Michel **Dupeux**

AIDE-MÉMOIRE

Science et génie des matériaux

4e édition

DUNOD

Illustration de couverture :
©

John_Brueske - iStock

Mise en page : Belle Page

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

DANGER
LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

© Dunod, 2004, 2008, 2013, 2015, 2018

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-078307-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Avant-propos

Les petis cors, culbutans de travers,
Parmi leur cheute en bïais vagabonde,
Hurtés ensemble, ont composé le monde,
S'entr'acrochans d'acrochements divers.

Ronsard, *Les Amours*, sonnet 37

Chez les libraires et dans les bibliothèques universitaires, comme pour les professionnels, le terme « Science des Matériaux » évoque désormais des notions connues et mieux définies que vingt ans en arrière.

Dès la première parution du présent Aide-Mémoire en 2004, il eut été fallacieux de prétendre transmettre au lecteur un contenu définitif et fermé, surtout pour une science appliquée relativement jeune dans sa formulation synthétique. C'est pourquoi, comme les matériaux, cet ouvrage évolue et continuera certainement à le faire. Certes, il comporte toujours les concepts scientifiques de base, indémodables et indispensables ; certes, il s'efforce toujours de présenter uniquement les informations essentielles en mettant l'accent sur leurs aspects pratiques, complétées par une bibliographie abondante. Mais d'une édition à l'autre, son contenu s'enrichit peu à peu de paragraphes relatifs à des problématiques plus actuelles comme les nanomatériaux, les biopolymères, le recyclage, l'éco-conception et, encore plus récemment, la fabrication additive.

Dans l'aventure stimulante et édifiante que constitue la poursuite et l'actualisation de cette publication, je ne manquerai pas d'exprimer ma

reconnaissance à tous ceux qui, lecteurs et utilisateurs fidèles, continuent à m'encourager de leurs commentaires ; je n'oublierai pas non plus les générations d'étudiants dont les interrogations parfois déroutantes m'ont toujours amené à me poser les « bonnes » questions, les plus élémentaires, et à en chercher les réponses sous la formulation la plus convaincante.

Michel DUPEUX

AVERTISSEMENT

Les données figurant dans les tableaux et diagrammes de cet ouvrage n'ont qu'une valeur indicative et ne doivent en aucun cas être utilisées pour des calculs de dimensionnement précis.

Les propriétés des matériaux dépendant étroitement de leurs conditions d'élaboration, de transformation et d'utilisation, pour un calcul précis on devra exclusivement se baser sur les caractéristiques et spécifications fournies et garanties par l'élaborateur du matériau utilisé, ou obtenues à l'aide d'essais spécifiques de l'utilisation envisagée.

Table des matières

CHAPITRE 1 • GÉNÉRALITÉS : QU'EST-CE QU'UN MATÉRIAU ? **1**

1.1 Définition 1

1.2 Propriétés 2

PARTIE 1 : COMPOSITION ET STRUCTURE

CHAPITRE 2 • COMPOSITION CHIMIQUE DES MATÉRIAUX **9**

2.1 Classification des éléments chimiques 9

2.2 Liaisons chimiques 14

2.3 Classification des matériaux et des propriétés 15

CHAPITRE 3 • STRUCTURE DES MATÉRIAUX SOLIDES **19**

3.1 Solides amorphes 19

3.2 Solides cristallins 23

3.3 Effets de la composition chimique 32

3.4 Défauts cristallins 34

3.5 Effets de la température 40

3.6 Principales techniques de caractérisation chimique et structurale 47

CHAPITRE 4 • ÉQUILIBRE THERMODYNAMIQUE 61

4.1 Changements de structure dans un matériau 61

4.2 Diagrammes d'équilibre de phases 64

CHAPITRE 5 • CINÉTIQUE DES TRANSFORMATIONS DE PHASES 79

5.1 Thermodynamique des transformations de phases 79

5.2 Transformations diffusives 81

5.3 Transformations displacives 88

5.4 Applications : notions de base des traitements thermiques 90

PARTIE 2 : PROPRIÉTÉS

CHAPITRE 6 • PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES 95

6.1 Déformation élastique des solides 95

6.2 Déformation plastique des solides 98

6.3 Comportement mécanique quasi-statique 108

6.4 Ténacité et rupture 126

6.5 Comportement mécanique dynamique 130

6.6 Fractographie 133

CHAPITRE 7 • PROPRIÉTÉS PHYSIQUES 139

7.1 Masses volumiques 139

7.2 Propriétés électriques 141

7.3 Propriétés magnétiques 146

7.4 Propriétés optiques 150

7.5 Propriétés thermiques 154

CHAPITRE 8 • DÉGRADATION : VIEILLISSEMENT, CORROSION, USURE 159

8.1 Vieillissement 159

8.2 Corrosion 163

8.3 Frottement et usure 175

CHAPITRE 9 • IMPACT ENVIRONNEMENTAL, IMPACT SANITAIRE, RECYCLABILITÉ 179

9.1 Coût en énergie 179

9.2 Risques sanitaires, toxicité 181

9.3 Recyclage 191

PARTIE 3 : PRINCIPAUX MATÉRIAUX USUELS

CHAPITRE 10 • MÉTAUX ET ALLIAGES 199

10.1 Désignation normalisée des métaux et alliages 199

10.2 Fer et alliages ferreux 220

10.3 Aluminium et alliages d'aluminium 240

10.4 Cuivre et alliages cuivreux 246

10.5 Zinc et alliages de zinc 251

10.6 Magnésium et alliages de magnésium 252

10.7 Titane et alliages de titane 254

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

10.8 Nickel et alliages de nickel 255

10.9 Métaux rares et métaux critiques 256

10.10 Méthodes de mise en œuvre des métaux et alliages 258

10.11 Guide d'identification des métaux et alliages 259

CHAPITRE 11 • MATÉRIAUX ORGANIQUES 265

11.1 Généralités 265

11.2 Principaux polymères thermoplastiques 276

11.3 Principaux polymères thermodurcissables 279

11.4 Principaux élastomères 279

11.5 Biopolymères 283

11.6 Méthodes de mise en œuvre des matériaux organiques 287

11.7 Guide d'identification des polymères 288

CHAPITRE 12 • MATÉRIAUX MINÉRAUX 295

12.1 Généralités 295

12.2 Méthodes de mise en œuvre des matériaux minéraux 299

12.3 Verres minéraux 302

12.4 Céramiques traditionnelles 305

12.5 Céramiques techniques et cermets 307

12.6 Autres matériaux minéraux 309

CHAPITRE 13 • MATÉRIAUX COMPOSITES, MULTIMATÉRIAUX, REVÊTEMENTS ET TRAITEMENTS DE SURFACE, NANOMATÉRIAUX 313

13.1 Généralités 313

13.2 Matériaux composites 314

13.3 Multimatériaux 333

13.4 Traitements de surface et revêtements 334

13.5 Matériaux cellulaires et poreux 341

13.6 Nanomatériaux 343

CHAPITRE 14 • SÉLECTION DES MATÉRIAUX 349

14.1 Propriétés d'usage 350

14.2 Adéquation matériau-fonction 351

14.3 Adéquation matériau-procédé 354

14.4 Fabrication additive 361

14.5 Sélection multicritères 368

ANNEXES 371

BIBLIOGRAPHIE 375

INDEX GÉNÉRAL FRANÇAIS-ANGLAIS 381

INDEX DES MATÉRIAUX 395

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.