

A strukturált felület gátolja a baktériumok megtapadását

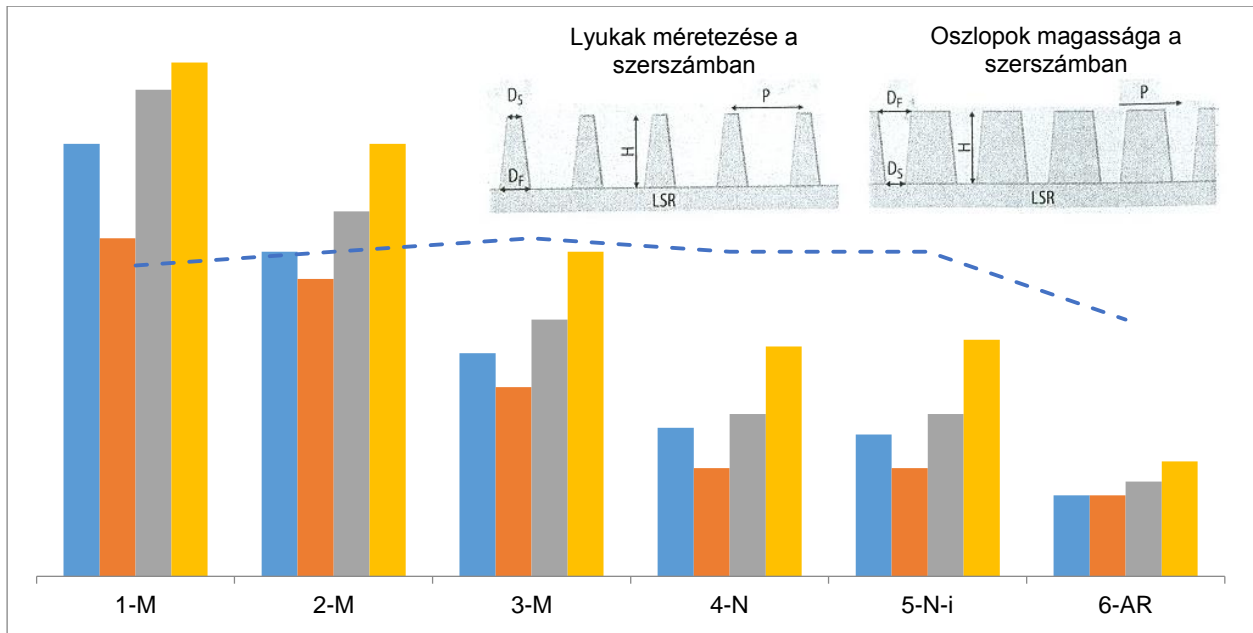
Speciális mikroméretű geometriával kialakított szilikon filmfelület a baktériumok elleni védekezésben kínál kedvező megoldást. A Thüringiai Textil-és Műanyag Kutatóintézet különleges szerszámmal különböző mikroméretre strukturált víztaszító és szupervíztaszító szilikon fóliaréteget állított elő. Az optimális méretezésű szilikonfelületet beható optikai vizsgálatok elvégzését követően a nedvesíthetőségre jellemző kontaktszög meghatározásával választották ki. Kezdeti kísérleti tapasztalatok alapján a baktériumok tapadásának hatékonyabb megakadályozása önkenő szilikon kombinációval fokozható.

Tárgyszavak: mikroszerkezet; szilikonfilm; molyszem-szerkezet; felületi feszültség; kontaktszög; baktériumok tapadása.

A gyógyászatban a több hétig elhúzódó kezelések során a sérült felületen megtapadó kórokozók miatt gyakran fellépő fertőzés komoly komplikációt okoz. A baktériumok elleni védekezésben a csírák tapadásának megakadályozására különleges felületkiképzésű fóliák kialakításával végeztek kísérleteket. A Thüringische Institut für Textil-und Kunststoff-Forschung (TITK), Rudolstadt kutatói a Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) által támogatott *FuE-projekt* keretében kidolgozott technológiával kétkomponensű folyékony szilikonból különböző, periodikusan váltakozó felületstruktúrájú fólialemezeket készítettek és vizsgáltak.

A kísérletek folyamán először a speciális mikroszerkezetű felület megformálását nikkellémezen plazmamaratással és litografikai eljárással végezték. Később a temicon GmbH, Dortmund egyedi kialakítású szerszámmal leképzett negatív polimerfelületeket állítottak elő, amelyeken mikroméretűre strukturált szilikonfilm felületeket hoztak létre. A jellegzetes geometriájú felületeket 25 °C-os befroccsöntő egységgel, 140–160 °C-os szerszámban 20 kg *SilcoStar 902E* szilikon tárolására alkalmas LSR – hordópréssel felszerelt Wittmann Battenfeld GmbH, Menerzhagen *Eco Power 180/350* típusú elektromos fröccsgépen készítették. A speciálisan megtervezett struktúrájú felületformázást a szerszámban 500 mbar vákuumban 5 perc vulkanizálással alakították ki.

Az optimális szilikonfelület kiválasztásához első lépésben a kísérlethez előállított speciális mikroszerkezetű, az *1. ábrán* látható módon kialakított, szisztematikusan csökkenő mélységű, többféle geometriájú függőleges oszloprendszerből álló felületegységeket optikai vizsgálattal jellemezték. Az előállított minták geometriai adatait az *1. táblázat* tartalmazza.



1. ábra Mikroméretezésű szilikon felületek fröccsöntéséhez alkalmazott szerszám geometriai méretezése

1. táblázat

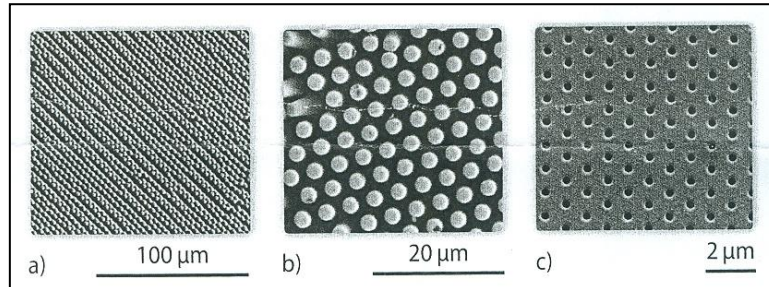
Speciálisan strukturált felületű minták geometriai adatai

Strukturált felület jele	1-M	2-M	3-M	4-N	5-N-i	6-AR
D_F , μm	8	3	1	0,45	0,45	0,25
D_S , μm	3	2	0,7	0,33	0,33	0,25
P , μm	15	4	1,5	0,55	0,55	0,29
H , μm	20	8,5	3	1,2	1,2	0,35
AR	2,5	2,8	3	2,7	2,7	1,4

A digitális 3D-fénymikroszkópos és a REM felvételek igazolták, hogy a strukturált felület formálásához használt negatív fröccsöntő szerszám 0,7 μm -es lyukátmérője valóban a fröccsöntött fólián kialakított oszlop D_S méretével egyezik, az ábrán P-vel jelölt 1,5 μm távolság pedig az oszlopok közötti távolságnak felel meg.

Az 1. ábrán feltüntetett felületstrukturált minták közül az $AR \geq 2,7$ képarány (Aspect Ratio) értéknél a 4-N jelű méretezésnél csökkenő oszlopgeometria figyelhető meg. Azt tapasztalták, hogy ezzel a méretezéssel készített szilikonminta Shore A keménysége nem volt megfelelő, a parányi üregek a beragadt szilikon miatt további minta elkészítésére alkalmatlannokká váltak, ezért ennek a méretezésnek elkészítették az 5-N-i jelzésű inverz változatát. Er-

ről a felületről már nagy pontosságú képaránnyal ($AR=2,7$) tudtak jó minőségű REM felvételeket készíteni (2. ábra). A parányi méretűre strukturált 6-AR jelű – optikai területen alkalmazható – felületet *Mottenaugen (molyszem)-szerkezetnek* nevezték el. Ez a miniatűr szerkezet a látható fény színek tartományában a fényáteresztés igazolására alkalmazható.



1. ábra A polimer felületen kialakított periódikus szerkezetek:
a) és b): Struktur 2-M; b) Struktur 5-N-i

A speciálisan kialakított felület jellemzése

A szilikon felületen kialakított mikroszerkezet szabad szemmel nem ismerhető fel. A visszatükröződő fény színfelbontását egyedül a 6-AR jelű parányi mikroszerkezet igazolta. Ezen optikai anyagok felületi strukturáltsága utánozza a lepke szemének felszínszerkezetét, és a fényvisszaverődés révén kiküszöböli a fényvesztést.

A baktériumtapadás megakadályozása szempontjából optimális felület kiválasztáshoz a TITK kutatói további fizikai-kémiai vizsgálatokat végeztek. Az *LSR 2060* típusú szilikonból 1-M, 2-M és 3-M jelű geometriával strukturált felületeken DSA 100 *Drop Shape* analizátorral (gyártó: Krüss GmbH, Hamburg) meghatározták a felületi feszültséget, a poláris és a diszperz felületi feszültséget, valamint mérték a felület nedvesíthetőségét jellemző kontaktszög értékeket. Összehasonlítás mérésüket végeztek a sima, nem strukturált *LSR 2060* típusú szilikon minta felületén, fényes teflon, fényes PP és fényes üveglap lemezekben. A mérési eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

A strukturált felületű szilikon mintákon mért felületi feszültséghez képest a kezeletlen felületű azonos szilikon típus és a többi vizsgált minta felületi feszültség értékei nagyságrenddel voltak nagyobbak. Az összehasonlított mintákon a folyadék adhézió előrejelzése céljából fontos adatként szolgáló diszperz felületi feszültség értékekben (σ_{diszperz}) ugyancsak szembe-tűnő a különbség a strukturált felületű minták előnyére. A szakirodalomban a nedvesíthetőség jellemzésére használt felületi feszültség elnevezés nem feszültség jellegű mennyiség, hanem a mértékegységnek megfelelően a molekuláris erőkkel összefüggő munkát jelenti.

A nedvesíthetőség jelölésére használt kontaktszög értékek szerinti rangsorolás megegyezik a felületi feszültségértékek alapján kapott sorrenddel. Az *LSR 2060* típusú szilikonminta 1-M, 2-M és 3-M jelű strukturált felülete a vízzel szemben mért 150° -hoz közeli legmagasabb kontaktszög érték kifejezetten nedvességtaszító, szupervíztaaszítónak nevezhető viselkedésre utal. A vizsgálatok során azt tapasztalták továbbá, hogy a $117^\circ \pm 2^\circ$ kontakt-

szög értékű 5-N-i jelű felület szinte a teflonéval azonos értéket mutatott, a molyszem-szerkezetű 6-AR felületen mért kontaktszög-érték pedig a kezeletlen, sima felületű szilikon mintához volt hasonlítható.

2. táblázat

Speciálisan strukturált és kezeletlen felületeken meghatározott felületi feszültség és kontaktszög értékek

Vizsgált anyag megnevezése	σ_{diszperz} , mN/m	$\sigma_{\text{poláris}}$, mN/m	σ , mN/m	Kontaktszög H ₂ O, °
LSR 2060, 1-M, 2-M, 3-M felületű minták	2,8	0,3	3,1	146 ± 6
LSR 2060 sima felületű minta	18,9	0,2	19,1	112 ± 1
Fényes teflon (referencia)	18,6	0,5	19,1	116 ± 1
Fényes PP (referencia)	30,5	0,7	31,2	28 ± 2
Fényes üveg (referencia)	–	–	–	28 ± 3

Szabványosítható biofilm vizsgálat kifejlesztése

Az előzőekben részletezett elemzések csak a különböző geometriával kialakított felületű minták összehasonlíthatóságát tették lehetővé, korrekt értékelésükhöz azonban irányelvekre, szabványosítható minősítésre volt szükség. A TITK a műanyagfelületen képződő biofilm vizsgálatához új, egyszerű és kvázi szabványosan használható módszert fejlesztett ki, amelyvel a különböző műanyagfelületek a megtapadt baktériumok adhéziója alapján minősíthetők és kvantitatíve összehasonlíthatók. Az alkalmazott csíratesztek, közegkoncentrációk és inkubációs körülmények beazonosíthatók. Az újonnan kifejlesztett teszt eredménye egyértelmű akár pozitív, akár negatív véleményezéssel záruló biofilm ellenőrzése esetében.

Bevizsgált és a kereskedelemben beszerezhető, egyértelműen pozitív minősítésű ellenőrző anyag nem állt rendelkezésre. A kutatók ezért speciális poliamid és TITK fejlesztésű antibakteriális additív alkalmazásával olyan pozitív viszonyítási kontroll tesztanyagot hoztak létre, amelyen semmilyen, vagy csak igen csekély mértékű biofilm képződött. A biofilm kimutatásához indikátorként alkalmazott tiazolil-kék színezőanyag élő kórokozó sejtek hatására sárga színről liláskék színűre változott.

A kutatóintézet által kifejlesztett tesztet valamennyi LSR 2060 típusú szilikonból készült, az 1. ábrán bemutatott geometriával strukturált felületen kipróbálták. Azt tapasztalták, hogy a 4 N-i felület szerkezettel erősebb baktériumgátló hatást értek el, mint a legfinomabb felület kiképzésű 3-M méretezésű mintánál. A molyszem-szerkezetű felületkialakítás sem bizonyult megfelelőnek a biofilm képződés drasztikus csökkentésére.

További kísérletek alapján arra következtettek, hogy önkenő *Silopren LSR 4655 SL*, Momentive szilikon kombinációjával előállított szilikonból készült strukturált felület a projekt keretében vizsgált *LSR 2060* típusú szilikonhoz képest dinamikus körülmények között tanúsított viselkedése alapján hatékonyabb biofilm gátlónak ígérkezik.

Összeállította: Dr. Pásztor Mária

Biofilmbildung prüfen und vermeiden (Strukturierte Kunststoffoberflächen vermindern Anhaftung von Bakterien) = Kunststoffe 4. sz. 2020. p. 37–40.