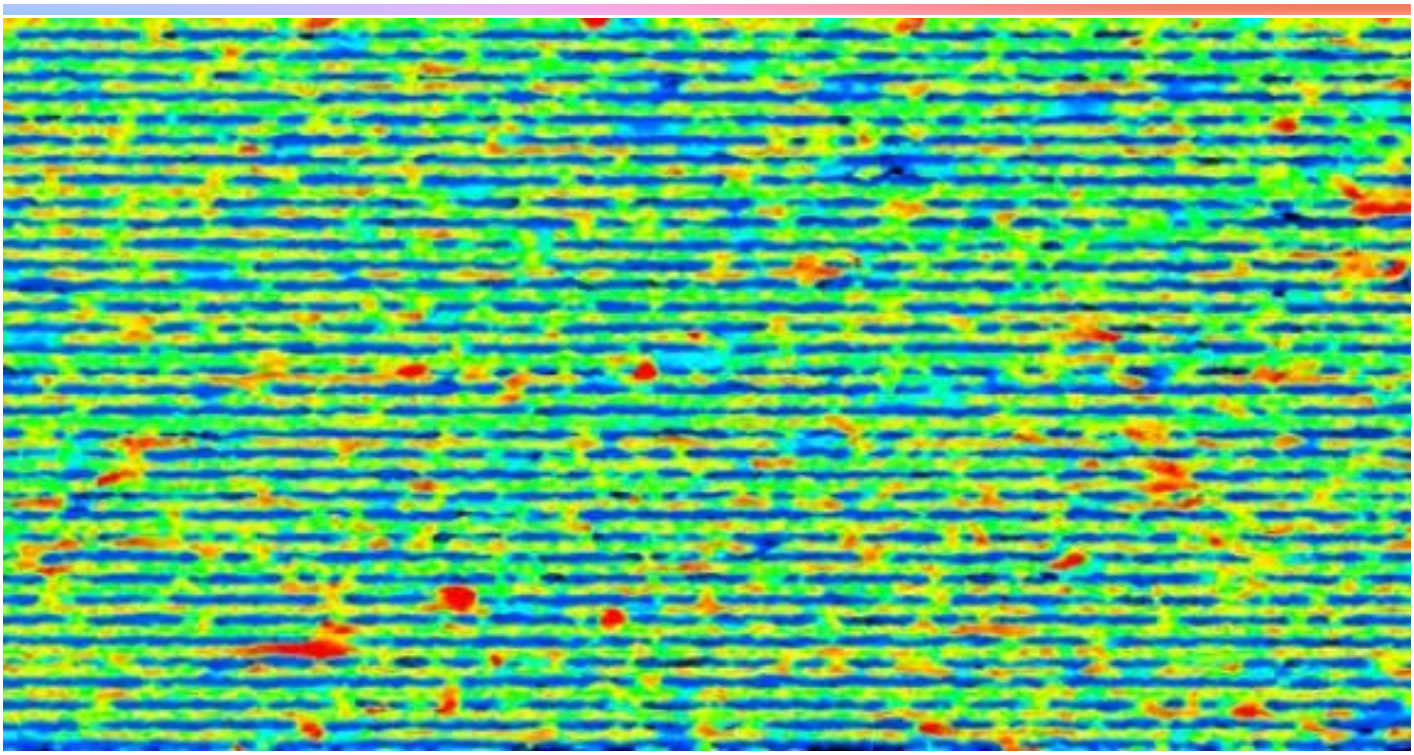


High-throughput femtoseconde-lasertexturering van zachte biopolymeercoatings

20 augustus 2024, 15:41

Pieter Samyn
Olivier Malek

Functionele biopolymeercoatings

Er is toenemende belangstelling voor nanocellulose, een natuurlijk materiaal met gunstige eigenschappen voor de coatingindustrie dat gemakkelijk door middel van spraytechnologie kan worden aangebracht. Nanocellulose-materialen zijn reactief en moeten meestal chemisch worden gemodificeerd voor extra functionaliteiten, zoals weerstand tegen water of bacteriën. We kunnen door middel van fysische processen ook specifieke oppervlaktetexturen aan de coatings toevoegen om hun eigenschappen te verbeteren. Daarom heeft Sirris haar expertises in coating en oppervlaktefunctionalisering met succes gebundeld in een haalbaarheidsstudie naar femtoseconde-lasertexturering van spraycoatings op basis van nanocellulose.

De studie, die onlangs is gepubliceerd in Carbohydrate Polymers, een wetenschappelijk tijdschrift van wereldklasse, toont potentieel voor het beheersen van oppervlakte-eigenschappen van zachte coatings voor interactie met water of antibacteriële effecten. Voor het eerst konden onderzoekers van Sirris aantonen hoe femtoseconde-lasertexturering van zachte biopolymeercoatings als hoge-doorvoer-methode voor patroonvorming van oppervlakken kan worden gebruikt.

Nanocellulose in coatings en functionele apparaten

Cellulose nanovezels (CNF) of cellulose nanokristallen (CNC) zijn een groep van technisch vervaardigde nanomaterialen die doorgaans geschikt zijn voor functionele coatings, met intrinsieke hydrofiele eigenschappen, wat maakt dat ze zelfreinigend, biocompatibel en biologische afbreekbaar zijn. Cellulosematerialen zijn de meest voorkomende biopolymeren op aarde en zijn afkomstig van primaire hernieuwbare bronnen zoals hout, eenjarige gewassen, bacteriën of algen. Met het oog op een circulaire economie geniet het de voorkeur om nanocellulose te produceren uit reststromen van landbouwproducten, industrieel slib en afval, of pulp- en papierresten die niet meer in aanmerking komen voor recycling.

We hebben intussen de synthese en structuur-eigenschap-relatie van nanocellulose-materialen onder de knie en hebben duurzame productiemethoden voor energiebesparing en terugwinning op punt gesteld. Daarnaast zijn er onlangs verschillende kwaliteiten op industriële schaal beschikbaar geworden. Spraycoating is een voorkeurstechnologie voor grootschalige toepassing vanwege zijn geschikte reologische eigenschappen met afschuifverdunning. De afzetting van nanocellulose-coatings van CNF en CNC via industriële sprayprocessen kan goed worden beheerd (Figuur 1).

Figuur 1. Spraycoating van nanocellulose-coatings, (a) coatings van cellulose nanovezels (CNF), (b) coatings van cellulose nanokristallen (CNC) (Dankbetuigingen: SEM-afbeeldingen ter beschikking gesteld door S. Eyley, KULeuven, SuSMAT, Kortrijk)

Het hygroscopische gedrag en de optische eigenschappen van nanocellulose-coatings zijn relevant in analytische microfluïdische apparaten, fotonische materialen, optische apparaten, zonnecellen, katalysatoren en apparaten voor kunstmatige fotosynthese, fotochemische cellen, membranen, antiwrijvingscoatings en smeermiddelen. In combinatie met een welomlijnd ruwheids- en porositeitsbeheer kunnen nanocellulose-coatings dienen als absorbeermiddel, vochtbuffer of bioscaffolds met gerichte bacteriegroei en celinteracties.
Voor geavanceerde coatingprestaties met beheerde oppervlaktebevochtiging en gericht vloeistoftransport hebben we echter nood aan een beter oppervlakteontwerp en een economisch haalbare replicatie van oppervlaktearchitecturen met zeer kleine afmetingen.

Patroonvorming van nanocellulose-oppervlakken

We hebben de patroonvorming van nanocellulose-coatings onder de loep genomen om biomimetische kenmerken te creëren met hiërarchische oppervlakteruwheid en beter porositeitsbeheer. We hebben op laboratoriumschaal verschillende patroontechnieken toegepast op natuurlijke polymeren of aanverwante papierproducten, volgens bottom-up en top-down benaderingen. We verhullen daarbij niet dat technologische inspanningen voor microtexturering van nanocellulose-oppervlakken op grotere schaal achterblijven.

De microtexturen op nanocellulose-oppervlakken worden voornamelijk gecreëerd door middel van een bottom-up benadering, waarbij zelfassemblage wordt gereguleerd door intermoleculaire krachten en oppervlakte-interacties, hetzij in aanwezigheid van mechanische belasting, magnetische velden of elektrostatische velden. Door elektroforetische afzetting verkregen we complexe hiërarchische structuren met georiënteerde nanofibrillen en hoge ruwheid van nanocellulose-coatings. Daarnaast verkregen we lokale oppervlaktepatronen met optische kenmerken door het beheren van de verdampingstijd tijdens het drogen van een nanocellulose-suspensie en differentiële verdamping over het oppervlak.

De top-down patroonvorming van nanocellulose-coatings is afhankelijk van batchprocessen zoals micro-embossing of nat stampen. Daarbij kunnen we elastomere substraten met een regelmatig ribbelpatroon, vervaardigd door uitrekken en oxidatie, gebruiken als sjabloon om uitgelijnde nanocellulose-patronen over te brengen. We kunnen deze technologie opschalen naar roll-to-roll productie of flexodruk, in combinatie met dompel- en spraycoating van de nanocellulose-dispersie op een sjabloon. Roll-to-roll nano-imprint-lithografie werd verder ontwikkeld als hoge-doorvoer-methode voor de replicatie van regelmatige patronen met micropilaren op nanocellulose-films met beheer van het ruwheidsprofiel en specifieke optische kenmerken.

Voor de huidige methoden moet de vloeistofstroom van nanocellulose nauwkeurig worden beheerd met strikte reologische kenmerken, beheer van ontwatering of additieven om de mechanische eigenschappen van de coating te moduleren. Daarnaast moet het economisch haalbaar zijn om replicamatrijzen voor lithografie te vervaardigen en moet er een groot bemonsteringsvolume met lage flexibiliteit beschikbaar zijn. Met het oog op industriële opschaling hebben we nood aan directere bewerkingsmethoden met lage verwerkingskosten, hoge doorvoer, flexibiliteit en micrometerprecisie.

Onderzoek naar femtoseconde-lasertexturering voor zachte oppervlakken

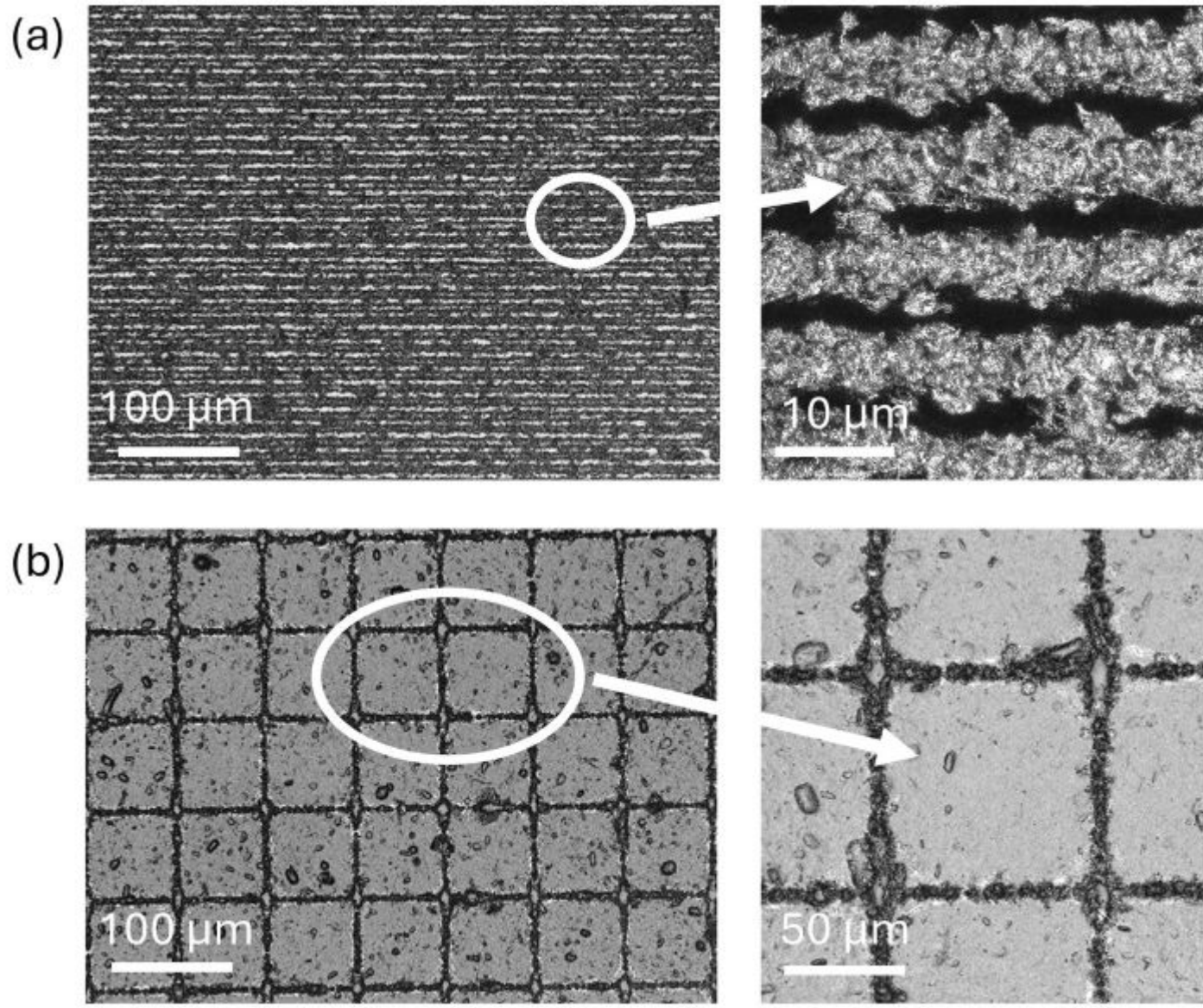
We hebben lasertexturering onlangs geïdentificeerd als uitstekende technologie om de oppervlaktebevochtigbaarheid van verschillende materialen te wijzigen, enerzijds vanwege de relatief eenvoudige en robuuste resultaten, anderzijds vanwege de wijdverbreide beschikbaarheid van betaalbare industriële laserbronnen. Sirris heeft de voorbije jaren ervaring opgedaan in technologie voor het functionaliseren van hardmetalen of keramische oppervlakken, waarbij gebruik wordt gemaakt van wrijvingsbeheer, slijtagevermindering, kleurovergangen of superhydrofobiciteit.

Zo kan ultrakort pulserende (femtoseconde) lasertexturering ook worden toegepast op zachte polymeersubstraten of lakken en coatings, voor een schone verwerking zonder thermische schade. Hoewel femtoseconde-lasertexturering onlangs is geëvolueerd tot een nieuwe, volwassen en robuuste technologie met veelbelovende resultaten, werd deze techniek nog niet toegepast voor het modelleren van nanocellulose-coatings.

In een recent gepubliceerde studie van onderzoekers van Sirris werd patroonvorming van gespraycoate nanocellulose-coatings door femtoseconde-lasertexturering gepresenteerd als

nieuwe techniek om functionele nanocellulose-coatings te verkrijgen. We hebben in het bijzonder het operationele verwerkingsvenster van laserpulssnelheden en vermogensinstellingen bepaald voor het creëren van een- en tweedimensionale oppervlaktepatronen (Figuur 2). Nauwgezet beheer van verwerkingsparameters is hierbij belangrijker dan bij harde oppervlakken. Door de bijzonder kleine variaties in instelparameters kunnen we patroonkenmerken en morfologieën van de patronen van nanocellulose-oppervlakken veranderen. De mechanische eigenschappen van de coating kunnen verschillen, afhankelijk van de herkomst van de nanocellulose-coating met cellulose nanovezels (CNF) of cellulose nanokristallen (CNC). Toch vonden we uiteindelijk een goede correlatie tussen coatingdichtheid en laserablatieomstandigheden.

De belangrijkste uitdaging was de hoge intrinsieke oppervlakteruwheid van de nanocellulose-coatings, waardoor we de verwerkingsomstandigheden moesten aanpassen om blijvend homogene oppervlaktepatronen te verkrijgen.



©Sirris
Figuur 2. Nanocellulose-coatings met laserpatroon met (a) eendimensionale patronen, (b) tweedimensionale patronen. Patroongroottes worden beperkt door de laserpuntgrootte en kunnen minimaal 15 µm bedragen

Vooruitzichten en toekomstperspectieven

Het onderzoek heeft aangetoond dat femtoseconde-lasertexturering kan worden toegepast als industrieel schaalbare technologie voor het vormen van patronen op nanocellulose-coatings. Dit biedt nieuwe mogelijkheden voor oppervlaktebewerking met hoge doorvoer in tal van toepassingsdomeinen waar de hydrofiliteit van het oppervlak moet worden afgestemd. We hebben in het bijzonder geëvalueerd hoe we waterdruppels op de van een patroon voorziene oppervlakken kunnen stabiliseren, en tegelijkertijd de hydrofiele eigenschappen van de nanocellulose-coating kunnen behouden. Volgens de huidige benadering combineren we lasertexturering van nanocellulose-coatings met chemische oppervlaktemodificatie om de bevochtigbaarheid specifiek af te stemmen of superhydrofobe en antibacteriële oppervlakte-eigenschappen te ontwikkelen.

Lees de volledige tekst van de haalbaarheidsstudie.

Sirris is verder betrokken bij het ontwerp van antimicrobiële oppervlakken op basis van nanocellulose-coatings, waarbij we chemische functionalisering en oppervlaktepatronen van de nanocellulose-materialen combineren. Sirris is partner in het Europese project Triple-A-COAT, dat zich richt op de ontwikkeling van antimicrobiële, antivirale en antischimmelcoatings op basis van nanocellulose voor gebruik op intensief gebruikte oppervlakken. De rol van oppervlaktepatronen bij antimicrobiële activiteit wordt ook onderzocht in het BBBC-project (Belgium Builds Back Circular) over biomimetisch ontwerp van oppervlaktefunctionaliteiten door middel van femtoseconde-lasertexturering.

*Dit artikel werd gepubliceerd in het kader van het **BBBC-project, met steun van de Belgische FOD Economie**.*

Interesse in ons onderzoek naar oppervlaktecoating en functionalisering?

Contacteer ons!

Meer informatie over ons onderzoeksproject naar femtolaser texturering voor oppervlaktefunctionaliteit

FEMTOFUNC | Componenten met biomimetische oppervlaktefunctionaliteit maken met behulp van femtosecond lasertexturering

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