EXERCÍCIOS DE SOLDADURA

111 SER

José Monteiro
Hugo Balau
Duarte Silva

engebook

AUTOR
José Monteiro

COAUTORES
Hugo Balau e Duarte Silva

TÍTULO
EXERCÍCIOS DE SOLDADURA - 111 SER

EDIÇÃO
Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO
Tel. 220 939 053 · E-mail: geral@quanticaeditora.pt · www.quanticaeditora.pt

CHANCELA
Engebook – Conteúdos Técnicos e Científicos

DISTRIBUIÇÃO
Booki – Conteúdos Especializados
Tel. 220 104 872 · E-mail: info@booki.pt · www.booki.pt

REVISÃO
Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda

DESIGN
Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

APOIO
ATEC – Associação de Formação para a Indústria - www.atec.pt

IMPRESSÃO
Novembro, 2024

DEPÓSITO LEGAL
539913/24

A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.
Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2024 | Todos os direitos reservados Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor e do Autor, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

CDU
621.7 Tecnologia mecânica em geral: processos, ferramentas, máquinas, equipamentos

DOI
https://doi.org/10.61875/9789899177604

ISBN
Papel: 9789899177604
E-book: 9789899177611

Catalogação da publicação
Família: Engenharia Mecânica
Subfamília: Soldadura

EXERCÍCIOS DE SOLDADURA

111 SER

José Monteiro
Hugo Balau
Duarte Silva

engebook

ÍNDICE

PREFÁCIO
de Francisco J. G. Silva ..... **VII**

NOTA INTRODUTÓRIA ..... **IX**

GLOSSÁRIO ..... **XI**

EXERCÍCIOS **13**

Exercício 1 15
Exercício 2 19
Exercício 3 23
Exercício 4 27
Exercício 5 31
Exercício 6 35
Exercício 7 39
Exercício 8 43
Exercício 9 47
Exercício 10 51
Exercício 11 55
Exercício 12 59
Exercício 13 63
Exercício 14 67
Exercício 15 71
Exercício 16 75
Exercício 17 79
Exercício 18 83

PREFÁCIO

A soldadura continua a ser um processo de fabrico de utilidade indiscutível no panorama da metalomecânica, sendo o pilar principal da construção soldada, que tem vindo a ganhar uma relevância crescente também no panorama da construção. Desde a indústria automóvel até às estruturas dos aeroportos mais recentes, a soldadura está fortemente disseminada, e é a solução para imensas necessidades construtivas.

Apesar de muito disseminada, não deixa de requerer um conhecimento profundo para ser realizada com qualidade. Daí, a soldadura ser provavelmente o processo de fabrico mais alicerçado em normas no panorama da fabricação atual.

Formar bons soldadores requer tempo e muito conhecimento. Após o lançamento do livro *Tecnologia da Soldadura - Uma Abordagem Técnico-Didática*, com os fundamento teóricos necessários à compreensão dos principais processos de soldadura e matérias relacionadas, surge agora a presente obra, proposta pela ATEC - Academia de Formação, que pretende complementar o livro anteriormente lançado, permitindo que, através de uma componente essencialmente prática, o leitor possa evoluir de forma sólida em termos práticos, tendo por base os conhecimentos teóricos retirados do livro anterior.

Espera-se que esta obra possa complementar a primeira da melhor forma, oferecendo ao leitor a informação necessária para a evolução desejada.

Francisco J. G. Silva
11 de novembro de 2024

NOTA INTRODUTÓRIA

O objetivo do desenvolvimento da presente coleção de cadernos de exercícios de soldadura, nos processos comummente utilizados, nomeadamente na Soldadura de Elétrodos Revestidos – SER 111, MIG-MAG e TIG, pretende ser um apoio, em contexto de oficina, à execução prática de atividades de soldadura, no qual podem ser encontradas informações técnicas fundamentais de acordo com as respetivas normas.

Este guia prático de exercícios de soldadura apoiado nas diretrizes IIW[1]/EWF[2], tenta focar-se em todas as variantes de cada processo, nomenclatura, simbologia, tipo de material base e sua soldabilidade, preparação dos vários tipos de junta, posição a soldar, fontes de energia e consumíveis de acordo com as Especificação do procedimento de soldadura (EPS).

O processo de soldadura, dada a sua complexidade, é apoiado por informação técnica especializada em documentos normalizados e denominados de EPS - Especificação do Procedimento de Soldadura, que é prática comum na realidade do mercado de trabalho, mas que, em termos de formação profissional, não existe enquanto ferramenta compilada e disponível, razão que assistiu à sua integração no desenvolvimento destes exercícios.

Sendo o processo de soldadura completamente apoiado por normalização standarizada, no desenvolvimento dos exercícios, será aplicada a nomenclatura normalizada e constante nas normas: AWS[3] D1.1 vs. ISO[4] 9606-1 que regem a generalidade da tecnologia. Destacam-se as normas: EN ISO[5] 4063 que estabelece a nomenclatura e respetivos números de referência (Exemplo: 111-soldadura SER) e EN ISO 6947 que define e estabelece as posições de procedimento (por exemplo: PF - posição vertical ascendente), no entanto, outras normas terão de ser consultadas para um conhecimento mais aprofundado da generalidade do processo, dos materiais de base, dos materiais de adição, entre outros.

O presente caderno de exercícios tratará da Soldadura de Elétrodos Revestidos – SER 111.

A soldadura é um processo fundamental para a ligação de materiais iguais ou similares, geralmente metais ou termoplásticos. Este processo envolve a utilização do calor que altera o estado físico da matéria e facilita a fusão entre dois ou mais metais. A ligação pode ser efetuada com ou sem um material de adição e/ou com ou sem a aplicação de pressão, resultando numa ligação homogénea entre as peças metálicas envolvidas.

A Soldadura por Elétrodo Revestido (SER) é um processo de soldadura manual onde um arco elétrico é estabelecido entre um elétrodo revestido e a peça a ser soldada. O calor gerado pelo arco elétrico funde tanto o material de base quanto o material do elétrodo, formando um banho de fusão que, ao solidificar, resulta na união das peças.

A soldadura por elétrodo revestido além de ser um dos primeiros processos de soldadura, continua a ser amplamente utilizado devido à sua versatilidade e simplicidade de equipamento, sendo uma escolha popular em muitas indústrias para a união de metais. Este método é valorizado pela sua capacidade de ser aplicado em diversas posições e condições ambientais, tornando-o ideal para uma ampla gama de aplicações industriais, incluindo construção civil, manutenção e reparos, e fabricação de estruturas metálicas.

GLOSSÁRIO

AC - *Alternating Current* - Corrente Alternada

DC - *Direct Current* - Corrente Continua

DCEN - Corrente Contínua Elétrodo Negativo – Polaridade Direta

DCEP - Corrente Contínua Elétrodo Positivo – Polaridade Inversa

GTAW - *Gas Tungsten Arc Weld*

GMAW – *Gas Metal Arc Welding*

MIG - *Metal Inert Gas*

MAG - *Metal Ative Gas*

SER - Soldadura Elétrodo Revestido

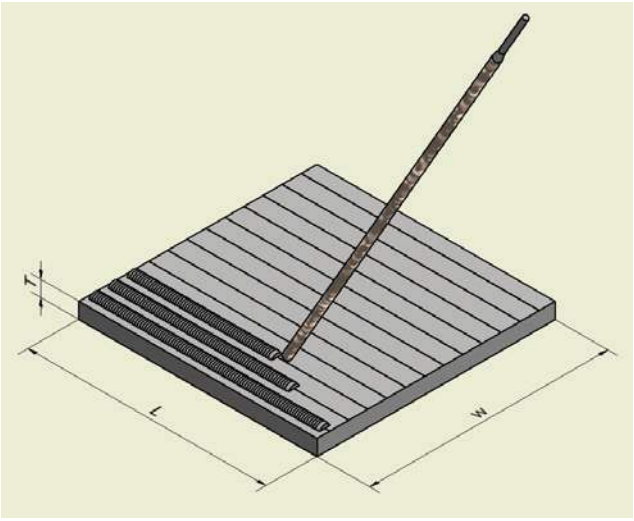
SMAW - *Shielded Metal Arc Welding*

TIG - *Tungsten Inert Gas*

1	EXERCÍCIO - SOLDADURA		SER

OBJETIVOS:

Fazer cordões de soldadura (Linhas de Fusão), paralelos, uniformes e com a morfologia adequada, no plano horizontal, sentido Norte – Sul, com elétrodos revestidos (6013), cumprindo as especificações registadas em baixo.



SER FW ch		
POSIÇÃO: ISO EN	**PA**	
ASME; AWS	**1G**	
PROCESSO: ISO EN - **111**		

PT - **SER**	EU - **MMA**	USA AWS - **SMAW**
MATERIAL: Aço estrutural - S275JR		
DIMENSÕES CHAPA 1: (L x W x T)		
L = 150 mm	**W =** 150 mm	**T =** 15 mm
DIMENSÕES CHAPA 2: (L_1 x W_1 x T_1)		
L = N.A.	**W =** N.A.	**T =** N.A.
MATERIAL ADIÇÃO:	Elétrodo revestido	

REFERÊNCIA:	DIMENSÃO Ø x L	REVESTIMENTO:	CORRENTE:	POLARIDADE:	INTENSIDADE:
6013	2,5 mm x 350 mm	Rutilo	AC/DCEN	Direta (-)	60-90 A

APLICAÇÕES: Para utilização universal na soldadura de aços carbono. Aplicação em todas as posições, incluindo a vertical descendente.

TENSÃO:	TX DEPOSIÇÃO:	JUNTA TIPO:	COBRE JUNTAS:	PASSES CORRIDOS OU BALANCEADOS:
20-23 V	0,7 kg/h	N.A.	NÃO	Corridos

OSCILAÇÕES: N.A. **VELOCIDADE AVANÇO:** 60-100 mm/min

VELOCIDADE SAÍDA DO MATERIAL DE ADIÇÃO: N.A. **ENTREGA TÉRMICA:** 0,78 – 1,518 kJ/mm

PRÉ AQUECIMENTO: N.A. **TEMP. PRÉ AQUECIMENTO °C:** N.A. **TEMP. ENTREPASSES °C:** ≤ 250 °C

MÉTODO DE AQUECIMENTO: N.A. **DIÂMETRO DO BOCAL:** N.A.

GÁS PROTEÇÃO TOCHA: N.A. **% COMPRESSÃO** N.A. **DÉBITO:** N.A.

GÁS PROTEÇÃO PURGA: N.A. **% COMPRESSÃO** N.A. **DÉBITO:** N.A.

TÉCNICA OPERATÓRIA:

PASSO RAIZ: N.A. **PASSOS ENCHIMENTO E VISTA:** CORRIDO

LIMPEZA INICIAL:	LIMPEZA RAIZ:	LIMPEZA ENTREPASSES:
Disco Abrasivo	N.A.	Escova Arame/Disco Abrasivo

PS - Especificação de Procedimento de Soldadura
WPS - Welding Procedure Specification

Processo/*Process*:	**Tipo**/*Type*: Manual	**PQR**: n.a.

Junta/*Joint*

Tipo de Junta/*Joint Designation*:

Cobre-Junta/*Backing*: Sim/*Yes* ☐ Não/*No* ☐

Material/*Material*:

Materiais de Base/*Base Material*

	Grupo nº *Group no.*	Designação *Designation*	Especificação *Specification*
A / *To*			

Espessuras/*Thickness*:

Diâmetro/*Pipe Diameter*:

Esquema/*Sketch*

Metal de Adição/*Filler Material*			
Classificação/*Classification:*			
Marca/*Trade Name*			
Diâmetro/*Size (mm)*			
Espessura do Enchimento/*Filling Thickness(mm):*			
Fluxo Classificação/*Flux Classification:*			
Marca do Fluxo/*Flux trade name:*			
Outro/*Other*:			

Posição de Soldadura/*Welding Position*	**Pré-Aquecimento**/*Preheat*
Posição da Junta/*Joint Position:*	Temperatura/*Temperature*: °C
Progressão/*Welding Direction:*	Temp. de Interpasses/*Interpass Temp.:* °C
Outros/*Others*:	Método/*Heating Method:*

Tratamento Térmico/*Heat Treatment*		**Gás de Proteção**/*Protection Gas*			
Taxa de Subida/*Increase*:	°C/h		Tipo/*Type*	% Comp.	Débito/*Flow rate (l/min)*
Patamar/*Temperature Range*:	°C	Tocha/*Shielding:*			
Tempo de Permanência/*Holding Time:*	h	Purga/*Backing:*			
Taxa de Descida/*Decrease:*	°C/h	Outro/*Other*:			

Características Elétricas/*Electrical Characteristics*

Tipo de corrente, Polaridade e Gama de Intensidade de corrente/Tensão/
Type of Current, Polarity, and Current/Voltage Intensity Range

Tipo e Ø de elétrodo de tungsténio/*Tungsten electrode size & type:*

Outros/*Others:*

Técnica Operatória/*Technique Operatory*

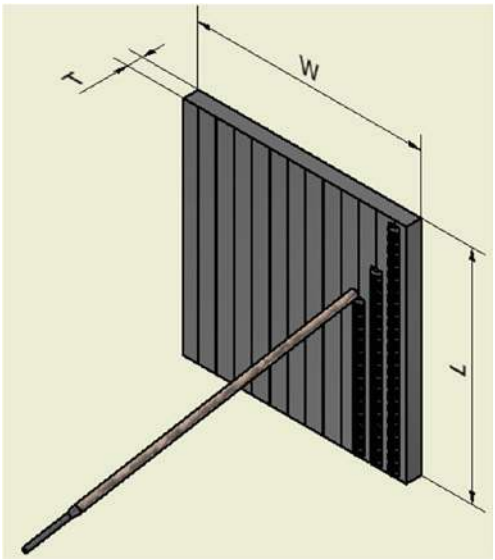
Passes Corridos ou Balanceados/*Run or balanced passes:*	**Oscilação**/*Oscilation*:
Limpeza inicial/*Initial Cleaning:*	Lado A Passes Simples/*Single Passes:*
Limpeza Interpasses/*Interpass Cleaning:*	*Side A* *Multi-Passes/Multi-Passes:*
Método de limpeza da raiz/*Root Cleaning Method:*	Lado B Passes Simples/*Single Passes:*
Outros/*Others:*	*Side B* *Multi-Passes/Multi-Passes:*

Passe nº *Layer No.*	**Processo** *Process*	**Metal de Adição** *Filler Material*		**Corrente** *Current*		**Volts [V]**	**Velocidade de Avanço** *Travel Speed* **(mm/min)**	**Entrega Térmica** *Heat Input* **(kJ/mm)**
		Classificação *Classification*	**Diâmetro** *Size*	**Polaridade** *Polarity*	**Amperes [A]**			

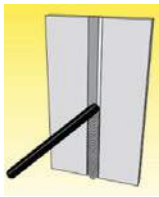
6	EXERCÍCIO - Soldadura		SER

OBJETIVOS:

Fazer cordões de soldadura (Linhas de Fusão), paralelos, uniformes e com a morfologia adequada, no plano vertical ascendente, sentido Sul – Norte, com elétrodos revestidos (7018), cumprindo as especificações registadas em baixo.



SER FW ch	
POSIÇÃO: ISO EN	**PF**
ASME; AWS	**3G**
PROCESSO: ISO EN **- 111**	



PT - **SER**	EU - **MMA**	USA AWS - **SMAW**
MATERIAL: Aço estrutural - S275JR		
DIMENSÕES CHAPA 1: (L x W x T)		
L = 150 mm	**W =** 150 mm	**T =** 15 mm
DIMENSÕES CHAPA 2: (L_1 x W_1 x T_1)		
L = N.A.	**W =** N.A.	**T =** N.A.
MATERIAL ADIÇÃO:	Elétrodo revestido	

REFERÊNCIA:	DIMENSÃO Ø x L:	REVESTIMENTO:	CORRENTE:	POLARIDADE:	INTENSIDADE:
7018	3,2 mm x 350 mm	Básico	AC/DCEP	Inversa (+)	100-115 A

APLICAÇÕES: Elétrodo de revestimento básico para soldadura de aços de construção. Resistente a fissuras, arco estável, e escória de fácil remoção. Não é adequado para passes de raiz nem na posição vertical descendente.

TENSÃO:	TX DEPOSIÇÃO:	JUNTA TIPO:	COBRE JUNTAS:	PASSES CORRIDOS OU BALANCEADOS:
20-25 V	1,2 kg/h	N.A.	NÃO	Corridos/Balanceados

OSCILAÇÕES: ≤ 3 x Ø elétrodo

VELOCIDADE AVANÇO: 60-90 mm/min

VELOCIDADE SAÍDA DO MATERIAL DE ADIÇÃO: N.A.

ENTREGA TÉRMICA: 1,60 – 1,84 kJ/mm

PRÉ AQUECIMENTO: N.A.

TEMP. PRÉ AQUECIMENTO °C: N.A.

TEMP. ENTREPASSES °C: ≤ 250 °C

MÉTODO DE AQUECIMENTO: N.A.

DIÂMETRO DO BOCAL: N.A.

GÁS PROTEÇÃO TOCHA: N.A. **% COMPRESSÃO** N.A. **DÉBITO:** N.A.

GÁS PROTEÇÃO PURGA: N.A. **% COMPRESSÃO** N.A. **DÉBITO:** N.A.

TÉCNICA OPERATÓRIA:

PASSO RAIZ: N.A.

PASSOS ENCHIMENTO E VISTA: CORRIDO

LIMPEZA INICIAL:	LIMPEZA RAIZ:	LIMPEZA ENTREPASSES:
Disco Abrasivo	N.A.	Escova Arame/Disco Abrasivo

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
PORTO, 2024

EXERCÍCIOS DE SOLDADURA

111 SER

José Monteiro
Hugo Balau
Duarte Silva

Sobre a coleção

O objetivo do desenvolvimento da presente coleção de livros de exercícios de soldadura, em processos comummente utilizados, nomeadamente na Soldadura de Elétrodos Revestidos – SER 111, MIG-MAG e TIG, é o constituir um apoio, em contexto de oficina, à execução prática de atividades de soldadura, no qual podem ser encontradas informações técnicas fundamentais de acordo com as respetivas normas. Este conjunto de guias práticos, apoiado nas diretrizes IIW/EWF, tenta focar-se em todas as variantes de cada processo: nomenclatura, simbologia, tipo de material base e sua soldabilidade, preparação dos vários tipos de junta, posição a soldar, fontes de energia e consumíveis de acordo com a Especificação do Procedimento de Soldadura (EPS).

Sobre a obra

A Soldadura por Elétrodo Revestido (SER) é um processo de soldadura manual onde um arco elétrico é estabelecido entre um elétrodo revestido e a peça a ser soldada. O calor gerado pelo arco elétrico funde tanto o material de base quanto o material do elétrodo, formando assim um banho de fusão que, ao solidificar, resulta na união das peças. Este processo de soldadura continua a ser amplamente utilizado devido à sua versatilidade e simplicidade de equipamento, sendo uma escolha popular em muitas indústrias para a união de metais. Este método é valorizado pela sua capacidade de ser aplicado em diversas posições e condições ambientais, tornando-o ideal para uma ampla gama de aplicações industriais, incluindo construção civil, manutenção e reparos, e fabricação de estruturas metálicas.

Sobre o autor e coautores

José Monteiro é Consultor, Formador e Técnico Especialista em Mecânica com formação superior de nível 7 que lhe confere o grau de Mestre em Engenharia Mecânica - Materiais e Tecnologias de Fabrico. Com experiência adquirida ao longo de 44 anos de atividade na área da Metalomecânica, que vai desde a Serralharia à Soldadura, da Metrologia à Maquinação, do Projeto à Automação, do Planeamento e Organização à Formação Profissional, desempenha atualmente, e desde 1989, entre outras funções, a atividade de consultor e formador na área da metalomecânica, nos vários níveis de formação bem como na docência dos diferentes módulos nessa área. Na área organizacional de coordenação e de direção, tem experiência adquirida e consolidada, fruto do desenvolvimento dos vários cargos desempenhados nas empresas por onde passou.

Duarte Silva é Consultor e Formador licenciado em Engenharia Mecânica, no ramo de Tecnologia Mecânica e Produção, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Desde 2007, a sua experiência profissional tem-se concentrado no desenvolvimento e implementação de projetos na área de AVAC em obras de construção civil, com maior incidência no território nacional, e participação em projetos internacionais. Assumiu em 2019 a função de Coordenador de Formação para a Área de Mecânica Industrial, Mecatrónica Automóvel e Tecnologia de Refrigeração e Climatização na ATEC, e paralelamente, desde 2016, exerce funções de consultor, coordenador de turma e formador em áreas de formação técnica na ATEC, com foco nas temáticas relacionadas com materiais, oficinas mecânicas, AVAC, termodinâmica e mecanismos de transferência de calor.

Hugo Balau é Consultor e Formador com Pós-graduação de Engenharia de Soldadura EWF/IIW no Nível Especialista. A sua experiência profissional engloba diversas áreas como a Metalomecânica Ligeira e Pesada, Instalação de Redes de Gás e a Soldadura. Desde 2010, atua como formador na área da Soldadura nos processos 111, 141, 135, 136, 311 em metais ferrosos e não ferrosos e brasagens fortes. Atualmente, e desde 2012, exerce funções de Consultor, Coordenador de Formação e Formador em Soldadura na ATEC, tanto na vertente de formação profissional inicial e qualificante para jovens e adultos, como na formação contínua de ativos de empresas de cariz industrial. Ao longo da carreira investiu em formações específicas, como na qualificação e certificação nos diversos processos de soldadura de acordo com a IIW/EWF ou a Inspeção IWIP-S.

Apoio

atec

Também disponível em formato *e-book*

ISBN: 978-989-917-761-1

www.**quanticaeditora**.pt

engebook