

LIGAS NÃO FERROSAS DE ENGENHARIA

PRINCIPAIS APLICAÇÕES, TRATAMENTOS E PROPRIEDADES MECÂNICAS

ANTÔNIO GONÇALVES DE MAGALHÃES

AUTOR

António Gonçalves de Magalhães

TÍTULO

LIGAS NÃO FERROSAS DE ENGENHARIA – Principais Aplicações, Tratamentos e Propriedades Mecânicas

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 de Engenharia

DISTRIBUIÇÃO

Booki – Conteúdos Especializados
Tel. 220 104 872 · Fax 220 104 871 · info@booki.pt – www.booki.pt

REVISÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

DESIGN

Delineatura – Design de Comunicação · www.delineatura.pt

APOIO

CENFIM – Centro de Formação Profissional da Indústria Metalúrgica e Metalomecânica · www.cenfim.pt
Alpha Engenharia – www.alphaengenharia.pt

IMPRESSÃO

Dezembro, 2021

DEPÓSITO LEGAL

482556/21



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

Copyright © 2021 | Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

Todos os direitos reservados a 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

ISBN

Papel: 9789899017559

E-book: 9789899017566

Catálogo da publicação

Família: Engenharia Mecânica

Subfamília: Materiais/Metalúrgica

| | |
|--|-----|
| AOS LEITORES | VII |
| INTRODUÇÃO | 9 |
| 1. O ALUMÍNIO E AS SUAS LIGAS | 13 |
| 1.1. Aplicações | 13 |
| 1.2. Codificação das ligas de alumínio | 15 |
| 1.3. Ligas alumínio – cobre | 16 |
| 1.4. Ligas alumínio – silício | 18 |
| 1.4.1. Modificação das ligas de alumínio – silício | 19 |
| 1.5. Ligas alumínio – magnésio | 21 |
| 1.5.1. Diagrama de equilíbrio | 21 |
| 1.5.2. Principais propriedades e aplicações | 23 |
| 1.6. Ligas alumínio – zinco | 24 |
| 1.7. Ligas alumínio – manganés | 25 |
| 1.8. Outros elementos de liga com o alumínio | 28 |
| 1.9. O tratamento térmico das ligas de alumínio | 29 |
| 1.9.1. Distensão | 29 |
| 1.9.2. Homogeneização | 29 |
| 1.9.3. Amaciamento | 30 |
| 1.9.3.1. Restauração | 30 |
| 1.9.3.2. Recristalização | 30 |
| 1.9.3.3. Recozimento de precipitação | 32 |
| 1.9.4. Envelhecimento por precipitação estrutural | 32 |
| 1.9.4.1. Solubilização | 33 |
| 1.9.4.2. Arrefecimento | 33 |
| 1.9.4.3. Precipitação estrutural | 34 |
| 1.9.5. Classificação das diferentes condições de tratamento | 35 |
| 1.9.6. Origem do aumento de dureza através do tratamento de envelhecimento e da queda de dureza causada pelo superenvelhecimento | 38 |
| 1.9.7. Tratamentos termomecânicos – Envelhecimento termomecânico | 42 |
| 1.10. Anodização do alumínio e das suas ligas | 42 |
| 1.11. Colmatação | 43 |
| 2. MAGNÉSIO E LIGAS DE MAGNÉSIO | 45 |
| 2.1. Classificação ASTM | 45 |
| 2.2. Classificação UNS | 47 |
| 2.3. Aplicações | 47 |
| 2.4. Precauções no manuseamento do magnésio | 48 |
| 2.5. Principais ligas de magnésio | 48 |
| 2.6. Tratamentos térmicos | 49 |
| 3. ZINCO E LIGAS DE ZINCO | 51 |
| 3.1. Efeito das principais impurezas | 51 |
| 3.2. Ligas de zinco | 52 |
| 3.2.1. Ligas com 4% de alumínio | 53 |
| 3.2.2. Ligas com 4% de alumínio e 3% de cobre | 54 |
| 3.2.3. Ligas com 12% de alumínio | 54 |
| 3.2.4. Ligas com 35% de alumínio | 55 |
| 3.3. Composição e designação do zinco e das suas principais ligas | 55 |
| 3.4. Tratamento térmico do zinco e suas ligas | 56 |

| | | |
|------------|---|----------------|
| 4. | COBRE E LIGAS DE COBRE | 57 |
| 4.1. | Designação do cobre e suas ligas | 57 |
| 4.2. | Ligas de cobre | 58 |
| 4.2.1. | Latões | 58 |
| 4.2.2. | Bronzes | 60 |
| 4.2.3. | Ligas cuproníquel | 63 |
| 4.3. | Tratamentos térmicos do cobre e respetivas ligas | 64 |
| 4.3.1. | Latões | 64 |
| 4.3.2. | Bronzes | 64 |
| 4.4. | Temperaturas de recozimento de algumas ligas de cobre | 65 |
| 5. | NÍQUEL E LIGAS DE NÍQUEL | 67 |
| 5.1. | Níquel comercialmente puro | 67 |
| 5.2. | Ligas de níquel | 68 |
| 5.2.1. | Ligas de níquel com cobre | 68 |
| 5.2.2. | Ligas de níquel com molibdénio | 69 |
| 5.2.3. | Ligas de níquel com crómio | 71 |
| 5.2.4. | Ligas de níquel com titânio | 72 |
| 5.2.5. | Ligas complexas | 73 |
| 5.2.6. | Superligas de níquel | 73 |
| 5.3. | Tratamento térmico do níquel e respetivas ligas | 76 |
| 6. | TITÂNIO E LIGAS DE TITÂNIO | 77 |
| 6.1. | Titânio e respetivas ligas | 78 |
| 6.1.1. | Titânio puro | 78 |
| 6.1.2. | Ligas α | 79 |
| 6.1.3. | Ligas quase – α | 79 |
| 6.1.4. | Ligas $\alpha + \beta$ | 80 |
| 6.1.5. | Ligas β | 80 |
| 6.2. | Classificação das ligas de titânio | 80 |
| 6.3. | Tratamento térmico do titânio e respetivas ligas | 81 |
| 6.3.1. | Tipologia dos tratamentos | 82 |
| 7. | BERÍLIO E LIGAS DE BERÍLIO | 85 |
| 8. | CHUMBO E LIGAS DE CHUMBO | 87 |
| 8.1. | Aplicações | 87 |
| 8.2. | Chumbo e ligas de chumbo | 88 |
| 8.3. | Tratamento térmico em ligas de chumbo | 88 |
| 9. | ESTANHO E LIGAS DE ESTANHO | 91 |
| 9.1. | Aplicações | 91 |
| 9.2. | Estanho e ligas de estanho | 92 |
| 9.3. | Tratamento térmico do estanho e respetivas ligas | 94 |
| 10. | LIGAS REFRAATÓRIAS | 97 |
| 10.1. | Molibdénio | 97 |
| 10.2. | Tungsténio | 98 |
| 10.3. | Tântalo | 99 |
| 10.4. | Nióbio | 100 |
| 10.5. | Rénio | 101 |
| 10.6. | Háfnio | 102 |
| | QUESTÕES PROPOSTAS PARA REVISÃO DE CONTEÚDOS | CV |
| | ANEXOS | CXXI |
| | BIBLIOGRAFIA E WEBGRAFIA | CXXXIII |
| | ÍNDICE DE FIGURAS | CXXXVII |
| | ÍNDICE DE TABELAS | CXLI |

LIGAS NÃO FERROSAS DE ENGENHARIA

PRINCIPAIS APLICAÇÕES, TRATAMENTOS E PROPRIEDADES MECÂNICAS

ANTÔNIO GONÇALVES DE MAGALHÃES

Sobre a obra

Esta obra destina-se a estudantes das áreas de engenharia, cursos profissionais e afins que estejam interessados no estudo ou aprofundamento dos conhecimentos relacionados com as ligas metálicas não ferrosas, as suas aplicações e os seus tratamentos.

Resultando de um conjunto de notas de aulas, teóricas e práticas, lecionadas ao longo de vários anos, tem como complemento algumas questões com a tipologia verdadeiro/falso e de escolha múltipla, além de casos de estudo para reflexão, com o objetivo de permitir a fácil consolidação dos assuntos tratados. Neste sentido, o objetivo é que possa ser útil a jovens estudantes e todos aqueles que, no presente e no futuro, vão dedicar algum do seu tempo a estudar materiais, que acabam por estar sistematicamente ligados ao princípio de qualquer realização de engenharia.

Sobre o autor

António Gonçalves de Magalhães obteve a Licenciatura, o Mestrado e o Doutoramento pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Atualmente exerce funções de Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal. No DEM exerceu diversas tarefas de coordenação como coordenador do grupo de disciplinas de Materiais e Processos de Fabrico e Diretor de Curso da Licenciatura de Engenharia Mecânica. Foi membro do Conselho Pedagógico, Conselho Técnico-Científico e foi recentemente eleito para membro do Conselho Coordenador de Cursos.

Atualmente leciona disciplinas na área dos materiais metálicos, não metálicos e seleção de materiais nos cursos de Licenciatura e Mestrado em Engenharia Mecânica. Exerce ainda tarefas de orientação de estágio e de Mestrado. As suas áreas de especialização incluem os materiais compósitos, os adesivos estruturais, a caracterização mecânica de materiais e a avaliação não destrutiva. Participou como arguente em vários júris académicos de Doutoramento, Mestrado e Mestrado integrado. É autor e coautor de 4 livros sobre a caracterização de materiais, juntas adesivas e materiais compósitos, publicados em língua portuguesa, bem como autor ou coautor de cerca de 30 publicações em revista internacional, cerca de 60 artigos científicos em conferências nacionais e internacionais, e participou em alguns projetos nacionais e europeus nas áreas científicas referidas. Colabora frequentemente com algumas revistas internacionais como revisor.

Apoio



Alpha
ENGENHARIA

Também disponível em formato e-book



ISBN: 978-989-901-755-9



www.engebook.pt

engebook