

3.4 Microdureza

A Figura 11 mostra a tendência do comportamento da microdureza nas diferentes regiões do chanfro “V”. Esta tendência mostra que a dureza da ZF foi maior do que a dureza nas demais regiões.

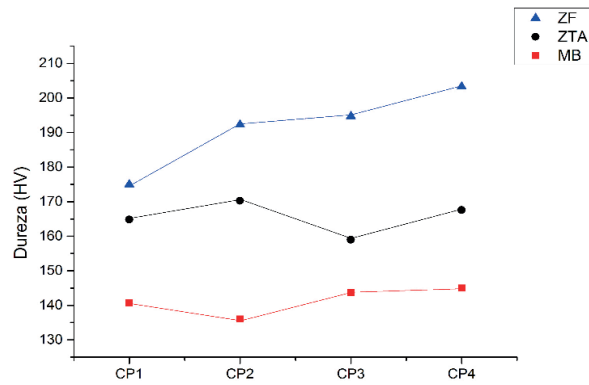


Figura 11. Perfil de microdureza média dos corpos de prova ensaiados.

Com as energias de soldagem empregadas e com a soldagem multipasse houve um refinamento de um passe pelo subsequente, proporcionando uma taxa de resfriamento baixa e, com isto levando ao aumento da dureza e aumento na resistência mecânica da junta, o que é desejável nos aços A36, cujo principal objetivo é possuir alta resistência aliada a boa tenacidade.

Com o aumento da energia de soldagem e a consequente diminuição da taxa de resfriamento, há a tendência da formação de uma ZTA maior, com grãos grosseiros, porém apresentando microconstituintes de menor dureza (Bubnoff, 2002). Em aços de baixo carbono, comprovam-se a redução da dureza com o aumento dessa energia e o crescimento dos grãos. Desta análise conclui-se que é primordial o controle do aporte térmico na soldagem multipasse.

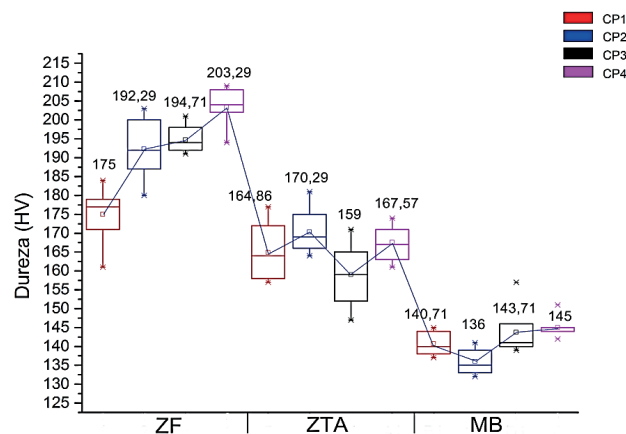


Figura 12. Perfil de microdureza média e desvio padrão dos corpos de prova ensaiados.

3.5 Geometria do cordão de solda

As medidas dos cordões de solda são mostradas na Tabela 6. Na Figura 13, temos as geometrias dos cordões de acordo com a estereoscopia óptica. As medições

geométricas foram realizadas utilizando o software Image J.

Os cordões de solda, visualizados longitudinalmente, apresentaram uma sanidade satisfatória, com poucos respingos. Tendo analisado a geometria das amostras, são observadas consideráveis diferenças nas dimensões dos cordões de solda, sendo que de acordo com o aumento da corrente, a largura, a penetração e o reforço da solda aumentaram gradativamente.

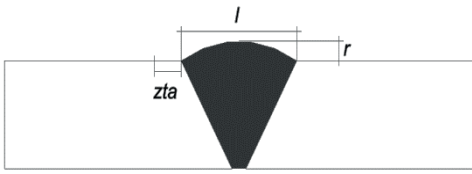
	CP	l (mm)	r (mm)	zta (mm)
	CP1	16,20	2,32	3,60
	CP2	14,05	1,22	4,20
	CP3	13,00	0,93	3,70
	CP4	14,41	1,84	3,71

Tabela 6. Geometria do cordão de solda

Quanto à geometria do cordão de solda, a altura e largura decresceram à medida que a velocidade de soldagem aumentou. A penetração se mostrou adequada para as condições de soldagem impostas. A largura da ZTA aumentou à proporção que a corrente e tensão aumentaram, concordando com os resultados apresentados por Myers (2016).

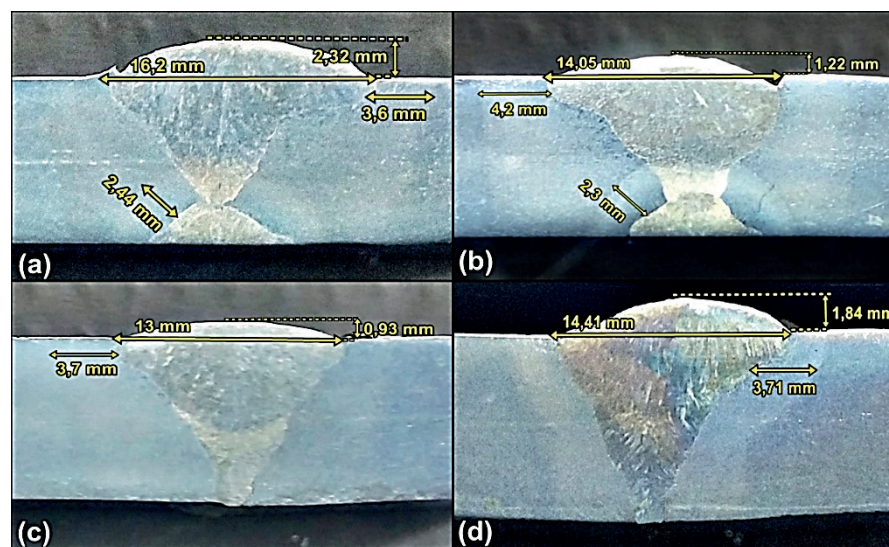


Figura 13. Perfil de geométrico do cordão de solda. (a) CP1; (b) CP2; (c) CP3; (d) CP4

4 | CONCLUSÕES

- O processo de soldagem Innershilded apresentou um comportamento estável, gerando soldas com bom acabamento superficial, boa aparência e penetração satisfatória.
- A zona fundida apresentou maior perfil de dureza, sendo isto atribuído a sua

menor taxa de resfriamento e refinamento da microestrutura.

- O processo de mostrou muito bom na realização do passe de raiz, entretanto, o inconveniente está na necessidade de limpeza cuidadosa para que se evite inclusões de escórias.
- Dificuldades foram encontradas com o preenchimento do chanfro no processo mecanizado.
- Quanto à geometria do cordão de solda a largura decresceu à medida que velocidade de soldagem cresceu. A altura também diminuiu com o aumento da tensão do arco e aumento da velocidade de soldagem.
- O tamanho da ZTA aumentou à proporção que a corrente e tensão aumentaram.

5 | AUTORIZAÇÃO/RECONHECIMENTO

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Araújo, M. R. V. et al. **Microstructural analysis of submerged-arc weldment in low-carbon steel by scanning electron microscopy**. Brazilian Journal of Morphological Sciences, Campinas, v. 22, n. (Suppl.), p. 355-356, 2005.

Arêvalo, H. D. H. **Desenvolvimento e Avaliação de Calorímetros por Nitrogênio Líquido e Fluxo Contínuo para Medição de Aporte Térmico**. Soldag. Insp. São Paulo, Vol.17, N°. 3, p.236-250, Jul/Set 2012.

Bracarense, A. Q., Modonesi, P. J., Marques, P. V. **Soldagem – Fundamentos e tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009. 362 p.

Bubnoff, D. V., Ventrela, V.A. **Efeito da tensão do arco elétrico em soldagem por arame tubular com eletrodo aws e-81t1-ni1 na microestrutura do metal de solda**. Cbecimat. 2002.

Fedele, R. **Soldagem de tubulações: metalurgia, procedimentos e desafios**. Metalurgia & Materiais, v.58, n.52. 2002.

Machado, Ivan Guerra. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre. Editado pelo autor, 1996.

Maciel, Theophilo Moura, Freire Júnior, Raimundo Carlos Silverio, Silva, Paulo Guedes da. **Efeito do Carbono Equivalente sobre a Presença de Trincas a Frio em Juntas Soldadas de Aços ARBL**, 8º Congresso Chileno de Ingenieria Mecanica, Vol. 1, 1998, Pag. 575-578.

Modenesi, P.J., Marques, P.V., Santos, D.B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. UFMG. Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais. Belo Horizonte. 2012. Disponível em: <http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>, acessado em 17/06/2018.

Myers, Tom. **Innershield Wire FCAW-S Welding Guide**. Disponível em: <https://m.lincolnelectric.com/assets/global/Products/ConsumableFlux-CoredWires-Self-Shielded-Innershield-InnershieldNR-203MP/c32400.pdf>, acessado em 17/06/2018.

SOBRE A ORGANIZADORA:

Marcia Regina Werner Schneider Abdala: Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-63-5

