TABLE DES MATIÈRES

A Le réel technologique

1. La caractérisation des liaisons mécaniques

1.1. Analyse d'une liaison mécanique — 12
1.2. Caractérisation technique d'une liaison — 13
1.3. Représentation symbolique des liaisons — 14
1.4. Graphe des liaisons — 16

2. Les assemblages réalisant une liaison encastrement

2.1. Présentation — 19
2.2. Fonctions de service à assurer — 20
2.3. Principes et moyens mis en œuvre pour la construction de liaisons encastrement démontables — 22
2.4. Les techniques d'assemblage — 25
2.5. Composants standard d'assemblage
2.5.1. Assemblages démontables par vissage d'éléments filetés — 26
2.5.2. Les vis d'assemblage — 28
2.5.3. Les boulons — 31
2.5.4. Les goujons — 32
2.5.5. Les vis de pression — 33
2.5.6. Les écrous — 34
2.5.6.1. Principaux écrous manœuvrés par clés — 34
2.5.6.2. Écrous manœuvrés à la main — 34
2.5.6.3. Le freinage des écrous — 35
2.5.6.4. Les écrous particuliers — 36
2.5.7. Les rondelles
2.5.7.1. Principales rondelles d'appui et freins — 37
2.6. Obstacles de type standard
2.6.1. Éléments d'arrêt angulaire (obstacle en rotation) — 39
2.6.2. Éléments d'arrêt axial (obstacle en translation) — 41
2.6.3. Éléments d'arrêt angulaire et axial — 42
2.7. Assemblages permanents
2.7.1. Par rivetage — 44
2.7.2. Par collage — 45
2.7.3. Par soudage — 46

3. Guidage en rotation

3.1. Présentation — 48
3.2. Fonctions à assurer — 49
3.3. Principes et moyens mis en œuvre — 50
3.4. Guidage en rotation par contact direct — 51
3.5. Guidage en rotation avec interposition de bagues et de coussinets de frottement (composites) — 51
3.6. Guidage en rotation avec interposition d'un film d'huile
3.6.1. Bagues et coussinets lisses autolubrifiants — 52
3.6.2. Rotules autolubrifiantes — 52
3.7. Guidage en rotation par roulements — 53
3.7.1. Constitution d'un roulement — 54
3.8. Choix des roulements
3.8.1. Roulements à billes — 55
3.8.2. Roulements à rouleaux — 56
3.8.3. Roulements, cages et douilles à aiguilles — 57
3.8.4. Butées à aiguilles, à billes et roulements combinés — 58
3.9. Montage des roulements — 59

4. Guidage en translation

4.1. Présentation — 62
4.2. Fonctions à assurer — 63
4.3. Principes et moyens mis en œuvre — 64
4.4. Construction des guidages en translation
4.4.1. Guidage par glissement — 65
4.4.1.1. Par contact direct — 65
4.4.1.2. Par interposition d'éléments antifriction — 66
4.4.1.3. Dispositifs de rattrapage de jeu pour guidages de type prismatique maintenu — 66

Matériel protégé par le droit d'auteur

Table des matières

4.4.2. Guidage par glissière
4.4.2.1. Systèmes de guidage linéaire 67
4.4.2.2. Rails de guidage - douilles à billes - patins 68
4.4.2.3. Montage des systèmes de guidage linéaire 69
4.4.2.4. Montage des douilles à billes 70
4.4.2.5. Montage des rails de guidage 71

5. La lubrification et l'étanchélté

5.1. Présentation 72
5.2. La lubrification
5.2.1. Expression fonctionnelle du besoin 73
5.2.2. Comparaison des lubrifications à l'huile et à la graisse 73
5.2.3. La lubrification à l'huile 74
5.2.4. La lubrification à la graisse 75
5.2.5. Les graisseurs 75
5.3. L'étanchéité
5.3.1. Expression fonctionnelle du besoin 76
5.3.2. L'étanchéité statique
5.3.2.1. Principaux dispositifs et moyens mis en œuvre 76
5.3.3. L'étanchéité dynamique
5.3.3.1. Par contact direct 78
5.3.3.2. Autres dispositifs pour étanchéité dynamique 79
5.3.3.3. Étanchéité dynamique entre pièces en mouvement de rotation 80
5.3.3.4. Étanchéité dynamique entre pièces en mouvement de translation 83

6. Transmission mécanique des mouvements

6.1. Présentation – exemple d'un réducteur REDEX 86
6.2. Mise en situation 87
6.3. La transmission par engrenages 88
6.3.1. Engrenages cylindriques à denture droite 89
6.3.2. Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale 90
6.3.3. Engrenages coniques à denture droite à axes concourants 91
6.3.4. Engrenages gauches - roues et vis sans fin 92
6.4. Les réducteurs
6.4.1. Caractéristiques des réducteurs élémentaires 93
6.4.2. Réducteurs à un engrenage 93
6.4.3. Réducteurs étagés 94
6.5. Variateur mécanique à friction 95
6.6. Transmission par courroie, par chaîne
6.6.1. Transmission par courroies et poulies 96
6.6.1.1. Principales courroies et caractéristiques associées 96
6.6.1.2. Poulies et courroies crantées synchrones 97
6.6.1.3. Poulies et courroies trapézoïdales 98
6.6.2. Transmission par chaîne et pignons 99
6.7. Les accouplements 100
6.7.1. Les accouplements permanents
6.7.1.1. Les accouplements rigides 101
6.7.1.2. Autres accouplements permanents 102
6.7.1.3. Exemple d'accouplement élastique ou flexible 103
6.7.1.4. Le joint d'OLDHAM 104
6.7.1.5. Les joints de cardan 104
6.7.2. Les accouplements temporaires
6.7.2.1. Coupleurs hydrodynamiques 105
6.7.2.2. Les embrayages à friction 106
6.7.2.3. Systèmes de freinage 107
6.7.2.4. Limiteur de couple à friction 109

7. Transformation mécanique des mouvements

7.1. Présentation 110
7.2. Mise en situation 111
7.3. Principaux mécanismes de transformation des mouvements 112
7.4. Transformation de mouvement par système vis-écrou
7.4.1. Systèmes vis-écrous trapézoïdaux 113
7.4.2. Systèmes vis-écrous à billes 113
7.4.3. Systèmes vis-écrous à rouleaux de précision 114
7.5. Transformation de mouvement par came 115
7.6. Transformation par bielle-manivelle 115

Matériel protégé par le droit d'auteur

8. La motorisation des systèmes mécaniques

8.1. Classification générale des actionneurs — 116
8.2. Situation d'un actionneur dans une chaîne fonctionnelle — 117
8.3. Fonction d'un actionneur — 117
8.4. Les actionneurs électriques — 118
8.5. Les actionneurs pneumatiques et hydrauliques — 122
8.6. Fonctionnement d'une installation électrique
8.6.1. Énergie électrique fournie par le réseau EDF — 128
8.6.2. Exemple d'installation d'un moteur asynchrone triphasé à démarrage direct — 129
8.7. Fonctionnement d'une installation pneumatique
8.7.1. Production de l'énergie pneumatique — 132
8.7.2. Organisation d'un circuit pneumatique — 133
8.8. Fonctionnement d'une installation hydraulique — 135

9. Les matériaux

9.1. Typologie générale des matériaux — 136
9.2. Principales propriétés des matériaux
9.2.1. Propriétés mécaniques — 138
9.2.2. Propriétés thermiques — 139
9.2.3. Propriétés électriques — 139
9.2.4. Propriétés magnétiques — 139
9.2.5. Propriétés liées à la mise en œuvre — 140
9.3. Communication technique sur les matériaux
9.3.1. Symboles caractéristiques physiques — 140
9.3.2. Les aciers — 141
9.3.3. Les fontes — 146
9.3.4. L'aluminium et ses alliages — 149
9.3.5. Le cuivre et ses alliages — 152
9.3.6. Les alliages de zinc — 152
9.3.7. Les matières plastiques — 156
9.3.8. Les céramiques — 157
9.3.9. Les composites — 158

10. La relation produit/procédé/matériau

10.1. Caractérisation du produit — 160
10.2. Caractérisation du procédé — 161
10.3. Caractérisation du matériau — 161
10.4. Typologie générale des procédés — 162
10.5. Typologie générale des procédés de traitement de surface — 165
10.6. Le couple « procédé-matériaux » — 166
10.6.1. Procédés d'usinage-matériaux — 166
10.6.2. Procédé d'emboutissage-matériaux — 167
10.6.3. Procédé d'estampage-matériaux — 167
10.6.4. Procédé de moulage-matériaux — 168
10.6.5. Procédé de thermoformage-matériaux plastiques — 169
10.6.6. Procédé de moulage par injection-matériaux plastiques — 169
10.7. Incidences des procédés d'élaboration sur le tracé des pièces — 170
10.8. Exemples de produits sidérurgiques — 172

B Les modèles fonctionnels et de fonctionnement

1. Méthodologie de l'approche système — 174

2. Graphe du produit — 175

3. Organisation fonctionnelle des systèmes automatisés

3.1. Structure globale — 177
3.2. Outil de description : les chaînes fonctionnelles — 178

4. Outils de description fonctionnelle

4.1. La méthode APTE (ou diagramme pieuvre) — 180
4.2. La méthode FAST (Function Analysis System Technic) — 181

Matériel protégé par le droit d'auteur

Table des matières

4.3. La méthode S.A.D.T.
4.3.1. Actigramme « contexte » (A-O) ou diagramme d'activité global 184
4.3.2. Matière d'œuvre (MO) – Valeur ajoutée (VA) 185
4.3.3. L'analyse descendante 186
4.4. Description temporelle
4.4.1. Le GRAFCET (GRAphe de Commande Etape-Transition) 188
4.4.2. Exemple de résolution d'un problème 192
4.5 Synoptique 194
4.6 Chronogramme 195
4.7 Logigramme 196
4.8 Fonctions logiques 197
4.9 Algorithme-algorigramme 200
4.10 Diagramme de GANTT 202
4.11 P.E.R.T. (Program Evaluation And Review Technic) 204

5. Les outils de la qualité (liés à l'amélioration de la production)

5.1. Diagramme de PARETO 205
5.2. Diagramme CAUSE-EFFET (ou ISHIKAWA ou ARÊTE DE POISSON) 206
5.3. Méthode des 5S 207
5.4. Principe P.D.C.A. 208

6. Analyse de la valeur (AV) 209

7. Description structurelle

7.1. Symboles des composants électriques 212
7.2. Symboles des composants pneumatiques et hydrauliques 214
7.3. Symboles des composants mécaniques 216
7.4. Symboles du soudage 218

C Les modèles de représentation du réel

1. La perception du réel

1.1. Perception des formes d'une pièce
1.1.1. Approche géométrique 220
1.1.2. Approche volumique 221
1.1.3. Approche surfacique 223
1.2. Approche topologique des volumes et des surfaces
1.2.1. Rappels géométriques de base avec exemples de modèles géométriques 226
1.2.2. Exemples de description topologique 227
1.3. Formes intérieures et extérieures spécifiques à la mécanique
1.3.1. Produites par usinage 228
1.3.2. Produites par moulage 230
1.3.3. Exemples de lecture morphologique de pièces 230

2. Les techniques et les outils de représentation

2.1. Les différents documents relatifs à chaque étape du cycle de vie d'un produit (flux informationnel) 231
2.2. Représentation des solutions en phase d'avant-projet 232
2.3. Représentation des solutions en phase d'étude
2.3.1. Représentation en projection orthogonale (méthode européenne) 234
2.3.2. Représentation en perspective 244
2.3.3. Le dessin d'ensemble 246
2.3.4. Le cartouche – La nomenclature 247
2.3.5. Le dessin de définition 248
2.4. Représentation des solutions en phase d'exploitation et de maintenance
2.4.1. Différentes représentations du produit 250
2.4.2. Le montage-démontage 252
2.4.3. Approche conception assistée par ordinateur (C.A.O)
2.4.3.1. Présentation générale 254
2.4.3.2. Principales fonctions globales 255
2.4.3.3. Modélisations 3D (3 dimensions) 256
2.4.3.4. Modélisations 2D (2 dimensions) à partir du 3D 259

Matériel protégé par le droit d'auteur

3. La définition du produit

3.1. Approche du concept GPS (spécifications géométriques des produits)
3.1.1. La pièce réelle 260
3.1.2. Le concept GPS dans le cycle de vie d'un produit 261
3.1.3. Concevoir et spécifier géométriquement le produit 262
3.1.4. Principes de tolérancement normalisés 263
3.1.5. Les tolérances dimensionnelles
3.1.5.1. Les tolérances linéaires et angulaires (NFE 04-561 - ISO 8015) 265
3.1.5.2. Systèmes ISO de tolérances et d'ajustements (NFEN 20.286 ISO 286 - 8015) 268
3.1.6. Les tolérances géométriques
3.1.6.1. Décodage du langage ISO 274
3.1.6.2. Analyse des tolérances géométriques de forme 280
3.1.6.3. Analyse des tolérances géométriques d'orientation 282
3.1.6.4. Analyse des tolérances géométriques de position 284
3.2. Les spécifications d'état de surface 286
3.3. Cotation fonctionnelle, chaîne de cotes fonctionnelles 290

D Les modèles de comportement mécanique

1. La modélisation des actions mécaniques

1.1. Définition du système isolé 296
1.2. Actions mécaniques 297
1.2.1. Actions de contact 297
1.2.2. Actions à distance 298
1.2.3. Modélisation des actions 299
1.2.4. Étude locale des actions de contact 300
1.3. Actions mécaniques transmissibles par une liaison 303
1.3.1. Torseurs associés aux différents cas de liaisons 303
1.3.2. Dualité entre mobilité et action transmissible 304
1.4. Principe des actions mutuelles 305

2. Comportement statique des mécanismes

2.1. Principe fondamental de la statique plane 306
2.2. Méthode de résolution d'un problème de statique 307

3. Comportement cinématique des mécanismes

3.1. Mouvement relatif de deux solides
3.1.1. Définition de mouvement 308
3.1.2. Repères 309
3.1.3. Paramétrage 310
3.1.4. Points coïncidents à un instant donné 310
3.1.5. Trajectoires d'un point 311
3.1.6. Représentation vectorielle 311
3.1.7. Champ de vecteurs « vitesse » en mouvement de translation et de rotation 313
3.1.8. Expression graphique et analytique des mouvements 314
3.2. Mouvements plans entre solides 315

4. Comportement dynamique et énergétique des mécanismes

4.1. Principe fondamental 317
4.2. Type et expression des différentes formes d'énergie 318
4.3. Principe de conservation de l'énergie 320
4.4. Comportement des fluides 321

5. Le comportement des matériaux (R.D.M.)

5.1. Hypothèses sur la résistance des matériaux 322
5.2. Identification des sollicitations 323
5.3. Étude expérimentale – essais mécaniques
5.3.1. Essai de traction 325
5.3.2. Essais de résilience 327
5.3.3. Essais de dureté 328
5.3.4. Autres essais 330
5.4. Détermination des contraintes et des déformations dans le cas de sollicitations simples 331
5.4.1. Traction-compression 332
5.4.2. Cisaillement 333
5.4.3. Torsion 334

Matériel protégé par le droit d'auteur

Table des matières

5.4.4. Flexion simple 335
5.4.5. Formulaire des poutres 337
5.4.6. Exemple d'utilisation d'un logiciel de calcul 341

6. Exemples de modélisation mécanique

6.1. Cas des engrenages 343
6.2. Cas des roulements 346

E Les modèles technico-économiques

1. La compétitivité des produits industriels

1.1. Cycle de vie d'un produit 350
1.2. Les étapes de la naissance d'un produit 351
1.3. Perception du besoin 352
1.4. Les marchés 353
1.5. Composantes de la compétitivité
1.5.1. La qualité 354
1.5.2. Gestion de la qualité 355
1.5.3. Les coûts 356
1.5.4. Coût de la non qualité 357
1.6. Démarche de conception d'un produit industriel
1.6.1. Présentation 358
1.6.2. Application internet au bureau d'étude (doc. MAURIN) 360
1.7. L'innovation 362
1.8. La certification 363

2. Étude de faisabilité – cahier des charges fonctionnel

2.1. Expression fonctionnelle du besoin 364
2.2. Cahier des charges fonctionnel d'un produit 366

F Les annexes

1. Moyens de recherche d'informations techniques

1.1. Sur cet ouvrage 370
1.2. Les autres supports 370

2. Formulaire

2.1. Formulaire mathématiques 371
2.2. Calcul vectoriel 373
2.3. Mécanique statique/dynamique/cinématique 374
2.4. Résistance des matériaux 375
2.5. Mécanique des fluides 376

3. Signes et symboles généraux

3.1. Alphabet grec 377
3.2. Signes et symboles mathématiques 377
3.3. Multiples et sous-multiples 377
3.4. Système international d'unités 378

4. Opérations booléennes

4.1. Principales propriétés de l'algèbre de Boole 382
4.2. Identités remarquables 382

5. Traduction des principaux termes techniques anglais 384

6. Dictionnaire technique de référence 386

7. Index alphabétique 394

Matériel protégé par le droit d'auteur