



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

Materiais de construção

AUTORES

Lucas Filipe Martins da Silva, Fernando Jorge Lino Alves, António Torres Marques

EDITORIA

Publindústria - Edições Técnicas

DISTRIBUIÇÃO

Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão · www.engebook.com

FORMATO: 170 x 240 mm

NÚMERO DE PÁGINAS: 464 aprox.

ISBN

978-989-723-049-3 (papel)

978-989-723-050-9 (e-book)

SOBRE A EDITORA

A Publindústria assume como missão estratégica a produção de conteúdos direcionados para a Indústria Transformadora. Entre os nossos produtos comunicacionais destacamos a edição de revistas técnico-científicas, uma atividade editorial que iniciámos e vimos a aprofundar desde há 25 anos. A edição de livros técnicos e manuais universitários é uma área de negócios emergente, um desafio e uma prova do envolvimento da Publindústria com os técnicos e cientistas portugueses. Estamos apostados em ocupar o reduzido nicho de mercado do livro técnico nos mais diversos domínios da ciência e tecnologia, que contenham uma forte componente pedagógica e/ou formativa.

SOBRE O LIVRO

Esta obra é, acima de tudo, uma ferramenta didática que pretende dar apoio aos estudantes de pré-graduação no estudo de materiais de construção mecânica, civil, etc. Não se pretende, de modo algum, fazer uma apresentação exaustiva de todos os materiais, mas apenas tratar as matérias mais relevantes para engenheiros envolvidos em aplicações estruturais. Os fundamentos teóricos sobre a ciência dos materiais (química, ligações atómicas, propriedades mecânicas e físicas, etc.) não são descritos, sendo somente abordados materiais de engenharia, descrevendo as suas estruturas, os seus métodos de fabrico e as propriedades importantes para diferentes aplicações. Esta obra está dividida em quatro partes: metais, cerâmicos, polímeros e compósitos.

SOBRE OS AUTORES

Lucas Filipe Martins da Silva

Nasceu em França em 1973. Licenciou-se em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) em 1996. Fez o mestrado pela FEUP em 1999. Doutorou-se pela Universidade de Bristol, Inglaterra, em 2004. É atualmente Professor Auxiliar com Agregação da FEUP na área do Comportamento Mecânico dos Materiais e Coordenador da Secção de Materiais e Processos Tecnológicos. Publicou 111 artigos em revistas internacionais ISI (90 como autor e 21 como editor) e 18 livros. De acordo com a SCOPUS, tem um índice *h* de 19. É editor da revista *The Journal of Adhesion*. É presidente da Associação Portuguesa de Adesão e Adesivos. É *chairman* das conferências AB (*Adhesive Bonding*) e CLBA (Conferência Luso-Brasileira de Adesão e Adesivos).

Fernando Jorge Lino Alves

Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais, tem realizado trabalho de investigação na área de desenvolvimento de produto. É docente de diversas unidades curriculares na área dos materiais e processos tecnológicos e é Diretor do Curso de Mestrado em *Design* Industrial e Cursos de Especialização e Estudos Avançados em *Design* e Desenvolvimento de Produto. Publicou em coautoria 1 livro sobre Fabrico Aditivo, mais de 150 artigos em revistas, capítulos de livros e conferências, e tem 7 prémios em concursos nacionais e internacionais.

António Torres Marques

Nasceu no Porto, Portugal, em 12 de setembro de 1950. Licenciou-se em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) em 1972, tem um Mestrado em Polímeros (1977) e um Doutoramento (1981) em Materiais Compósitos do *Cranfield Institute of Technology* (Reino Unido). Possui, desde 2001, o título de Agregado da FEUP, onde é, desde fevereiro de 2002, Professor Catedrático no Departamento de Engenharia Mecânica. As suas áreas de interesse, na investigação e ensino, são Polímeros e Compósitos de Matriz Polimérica, Biomecânica, Saúde e Segurança Ocupacional. Foi responsável por vários projetos de I&D, em particular com a indústria.

Materiais de construção

Prefácio	
1. Introdução	
1.1. História	
1.2. Ciência e engenharia dos materiais	
1.3. Propriedades dos materiais	
1.3.1. Propriedades mecânicas	
1.3.2. Propriedades térmicas	
1.3.3. Propriedades elétricas, magnéticas e óticas	
1.3.4. Propriedades químicas	
1.4. Processos	
1.5. Classificação dos materiais	
1.5.1. Metais	
1.5.2. Cerâmicos	
1.5.3. Polímeros	
1.5.4. Compósitos	
PARTE A: METAIS	
2. Aços	
2.1. Diagrama de equilíbrio ferro-carbono	
2.2. Aços ao carbono	
2.2.1. Constituição no estado recozido	
2.2.2. Influência da velocidade de arrefecimento nos pontos de transformação e na microestrutura	
2.2.2.1. Temperaturas de transformação	
2.2.2.2. Microestrutura dos aços	
2.2.3. Relações entre a microestrutura e as propriedades mecânicas: caso dos aços ferrito-perlíticos	
2.2.4. Resultados experimentais	
2.2.4.1. Influência do teor em carbono	
2.2.4.2. Influência da microestrutura	
2.3. Aços ligados	
2.3.1. Influência dos elementos de liga nas condições de equilíbrio e nas transformações	
2.3.1.1. Influência no ponto eutectoide	
2.3.1.2. Influência no domínio austenítico	
2.3.1.3. Elementos carborígenos e não carborígenos	
2.3.2. Influência dos elementos de liga nas propriedades dos aços no estado recozido	
2.3.2.1. Influência dos elementos solúveis na fase ferrítica	
2.3.2.2. Influência dos elementos de liga nos carbonetos	
2.3.2.3. Ação dos elementos de liga formando precipitados	
2.4. Tratamentos térmicos dos aços	
2.4.1. Transformações isotérmicas da austenite	
2.4.1.1. Transformações com difusão	
2.4.1.2. Transformação sem difusão ou martensítica	
2.4.2. Parâmetros influenciando as transformações da austenite	
2.4.2.1. Influência da composição da austenite	
2.4.2.2. Influência das condições de austenitização	
2.4.3. Diagramas TTT isotérmicos	
2.4.4. Diagramas TRC	
2.4.5. Recozidos	
2.4.5.1. Recozido completo ou simplesmente recozido	
2.4.5.2. Recozido de homogeneização ou de difusão	
2.4.5.3. Recozido de normalização	
2.4.5.4. Recozido de amaciamento ou de globulização	
2.4.5.5. Recozido de relaxação ou de distensão	
2.4.5.6. Recozido isotérmico	
2.4.6. Têmpera	
2.4.6.1. Austenitização	
2.4.6.2. Arrefecimento	
2.4.6.3. Tensões residuais	
2.4.6.4. Têmpera com estágio martensítica ou martêmpera	
2.4.6.5. Têmpera bainítica ou austêmpera	
2.4.7. Temperabilidade	
2.4.7.1. Fatores influenciando a temperabilidade	
2.4.7.2. Utilização dos diagramas TRC	
2.4.7.3. Curvas de penetração de têmpera	
2.4.7.4. Diâmetro crítico	
2.4.7.5. Utilização do ensaio Jominy	
2.4.8. Revenido	
2.4.8.1. Transformações metalúrgicas	
2.4.8.2. Evolução das propriedades mecânicas	
2.5. Tratamentos superficiais	
2.5.1. Tratamento de endurecimento superficial por têmpera após aquecimento localizado	
2.5.2. Tratamento de endurecimento por têmpera superficial após cementação pelo carbono	
2.5.2.1. Tratamentos térmicos após cementação	
2.5.2.2. Profundidade de cementação	
2.5.3. Tratamentos de nitração	
2.6. Aços de ferramentas	
2.6.1. Composição química e estruturas	
2.6.1.1. Estrutura no estado recozido	
2.6.1.2. Estrutura após tratamento térmico	
2.6.2. Classificação dos aços de ferramentas	
2.6.3. Aços rápidos	
2.7. Aços inoxidáveis	
2.7.1. Diagramas de equilíbrio	
2.7.1.1. Binários Fe-Cr	
2.7.1.2. Binários Fe-Ni	
2.7.1.3. Ternários Fe-Ni-Cr	
2.7.1.4. Aços inoxidáveis de n constituintes	
2.7.1.5. Influência do carbono	
2.7.2. Categorias de aços inoxidáveis	
2.7.3. Aços inoxidáveis ferríticos (magnéticos)	
2.7.4. Aços inoxidáveis martensíticos (magnéticos)	
2.7.5. Aços inoxidáveis austeníticos (amagnéticos)	
2.7.6. Aços inoxidáveis de endurecimento por precipitação (<i>maraging</i>)	
2.7.7. Corrosão dos aços inoxidáveis	
3. Ferros fundidos	
3.1. Ferros fundidos brancos	
3.1.1. Ligas hipoeutéticas $2,06\% < \%C < 4,3\%$	
3.1.2. Ligas hipereutéticas $4,3\% < \%C < 6,67\%$	
3.2. Ferros fundidos cinzentos	
3.2.1. Ligas hipoeutéticas: $2,03 < \%C < 4,25$	
3.2.2. Ligas hipereutéticas: $4,25\% < \%C < 100\%$	
3.2.3. Influência dos elementos de elaboração	
3.2.4. Fatores que afetam a constituição e a microestrutura dos ferros fundidos	
3.2.4.1. Elaboração do metal	
3.2.4.2. Composição química	
3.2.4.3. Condições de arrefecimento	
3.2.5. Constituintes dos ferros fundidos cinzentos	
3.2.5.1. Ferrite	
3.2.5.2. Perlite	
3.2.5.3. Cementite	
3.2.5.4. Esteadite	
3.2.5.5. Grafite	
3.2.6. Características mecânicas dos ferros fundidos cinzentos	
3.3. Ferros fundidos dúcteis	
3.3.1. Elaboração	
3.3.2. Constituição e tratamentos	
3.3.3. Características mecânicas	
3.4. Ferros fundidos maleáveis	
3.4.1. Processo europeu (maleabilização por recozido de descarburização)	
3.4.2. Processo americano (maleabilização por recozido de grafitização)	
3.4.2.1. Maleáveis de coração negro ferríticos	
3.4.2.2. Maleáveis de coração negro perlíticos e martensíticos	

Materiais de construção

- 4. Ligas não ferrosas**
 - 4.1. Ligas de alumínio
 - 4.1.1. Tratamento de precipitação estrutural
 - 4.1.2. Propriedades gerais das ligas de alumínio
 - 4.1.2.1. Resistência a quente
 - 4.1.2.2. Resistência a baixas temperaturas
 - 4.1.2.3. Resistência à fadiga
 - 4.1.2.4. Resistência à corrosão
 - 4.1.2.5. Conformação
 - 4.1.2.6. Soldadura
 - 4.1.2.7. Comparação das resistências de diferentes classes
 - 4.1.3. Ligas sem endurecimento estrutural
 - 4.1.3.1. Liga alumínio-manganês (3xxx)
 - 4.1.3.2. Ligas alumínio-magnésio (5xxx)
 - 4.1.4. Ligas de endurecimento estrutural
 - 4.1.4.1. Ligas alumínio-cobre (2xxx)
 - 4.1.4.2. Ligas alumínio-silício-magnésio (6xxx)
 - 4.1.4.3. Ligas alumínio-zinco-magnésio (7xxx)
 - 4.1.4.4. Ligas alumínio-silício (4xxx)
 - 4.1.5. Ligas alumínio-lítio
 - 4.2. Ligas de cobre
 - 4.2.1. Latões (ligas Cu-Zn, 5 a 45% de Zn)
 - 4.2.1.1. Latões simples (binários Cu-Zn)
 - 4.2.1.2. Latões com adições
 - 4.2.1.3. Características mecânicas
 - 4.2.1.4. Resistência à corrosão
 - 4.2.2. Bronzes (Cu-Sn, de 3 a 20% de Sn)
 - 4.2.2.1. Bronzes simples (binários Cu-Sn)
 - 4.2.2.2. Bronzes com adições
 - 4.2.2.3. Características mecânicas
 - 4.2.3. Ligas de cobre-berílio
 - 4.2.4. Cupro-alumínios (Cu-Al, de 4 a 14% Al)
 - 4.2.4.1. Cupro-alumínios simples (binários Cu-Al)
 - 4.2.4.2. Cupro-alumínios com adições
 - 4.2.4.3. Características mecânicas
 - 4.2.5. Cupro-níqueis (Cu-Ni, de 5 a 45% de Ni)
 - 4.2.6. Ligas de cobre-níquel-zinco ('alpacas') (Cu-Ni-Zn)
 - 4.2.7. Ligas de memória de forma
 - 4.3. Ligas de magnésio
 - 4.3.1. Ligas magnésio-alumínio
 - 4.3.2. Ligas magnésio-manganês
 - 4.3.3. Ligas magnésio-zircônio
 - 4.4. Ligas de titânio
 - 4.5. Ligas de zinco
 - 4.5.1. Ligas com 4% de alumínio
 - 4.5.2. Ligas com 4% de alumínio e 3% de cobre
 - 4.5.3. Ligas com 12% de alumínio
 - 4.5.4. Ligas com 35% de alumínio
 - 4.6. Ligas de níquel
 - 4.5.1. Ligas de níquel-crômio
 - 4.5.2. Superligas de níquel
 - 4.5.2.1. Ligas níquel-crômio-ferro
 - 4.5.2.2. Ligas níquel-molibdênio
 - 5. Fabricação**
 - 5.1. Fundição
 - 5.2. Processos de deformação
 - 5.2.1. Laminagem
 - 5.2.1.1. Laminagem a quente
 - 5.2.1.2. Laminagem a frio
 - 5.2.2. Extrusão
 - 5.2.3. Forjamento
 - 5.2.4. Estiramento
 - 5.2.5. Estampagem
 - 5.2.6. Pressão de deformação
 - 5.3. Recristalização
 - 5.3.1. Restauração (ou restauração no sentido restrito)
 - 5.3.2. Recristalização primária
 - 5.3.3. Crescimento do grão ou recristalização secundária
- PARTE B: CERÂMICOS
- 6. Tipos e estrutura dos cerâmicos**
 - 6.1. Tipos de cerâmicos
 - 6.1.1. Cerâmicos tradicionais
 - 6.1.2. Cerâmicos técnicos
 - 6.1.2.1. Alumina (Al_2O_3)
 - 6.1.2.2. Nitreto de silício (Si_3N_4)
 - 6.1.2.3. Carboneto de silício (SiC)
 - 6.1.2.4. Zircônia (ZrO_2)
 - 6.1.3. Cimento e betão
 - 6.1.4. Cerâmicos naturais
 - 6.1.5. Cerâmicos compósitos
 - 6.2. Estrutura dos cerâmicos
 - 6.2.1. Cerâmicos iônicos e covalentes
 - 6.2.2. Cerâmicos iônicos simples
 - 6.2.3. Cerâmicos covalentes simples
 - 6.2.4. Sílica e silicatos
 - 6.2.5. Microestrutura dos cerâmicos
- 7. Fabricação dos cerâmicos**
 - 7.1. Preparação dos materiais
 - 7.2. Conformação
 - 7.2.1. Prensagem
 - 7.2.1.1. Prensagem a seco (uniaxial)
 - 7.2.1.2. Prensagem isostática
 - 7.2.1.3. Prensagem a quente
 - 7.2.2. Vazamento de uma barbotina (*slip casting*)
 - 7.2.3. Extrusão
 - 7.2.4. Moldagem por injeção
 - 7.3. Tratamentos térmicos
 - 7.3.1. Secagem e remoção do ligante
 - 7.3.2. Sinterização
 - 7.3.3. Vitrificação (sinterização em fase líquida)
- 8. Vidros**
 - 8.1. Definição de um vidro
 - 8.2. Temperatura de transição vítrea
 - 8.3. Estrutura dos vidros
 - 8.3.1. Vidros constituídos por óxidos (*glass-forming oxides*)
 - 8.3.2. Óxidos modificadores do vidro (*glass-modifying oxides*)
 - 8.3.3. Óxidos intermédios (*intermediate oxides in glasses*)
 - 8.4. Composição dos vidros
 - 8.5. Deformação viscosa dos vidros
 - 8.6. Fabricação
 - 8.6.1. Conformação de chapas
 - 8.6.2. Insuflagem, prensagem e vazamento do vidro
 - 8.6.3. Termoformação e vitrofusão
 - 8.7. Vidros temperados
- 9. Propriedades dos cerâmicos**
 - 9.1. Propriedades mecânicas
 - 9.1.1. Mecanismos de deformação nos materiais cerâmicos
 - 9.1.2. Tenacidade dos materiais cerâmicos
 - 9.1.3. Zircônia parcialmente estabilizada (PSZ)
 - 9.1.4. Mecanismo de aumento da tenacidade por ligações entre os grãos
 - 9.1.5. Compósitos laminados e compósitos reforçados com fibras
 - 9.1.6. Fadiga dos materiais cerâmicos
 - 9.1.7. Materiais cerâmicos abrasivos
 - 9.2. Propriedades físicas
 - 9.2.1. Propriedades térmicas
 - 9.2.1.1. Cerâmicos refratários

TÍTULO

Materiais de construção

ÍNDICE

- 9.2.1.2. Refratários ácidos
- 9.2.1.3. Refratários básicos
- 9.2.2. Propriedades elétricas
- 9.2.2.1. Materiais cerâmicos isoladores
- 9.2.2.2. Materiais cerâmicos para condensadores
- 9.2.2.3. Os cerâmicos semicondutores
- 9.2.2.4. Cerâmicos ferroelétricos

- PARTE C: POLÍMEROS
- 10. Estrutura**
- 10.1. Escalas das estruturas
- 10.2. Escala molecular
- 10.2.1. Homopolímeros e copolímeros
- 10.2.2. Reticulação e ramificação
- 10.2.3. Isomerismo químico e estérico. Estereorregularidade
- 10.2.4. Conformação
- 10.2.4.1. Rotações elementares dos segmentos das cadeias
- 10.2.4.2. Conformações trans e cis
- 10.3. Escala macromolecular
- 10.3.1. Polímeros lineares
- 10.3.2. Polímeros tridimensionais
- 10.4. Escala supramolecular
- 10.4.1. Cristalização
- 10.4.1.1. Temperaturas de transição
- 10.4.1.2. Mobilidade molecular
- 10.4.1.3. Estado cristalino
- 10.4.1.4. Sistemas multifásicos
- 10.4.1.5. Orientação
- 10.5. Relação das propriedades com a natureza orgânica e a estrutura molecular dos polímeros
- 10.5.1. Propriedades dependentes da natureza orgânica
- 10.5.2. Propriedades dependentes da estrutura macromolecular
- 10.5.3. De polímero a plástico

- 11. Tipos de polímeros**
- 11.1. Termoplásticos
- 11.1.1. Características gerais dos termoplásticos
- 11.1.1.1. Propriedades gerais
- 11.1.1.2. Peso específico
- 11.1.1.3. Isolamento
- 11.1.1.4. Coeficiente de dilatação linear
- 11.1.1.5. Estabilidade dimensional
- 11.1.1.6. Resistência química
- 11.1.1.7. Fogo
- 11.1.1.8. Temperatura de aplicação
- 11.1.1.9. Aspeto
- 11.1.1.10. Coeficiente de atrito
- 11.1.1.11. Resistência ao tempo e ultravioletas
- 11.1.1.12. Tenacidade
- 11.1.1.13. Resistência ao impacto
- 11.1.1.14. Resistência mecânica e rigidez
- 11.1.2. Termoplásticos comercialmente importantes
- 11.1.3. Termoplásticos baseados em estireno
- 11.1.3.1. Poliestireno de uso geral (PS)
- 11.1.3.2. Poliestireno de alta resistência ao impacto (HIPS)
- 11.1.3.3. Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)
- 11.1.3.4. Estireno-acrilonitrilo (SAN)
- 11.1.4. Termoplásticos vinílicos
- 11.1.4.1. Policloreto de vinilo (PVC) rígido
- 11.1.4.2. Policloreto de vinilo (PVC) flexível
- 11.1.4.3. Copolímeros de cloreto de vinilo
- 11.1.5. Outros termoplásticos amorfos
- 11.1.5.1. Acrílicos
- 11.1.5.2. Policarbonato (PC)
- 11.1.5.3. Polióxido de fenileno (PPO)
- 11.1.5.4. Polissulfonas (PSU)
- 11.1.5.5. Celulósicos
- 11.1.5.6. Poliimidias
- 11.1.6. Poliolefinas
- 11.1.6.1. Polietilenos
- 11.1.6.2. Polipropileno
- 11.1.6.3. Copolímero de polietileno – acetato de vinilo (EVA)
- 11.1.7. Outros termoplásticos semicristalinos
- 11.1.7.1. Poliamida (PA)
- 11.1.7.2. Poliacetal
- 11.1.7.3. Poliésteres termoplásticos (PET, PBT)
- 11.1.7.4. Politetrafluoretileno (PTFE)
- 11.1.7.5. Poli-eter-eter-cetona (PEEK)
- 11.1.7.6. Polímeros de cristais líquidos (LCP)
- 11.1.7.7. Ionómeros (I)
- 11.2. Termoendurecíveis
- 11.2.1. Resinas de poliéster insaturado
- 11.2.2. Resinas epoxídicas
- 11.2.3. Resinas de viniléster
- 11.2.4. Resinas fenólicas (PF)
- 11.2.5. Resinas de poliuretano (PU)
- 11.2.6. Resinas de poliimida termoendurecível
- 11.2.7. Resinas de polietileno reticulado (PEX)
- 11.3. Elastómeros
- 11.3.1. Borracha natural (NR)
- 11.3.2. Borracha de estireno-butadieno (SBR)
- 11.3.3. Borrachas de cloropreno (CR)
- 11.3.4. Borrachas de butadieno-acrilonitrilo (nitrilo) (NBR)
- 11.3.5. Borrachas de isobuteno-isopreno (butil) (IIR)
- 11.3.6. Borrachas de etileno-propileno (EPM e EPDM)
- 11.3.7. Borrachas termoplásticas
- 11.3.8. Borrachas fluorocarbonadas (FPM)
- 11.3.9. Borrachas de silicone (SI)
- 11.3.10. Borrachas de poliuretano (PU)
- 11.3.11. Borrachas de polietileno clorossulfonado (CSM)
- 11.3.12. Outras borrachas
- 11.4. Polímeros naturais
- 11.5. Polímeros com memória de forma (SMP – *Shape Memory Polymers*)

- 12. Processos de transformação de polímeros**
- 12.1. Processos de transformação de termoplásticos
- 12.1.1. Extrusão
- 12.1.2. Injeção
- 12.1.2.1. Introdução
- 12.1.2.2. Equipamento
- 12.1.2.3. Ciclo de moldação
- 12.1.2.4. Variantes do processo de moldação por injeção
- 12.1.2.5. Sugestões para o projeto de peças moldadas por injeção
- 12.1.3. Moldação por sopro
- 12.1.4. Termoformação
- 12.1.5. Moldação rotacional
- 12.1.6. Moldação por compressão
- 12.1.7. Moldação por transferência de resina
- 12.1.8. Vazamento
- 12.1.9. Fabrico de espumas
- 12.1.10. Outros processos
- 12.1.10.1. Calandragem
- 12.1.10.2. Forjamento
- 12.1.10.3. Laminados
- 12.1.10.4. Maquinagem
- 12.1.10.5. Fabricação com PTFE
- 12.1.10.6. Coloração e cargas
- 12.2. Processos de transformação de termoendurecíveis
- 12.2.1. Processamento de termoendurecíveis
- 12.2.1.1. Moldação por injeção com reação (*Reaction Injection Moulding, RIM*)
- 12.2.1.2. Moldação por injeção

TÍTULO

Materiais de construção

ÍNDICE

- 12.2.1.3. Moldação por compressão
- 12.2.1.4. Moldação por transferência
- 12.2.2. Otimização do desempenho do produto
- 12.2.3. Perfis de viscosidade
- 12.3. Fabricação de elastômeros
 - 12.3.1. Composição
 - 12.3.1.1. Cargas de reforço em partícula
 - 12.3.1.2. Cargas diluentes em partícula
 - 12.3.1.3. Óleos e adjuvantes de processamento
 - 12.3.1.4. Agentes protetores
 - 12.3.2. Mistura
 - 12.3.3. Vulcanização
 - 12.3.4. Moldação
 - 12.3.4.1. Moldação por compressão
 - 12.3.4.2. Moldação por transferência
 - 12.3.4.3. Moldação por injeção

13. Comportamento mecânico dos polímeros

- 13.1. Introdução
- 13.2. Mecanismos de deformação dos termoplásticos
- 13.3. Mecanismos de endurecimento de termoplásticos
 - 13.3.1. Massa molecular
 - 13.3.2. Cristalinidade
 - 13.3.3. Grupos atômicos laterais
 - 13.3.4. Átomos polares na cadeia de carbono
 - 13.3.5. Reforços
- 13.4. Mecanismos de endurecimento dos termoendurecíveis
- 13.5. Propriedades mecânicas
 - 13.5.1. Efeito da temperatura
 - 13.5.2. Efeito da velocidade de deformação
- 13.6. Mecanismos de rotura
 - 13.6.1. Rotura frágil
 - 13.6.2. Rotura dúctil
 - 13.6.2.1. Estricção seguida de rotura
 - 13.6.2.2. Grande deformação sem estricção
 - 13.6.2.3. Estiramento a frio (cold-drawing)
 - 13.6.2.4. Combinação de ductilidade e fragilidade
 - 13.6.3. Indicadores de rotura
 - 13.6.3.1. *Crazing*
 - 13.6.3.2. Bandas de corte (*shear bands*)
- 13.7. Fluência
 - 13.7.1. Ensaios de fluência
 - 13.7.2. Recuperação da deformação por fluência
 - 13.7.3. Comentários sobre o comportamento à fluência
 - 13.7.4. Manipulação de dados de fluência
- 13.7.3. Princípio de sobreposição de Boltzmann
- 13.8. Relaxação
- 13.9. Rotura por fluência ('Fadiga estática')
- 13.10. Fadiga
- 13.11. Impacto
- 13.12. Dureza
- 13.13. Atrito

PARTE D: COMPÓSITOS

14. Reforços e matrizes

- 14.1. Reforços
 - 14.1.1. Fibras de vidro
 - 14.1.2. Fibras de carbono
 - 14.1.3. Fibras orgânicas
 - 14.1.4. Fibras naturais
 - 14.1.5. Carboneto de silício
 - 14.1.6. Alumina e aluminossilicatos
- 14.2. Matrizes
 - 14.2.1. Polímeros
 - 14.2.1.1. Termoendurecíveis
 - 14.2.1.2. Termoplásticos

- 14.2.2. Metais
- 14.2.3. Cerâmicos
- 14.3. Semiprodutos
 - 14.3.1. Termoplásticos de fibras curtas (SF RTP) e longas (LFT)
 - 14.3.2. Termoplásticos de fibras longas (LFT)
 - 14.3.3. Termoplásticos de fibras contínuas (CFT)
 - 14.3.4. Preformas
 - 14.3.5. Compostos de moldação
 - 14.3.6. Pré-impregnados (*prepregs*)

15. Fabricação de compósitos

- 15.1. Compósitos de matriz polimérica
 - 15.1.1. Impregnação de resina líquida
 - 15.1.1.1. Moldação manual e projeção
 - 15.1.1.2. Enrolamento filamentar
 - 15.1.1.3. Pultrusão
 - 15.1.1.4. Moldação por transferência/injeção de resina
 - 15.1.2. Consolidação de pré-impregnados
 - 15.1.2.1. Prensa de pratos quentes
 - 15.1.2.2. Saco de vácuo
 - 15.1.2.3. Autoclave
 - 15.1.3. Consolidação de compostos de moldação
 - 15.1.4. Injeção de termoplásticos
 - 15.1.5. Moldação por compressão de termoplásticos
- 15.2. Compósitos de matriz metálica
 - 15.2.1. *Stir casting*
 - 15.2.2. *Squeeze infiltration*
 - 15.2.3. Ligação por difusão
 - 15.2.4. Sinterização
 - 15.2.5. Deposição por projeção
 - 15.2.6. Deposição em fase vapor
- 15.3. Compósitos de matriz cerâmica
 - 15.3.1. Infiltração química em fase vapor
 - 15.3.2. Infiltração no estado líquido
 - 15.3.2.1. Infiltração de cerâmico fundido
 - 15.3.2.2. Infiltração de uma barbotina
 - 15.3.2.3. Infiltração reativa
 - 15.3.2.4. Infiltração de um polímero e pirólise
 - 15.3.3. Sol-gel
 - 15.3.4. Oxidação direta

16. Compósitos reforçados com fibras e compósitos reforçados com partículas

- 16.1. Compósitos reforçados com fibras
 - 16.1.1. Módulo
 - 16.1.2. Resistência
 - 16.1.3. Tenacidade
 - 16.1.4. Projeto
- 16.2. Compósitos reforçados com partículas – caso do betão
 - 16.2.1. Cimento
 - 16.2.2. Propriedades mecânicas
 - 16.2.3. Betão reforçado

17. Outros compósitos

- 17.1. Compósitos celulares
 - 17.1.1. Propriedades mecânicas das espumas
- 17.2. Madeira
 - 17.2.1. Estrutura
 - 17.2.2. Propriedades mecânicas
 - 17.2.2.1. Elasticidade
 - 17.2.2.2. Resistência à tração e à compressão
 - 17.2.2.3. Tenacidade
 - 17.2.3. Comparação da madeira com outros materiais
- 17.3. Estruturas *sandwich*

Bibliografia e referências