

M | A | T | É | R | I | A | U | X |
COMPOSITES

**À MATRICE
ORGANIQUE**

G. CHRÉTIEN



2-671-7-1

P. 14

2-671-7-1

Matériaux composites à matrice organique

- *Polymères et renforts type*
- *Caractéristiques, technologies de mise en forme*
- *Applications*

Gilbert Chrétien

Ingénieur H.E.I.

Vice-président de la S.F.I.P.

Préface

A. Schun

Directeur général adjoint ATOCHEM

Vice-président de l'A.P.M.E.



Technique et Documentation

11, rue Lavoisier

F 75384 Paris Cedex 08

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	1
1. Définition - 2. Structure des composites - 3. Associations matrices-renforts - 4. Caractéristiques mécaniques des matériaux - 5. Evolution des technologies de mise en forme et des tonnages mis en oeuvre - 6. Marché des composites	
PARTIE 1 - RENFORTS	11
CHAPITRE 1 - FIBRES DE VERRE	13
1. Historique - 2. Compositions et types de verre - 3. Fabrication du verre textile - 4. Présentation industrielle des fibres de verre - 5. Caractéristiques - Références	
CHAPITRE 2 - FIBRES D'ARAMIDE	28
1. Introduction - 2. Fabrication - 3. Types - 4. Structure - 5. Propriétés - 6. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation - Références	
CHAPITRE 3 - FIBRES DE CARBONE	39
1. Historique - 2. Les fibres à base de brai - 3. Fabrication des fibres de carbone ex PAN - 4 - Propriétés des fibres de carbone - 5. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation - Références	
PARTIE 2 - MATRICES	53
CHAPITRE 1 - PHENOPLASTES	55
1. Introduction - 2. Fabrication - 3. Types - 4. Propriétés physiques - 5. Propriétés mécaniques - 6. Propriétés thermiques - 7. Propriétés électriques - 8. Tenue chimique - 9. Tenue dans le temps - 10. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation - 11. Mise en oeuvre - 12. Applications - Références	

	Pages
CHAPITRE 2 - POLYESTERS INSATURES	65
1. Introduction - 2. Préparation - 3. Copolymérisation - 4. Matières premières - 4.1. Les polyols - 4.2. Diacides et anhydrides insaturés - 4.3. Diacides et anhydrides saturés - 4.4. Monomères copolymérisables - 4.5. Inhibiteurs - 5. Principaux types de résines polyesters insaturées - 6. Copolymérisation des résines polyesters insaturées - 7. Propriétés des résines pures diluées - 8. Propriétés des résines polymérisées - 9. Applications - Principales marques commerciales - Références	
CHAPITRE 3 - POLYEPOXYDES	107
1. Introduction - 2. Réaction de base - 3. Equivalent époxyde - 4. Types de polyépoxydes - 5. Diluants - 6. Durcissement des polyépoxydes - 7. Propriétés - 8. Mise en oeuvre - 9. Applications - 10. Développements - 11. Principales marques commerciales - Références	
CHAPITRE 4 - POLYURETHANNES	132
1. Présentation - 2. Fabrication - 3. Matières premières de base - 4. Adjuvants des polyuréthannes - 5. Types d'élastomères de polyuréthannes - 6. Types de polyuréthannes cellulaires - 7. Applications - 8. Principales marques commerciales - Références	
CHAPITRE 5 - THERMOSTABLES	143
5.1. INTRODUCTION	143
Généralités sur les polymères thermostables	
5.2 - POLYSULFURE DE PHENYLENE	147
1. Présentation - 2. Fabrication - 3. Types - 4. Propriétés physiques - 5. Propriétés mécaniques - 6. Propriétés thermiques - 7. Propriétés électriques - 8. Tenue chimique - 9. Tenue dans le temps - 10. Propriétés distinctives - limites d'utilisation - 11. Marque commerciale - Références	
5.3 - POLYSULFONES	151
1. Présentation - 2. Fabrication - 3. Types - 4. Propriétés physiques - 5. Propriétés mécaniques - 6. Propriétés thermiques - 7. Propriétés électriques - 8. Tenue chimique - 9. Tenue dans le temps - 10. Propriétés distinctives - limites d'utilisation - 11. Marques commerciales - Références	
5.4 - POLYETHERETHERCETONE	159
1. Présentation - 2. Types - 3. Propriétés physiques - 4. Propriétés mécaniques - 5. Propriétés thermiques - 6. Comportement au feu - 7. Propriétés électriques - 8 - Tenue chimique - 9. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation - 10. Mise en oeuvre - 11. Applications - 12. Marque commerciale - Références	

	Pages
5.5 - POLYIMIDES	164
1. Introduction - 2. Résines polyimides de condensation - 2.1. Fabrication - 2.2. Types de polyimides de condensation - 2.3. Mise en oeuvre - 2.4. Propriétés mécaniques - 3. Résines polyimides d'addition - 3.1. Résines poly(bismaléimide) - 3.2 Résines polyimides d'addition PMR - Références	
5.6 - POLYETHERIMIDE	186
1. Présentation - 2. Types - 3. Propriétés physiques - 4. Propriétés mécaniques - 5. Propriétés thermiques - 6. Comportement au feu - 7. Propriétés électriques - 8. Tenue chimique - 9. Mise en oeuvre - 10. Désignation commerciale - Références	
5.7 - POLYSTYRYLPIRIDINES	190
1. Présentation - 2. Fabrication - 3. Types - 4. Réalisation des preregs - 5. Polymérisation des résines PSP - 6. Technologies de mise en oeuvre - Références	
5.8 - POLYMERES FLUORES	195
1. Présentation - 2. Fabrication - 3. Types - 4. Propriétés physiques - 5. Propriétés mécaniques - 6. Propriétés thermiques - 7. Propriétés électriques - 8. Tenue chimique - 9. Tenue dans le temps - 10. Propriétés distinctives - limites d'utilisation - 11. Mise en oeuvre - 12. Applications - 13. Principales références commerciales	
5.9 - SILICONES	199
1. Présentation - 2. Fabrication - 3. Types - 4. Propriétés physiques - 5. Propriétés mécaniques - 6. Propriétés thermiques - 7. Propriétés électriques - 8. Tenue chimique - 9. Tenue dans le temps - 10. Propriétés distinctives - limites d'utilisation - 11. Principales références commerciales	
PARTIE 3 - SEMI-PRODUITS	205
CHAPITRE 1 - MATERIAUX COMPOSITES A MATRICE THERMOPLASTIQUE ET FIBRES COURTES	207
1. Généralités - 2. Fibres - 3. Techniques de fabrication des composites thermoplastiques à fibres courtes - 4. Caractéristiques - 4.1. Composites à base de fibres de verre - 4.2. Composites à base de fibres de carbone - 4.3. Composites à base de fibres d'aramide - Références	
CHAPITRE 2 - PREPREGS	238
1. Présentation - 2. Matières premières - 3. Technologies de fabrication des preregs : généralités - 4. Fabrication - 5. Caractéristiques des preregs - 6. Preregs commercialisés et en voie de développement - Références	

	Pages
CHAPITRE 3 - PREIMPREGNES ET COMPOUNDS	261
1. Introduction - 2. Composition générale - 3. Compounds (DMC - BMC) - 4. Préimprégnés (SMC) - 5. Constituants des SMC et compounds - 6. Fabrication des compounds - 7. Fabrication des SMC - 8. Types de préimprégnés - 9. Propriétés - Références	
PARTIE 4 - TECHNOLOGIES DE MISE EN FORME DES COMPOSITES THERMODURCISSABLES	295
CHAPITRE 1 - MOULAGE AU CONTACT	297
1. Principe - 2. Revue du procédé - 3. Caractéristiques distinctives et limites d'utilisation	
CHAPITRE 2 - MOULAGE PAR PROJECTION SIMULTANEE	301
1. Principe - 2. Revue du procédé - 3. Discussion du procédé - 4. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation	
CHAPITRE 3 - MOULAGE AU SAC	308
1. Principe - 2. Moulage au sac sous vide - 3. Moulage par imprégnation sous vide avec moule et contre-moule - 4. Moulage par injection sous vide avec moule et contre-moule - 5. Moulage sous pression - 6. Moulage à l'autoclave - Références	
CHAPITRE 4 - MOULAGE PAR INJECTION BASSE PRESSION	318
1. Principe - 2. Revue du procédé - 3. Description du procédé - 4. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation - Références	
CHAPITRE 5 - MOULAGE PAR COMPRESSION A FROID	327
1. Principe - 2. Revue du procédé - 3. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation	
CHAPITRE 6 - MOULAGE PAR ROTATION ET CENTRIFUGATION	337
1. Introduction - 2. Moulage par centrifugation - 2.1. Revue du procédé - 2.2. Description du procédé - 3. Moulage par rotation - 3.1. Revue du procédé - 3.2. Description du procédé - 4. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation	
CHAPITRE 7 - MOULAGE PAR ENROULEMENT	344
1. Principe - 2. Revue du procédé - 2.1. Les machines - 2.2. Description du procédé - 3. Matières premières - 4. Procédés de moulage - 4.1. Procédé de moulage par voie humide - 4.2. Procédé de moulage par voie sèche - 5. Types d'enroulement - 5.1. Enroulement circonférentiel - 5.2. Enroulement hélicoïdal - 5.3. Enroulement polaire ou satellite - 6. Les mandrins - 7. Caractéristiques distinctives - limites d'utilisation - Références	

	Pages
CHAPITRE 3 - MOULAGE PAR PULTRUSION	447
1. Introduction - 2. Procédé - 3. Caractéristiques - 4. Types de matériaux commercialisés ou en voie de développement - 4.1. Composites APC - 4.2. Composites SPIFLEX - 4.3. Composites FIBEROD - 4.4. Fibres imprégnées thermoplastiques (F.I.T.) - Références	
PARTIE 6 - TECHNOLOGIE DE MISE EN FORME RRIM	465
1. Introduction - 2. Principe - 3. Intérêt du procédé - 4. Les matrices - 5. Les renforts - 6. Technologie de mise en oeuvre - Références	
PARTIE 7 - APPLICATIONS	479
1. INDUSTRIE AEROSPATIALE	481
Associations matrices-renforts - Aviation militaire - Aviation civile - Les hélicoptères	
2. INDUSTRIE AUTOMOBILE	495

