

Des études systématiques effectuées notamment par Ward et ses collaborateurs à Leeds ont démontré que les polyéthylènes de masses molaires d'environ 100 kg / mole peuvent être étirés efficacement à l'état solide jusqu'à des rapports d'étirement de plus de 20, soit proches de la valeur maximale calculée pour cette longueur de chaîne. Fait plus important encore, les auteurs en ont conclu que la rigidité finale des polyéthylènes étirés était dictée uniquement par le rapport d'étirement absolu, et non par la masse moléculaire, et que le rapport d'étirement maximal des polyéthylènes linéaires cristallisés à partir du polymère fondu diminue quand la masse molaire augmente.

Ce comportement est contradictoire avec notre analyse antérieure des chaînes isolées. La cause de cette diminution du rapport d'étirement maximal en fonction de l'augmentation de la longueur de la chaîne de polyéthylène fondu, puis cristallisé, réside dans l'augmentation linéaire du nombre d'enchevêtrements («nœuds moléculaires») par molécule. Ces enchevêtrements de chaînes agissent comme des points de friction et bloquent la déformation.

Des techniques pour contourner ces limites ont été mises au point à la fin des années 1970 chez la Société DSM, aux Pays-Bas. On découvrit alors que les gels de polyéthylène à ultra-haute masse moléculaire (supérieur à 1 000 000 kg / kmole) obtenus par cristallisation à partir de solutions semi-diluées, où les molécules de polymère sont pour la plupart désenchevêtrées, s'allongent facilement jusqu'à des rapports d'étirement 25 fois supérieurs à ceux du même polymère cristallisé à partir de la masse fondue, dans des conditions expérimentales par ailleurs identiques.

Les rapports d'étirement extraordinairement élevés du PE UHPM cristallisé en solution s'accompagnent d'augmentations marquées de la rigidité et de la résistance à la traction. L'utilisation de masses moléculaires encore supérieures, associée à une optimisation des concentrations des solutions de polymère initial, amène une résistance à la traction encore plus élevée. Les rapports d'étirement très élevés modifient la forme et la structure de la chaîne, et améliorent les propriétés mécaniques, ce qu'ont montré les photographies au microscope électronique à balayage et

les diagrammes de diffraction X. Le bon alignement exceptionnel des chaînes de polyéthylène, mis en évidence par les rayons X contraste avec l'orientation obtenue avec des matières à l'état de cristaux liquides.

Le procédé décrit ci-dessus, couramment appelé filage en gel, a été commercialisé par DSM / TOYOBO et ALLIEDSIGNAL. Les fibres disponibles sur le marché ont en général une résistance à la rupture de 4 à 5 gigapascals et un module de 100 à 150 gigapascals. L'inconvénient majeur de ces matières est leur faible température maximale d'utilisation (environ 130 °C), plus basse que celle des aramides ; en revanche, les fibres de polyéthylène résistent mieux que les aramides à l'abrasion et aux chocs.

Le procédé et les éléments examinés ici ne concernent pas exclusivement le polyéthylène. Le filage à l'état de gel a également été appliqué avec un certain succès au poly(vinylalcool) et au polypropylène, même si l'on a obtenu des caractéristiques mécaniques moins spectaculaires (pour le polypropylène, en raison d'une rigidité intrinsèque plus faible du polymère due dans sa conformation cristalline hélicoïdale).

Autres développements

Outre la recherche de nouvelles fibres de performances accrues, d'importants efforts visent à développer des fibres et des textiles plurifonctionnels, c'est-à-dire possédant des propriétés et des fonctionnalités additionnelles. Parmi ces développements, citons la réalisation remarquable, notamment par les producteurs de fibres japonais, de la fabrication de filaments «sub-deniers» par exemple en polyester, de diamètres inférieurs à environ trois micromètres. Les textiles constitués de ces fibres exceptionnelles (*Shin-gosen*) présentent, selon leur structure, la qualité *high touch* (l'apparence et le toucher du cuir ou de la suédine) et peuvent être nettoyés avec une extrême facilité. Un exemple typique, bien que quelque peu exotique, de fibres plurifonctionnelles sont les fibres caméléons, qui changent de couleur avec la température ou la lumière. D'autres fibres ayant des propriétés additionnelles spéciales sont les fibres biorésorbables (par exemple, à base d'acide lactique), utilisées en chirurgie et les fibres optiques utilisées dans les

télécommunications. Chacune de ces fibres doit avoir, pour être fonctionnelle, un ensemble de caractéristiques extrêmement contraignantes. Pour les premières, les conditions préalables sont la biocompatibilité et la dégradation contrôlée dans le corps humain, en plus de propriétés mécaniques appropriées, tandis que les secondes doivent présenter une pureté absolue et un profil spécifique d'indices de réfraction.

Parmi les autres nouveaux développements, encore balbutiants, figure celui de fibres de polymères conducteurs (par exemple, la polyaniline) et plus généralement des fibres de semiconducteurs. Outre les applications évidentes en électronique, de telles fibres permettront des utilisations nouvelles où l'élasticité et la remarquable transformabilité de nombreux polymères s'ajouteront à la fonctionnalité opto-électronique.

Que reste-t-il à trouver ?

Que reste-t-il à faire ou à inventer ? Par certains aspects, cette question (quelque peu rhétorique) est déjà résolue. Établissons une liste de ce que l'homme n'a pas pu obtenir jusqu'à présent : (1) conférer aux fibres le confort exceptionnel qu'offrent les fibres de coton, ainsi que d'autres fibres naturelles ; (2) produire des filaments polymériques possédant la propriété de résistance à la compression des fibres de verre ; (3) imiter le processus de formation de la soie, dans lequel un polymère hautement résistant est produit dans les conditions ambiantes à partir de l'eau.

Les efforts visant à résoudre les problèmes qui subsistent devraient se révéler non seulement gratifiants sur le plan intellectuel, mais également d'une grande valeur sociale.

Theo TERVOORT et Paul SMITH sont professeurs dans le Département Matériaux-Polymères de l'École polytechnique fédérale de Zurich.

W.E. MORTON et J.W.S. HEARLE, *Physical Properties of Textile Fibers*, The Textile Institute, Manchester, 1993.

Advanced Fiber Spinning Technology, Woodhead, Cambridge, 1994.

T. HONGU et Glyn O. PHILLIPS, *New Fibers*, deuxième édition, Woodhead, Cambridge, 1997.
