

A XXI. század technológiája a nano

A napjainkban szédületes fejlődésnek indult és szinte valamennyi gazdasági ágazatban megjelenő nanotechnológia lesz várhatóan a XXI. század meghatározó technológiája. A nanoméretű töltőanyagokat tartalmazó nanokompozitoknak már rohamosan bővülő piaca és alkalmazási területei vannak, de hamarosan felzárkóznak ehhez az átlátszó karcálló lakkok. Legújabb ágát képviselik ennek a technológiának a funkcionális nanostrukturált felületek, amelyek tulajdonságait (fényvisszaverés, fényszóródás, öntisztulás) segítségükkel tetszőlegesen lehet majd szabályozni.

Tárgyszavak: nanotechnológia; nanorészecskék; nanotöltőanyagok; nanokompozitok; karcálló lakk; nanostrukturált felület; kockázatvizsgálat.

A nanotechnológiára úgy tekintenek, mint a XXI. század legfontosabb műszaki újdonságára, és jelentőségét a polimerek felfedezéséhez és a mikroelektronika bevezetéséhez hasonlítják. A törpe részecskék (a „nano” görögül törpét jelent) alkalmazásával az anyagok tulajdonságait szinte tetszés szerint lehet változtatni. A nanoméretű töltőanyagokat tartalmazó ún. nanokompozitok piaca már 2007-ben 300 millió USD volt, 2010-ben pedig 700 millió USD-re becsülik. 2015-ig a teljes nanotechnológia évi 10%-os növekedését, és teljes piaci értékét 750 milliárd EUR-ra jósolják. Ezen belül a fénydiódák, kijelzők, világítótestek 13 milliárd EUR-t, a karcálló lakkok 2-3 milliárd EUR képviselnek majd.

A nanotechnológiáról sokat beszélnek és sokféle dolgot mondanak és írnak róla. Hivatalos meghatározása még nincs, megfogalmazásán a nemzetközi szabványszervezet, az ISO egyik munkacsoportja dolgozik. A „nanotechnológia” népszerű szakkifejezés, amelyet tudományágakat átívelően, nagyon széles tevékenységi körökben alkalmaznak, pl. az analitikában, az elektronikában, a biomedikai alkalmazásokban, a környezettechnológiában, az energiatermelésben. *Egy nanométer (nm) 10^{-9} m, 50 000-szer kisebb, mint az emberi haj átmérője.* A nanotechnológia kutatásának és alkalmazásának jelenlegi tárgyát azok a részecskék és szerkezetek képezik, amelyek méretei 1-100 nm közé esnek. Ebben a mérettartományban az anyagok villamos, mágneses, optikai, mechanikai és kémiai tulajdonságai eltérnek a makroméretben ismert tulajdonságoktól. Ha ilyen nanoméretű részecskéket hozzákevernek szokásos anyagokhoz, pl. polimerekhez, azok tulajdonságait is megváltoztatják. Matematikailag tekintve a 100-999 nm közötti méretű részecskék is a nanotartományba tartoznak, de ezek már a mikrorészecskékhez hasonlóan viselkednek, ezért ezeket nem sorolják a „nanotechnológia” körébe, hanem szubmikrorészecskéknek tekintik őket.

A nanotechnológiában a németek magukat élvonalnak tartják, amit a BASF cég 2000 és 2006 között ebben a témakörben benyújtott 350 szabadalmi igényével is alátámasztanak. A kutatás és az alkalmazás közötti idő és távolság lerövidítésére Ludwigshafenben „**Joint Innovation Lab – Organic electronic**” néven alapítottak egy laboratóriumot, amelyben a **Philips** és az **Osram** céggel együttműködve dolgoznak szerves fénydiódák kifejlesztésén. A nanotechnológia iránt érdeklődők számára pedig adatbankokat tettek fel az internetre – ilyen pl. a *Studie EVA_1* vagy a **VDI Nano-Map**-je – ahonnan ismereteket szerezhetnek. A német Oktatási és Kutatási Minisztérium (**BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung**) támogatja a nanotechnológia fejlesztését. Az egyik ilyen támogatott projekt a „*Leichtbau-Nanos*”, amelynek keretében nanorészecskékkel módosított hőre lágyuló kompozitokat fognak kifejleszteni a „*Nanomobil*” autókarosszériájának gyártásához. A karosszériaelemek merevségét, hőalaktartóságát eddig üvegszállal, talkummal, vezetőképességét korommal növelték, ami súlyosabbá tette az elemeket. Nanorészecskékkel úgy akarják ezeket a tulajdonságokat megtartani vagy javítani, hogy az elemek egyúttal könnyebbek legyenek. A kitűzött cél megvalósításában az autógyártókon kívül két kutatóintézet, valamint a **Süd-Chemie** és a **Sabic Innovative Plastics** cég is rész vállal.

A **BASF** kutatási központjának egyik vezetője a *nanotechnológiai tevékenység három piaci szintjét különbözteti meg*. Az első a nanorészecskék előállítása, amelyek lehetnek szerves vagy szervetlen anyagok. A második a nanorészecskéket tartalmazó keverékek, az ún. nanokompozitok elkészítése. A harmadik az olyan termékek gyártása (szolárcellák, textilek), amelyek felületét módosították nanotechnológiával.

Nanorészecskék és nanokompozitok

A nanorészecskéket töltőanyagként keverik hőre lágyuló műanyagokba, aminek a következő okai lehetnek:

- a nanorészecskék méretei kisebbek a látható fény hullámhosszánál, ezért nem verik vissza, és nem is szórják a fényt, lényegében láthatatlanok; így nem rontják az átlátszó polimerek átlátszóságát, és felületen alkalmazva nem változtatják meg az alapfelület optikai megjelenését;
- a nanorészecskék már nagyon kis (0,5–5%) mennyiségben jelentősen javítják a polimer merevségét és szilárdságát, kis méreteikből eredő rendkívül nagy fajlagos felületük miatt ugyanis sokkal nagyobb a mátrix és a töltőanyag határfelülete, mint a szokásos töltőanyagok bekeverésekor. A csekély mennyiség miatt a viszonylag drága nanotöltőanyagok alkalmazása sem drágítja meg túlságosan a keveréket;
- a nanotöltőanyagokkal a polimernek olyan tulajdonságokat is lehet adni, amelyeket szokásos töltőanyagokkal nem lehet elérni, pl. újszerű színárnyalatot, villamos vagy hővezető képességet, dielektromos vagy mágneses jelleget, katalitikus vagy antibiotikus hatást.

A nanotöltőanyagok bizonyos fajtáit már évek, sőt évtizedek óta alkalmazzák, sokkal régebben, mint ahogyan a „nanotechnológia” mint fogalom megszületett. Ilyen

nanotöltőanyag a *nanoméretű amorf korom*, amelyet gumikeverékekbe és polimerekbe pigmentként és erősítőanyagként adagolnak. A „klasszikus” nanorészecskék közé tartozik a *szilícium-dioxid és a titán-dioxid*.

A *superparamágneses nanorészecskék* az újabb termékeket képviselik. A ferromágneses részecskék (pl. a magnetit) polimerbe bekeverve is mágnesezhetők külső mágnessel. Ennek oka a részecskékben lévő dipólusok orientációja. Ha a mágnesezés hatása megszűnik, a dipólusok rendezettsége is felbomlik, a polimer is elveszíti mágnesezés jellegét. A **Leibnitz Institute for New Materials (INM, Saarbrücken)** ezt az elvet alkalmazza HIV- és hepatitisvírusok automatikus kimutatásához. Az intézetben a nanoméretű ferromágneses részecskéket üvegszerű (szilánalapú) anyagba ágyazzák, amelyből mikrométerű golyókat (nanokompozit-mikrorészecskéket) készítenek, amelyek erre a célra kialakított felülete specifikusan megkötö a vírusok DNA-ját. A DNA-t tartalmazó mikrogömbök mágnessel kiemelhetők a vérmintából, és felhasználhatók a további vizsgálatokhoz. Ugyanezt az elvet fel lehet használni a szennyvízben található nehézfémionok eltávolítására is. Ebben az esetben a mikrogömbök felülete a fémionokat vonzza magához. A gömböket mágnessel kiemelik, majd kémiai eljárással eltávolítják felületükről a fémet, és a mikrogömböket ismételtelen felhasználják.

A *nanokompozitok alkalmazásának újabb példái a nanoezüstöt tartalmazó polimerbevonatok orvosi eszközök felületén*. Ezekből a bevonatokból folyamatosan diffundálnak a felületre a baktériumölő ezüstionok. Ilyen bevonattal készítenek belső hallókészüléket (**AudioService/EPG/INM**), katétereket és más orvosi eszközöket (**Bio-Gate**). A jövőben elképzelhető az ilyen fertőtlenítő bevonat gyógyszerek vagy élelmiszerek csomagolóeszközein is.

A **BASF** olyan nanokompozitot fejlesztett ki, amelyben kemény és „lélegző” szilárd szerves nanorészecskéket rugalmas és víztaszító szerves anyaggal társított. A *Col.9* jelű keveréket homlokzatok bevonására ajánlják. A bevonat nagyon szép színt ad a homlokzatnak, amelyet meg is őriz, mert taszítja magától a szennyeződést.

Az amerikai fogorvosok szövetségének kutatóközpontja (**American Dental Association's Paffenbarger Research Center**) a *fogtömésekhez* fejlesztett ki egy új *nanokompozitot*. A szokásos tömőanyagba olyan mikrogömböket kevernek, amelyek foszfát- és kalciumionokat bocsátanak ki, ezzel erősítik a fog kristályszerkezetét és megvédik azt a savas hatástól. Viszonylag sok ilyen részecskére van szükség és ezek mechanikailag gyengék, ezért idővel a teljes tömés meglazul. Az új nanokompozitba 50 nanométeres részecskéket vittek be; ebből több stabilizáló ion szabadul ki, és a tömésen belül kevesebb helyet foglal el, ezért több hely marad az erősítőanyag számára.

A nanoanyagok közül a legnagyobb érdeklődés a *szénnanocsöveket* kíséri. Ezeket úgy lehet elképzelni, hogy egy hatszögű grafitgyűrűből felépülő sík lapot felgöngyölnek néhány nanométer átmérőjű csövekkévé. A csövek falát egyetlen réteg vagy több réteg is képezheti. A szénnanocsövek húzószilárdsága 60-szor nagyobb az acélnál, de hatszor könnyebbek az acélnál. Az elektromosságot úgy vezetik, mint a réz, a hőt mint a gyémánt. Ha egy szénnanocsövekből készült rudat feszítenének ki a Föld és a Hold között, az elméletileg törés nélkül elviselné a saját súlyát. Rendkívül nagy fajlagos felületük miatt a szénnanocsöveknek nagyságrendekkel jobb az erősítő hatása a

szokásos szénszálakénál. Elektronszerkezetük miatt fekete színűek, és mivel hosszúságuk 100 nm körül van, csökkentik az átlátszó polimerek fényáteresztő képességét. Mivel a szénnanocsöveket jelenleg még nagyon kis mennyiségben állítják elő, nagyon magas az áruk, ezért csak luxuscikkekben (pl. golfütőkben, teniszütőkben) és üreszközökben alkalmazzák. A gyártás növekedésével párhuzamosan azonban hozzáférhetőbbek lesznek. A **Bayer MaterialScience** cég, az egyik vezető gyártó *Bay Tubes* márkanévű termékének évi 100 kg-os mennyiségét középtávon 3000 t/év-re akarja emelni. A **Bayer** cég a 2008-as tokiói *Nanotech kiállításon* bemutatta az első műanyagbordót, amelyben robbanásveszélyes zónába is szállíthatnak anyagokat. Az *F1-EX* jelű hordó külső polietilénrétegébe ugyanis *Bay Tubes* szénnanocsöveket keverték, amitől ez a réteg villamosan vezetővé, ezáltal feltöltődésmentessé vált.

Más anyagokból is gyártanak nanoszerkezeteket. Egy új amerikai cég, a **Natural Nano halloysite** alumínium-szilikát agyagásványból készített nanocsöveket tartalmazó kompozitokat kínál a gépkocsigyártás, az űrhajózás és az elektronika számára.

Nagy kihívást jelent a nanotechnológia számára a szintetikus nanorészecskék előállítása. Ennél is nagyobb kihívás azonban ezeknek a részecskéknek a stabilizálása a szuszpenziókban és ömledékekben. Rendkívül nagy szabad felületük révén ugyanis nagyon könnyen agglomerálódnak és nagyobb méretű részecskéket alkotnak. A jelenség megfelelő felületmódosítással és diszperziós technikával gátolható meg. Általában felületkezeléssel bizonyos oldószerekben oldhatóvá, ill. monomerekkel, oligomerekkel, polimerömledékekkel összeférhetővé teszik a nanorészecskéket. Másik lehetőség ezek mesterkeverékbe vitele. Egy amerikai cég, a **Cyclics** németországi (Schwarzheide) üzemében szabadalommal védett eljárásával makrociklikus poli(butilén-tereftalát) (PBT) mátrixba visz be nanotöltőanyagokat. Ennek a polimernek a rendkívül kis viszkozitású ömledékében könnyű eloszlatni a töltőanyagot, és ez a PBT számos más polimerrel összefér, ezért különösen alkalmas mesterkeverékek előállítására. *A mesterkeverékek segítségével sokféle műszaki műanyagba lehet nanotöltőanyagot bevinni.*

A **BASF** is kifejlesztett egy PBT-alapú termékcsaládot *Ultradur High Speed* márkanévvel. A PBT-be szerves nanorészecskéket kevernek. Ezek a PBT-k a szokásos típusok 260 °C-os feldolgozási hőmérséklete helyett 230 °C-on fröccsönthetők, és folyóképességük 50%-kal nagyobb. A belőlük készített formadarabok zsugorodása és vetemedése nem tér el a hagyományos anyagokétól.

A bemutatott példák csak érzékeltetni akarják a nanokompozitok széles lehetőségeit a tudomány és a technika különböző területein. A nanotöltőanyagok még éppen csak beléptek a piacra, és számtalan kutatóhelyen lázasan dolgoznak újabb és újabb töltőanyagok és nanokompozitok kifejlesztésén.

Felületek módosítása nanotechnológiával

Az átlátszó és karcálló nanolakkok alkalmazása – elsősorban a karosszériaelemek védelmére – ma már a sorozatgyártás része. Az ilyen lakkok széles körű elterjedése a közeljövőben várható.

A nanotechnológia egyik egészen új útját jelenti a *felületek ellátása nanoméretű mintázattal*, ami által módosítható azok fényvisszaverése, fényszórása és öntisztuló képessége. Fröccsöntött műanyag formadarabok felületét a szerszámfelület határozza meg. Ahhoz, hogy nanostrukturált műanyag elemeket elő lehessen állítani, ilyen struktúrával rendelkező szerszámokra van szükség, de kellenek olyan nagyon jól folyó műanyagok is, amelyek ezt a szuperfinom struktúrát le tudják képezni. Fontos, hogy a szerszám hőmérséklete viszonylag magas (ömledék-hőmérséklet közeli) legyen, mert ha a hideg falon az ömledék idő előtt megdermed vagy viszkózitása megnő, nem tud behatolni a felületi mintázat finom üregeibe.

Kihívás a gép- és szerszámgyártók számára

A gépgyártók számára a nanoanyagok és a nanostrukturák új kihívást jelentenek. A nanokompozitok feldolgozása eddig nem okozott fejfájást nekik, mert a feldolgozók általában előre bekevert, kész kompozitokkal dolgoznak, amihez a szokásos gépek tökéletesen alkalmasak. Nekik azzal kell számolniuk, hogy ha a nanokompozitok alkalmazása széles körben elterjed, ezekhez a kis töltőanyag-tartalmuknál fogva kisebb viszkozitású anyagokhoz kisebb és olcsóbb gépeket rendelnek majd vásárlóik. Ha a feldolgozók esetleg a jövőben áttérnek a nanotöltőanyagok direkt bekeverésére, a feldolgozógépeket valószínűleg különleges biztonsági berendezésekkel – pl. zárt adagolórendszerrel – kell ellátniuk.

Nagyobb gondot okoz nekik a funkcionális felületek nanostrukturáinak kialakítása. A szerszámfal gyors és rövid ideig tartó ömledék-hőmérséklet közeli hőmérsékletének beállítására nagy teljesítményű infravörös hőszugárzókat fejlesztettek ki az **Engel** cégnél. A szerszám belső falának nanostrukturát hordozó bevonatának kialakítása sem egyszerű feladat. A szerszámbevonat és a műanyag közötti tapadást úgy kell beállítani, hogy a darab kivételekor a nagy felületű vékony bevonat ne maradjon a szerszámon.

A gépgyártók azonban maguk is fel fogják használni a nanotechnológia új lehetőségeit. Vonzó gondolat számukra az öntisztuló plasztikáló henger, amely megkönnyítené a színváltást. Azt remélik, hogy a nanotechnológia segítségével növelni tudják majd gépeik korrózió- és kopásállóságát, és javíthatják a csúszófelületek kenőhatását.

A nanotechnológia környezetbarát, de lehetnek kockázatai

Figyelembe véve a nanotechnológia által nyújtott lehetőségeket – a kisebb nyomással formázható műanyagokat, a könnyebb gépkocsielemeket, az öntisztuló bevonatokat – ezek hozzájárulnak az energia- és anyagforrások kíméléséhez. A nanohabok maximális hőszigetelő képességét pl. a nanoméretű pórusok szavatolják. Szerepet kap a nanotechnológia a jövő energiátalakító eszközeiben, a fotovoltos elemekben, a tüzelőcellákban, az energiátárolókban. A *Nanomobil* könnyű karosszériaelemei révén csökken a CO₂-emisszió.

A nanotechnológia elfogadottsága a vásárlók körében igen nagy. A társadalomban azonban megindult egy vita arról, hogy nem rejt-e magában kockázatot ennek a

technológiának az alkalmazása. Ahhoz nem fér kétség, hogy a *szabad nanorészecskék méreteiknél fogva belélegezhetők, és a tüdőben lerakódva egészségkárosodást okozhatnak*. A környezetre gyakorolt hatásukat nem ismerik. Toxikológusok, környezetkutatók és politikusok figyelmeztetnek a nanoanyagok felelősségteljes alkalmazására és sürgetik a veszélyekre vonatkozó kutatásokat és a szükséges szabályozás kidolgozását.

A **BMBF** 7,2 millió EUR-os támogatásával indított *Initiative Nanocare* programban számos alapanyaggyártó (**Bayer, BASF, Degussa, Solvay**), több szakmai egyesület és kutatóhely vesz részt. A kutatás középpontjában a nanorészecskék, a kompozitok és ezeknek a biológiai rendszerekre, közöttük az emberi szervezetre kifejlesztett hatása áll. Fejlesztik a vizsgálati eszközöket, hogy azok alkalmasak legyenek a közvetlen munkahelyi szűrővizsgálatok elvégzésére. A kutatási eredményekből származó adatokat az interneten teszik nyilvánossá.

Szerencsére a nukleáris energiával és a génebésszettel ellentétben a nanotechnológiával kapcsolatos vita még a kellő időben indult meg. Ezért a nanotechnológia nem kerülhet olyan helyzetbe, mint amilyen a génmódosított élelmiszerek körül kialakult. Jelenleg minden jel arra mutat, hogy nanorészecskék kizárólag szabad állapotban jelenthetnek kockázatot. *Ha a részecskéket bevonatba vagy polimerbe ágyazták, azok onnan nem szabadulhatnak ki*. A nanorészecskékkel dolgozó embereket a munkahelyükön megbízható és biztonságos védőfelszereléssel kell ellátni. A BASF-nél a nanorészecskéket teljesen zárt rendszerben dolgozzák fel. A nanotechnológia csak ilyen feltételek mellett futhatja ki egyelőre beláthatatlan lehetőségeit.

Összeállította: Pál Károlyné

Kobl Miller, Ch.: *Zwerge mi Riesenzukunft = Plastverarbeiter*, 59. k. 3. sz. 2008. p. 78–82.

Kölbl, B.: *Promising: Nanocomposites = Composite Materials*, 2007. 2. sz. p. 14–18.

Röviden....

Antibakteriális műanyagok előállítása nanoadalékkal

A rudolfstadi **Thüringische Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung** jelentős sikereket ért el a poliamid, a polipropilén, a termoplasztikus elasztomerek (TPE) és a farosttal töltött kompaundok (WPC) antibakteriális módosításában. Az új eljárásban *nanoméretű fémrészecskékkel bevont elágazott polimer alapú (hbp) adalékokat* használnak. A nanoméretű adalékrészecskék nagy affinitást mutatnak a különböző mátrixanyagokhoz, és a nanoméretből adódóan már nagyon kis koncentrációnál (0,15%-tól) elérhető a kívánt antibakteriális hatás. Ezáltal kisebbek a funkcionálizálás költségei, és a kis mennyiségű adalék nem befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat.

A fémmel bevont nanorészecskék kezelése, adagolása egyszerű, és nem tapasztalható káros porképződés se. Az adalékot közvetlenül vagy mesterkeverékben adagolják a polimerhez, más esetben valamilyen bevonási technológiával a felületre viszik

fel. A jénai egyetemen, az ISO 22196:2007 szabvány szerint elvégzett vizsgálatok nagyon jó antibakteriális hatásról tanúskodnak az *ezüst hatóanyag* szabályozott emissziójának köszönhetően.

M. Cs-né

Gegen Bakterien gerüstet = Kunststoffe, 99. k. 10. sz. 2009. p. 65.

Olvad, de nem borul lángba a gépkocsikba szánt poliolefinhab

Csak Németországban évente 40 ezer gépkocsi ég ki az utakon. A tűz legtöbbször a motortérben keletkezik túlmelegedett alkatrészek, műszaki hiba, tömítetlen üzemanyag-vezeték vagy rövidzárlat miatt. A gépkocsi a tűzben ugyan ritkán robban fel úgy, ahogyan azt az akciófilmekben mutatják, de *10 perc alatt porrá éghet*, és az utastérben nagyon rövid időn belül 100 °C-nál magasabb hőmérséklet lép fel. Ezért nem ritkán benn égnek az utasok vagy megsérülnek a nekik segíteni próbálók is. A tragédiák elkerülésére az autógyárak nem éghető vagy nehezen éghető anyagokat igyekeznek gyártmányaikba beépíteni.

A gépkocsik utasterében, a karosszériában és a motortérben is egyre több műanyagot és műanyaghabot alkalmaznak. Az utóbbiak felépítésük miatt különösen tűzveszélyesek, és a tömör műanyagoknál nehezebb az éghetőségüket csökkenteni, de zajcsökkentésük és az utasok kényelmét szolgáló tulajdonságaik miatt az autógyártás nem nélkülözheti őket.

A **Sekisui Alveo** cég (Luzern), amely 1973 óta a **Sekisui Chemical Co. Ltd** egyik vállalata, a *fizikailag térhálósított poliolefinhabok (PO) fő gyártója Európában*, évente *13 ezer t PO-habot* állít elő. Nehezen éghető *Alveolen NP(A) FRV* jelzésű termékét kifejezetten gépkocsikba szánja. Ez a szabályos zárt cellás hab kitűnő hangtompító; elsősorban a motor burkolására és hőformázott hangelnyelő elemek gyártására alkalmazható. Éghetőségét nem mérgező és nem korrodáló környezetbarát égésgátló csökkenti. Kielégíti a DIN 4101 szabvány B1 éghetőségi osztályra („nehezen éghető”) vonatkozó követelményeit, de a kifejezetten gépkocsikba építendő anyagokra vonatkozó *FMVSS 302* és *ISO 3795* szabvány követelményeit is.

A Sekisui Alveo cég luzerni alkalmazástechnikai laboratóriumában a habot a **Volkswagen PV 3357** számú házi szabványa szerint is megvizsgálták. Itt 10 percig Bunsen-láng hatásának teszik ki a mintát és megfigyelik, hogy mikor gyullad meg, hogyan ég, és csepeg-e égés közben. Az *Alveolen NP(A) FRV* hab egyáltalán nem gyulladt meg és nem csepegett, csupán egy olvadt lyuk keletkezett ott, ahol a láng érte. A cég azt reméli, hogy ennek a habnak az alkalmazásával megnövekszik a gépkocsik utasainak a biztonsága.

P. K.-né

Automotive Materials, 5. sz. 2007. p. 56–57.