Programme d’examens de genie des matériaux

Programme d'examens de génie des matériaux

Group A - Examens (six sur sept requis)

21-Mat-A1 Thermodynamique

Relations de phases et règles des phases. Première, deuxième et troisième lois de la thermodynamique, enthalpie et bilans de chaleur, entropie, enthalpie libre et équilibre chimique. Chimie des solutions et modèles de solutions, potentiel chimique, relations entre diagrammes de phases et propriétés thermodynamiques. Analyses thermochimiques des processus des matériaux.

Manuels de référence (l’édition la plus récente est recommandée):

- D.R. Gaskell: Introduction to Metallurgical Thermodynamics, CRC Press

Manuels complémentaires :

- **R. De Hoff: Thermodynamics in Materials Science, CRC Press**

21-Mat-A2 Phénomène de transport des matériaux

Équations de transport pour le transfert de la quantité de mouvement, le transfert de chaleur et le transfert de masse. Compréhension des phénomènes de transport dans le traitement des matériaux, par exemple, le transfert dans les procédés de moulage, l’écoulement des fluides dans les réseaux de tuyauterie, la diffusion de masse dans le dopage des semi-conducteurs. Conditions limites décrivant les procédés et phénomène de transport. Transfert entre phases : gazeuse-solide, gazeuse-liquide, liquide-liquide et liquide-solide dans les systèmes de matériaux. Opérations de traitement des matériaux : mélange intégral, écoulement piston, temps de séjour. Transfert de chaleur par radiation : corps noir et gris, facteurs d’émissivité et de forme. Élaboration de modèles mathématiques pertinents.

Manuels de référence (l’édition la plus récente est recommandée) :

- D.R. Gaskell: An Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering, Prentice-Hall

Manuels complémentaires :

- A. Powell IV: Transport Phenomena in Materials Engineering, MIT Open Courseware. http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-185-transportphenomena-inmaterials-engineering-fall-2003/

21-Mat-A3 Structure et caractérisation des matériaux

Caractéristiques des structures cristallines de l’acier et des structures métalliques, céramiques et polymères. Utilisation et limites de l’analyse élémentaire (c.-à-d., EDS, XPS, XRD) et des techniques standard de caractérisation des matériaux, c.-à-d., microscopie optique et électronique (MEB) et analyse thermique (c.-à-d., DTA, DSC, TGA) pour déterminer ou analyser la structure cristalline, la microstructure et la morphologie de surface.

Manuels de référence (l’édition la plus récente est recommandée) :

- D.D. Brandon and W.D. Kaplan: Microstructural Characterization of Materials, Wiley
- Y. Leng: Materials Characterization: Introduction to Microscopic and Spectroscopic Techniques, Wiley-VCH
- ASM Handbook Committee: Metals Handbook, Volume 10: Materials Characterization, ASM International

- J.F. Shackelford: Introduction to Materials Science for Engineers, MacMillan Publishing Company

21-Mat-A4 Comportement de déformation et propriétés des matériaux

Déformation élastique et plastique. Mécanismes de renforcement dans les matériaux, y compris les interactions entre dislocations, le glissement et le jumelage dans les solides cristallins, la réticulation des polymères et le degré de cristallinité. Mécanismes de rupture. Introduction à la mécanique de la rupture. Déformation à haute température (fluage). Contraintes cycliques et propagation des fissures de fatigue. Propriétés thermiques. Propriétés électroniques.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- T.H. Courtney: Mechanical Behaviour of Materials, Waveland Press
- G. Dieter: Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill
- W.D. Callister and D.G. Rethwisch: Materials Science and Engineering: An Introduction, Wiley
- R.W. Hertzberg: Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, John Wiley & Sons

21-Mat-A5 Transformations de phase et traitement thermique

Diagrammes de phase binaire. Techniques de recuit et de traitement thermique pour la détente, la récupération, la recristallisation, la croissance des grains et le durcissement par précipitation. Cinétique de la cristallisation, diffusion et phénomènes de nucléation et de croissance dans les métaux. Matériaux amorphes, température de transition vitreuse, Tg. Diagrammes tempstempérature-transformation (TTT).

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- M.Y.A. Sherif, D.A. Porter and K.E. Easterling: Phase Transformations in Metals and Alloys, CRC Press

Manuels complémentaires :

- W.D. Callister and D.G. Rethwisch: Materials Science and Engineering: An Introduction, Wiley

21-Mat-A6 Sélection et conception des matériaux pour le traitement des matériaux

Le processus de sélection des matériaux pour différents critères et contraintes de conception. L'importance des variables de forme et de traitement. Utilisation des indices de matériaux et des tableaux de sélection des matériaux. Sélection et conception de matériaux durables. L'évaluation du cycle de vie des matériaux, y compris le potentiel de fin de vie.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- M. Ashby: Materials Selection in Mechanical Design, Butterworth-Heinemann

21-Mat-A7 Dégradation des matériaux causée par l'environnement

Aspects fondamentaux de la dégradation des métaux (corrosion) causée par l'environnement, des céramiques et des polymères, en insistant sur les environnements aqueux. Sujets : Théorie de base de la corrosion. Théorie de la corrosion électrochimique. Corrosion sous contrainte. Revêtements de protection. Inhibiteurs de corrosion. Protection cathodique et anodique.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- M. Kutz: Handbook of Environmental Degradation of Materials, Elsevier
- W.D. Callister and D.G. Rethwisch: Materials Science and Engineering: An Introduction, Wiley
- S.A. Bradford: Corrosion Control, CASTI
- R.W. Revie and H.H. Uhlig: Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering, Wiley

Group B - Option

Examens facultatifs (quatre requis)

21-Mat-B1 Hydrométallurgie et électrométallurgie

Procédés unitaires en hydrométallurgie : lixiviation acide, alcaline et sous pression. Aspects thermodynamiques et cinétiques. Diagrammes de Pourbaix. Purification des liqueurs lixiviantes par échange d'ions, extraction par solvants et précipitation sélective. Techniques de séparation solideliquide. Principes d'électrométallurgie. Récupération des valeurs métalliques par cémentation, extraction électrolytique et affinage à partir de solutions aqueuses. Préparation d'électrolyte, potentiel des cellules et effet des agents d'addition. Méthodes de précipitation par l'hydrogène. Application des procédés en vue de la récupération du cuivre, du nickel, du zinc, du cobalt, de l'or et de l'uranium.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- M.L. Free: Hydrometallurgy: Fundamentals and Applications, TMS

21-Mat-B2 Pyrométallurgie

Principes de traitement des minerais : fragmentation, techniques de séparation physique, flottation, démouillage. Opérations pyro-métallurgiques comprenant le grillage, la fusion, le convertissage et l'affinage. Conception et sélection des matériaux réfractaires. Analyse de procédés basés sur des schémas d'écoulement, des bilans de chaleur et de masse. Impact environnemental des procédés.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- R.E. Reed-Hill, Abbaschian, R. and Abbaschian, L.: Physical Metallurgy Principles, Cengage Learning

21-Mat-B3 Sidérurgie et métallurgie

Réactions thermodynamiques et cinétiques de la fabrication de la fonte et de l'acier. Théorie et pratique de la fabrication du fer, y compris les procédés de réduction directe. Affinage primaire de l'acier. Métallurgie en four-poche, y compris la désulfuration, la désoxydation, l'affinage par gaz inertes et les réacteurs sous vide. Procédés d'affinage secondaire, y compris les procédés AOD, VAD et VOD. Coulée continue. Propriétés chimiques des fondants, laitiers et réfractaires. Analyse des technologies sidérurgiques nouvelles et émergentes, y compris les nouveaux procédés permettant de réduire la consommation d'énergie et la pollution.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- B. Deo and R. Boom: Fundamentals of Steelmaking Metallurgy, Prentice-Hall
- E.T. Turdogan: Fundamentals of Steelmaking, Woodhead Publishing Ltd

21-Mat-B4 Métallurgie physique et extractive des métaux non ferreux et de leurs alliages

Propriétés, structure et traitement des métaux non ferreux et de leurs alliages : aluminium, cuivre, titane, nickel, cobalt, magnésium et zinc. Application des principes de la thermodynamique, de la cinétique et des phénomènes de transfert à l'extraction et à l'affinage des métaux non ferreux à l'aide de procédés pyrométallurgiques. Production de cuivre, de nickel, de plomb et de zinc à partir de sulfures. Opérations de conversion et de fusion éclair. Production d'aluminium et de magnésium par électrolyse ignée. Exploitation de cuve de réduction. Production de métaux réfractaires par chloration et purification. Avancées récentes en pyrométallurgie des métaux non ferreux. Impact environnemental.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- C.B. Gill: Non-Ferrous Extractive Metallurgy, John Wiley and Sons

- W.F. Smith : Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill
- ASM Handbook Committee: Metals Handbook for Non-Ferrous Alloys, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Volume 2, ASM International

21-Mat-B5 Métallurgie physique et fabrication du fer et de l'acier

Propriétés, structure et traitement des alliages fer-carbone (système Fe-C et transformation de l'austénite en ferrite, cémentite ou martensite), y compris les aciers ordinaires au carbone, les aciers alliés, les aciers inoxydables, les aciers à outils et les fontes. Traitement par la chaleur (recuit et normalisation, écrouissage et recuit d'adoucissement, trempe, trempe étagée bainitique et trempe étagée martensitique). Trempe et modification superficielles. Méthodes de coulée (en lingotière, en continu, en sable, sous pression, à cire perdue). Corroyage (laminage à chaud, extrusion et forgeage). Opérations de cintrage et de tôlerie (roulage et profilage, opérations de cisaillage, formage par étirage et emboutissage, et hydroformage). Soudage (soudage à l'arc, soudage par friction-malaxage et soudage au laser).

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- E.P. DeGarmo, J.T. Black, and R.A. Kohser: Materials and Processes in Manufacturing, Wiley
- W.F. Smith : Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill

Manuels complémentaires :

- ASM Handbook Committee: Metals Handbook Volume 4 – Heat Treating, ASM International
- ASM Handbook Committee: Metals Handbook Volume 1 – Properties and Selection: Iron, Steels and High Performance Alloys, ASM International
- K.G. Budinski and M.K. Budinski: Engineering Materials: Properties and Selection, Prentice-Hall

21-Mat-B6 Matériaux céramiques

Liants céramiques. Structures des matériaux céramiques. Effet des forces et de la structure chimiques sur les propriétés physiques. Défauts dans les céramiques. Diffusion et conductivité électrique. Équilibre des phases. Frittage et croissance du grain. Propriétés mécaniques : rupture rapide, fluage, propagation lente de fissures et fatigue. Tensions thermiques et propriétés thermiques. Propriétés diélectriques.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- W.D. Kingery, H.K. Bowen, and D.R. Uhlmann: Introduction to Ceramics, Wiley

21-Mat-B7 Structure et propriétés des polymères

Architecture des chaînes : dimensions, distribution gaussienne de la densité des segments, conformation des polymères. Détermination de la masse molaire : osmométrie, diffusion de la lumière, chromatographie sur gel, viscométrie capillaire. Équilibre des phases polymériques : qualité des solvants, dispersion des polymères. Structure/transitions polymériques : températures de dispersion et de transition vitreuse, volume libre. Cristallisation : structure cristalline, cristallinité fractionnée. Propriétés mécaniques : méthodes d'essai, conformité, viscoélasticité, essais dynamiques, superposition temps-température, élasticité du caoutchouc. Propriétés d'écoulement des polymères : viscosité, rhéologie, fluidification, analyse des champs de propagation. Techniques de traitement des polymères.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- R.J. Young, and P.A. Lovell: Introduction to Polymers, CRC Press
- Alfred Rudin: The Elements of Polymer Science and Engineering, Academic Press

21-Mat-B8 Matériaux et dispositifs électriques, optiques et magnétiques

Théorie des électrons libres, théorie des bandes : niveaux d'énergie des solides, masse effective, loi de Fermi-Dirac. Semi-conducteurs : masse effective, dopage, activation, jonctions p-n, transistors à effet de champ, et piles photovoltaïques. Diélectrique et polarisation : matériaux diélectriques,

indice de réfraction, interactions lumière-matière, rupture diélectrique, piézoélectricité, ferroélectricité et pyroélectricité. Magnétisme : intensité de champ, perméabilité, interaction d'échange, aimantation à saturation, domaines magnétiques et anisotropie, boucle d'hystérésis. Supraconductivité : effet de Meissner, matériaux supraconducteurs, champ critique et densité de courant, théorie BCS.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- L. Solyman and D. Walsh: Electrical Properties of Materials, Oxford University Press
- J. Livingston: Electronic Properties of Engineering Materials, Wiley

21-Mat-B9 Modélisation et simulation du traitement des matériaux

Modélisation mathématique et physique des processus employés dans la production de matériaux; techniques standard d'analyse numérique et leur application aux systèmes de matériaux. L'application de modèles pour analyser, concevoir et optimiser la production ou l'utilisation des matériaux.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- C.I. Pruncu and J. Jiang: Modeling and Optimization in Manufacturing: Toward Greener Production by Integrating Computer Simulation, Wiley
- S. Alavi: Molecular Simulations: Fundamentals and Practice, Wiley

21-Mat-B10 Propriétés et traitement des micro- et nanomatériaux

Procédés traditionnels de microfabrication : lithographie (photolithographie, lithographie par faisceau d'électrons), gravure (humide ou sèche, isotrope ou anisotrope), dépôt physique (faisceau d'électrons et pulvérisation), dépôt chimique (CVD, PECVD, ALD), électrodéposition, oxydation, diffusion, implantation ionique. Techniques : lift-off, auto-alignement, épitaxie. Rendement et métrologie.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- J.D. Plummer, M.D. Deal, and P.B. Griffin: Silicon VLSI Technology: Fundamentals, Practice, and Modeling, Prentice-Hall

21-Mat-B11 Matériaux composites

Métaux, polymères, céramiques, verre comme matrice et charges pour diverses propriétés des matériaux (PMC, CMC, MMC). Techniques de fabrication tenant compte du renforcement par des particules et des fibres. Chargement en isostress et isostrain. Charges continues, aléatoires, alignées, longueur critique, orientation des charges. Modes et mécanismes de défaillance et utilisation dans des applications thermiques, mécaniques, optiques, électriques, à haute température.

Manuels de référence (l'édition la plus récente est recommandée) :

- K. K. Chawla: Composite Materials, Springer-Verlag
- W. D. Callister and D.G. Rethwisch: Materials Science and Engineering: An Introduction, Wiley