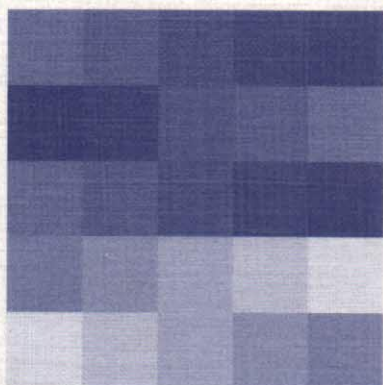


Mécanique et Ingénierie des Matériaux

Fatigue des matériaux et des structures 1

*introduction, endurance,
amorçage et propagation des fissures,
fatigue oligocyclique et gigacyclique*



sous la direction de
Claude Bathias
André Pineau

hermes

Lavoisier

Table des matières

Préface	15
Paul C. PARIS	
Chapitre 1. Introduction à la fatigue : motivation et méthodologie	17
André PINEAU et Claude BATHIAS	
1.1. Introduction à la fatigue des matériaux	17
1.1.1. Bref historique de la fatigue : son importance technique et scientifique	17
1.1.2. Définitions	22
1.1.3. Diagrammes d'endurance	24
1.2. Mécanismes d'endommagement par fatigue	26
1.2.1. Généralités	26
1.2.2. Amorçage des fissures de fatigue.	27
1.2.3. Propagation des fissures de fatigue.	29
1.3. Les moyens d'essai	30
1.4. Conception mécanique face à la fatigue	32
1.5. La fatigue des polymères, des élastomères et des composites	33
1.6. Conclusion	35
1.7. Bibliographie.	36
Chapitre 2. Estimation des caractéristiques de résistance et d'endurance en fatigue	39
Henri-Paul LIEURADE	
2.1. Introduction.	39
2.2. Nature et aspect de la dispersion des résultats d'essais de fatigue.	41
2.3. Application à la détermination de la limite d'endurance	43

2.4. Méthodes d'estimation de la résistance à la fatigue à N cycles et de son écart-type	43
2.4.1. Méthode des « probits »	44
2.4.1.1. Principe de la méthode	44
2.4.1.2. Représentation graphique d'une courbe sigmoïde de réponse et de résultats d'essais	45
2.4.1.3. Estimation des paramètres μ et σ	48
2.4.1.4. Conclusions	49
2.4.2. Méthode de l'escalier.	49
2.4.2.1. Règles d'exécution de la méthode de l'escalier	50
2.4.2.2. Utilisation des résultats	50
2.4.2.3. Précisions de m et s	52
2.4.2.4. Remarque sur l'application pratique de la méthode de l'escalier	52
2.4.3. Méthode d'itération.	53
2.4.3.1. Règle d'exécution des essais selon la méthode d'itération	53
2.4.3.2. Estimation de $S(p)$, amplitude de contrainte pour laquelle la probabilité de rupture est p	54
2.4.3.3. Conditions et mode d'emploi de la méthode d'itération	55
2.4.3.4. Précision de l'estimation	56
2.4.3.5. Exemple d'application.	57
2.4.4. Méthode des K éprouvettes non rompues	58
2.4.4.1. Principe de la méthode	58
2.4.4.2. Propriétés statistiques du résultat	59
2.4.4.3. Exemple d'application.	60
2.4.5. Choix de la méthode d'essais	63
2.4.5.1. Méthodes d'estimation approchée	63
2.4.5.2. Méthodes d'estimation de précision moyenne.	63
2.4.5.3. Méthodes précises d'estimation	63
2.5. Représentations mathématiques et méthodes de tracé de la courbe de Wöhler.	64
2.5.1. Introduction	64
2.5.2. Représentations mathématiques de la courbe de Wöhler	64
2.5.3. Méthodes d'ajustement d'une courbe de Wöhler à des résultats d'essais	69
2.6. Estimation du nombre de cycles N , pour un niveau d'amplitude de contrainte donnée	72
2.6.1. Principe	73
2.6.2. Mise en œuvre.	74
2.6.3. Application.	75
2.7. Influence des paramètres mécaniques sur l'endurance	76

2.7.1. Influence de la contrainte moyenne	76
2.7.2. Influence de la nature des efforts	77
2.7.2.1. Traction alternée et flexion plane alternée	77
2.7.2.2. Traction alternée et flexion rotative	78
2.7.2.3. Flexion plane alternée et flexion rotative	79
2.7.2.4. Torsion alternée et flexion alternée	79
2.8. Relations entre l'endurance et les caractéristiques mécaniques (cas des aciers)	79
2.8.1. Estimations de σ_D	79
2.8.2. Estimation des écarts-types	82
2.8.3. Conclusion	82
2.9. Bibliographie	83
Chapitre 3. L'amorçage des fissures de fatigue.	85
Paul RABBE et Louis ANQUEZ	
3.1. Introduction	85
3.2. Mécanismes physiques de l'amorçage	86
3.2.1. Rappel des trois stades de la ruine par fatigue	86
3.2.1.1. Définition de l'amorçage	86
3.2.1.2. Importance relative des stades d'amorçage et de propagation	86
3.2.2. Influence du niveau de déformation	88
3.2.2.1. Domaine des très faibles déformations	89
3.2.2.2. Domaine de l'endurance	89
3.2.2.3. Domaine des fortes déformations	96
3.2.2.4. Le stade I de propagation des fissures	96
3.3. Méthodes d'évaluation de l'amorçage	97
3.3.1. Etude de l'amorçage sur éprouvettes lisses	97
3.3.2. Prise en compte de l'effet d'entaille	100
3.3.2.1. Répartition des contraintes au voisinage d'une entaille	100
3.3.2.2. Coefficient de réduction de la résistance à la fatigue K_f . Relation $K_t - K_f$	105
3.3.2.3. Méthode fondée sur le coefficient de Neuber	106
3.3.2.4. Méthode fondée sur le facteur d'intensité de contrainte	109
3.3.2.5. Méthode fondée sur l'amplitude locale de la déformation	112
3.4. Méthode pratique de calcul des structures	114
3.4.1. Préliminaire	114
3.4.2. Le problème à résoudre	116
3.4.3. Les paramètres d'amorçage	116
3.4.4. Courbe de Wöhler maîtresse ($k_t = 1$)	117
3.4.5. Cumul du dommage ($k_t = 1$)	119

3.4.6. Eprouvette de $k_t > 1$. Courbes de correspondance	121
3.4.7. Utilisation des courbes de correspondance	123
3.4.8. Construction des courbes de correspondance.	124
3.4.9. Commentaires et conclusion	125
3.5. Bibliographie.	126

Chapitre 4. La fatigue plastique oligocyclique 129

André PINEAU

4.1. Introduction.	129
4.1.1. Domaines d'application de la fatigue plastique oligocyclique. . .	129
4.1.1.1. Généralités.	129
4.1.1.2. La fatigue oligocyclique comme critère de dimensionnement des structures	130
4.1.1.3. La fatigue plastique oligocyclique comme élément de compréhension de phénomènes mécaniques ou métallurgiques .	131
4.1.2. Description générale des méthodes d'essais : principaux problèmes	132
4.1.2.1. Généralités.	132
4.1.2.2. Les machines d'essais	133
4.1.2.3. L'extensométrie : réalisation et amarrage	135
4.2. Description phénoménologique de la fatigue oligocyclique	138
4.2.1. Généralités	138
4.2.2. L'érouissage cyclique.	138
4.2.3. Relations contraintes-déformations	142
4.2.4. Résistance à la fatigue	146
4.2.5. Formulations mathématiques	147
4.2.5.1. Consolidation cyclique	147
4.2.5.2. Résistance à la fatigue.	148
4.2.6. Comportement général : effet de séquence et des paramètres contrôlés	150
4.2.6.1. Loi de cumul de dommage	150
4.2.6.2. Influence d'une déformation ou d'une contrainte moyenne.	151
4.3. Mécanisme d'accommodation et de fissuration en fatigue oligocyclique	152
4.3.1. Introduction	152
4.3.2. Accommodation du matériau	153
4.3.2.1. Monocristaux	153
4.3.2.2. Alliages métalliques polycristallins	155
4.3.3. Description et interprétation sommaire du stade d'accommodation dans les alliages de construction : cas des aciers. . . .	169

4.3.3.1. Aciers ferritiques	169
4.3.3.2. Aciers trempés-revenus	170
4.3.3.3. Aciers austénitiques	177
4.3.4. Amorçage des fissures en fatigue oligocyclique	181
4.3.4.1. Nombre de cycles à l'amorçage	181
4.3.4.2. Nature des sites d'amorçage	184
4.3.5. Propagation des fissures en fatigue oligocyclique	186
4.3.5.1. Mécanisme de propagation des fissures	186
4.3.5.2. Vitesse de propagation des fissures	187
4.4. Conclusion	190
4.5. Bibliographie	191
Chapitre 5. La fatigue gigacyclique	197
Claude BATHIAS	
5.1. Introduction sur la durée de vie réelle des machines	197
5.2. Procédure d'essai	199
5.2.1. Les machines piézoélectriques	199
5.2.2. Principe de la fatigue vibratoire	199
5.2.3. Calcul des longueurs de résonance	202
5.2.4. Calcul des éprouvettes	202
5.2.5. Calcul des sonotrodes	205
5.3. Les systèmes de machines de fatigue piézoélectriques	207
5.4. Les courbes SN au-delà de 10^7 cycles	208
5.4.1. Allure générale des courbes SN	208
5.4.2. Le cas des métaux ferreux	211
5.4.2.1. Présentation des aciers et fontes	211
5.4.2.2. Résultats expérimentaux et comparaison des résultats obtenus en fatigue ultrasonique avec ceux obtenus par des méthodes classiques	215
5.4.3. Le cas des alliages d'aluminium	226
5.5. Les mécanismes d'amorçage en fatigue gigacyclique	228
5.5.1. Inclusions non métalliques	229
5.5.2. Défauts métallurgiques dans la matrice	230
5.5.3. Microporosités	230
5.6. Estimation de la résistance à la fatigue	238
5.6.1. Comparaison entre la méthode de l'escalier, Bastenaire, Wöhler, Basquin, Stromeyer/linéaire	238
5.6.2. Diagramme de Kitawaga en fatigue gigacyclique	240
5.6.3. Estimation de la durée de vie à l'amorçage par le modèle de l'ITMA et la loi de Paris-Hertzberg	241

5.6.4. Prédiction de la résistance à la fatigue par le modèle de Y. Murakami.	244
5.7. Conclusion	245
5.8. Bibliographie.	246
Chapitre 6. Les lois de fissuration par fatigue.	249
Jacques MASOUNAVE, Jean-Paul BAILON et John-Ivan DICKSON	
6.1. Introduction.	249
6.2. Modèles décrivant la propagation d'une fissure	249
6.2.1. Modèles phénoménologiques	250
6.2.2. Les modèles basés sur la théorie des dislocations	255
6.2.3. Modèles fondés sur le comportement du matériau en tête de fissure	259
6.2.4. Modèles fondés sur les propriétés cycliques du matériau	262
6.2.4.1. Modèles fondés sur les lois de fatigue oligocyclique.	262
6.2.4.2. Modèles basés sur la dissipation d'énergie plastique en tête de la fissure.	264
6.3. Critique des modèles	266
6.3.1. Influence des paramètres du comportement cyclique	266
6.3.2. Relations entre m et C	269
6.3.3. Influences des paramètres intrinsèques sur la fissuration.	271
6.3.3.1. Influence du module d'Young	271
6.3.3.2. Influence de la taille du grain.	271
6.3.3.3. Influence de la limite d'élasticité	272
6.3.3.4. Effet de la ténacité K_{IC}	273
6.3.4. Influence des paramètres extrinsèques à la fissuration	273
6.3.4.1. Influence de l'épaisseur de l'éprouvette	273
6.3.4.2. Influence de la fréquence	274
6.3.4.3. Effet de la corrosion	274
6.3.4.4. Effet de la température	275
6.4. Développements futurs	276
6.5. Conclusion	277
6.5.1. Paramètres métallurgiques.	278
6.5.2. Paramètres extrinsèques	278
6.6. Bibliographie.	279
Index	285
Sommaire du volume 2	289