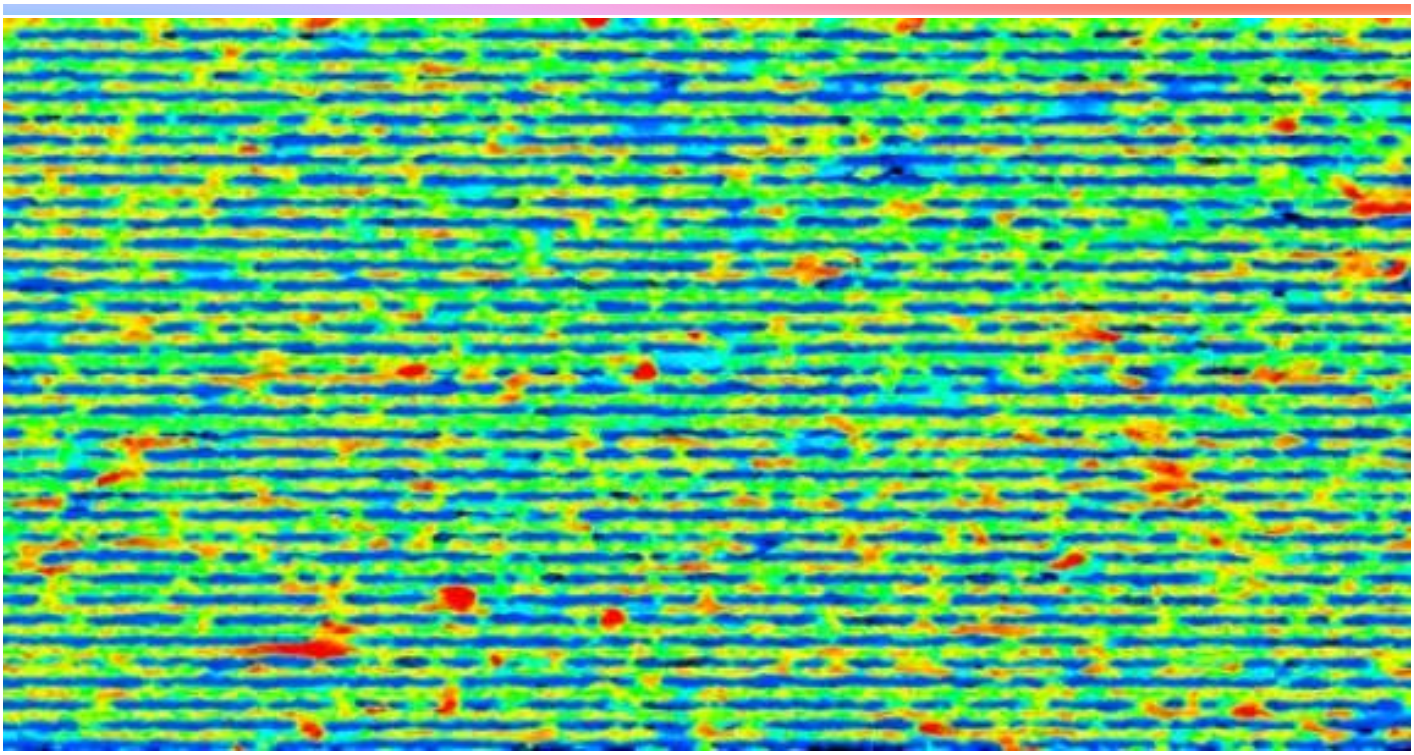


Texturation de revêtements souples en biopolymère au laser femtoseconde à haut rendement

20 août 2024, 16:40

Pieter Samyn
Olivier Malek

Revêtements fonctionnels en biopolymère

Matériaux naturels dotés de propriétés intéressantes pour l'industrie du revêtement, les nanocelluloses s'appliquent confortablement par pulvérisation. Réactifs par définition, les matériaux nanocellulosiques requièrent le plus souvent une modification chimique pour obtenir des fonctionnalités supplémentaires telles qu'une résistance satisfaisante à l'eau ou aux bactéries. Par ailleurs, l'ajout de textures superficielles aux revêtements par le biais de processus physiques peut également en améliorer les propriétés. C'est pourquoi Sirris a conjugué avec succès son expertise en matière d'application de revêtements et de fonctionnalisation des surfaces dans le cadre d'une étude de faisabilité portant sur la texturation au laser femtoseconde de revêtements pulvérisés en nanocellulose.

Récemment publiée dans une revue scientifique de renommée mondiale intitulée Carbohydrate Polymers, cette étude met en lumière le potentiel de gestion des propriétés superficielles des revêtements souples en vue d'interactions avec l'eau ou d'effets antibactériens. Une équipe de chercheurs Sirris est parvenue à démontrer en grande première comment la texturation au laser

femtoseconde de revêtements souples en biopolymère pouvait s’utiliser comme méthode à haut rendement de structuration superficielle.

Dispositifs fonctionnels et revêtements à base de nanocellulose

Les nanofibres de cellulose (NFC) ou les nanocristaux de cellulose (NCC) constituent une famille de nanomatériaux techniques généralement adaptés aux revêtements fonctionnels et dotés de propriétés hydrophiles intrinsèques qui leur confèrent une faculté d’autonettoyage ainsi qu'une biocompatibilité et une biodégradabilité appréciables. Les matériaux cellulosiques les plus abondants sur terre, les biopolymères proviennent de sources primaires renouvelables telles que le bois, les cultures à cycle annuel, les bactéries ou les algues. Dans la perspective d’une économie circulaire, les nanocelluloses peuvent être produites de manière plus intéressante à partir de flux secondaires résiduels de produits agricoles, de boues et déchets industriels ou encore de résidus de papier et de pâte à papier qui ne répondent plus aux critères des usines de recyclage.

Alors que la synthèse et les relations structures-propriétés des matériaux nanocellulosiques sont maîtrisées et que les méthodes de production durables sont optimisées pour la récupération et les économies d'énergie, plusieurs qualités sont devenues récemment disponibles à l’échelle industrielle. En raison de ses propriétés rhéologiques adéquates et de sa fluidisation par cisaillement, l’enduction par pulvérisation est une technique que l’on privilégiera pour les applications à grande échelle. La déposition de revêtements en nanofibres (NFC) et en nanocristaux (NCC) de cellulose par le biais de procédés de pulvérisation industriels est parfaitement maîtrisable (figure 1).

Figure 1. Application par pulvérisation de revêtements en nanocellulose, (a) revêtements en nanofibres de cellulose (NFC), (b) revêtements en nanocristaux de cellulose (NCC) (Remerciements : Images obtenues au moyen d'un MBE et fournies par S. Eyley, la KULeuven, SuSMAT, Courtrai)

Le comportement hygroscopique et les propriétés optiques des revêtements en nanocellulose s'avèrent d'une grande pertinence pour les matériaux, dispositifs et éléments qui suivent : dispositifs microfluidiques analytiques, matériaux photoniques, dispositifs optiques, cellules photovoltaïques, catalyseurs et dispositifs de photosynthèse artificielle, cellules photochimiques, membranes, revêtements anti-frottements et lubrifiants. Conjugués avec un dispositif bien défini de contrôle de la rugosité et de la porosité, les revêtements en nanocellulose peuvent servir d'absorbants, de tampons de rétention d'humidité ou de bio-échafaudages se prêtant à diverses interactions cellulaires ainsi qu'à une croissance bactérienne ciblée.

Cependant, les performances avancées du revêtement, la gestion du mouillage superficiel et le contrôle directionnel du transport de liquides requièrent une conception plus aboutie de la surface ainsi que la reproduction économiquement réalisable d'architectures de surface à une échelle

micrométrique.

Structuration de surfaces nanocellulosiques

La structuration des revêtements en nanocellulose vise à leur conférer des propriétés biomimétiques caractérisées par une rugosité de surface hiérarchique et un meilleur contrôle de la porosité. Divers polymères naturels ou produits papetiers apparentés ont été soumis, du moins en laboratoire, à l'application de différentes techniques de structuration reposant sur plusieurs approches ascendantes et descendantes, mais il a été reconnu que les efforts technologiques consentis dans le domaine de la microtexturation de surfaces nanocellulosiques à plus grande échelle n'ont pas encore abouti.

La création des microtextures que présentent les surfaces nanocellulosiques traitées résulte essentiellement d'une structuration ascendante dont l'auto-assemblage est contrôlé par des forces intermoléculaires et interactions de surface, en présence d'une charge mécanique, de champs magnétiques ou de champs électrostatiques. Les structures hiérarchiques plus complexes, caractérisées par l'incorporation de nanofibrilles orientées ainsi que la rugosité accrue des revêtements de nanocellulose ont été obtenues par déposition électrophorétique. Par ailleurs, le contrôle du temps d'évaporation lors du séchage d'une suspension de nanocellulose et l'évaporation différentielle à la surface d'un film de nanocellulose ont permis d'obtenir ponctuellement des motifs superficiels présentant des caractéristiques optiques.

La structuration descendante des revêtements en nanocellulose repose sur des procédés discontinus tels que le micro-gaufrage ou l'estampage humide, où, par exemple, des substrats élastomères périodiquement plissés et préparés par étirement et oxydation sont susceptibles d'être utilisés comme gabarit de transfert de motifs nanocellulosiques alignés. Cette technologie peut s'étendre à l'impression de rouleau à rouleau ou à la flexographie, conjuguée avec l'application par immersion ou par pulvérisation d'une dispersion nanocellulosique sur un gabarit. La lithographie par nano-impression de rouleau à rouleau s'est muée en méthode à haut rendement de reproduction de motifs périodiques comportant l'application de micropiliers sur des films en nanocellulose assortie d'un contrôle du profil de rugosité et de caractéristiques optiques spécifiques.

Cependant, les méthodes actuelles nécessitent un contrôle précis de l'écoulement de la nanocellulose lequel doit présenter des caractéristiques rhéologiques rigoureuses ainsi qu'un contrôle de la déshydratation ou des additifs dans le but de moduler les propriétés mécaniques du revêtement. En outre, la fabrication de matrices de reproduction lithographique doit être économiquement viable et nécessite des volumes d'échantillonnage importants avec une faible flexibilité. Le recours à des méthodes d'usinage plus directes, à faible coût de traitement, à haut rendement, caractérisées par une flexibilité accrue et une précision de l'ordre du micromètre, est indispensable pour favoriser le passage à l'échelle industrielle.

Exploration de la texturation de revêtements souples au laser femtoseconde

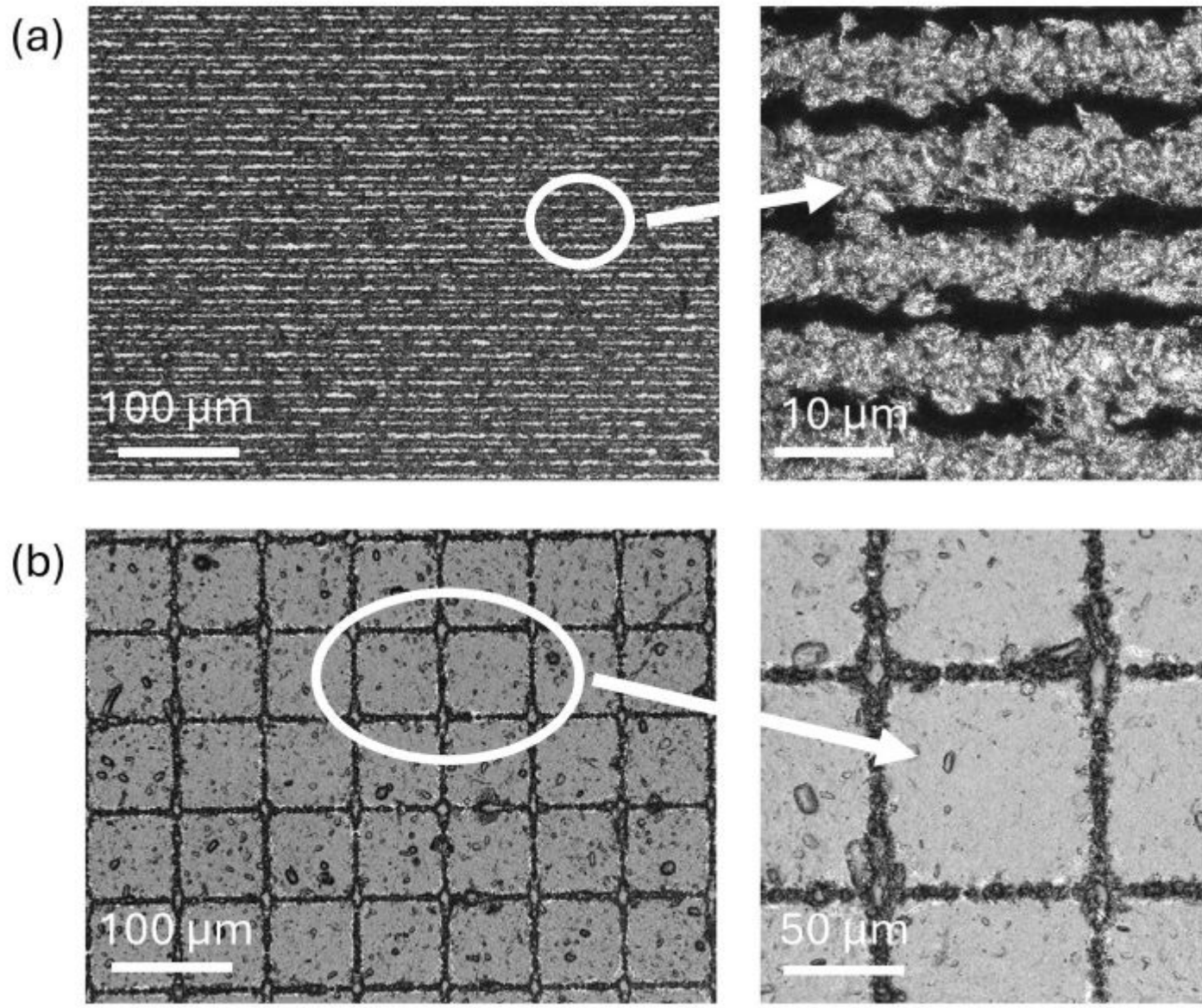
La texturation au laser a été récemment identifiée comme une excellente technique de modification de la mouillabilité superficielle de divers matériaux en raison de la simplicité relative et de la robustesse des résultats, ainsi que de la disponibilité généralisée de sources laser industrielles abordables. Au cours de ces dernières années, Sirris a acquis une expérience appréciable dans le

domaine des techniques de fonctionnalisation des surfaces en céramique ou en métal dur, lesquelles ont été marquées par l’introduction du contrôle de la friction, de la réduction de l’usure, des transitions chromatiques ou de la superhydrophobicité.

Si la texturation au laser à impulsions ultra-courtes (femtoseconde), en particulier, s’applique également à des substrats polymères souples ou à des peintures et revêtements, c’est parce qu’elle autorise un traitement propre sans dommage thermique. Bien que la texturation au laser femtoseconde se soit récemment muée en technique innovante, mature et robuste aux résultats prometteurs, elle ne s’applique pas encore à la structuration des revêtements en nanocellulose.

Dans une étude récemment publiée par des chercheurs Sirris, la structuration de revêtements en nanocellulose pulvérisés par texturation au laser femtoseconde a été présentée comme une technique originale permettant l’obtention de revêtements fonctionnels en nanocellulose. En particulier, la fenêtre de traitement opérationnel des taux de répétition d’impulsions laser et des réglages de puissance a été déterminée en vue de la création de motifs superficiels unidimensionnels et bidimensionnels (figure 2). Le contrôle précis des paramètres de traitement s’est avéré plus critique que pour les surfaces dures, et les très petites variations apportées au paramétrage fournissent un outil de modification des caractéristiques et de la morphologie des motifs superficiels d’un revêtement en nanocellulose. En fonction de l’origine du revêtement en nanofibres (NFC) ou en nanocristaux (NCC) de cellulose, ses propriétés mécaniques sont susceptibles de différer, mais les chercheurs ont mis au jour une corrélation satisfaisante entre la densité du revêtement et les conditions d’ablation au laser.

Toutefois, le principal défi à relever résidait dans la rugosité intrinsèque élevée des revêtements en nanocellulose, laquelle doit être contrebalancée par les conditions de traitement afin de garantir l'homogénéité à long terme des motifs superficiels.



©Sirris
Figure 2. Revêtements en nanocellulose texturés au laser pour créer (a) des motifs unidimensionnels, (b) des motifs bidimensionnels. Limitée par le diamètre du faisceau laser, la taille minimale des motifs s'élève à 15 µm.

Synthèse et perspectives d'avenir

Ces travaux ont démontré que la texturation au laser femtoseconde pouvait s'appliquer comme une technique extensible à une échelle industrielle pour la structuration de revêtements en nanocellulose, laquelle pourrait ouvrir de nouvelles perspectives à l'ingénierie de surface à grande échelle dans une pléthore de domaines d'application où un affinage de l'hydrophilie superficielle s'impose. Des chercheurs ont évalué en particulier les modalités de stabilisation des gouttelettes d'eau sur les surfaces structurées, sans renoncer aux caractéristiques hydrophiles du revêtement en nanocellulose considéré. Dans le cadre d'une approche actuelle, la texturation au laser des revêtements en nanocellulose se conjugue avec une modification chimique de la surface afin d'en affiner spécifiquement la mouillabilité ou d'introduire des propriétés superficielles superhydrophobes et antibactériennes.

Lecture du texte intégral de l'étude de faisabilité.

Sirris s’est également impliqué dans la conception de surfaces antimicrobiennes reposant sur des revêtements en nanocellulose, conjuguant la fonctionnalisation chimique et la structuration superficielle des matériaux en nanocellulose. Sirris est l’un des partenaires du projet européen Triple-A-COAT, dans le cadre duquel des revêtements antimicrobiens, antifongiques et antiviraux à base de nanocellulose sont mis au point en vue de leur application sur des surfaces à taux de fréquentation élevé. Le rôle de la structuration superficielle par rapport à l’activité antimicrobienne est également étudié dans le cadre du projet BBBC (Belgium Builds Back Circular) portant sur la conception biomimétique de fonctionnalités superficielles par texturation au laser femtoseconde

Vous êtes intéressé par nos recherches sur les revêtements de surface et la fonctionnalisation ?

Contactez-nous !

*Cet article a été publié dans le cadre du **projet BBBC, avec le soutien du SPF Économie belge**.*

Plus d'informations sur notre projet de recherche sur la texturation par femtolaser pour la fonctionnalité des surfaces

FEMTOFUNC | Fabrication de composants à fonctionnalité de surface biomimétique par texturation au laser femtoseconde

P. Samyn, J. Everaerts, A.M. Chandroth, P. Cosemans, O. Malek, A feasibility study on femtosecond laser texturing of sprayed nanocellulose coatings, Carbohydrate Polymers 340 (2024), 122307.

Auteurs

Pieter Samyn

Olivier Malek