

Jean-Luc Charvolin

Conception des pièces plastiques injectées

**TEC
& DOC**

Lavoisier

Conception des pièces plastiques injectées

Chez le même éditeur

Introduction au génie des procédés : Applications et développements

D. Ronze, 2013

Matériaux composites : comportement mécanique et analyse des structures

J.-M. Berthelot, 5^e édition, 2012

Méthodes électrochimiques d'analyse

J.-L. Burgot, 2012

Commande des procédés

collection « Génie des procédés de l'École de Nancy »

J.-P. Corriou, 3^e édition, 2012

Guide de sous-traitance des traitements de surface et de la peinture industrielle

J. Chevalier, 2012

Principes fondamentaux du génie des procédés et de la technologie chimique : aspects théoriques et pratiques

H. Fauduet, 2^e édition, 2012

Chimie bioorganique

collection « Monographies »

M. Santelli, 2012

Sécurité des procédés chimiques : connaissances et méthodes d'analyse des risques

collection « Génie des procédés de l'École de Nancy »

A. Laurent, 2^e édition, 2011

Introduction au génie des procédés

D. Ronze, 2008

Les latex synthétiques : élaboration, propriétés. Applications

J.-C. Daniel, C. Pichot, 2006

Conception des pièces plastiques injectées

Jean-Luc Charvolin

Ingénieur conseil en plasturgie



www.editions.lavoisier.fr

À la mémoire de mon fils Pierre

À Nadia qui m'a redonné la force et l'énergie de finir ce livre

À mes filles

Juliette, Marine, Alice

À leurs mères

Marie-Reine et Hélène

À mes petits-enfants

Cassidy, Victor, Noé, Noam, Flore et Sacha

Direction éditoriale : Emmanuel Leclerc

Édition : Solène Le Gabellec

Fabrication : Estelle Perez-Le Du

Composition et couverture : Patrick Leleux PAO (14)

Impression : EMD, Lassay-les-Châteaux

© 2013, Lavoisier, Paris

ISBN : 978-2-7430-1497-1

Préface

La valeur ajoutée

Alors qu'il était à la tête d'EADS, Louis Gallois jugeait déjà l'industrie française « trop spécialisée dans des productions sensibles au prix ».

De fait, aujourd'hui plus que jamais, pour répliquer à la concurrence de pays *low-cost* et pour justifier un prix plus élevé, un produit doit comporter des éléments de différenciation en sa faveur.

En d'autres termes il doit intégrer, bien en amont de sa production, une valeur ajoutée « intellectuelle » qui le sauvera du péril de la banalisation.

L'étape de la conception est donc cruciale dans la destinée d'un produit. La dose, plus ou moins importante de valeur ajoutée insufflée à ce stade, aura une conséquence directe sur la trajectoire du produit : soit il échouera sur les rives du « banal »... soit il se distinguera et permettra ainsi de générer des profits tout à fait concrets.

Vous trouverez dans les pages de cet ouvrage toutes les voies qu'il convient d'explorer dès la conception d'un produit injecté pour le doter de ce « supplément d'âme » qui s'appelle la « valeur ajoutée ».

Emmanuel ROSSI
Délégué général
Allizé-Plasturgie

Avant-propos

À l'heure des économies d'énergie et des produits durables, il est important d'améliorer la conception des pièces plastiques et de bien utiliser ces matériaux.

De nombreux ouvrages et de nombreuses publications traitent de ces sujets. Nous avons choisi de rassembler dans ce livre l'essentiel des données concernant la conception des pièces injectées.

Il nous semble important que tous les acteurs du processus puissent bien communiquer. En effet, il est indispensable que les bureaux d'étude, les moulistes et les transformateurs sachent quelles peuvent être les conséquences d'erreurs sur la qualité des pièces produites.

Récemment nous avons pu constater que des transformateurs chevronnés ne savaient pas vraiment analyser les causes de certains défauts, doutant par exemple de la fiabilité d'un outillage car apparaissaient des bavures, alors que la cause était la reprise d'humidité d'un polyamide.

Notre souhait est donc que tous les acteurs puissent travailler ensemble, en harmonie.

Remerciements

À la mémoire de Jean-Pierre GAZNONNET qui m'a permis de continuer ma carrière honorablement.

À Annie ALLOMBERT BLANC, assistante du service de formation continue, qui m'a toujours accompagné, même dans les moments difficiles.

À Marie-Pierre BEATRIX, femme d'une grande valeur dont l'affection m'a toujours été d'un grand secours et dont la compétence n'est plus à démontrer.

À tous ceux du Pôle européen de Plasturgie qui ont soutenu l'activité de la formation en mettant leurs compétences au service des stagiaires.

Table des matières

| | |
|----------------------------------|----|
| Préface | V |
| Avant-propos | VI |
| Remerciements | VI |
| Liste des abréviations | XV |

Chapitre 1

Histoire des matières plastiques

| | |
|--|---|
| 1. Une histoire qui a bouleversé l'industrie et la consommation | 1 |
| 2. L'aventure commence vers 1860 | 2 |
| 3. L'apport de la théorie de la science des polymères | 3 |
| 4. Des matières plastiques de masse aux technopolymères | 4 |
| 5. L'évolution de la plasturgie à Oyonnax : du peigne aux lunettes | 5 |
| 6. Chronologie de l'invention des matières plastiques | 7 |

Chapitre 2

Chimie

| | |
|---|----|
| 1. L'atome | 11 |
| 1.1. Constitution et morphologie de l'atome | 12 |
| 1.1.1. Isotopes | 13 |
| 1.1.2. Morphologie de l'atome | 13 |
| 1.2. Liaisons entre atomes | 14 |
| 1.2.1. Liaison covalente | 14 |
| 1.2.2. Liaison ionique | 16 |
| 2. Forces intermoléculaires | 16 |
| 3. Origine des matières plastiques | 17 |
| 3.1. Origine végétale | 18 |
| 3.2. Origine minérale | 18 |
| 3.3. Du pétrole aux polymères | 18 |
| 3.4. Atomes composant les matières plastiques | 19 |
| 4. Polymérisation | 20 |
| 4.1. Synthèse des matières thermoplastiques | 20 |
| 4.2. Polymérisation d'addition | 22 |
| 4.3. Polymérisation de condensation | 23 |
| 5. Copolymérisation | 23 |
| 6. Alliages ou mélanges | 24 |
| 6.1. Polymères miscibles | 24 |
| 6.2. Polymères incompatibles | 25 |

| | |
|--|----|
| 6.3. Polymères compatibles | 25 |
| 6.4. Propriétés des alliages. | 25 |
| 7. Comportement des thermoplastiques à la chaleur | 25 |
| 8. Synthèse des matières thermodurcissables. | 26 |
| 9. Comportement des thermodurcissables à la chaleur. | 26 |
| 10. Caoutchoucs ou élastomères | 27 |

Chapitre 3

Propriétés des matières plastiques et caractérisation

| | |
|--|----|
| 1. Généralités. | 29 |
| 2. Avantages | 29 |
| 3. Inconvénients | 31 |
| 4. Propriétés des thermoplastiques comparées à celles des métaux | 32 |
| 5. Humidité et plastiques | 32 |
| 6. Effets de l'humidité sur les pièces plastiques injectées | 32 |
| 7. Tests et essais. | 35 |
| 7.1. Essais mécaniques | 35 |
| 7.1.1. Matériaux et éprouvettes | 35 |
| 7.1.2. Essais mécaniques de courte durée | 36 |
| 7.2. Autres essais. | 46 |
| 7.2.1. Dureté | 46 |
| 7.2.2. Essais de choc | 48 |
| 7.2.3. Conductivité thermique | 51 |
| 7.2.4. Dilatation thermique. | 52 |
| 7.2.5. Résistance chimique. | 53 |
| 7.2.6. Inflammabilité et combustion. | 54 |
| 7.2.7. Densité et masse volumique | 56 |
| 7.2.8. Rhéologie | 58 |
| 7.2.9. Spectrométrie IRTF. | 63 |
| 7.2.10. Spectrophotométrie | 64 |
| 7.2.11. Analyse par calorimétrie différentielle (DSC) | 68 |

Chapitre 4

Matières

| | |
|---|----|
| Avertissement | 75 |
| Tableau 4.1. Caractéristiques générales et applications | 76 |
| Tableau 4.2. Propriétés physiques et mécaniques | 84 |
| Tableau 4.3. Propriétés thermiques. | 88 |

Chapitre 5

Additifs

| | |
|--|----|
| 1. Définition des composites | 91 |
| 2. Additifs et adjuvants | 92 |

| | |
|--|-----|
| 3. Charges | 95 |
| 4. Colorants ou pigments | 96 |
| 5. Ignifugeants | 96 |
| 6. Fongicides | 97 |
| 7. Lubrifiants | 97 |
| 8. Plastifiants | 98 |
| 9. Renforts | 99 |
| 9.1. Fibres de verre | 100 |
| 9.2. Autres renforts fibreux | 101 |
| 10. Exemples d'amélioration de caractéristiques par des fibres | 103 |

Chapitre 6

Nanocomposites

| | |
|--|-----|
| 1. L'EVOH remplacé par des nanocomposites biodégradables | 108 |
| 2. Différentes formes géométriques des nanoparticules | 109 |
| 3. Élaboration des nanocomposites | 110 |
| 4. Amélioration des propriétés mécaniques | 111 |
| 5. Exemples d'application des nanocomposites | 113 |

Chapitre 7

Plastiques biodégradables

| | |
|---|-----|
| 1. Polymères biodégradables | 116 |
| 2. Plastiques photodégradables | 116 |
| 3. Plastiques photodégradables et biodégradables | 117 |
| 4. Plastiques compostables | 117 |
| 5. Plastiques biocompatibles | 117 |
| 6. Familles de plastiques | 117 |
| 7. Quelques propriétés des biodégradables, selon les familles | 118 |
| 8. Mesure de la biodégradabilité | 119 |
| 9. Les différents tests utilisés | 119 |
| 10. Marché et applications | 120 |
| 11. Mise en œuvre par des équipements classiques | 120 |
| 12. Avantages et inconvénients | 120 |

Chapitre 8

Matériaux composites à renforts en fibres naturelles d'origine végétale

| | |
|--|-----|
| 1. Les fibres végétales | 121 |
| 2. Influence sur les propriétés selon le type de fibre | 123 |
| 3. Perspectives | 124 |
| 4. Applications potentielles | 124 |

*Chapitre 9***Injection**

| | |
|--|-----|
| 1. Les polymères | 128 |
| 2. Caractéristiques des pièces injectées multiples et variées. | 129 |
| 3. Presse à injecter | 129 |
| 3.1. Description d'une presse à injecter | 129 |
| 3.2. Partie injection. | 129 |
| 3.3. Partie fermeture | 131 |
| 3.3.1. Fermeture hydraulique | 131 |
| 3.3.2. Fermeture par grenouillère. | 131 |
| 4. Le cycle d'injection | 135 |
| 4.1. Analyse du cycle d'injection | 138 |
| 4.2. Paramètres | 140 |
| 5. Injection multi-matières. | 140 |
| 6. Injection assistée par gaz. | 141 |
| 7. Injection assistée par eau (IAE) | 144 |
| 8. Surmoulage | 145 |
| 9. Injection séquentielle | 146 |

*Chapitre 10***Conception des moules**

| | |
|--|-----|
| 1. Les éléments constitutifs d'un moule | 148 |
| 1.1. Armature du moule. | 148 |
| 1.2. Les éléments d'alignement et de centrage des moules | 150 |
| 1.3. Fonction éjection | 152 |
| 1.4. Autres types de pièces entrant dans la composition d'un moule | 153 |
| 2. Différents types de moules | 154 |
| 2.1. Moules à trois plaques | 154 |
| 2.2. Moules pour pièces comprenant des contre-dépouilles. | 156 |
| 2.3. Moules à dévissage | 159 |
| 2.4. Moules à noyaux et moules à cales montantes. | 160 |
| 2.5. Moules à noyaux éclipsables. | 161 |
| 2.6. Moule à coquilles. | 163 |
| 2.7. Moules à noyaux fusibles | 164 |
| 2.8. Moule sandwich ou à étage | 165 |
| 3. Différents types d'alimentations de l'empreinte | 165 |
| 3.1. Différents types de seuils usinés dans le moule | 167 |
| 3.2. Alimentations par canaux chauds | 167 |

*Chapitre 11***Prototypage et usinage rapide**

| | |
|---------------------------------|-----|
| 1. Définition. | 171 |
| 2. Stéréolithographie | 171 |

| | |
|---|-----|
| 3. Frittage sélectif par laser | 173 |
| 3.1. Frittage laser de polymère | 173 |
| 3.2. Frittage laser de métal | 174 |
| 4. Usinage grande vitesse (UGV) | 176 |
| 5. Moule en silicone coulée sous vide | 176 |
| 6. Procédé RIM (moulage par réaction) | 176 |
| 7. Prototypage par Stratoconceptions® | 177 |

Chapitre 12

Conception de pièces

| | |
|---|-----|
| 1. Facteurs de choix des matières | 179 |
| 2. Première ébauche | 180 |
| 3. Sélection de la matière. | 180 |
| 4. Équilibrage | 180 |
| 4.1. Choix du seuil. | 180 |
| 4.2. Équilibrage par variation d'épaisseurs. | 182 |
| 4.3. Moules multi-empreintes | 182 |
| 4.4. Orientation des écoulements. | 183 |
| 5. Retrait | 184 |
| 5.1. Différence de dimensions entre la pièce et l'empreinte | 184 |
| 5.2. Influence de l'orientation | 184 |
| 6. Gradient de pression | 186 |
| 7. Épaisseurs. | 187 |
| 8. Exemples d'amélioration de conceptions | 188 |
| 9. Conception des nervures | 189 |
| 10. Dépouilles de démoulage | 191 |
| 11. Contraintes et déformations | 192 |
| 12. Lignes de soudure. | 193 |
| 13. Effet d'hésitation | 194 |
| 14. Contrôle des auto-échauffements et du cisaillement | 197 |
| 15. Pression de maintien. | 199 |

Chapitre 13

Défauts de pièces

| | |
|--|-----|
| 1. Déformation | 201 |
| 1.1. Définition. | 201 |
| 1.2. Causes. | 201 |
| 1.3. Origine du retrait différentiel | 201 |
| 2. Qualité des lignes de soudure | 203 |
| 3. Fissuration | 205 |
| 4. Retassures | 206 |
| 5. Pièces incomplètes | 207 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 6. Emprisonnement d'air | 208 |
| 7. Les bavures | 210 |

Chapitre 14

Méthodes d'assemblage des matières plastiques

| | |
|---|-----|
| 1. Soudage | 212 |
| 1.1. Soudage par infrarouge | 212 |
| 1.2. Miroir chauffant | 213 |
| 1.3. Soudure au chalumeau à air chaud | 214 |
| 1.4. Impulsion thermique | 215 |
| 1.5. Couteau chaud | 216 |
| 1.6. Soudure à haute fréquence | 217 |
| 1.7. Le soudage par ultrasons | 219 |
| 1.8. Soudage laser | 225 |
| 1.9. Vibrations | 227 |
| 1.10. Soudage par rotation | 228 |
| 2. Collage | 229 |
| 2.1. Propriétés du collage | 229 |
| 2.2. L'état de surface : la clé de l'adhésion | 231 |
| 2.3. La préparation des surfaces : une étape incontournable | 232 |
| 3. Assemblage mécanique | 234 |
| 3.1. Clipage | 234 |
| 3.2. Rivetage | 236 |
| 3.3. Emmanchement forcé | 236 |
| 3.4. Vissage | 237 |
| 3.5. Surmoulage | 240 |

Chapitre 15

Décoration

| | |
|----------------------------------|-----|
| 1. Généralités | 243 |
| 2. Sérigraphie | 243 |
| 3. Tampographie | 245 |
| 4. Flexographie | 247 |
| 5. Héliographie | 248 |
| 6. Offset sec | 249 |
| 7. Le jet d'encre | 250 |
| 8. Métallisation sous vide | 251 |
| 9. Galvanoplastie | 251 |
| 10. Flocage | 254 |
| 11. Marquage à chaud | 254 |
| 12. Procédé Sleever® | 255 |
| 13. Thérimage | 256 |
| 14. Procédé Cubic | 257 |

| | |
|---|-----|
| 15. Procédés <i>in mold</i> et <i>insert molding</i> | 258 |
| 15.1. Procédé <i>in mold</i> | 258 |
| 15.2. Procédé <i>insert molding</i> | 258 |
| 15.3. Comparaison de l'application des trois procédés | 259 |
| 16. Marquage laser | 259 |
| 17. Sublimation | 261 |

Chapitre 16

Outils de simulation

| | |
|---|-----|
| 1. Quels outils ? | 265 |
| 2. Les conditions d'entrée du calcul | 266 |
| 3. Exemple de calcul mécanique | 266 |
| 4. Exemple de calcul rhéologique | 267 |
| 5. Exemple de calcul thermique | 268 |
| 6. La démarche de conception et de réalisation de pièces plastiques | 269 |
| 7 Qui prend en charge la simulation ? | 270 |
| 8. Études réalisées par la société Cadflow | 270 |
| | |
| Index | 273 |
| Planche couleurs | 275 |

Liste des abréviations

| | |
|----------|---|
| ABS : | Acrylonitrile butadiène styrène |
| ADC : | Azodicarbonamide |
| AMDEC : | Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité |
| AMMA : | Acrylonitrile méthacrylate de méthyle |
| ATR : | Réflexion totale atténuée |
| CA : | Acétate de cellulose |
| CAB : | Acétobutyrate de cellulose |
| CAO : | Conception assistée par ordinateur |
| CDT : | Coefficient de dilatation thermique |
| CIJ : | Jet continu (<i>Continuous Ink Jet</i>) |
| CP : | Propionate de cellulose |
| DBDPE : | Décabromodiphényl éther |
| DEHP : | Diéthylhexylphtalate |
| DGEBA : | Diglycidyléther du bisphénol A |
| DIDP : | Di-isodécyl phtalate |
| DINP : | Di-isononyl phtalate |
| DOD : | Goutte à la demande (<i>Drop On Demand</i>) |
| DOP : | Dioctylphtalate |
| DP : | Degré de polymérisation |
| DSC : | Calorimétrie différentielle à balayage |
| E-CTFE : | Éthylène-chlorotrifluoroéthylène |
| EEA : | Éthylène-acrylate d'éthyle |
| EPDM : | Éthylène-propylène-diène monomère |
| EPR : | Caoutchouc éthylène-propylène |
| EVA : | Éthylène vinyle-acétate |
| EVOH : | Éthylène-alcool polyvinylique |
| FC : | Fibre de carbone |
| FV : | Fibre de verre |
| HALS : | Stabilisant UV à base d'amines à encombrement stérique (<i>Hindered Amine Light Stabilizer</i>) |
| HB : | Dureté de Brinell |
| HDT : | Température de fléchissement sous charge |
| HR : | Humidité relative |
| HRC : | Indice de dureté de Rockwell (<i>Rockwell Hardness measured on the C scale</i>) |

| | |
|----------------|---|
| IAE : | Injection assistée par eau |
| IDPS : | Polymères intrinsèquement dissipatifs (<i>Inherently Dissipative Polymers</i>) |
| IGES : | <i>Initial Graphics Exchange Specification</i> |
| IMD : | Décoration dans le moule (<i>In Mold Decoration</i>) |
| IML : | Étiquetage dans le moule (<i>In Mold Labelling</i>) |
| IO : | Indice d'oxygène |
| IR : | Rayonnement infrarouge |
| IRTF : | Infrarouge à transformée de Fourier |
| MABS : | Méthacrylate de méthyle-acrylonitrile-butadiène-styrène |
| MFI (ou MFR) : | Indice de fluidité à chaud |
| MMT : | Montmorillonite |
| MW : | Masse moléculaire |
| MWNI : | Charge minimale pour une interactivité (<i>Minimum Weighted Norm Interpolation</i>) |
| NMT : | Mat de fibres naturelles |
| OBDPE : | Octabromodiphényl éther |
| Pa : | Pascal |
| PA : | Polyamide |
| PAA : | Polyamide aromatique |
| PAEK : | Polyaryléthercétone |
| PAI : | Polyamide imide |
| PB : | Polybutène |
| PBT : | Polybutylène téréphtalate |
| PC : | Polycarbonate |
| PCL : | Polycaprolactone |
| PCL : | Polymère à cristaux liquides |
| PDC : | Perte de charge |
| PE : | Polyéthylène |
| PEBD : | Polyéthylène basse densité |
| PEEK : | Polyétheréthercétone |
| PEHD : | Polyéthylène haute densité |
| PEI : | Polyétherimide |
| PESU : | Polyéther sulfone |
| PET : | Polytéréphtalate d'éthylène |
| PETP : | Polyéthylène téréphtalate |
| PGA : | Polyglycolide |
| PHA : | Polyhydroxyalcanoate |
| PHB : | Polyhydroxybutyrate |
| PHBV : | Polyhydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate |
| PLA : | Acide polylactique |
| POM : | Polyoxyméthylène |
| PMMA : | Polyméthacrylate de méthyle |
| PO : | Polyoléfine |
| PP : | Polypropylène |
| PPE : | Polyphénylène éther |
| PPO : | Polyoxyde de phénylène |
| PPS : | Polysulfure de phénylène |

| | |
|--------------|---|
| PPSU : | Polyphénylène sulfone |
| PS : | Polystyrène |
| PSB : | Polystyrène-polybutadiène ou polystyrène choc |
| PSU : | Polysulfone |
| PTFE : | Polytétrafluoroéthylène |
| PU : | Polyuréthane |
| PVA : | Polyacétate de vinyle |
| PVC : | Polychlorure de vinyle |
| PVDF : | Polyfluorure de vinylidène |
| PVOH : | Alcool polyvinylique |
| RIM : | Moulage par réaction (<i>Reactive Injection Moulding</i>) |
| SAN : | Styrène acrylonitrile |
| SBR : | Caoutchouc styrène-butadiène |
| SBS : | Polystyrène-butadiène-styrène |
| Tc : | Température de cristallisation |
| Tf (ou Tm) : | Température de fusion (<i>Melting Temperature</i>) |
| Tg : | Température de transition vitreuse (<i>Glass Temperature</i>) |
| TPO : | Élastomère thermoplastique oléfinique non vulcanisé |
| UGV : | Usinage à grande vitesse |
| UV : | Radiations ultraviolettes |

The page is framed by a decorative border of bright green plastic granules. These granules are scattered along the top, left, and right edges, with a denser concentration at the bottom. The granules vary in orientation, showing their cylindrical shape and slightly irregular texture.

Alors que les matières plastiques n'ont été découvertes qu'il y a peu de temps, elles sont devenues indispensables à nos modes de vie. Pourtant, la « culture plasturgie » est encore peu répandue et les différents corps de métiers manquent d'un langage commun. L'auteur présente dans l'ouvrage, sous forme de guide, les éléments essentiels à la compréhension de tout le processus, du cahier des charges à la fabrication, en incluant la conception et la réalisation de moules.

Conception des pièces plastiques injectées débute par une histoire des matières plastiques, complétée par une présentation des matières plastiques (composition, origine, polymérisation). L'ouvrage étudie ensuite l'injection des polymères, la conception des moules, le prototypage et l'usinage des pièces et des moules. Il expose également les défauts de pièces, les méthodes d'assemblage des matières plastiques et la décoration. Enfin, le dernier chapitre propose un exemple d'utilisation d'outils de simulation.

Cet ouvrage s'adresse aux responsables et concepteurs en bureaux d'étude pour pièces plastiques et moules, aux responsables techniques et régleurs sur presse à injecter. Il intéressera également les professeurs de physique-chimie, de technologie en IUT et BTS, les enseignants de chimie et matériaux dans les universités et écoles d'ingénieurs et enfin les étudiants en plasturgie, chimie et matériaux.

Jean-Luc Charvolin est expert et formateur en conception et fabrication de pièces plastiques injectées. Il exerce dans les domaines de l'amélioration de process, l'analyse de défaut et la mise au point de méthodologie dans l'injection.

www.editions.lavoisier.fr



978-2-7430-1497-1