

## A sokoldalú lézer alkalmazása a műanyagiparban

A lézertechnikát egyre többféle célra alkalmazzák a műanyagok feldolgozásában, kikészítésében. Lézersugárral pl. érintésmentesen, automatikusan és környezetbarát módon feliratozhatók a műanyagtermékek. Lézerszinterezéssel nem csak prototípusok, szerzőszámok, hanem kisebb terméksorozatok is elkészíthetők. Egyre szélesebb körben alkalmazzák a lézeres hegesztést. Lézersugárral tökéletesen és kopásmentesen lehet szerzőszámot tisztítani. Az erre szakosodott gyártók egyre jobb lézeres berendezéseket és új technológiákat kínálnak. A technológia bevezetése előtt azonban alaposan meg kell gondolni, hogy milyen lézerrel érhető el a kívánt cél.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; lézertechnika; feliratozás; szinterezés; hegesztés; szerzőszám-tisztítás; berendezés; fényabszorpció.*

### Átlátszó műanyagok feliratozása lézerrel

*A műanyagtermékek lézersugaras feliratozása érintésmentes, oldószermentes eljárás, amely szabálytalan alakú, görbült felületeken is alkalmazható, és sok előnye van a nyomtatáshoz, a tintasugaras feliratozáshoz és a címkeragasztáshoz képest. A felirat oldószerálló, lemoshatatlan, karcmentes, nagy sebességgel, automatikus eljárással vihető fel és nem manipulálható. Feliratozáshoz CO<sub>2</sub>-lézert (hullámhossza 10,6 µm, és általában maszkos megvilágítással üzemeltetik) vagy Nd:YAG lézert (hullámhossza 1064 nm; frekvenciaduplázással 532 nm vagy háromszorozással 355 nm is lehet; ezt sugármegvezetéssel üzemeltetik) használnak. Az utóbbi technikában a lézersugarat számítógéppel vezérelt két galvanométertükrös vezetési optika vezeti egy lencserendszerre, amely a sugarat a felületre fókuszálja. Ez a technika rendkívül rugalmas, és egyedi feliratok is könnyen készíthetők vele. A maszkos eljárás nem ennyire rugalmas, de gyorsabb. Ebben szélesebb lézersugarat irányítanak a maszkon keresztül a felületre.*

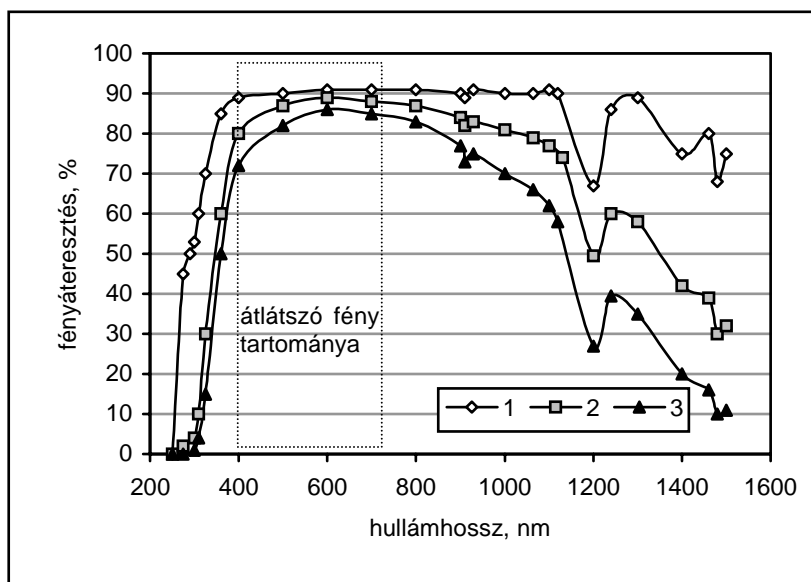
Számos műanyagfajta különösebb előkészítés, adalék nélkül is feliratozható lézersugárral. Erősebb kontrasztot, élesebb kontúrokat lehet azonban elérni lézeraktiválható adalékok bekeverésével. Több gyártó kínál ilyen adalékokat, amelyek fő hatóanyaga általában antimon-trioxid vagy antimon/ón-oxid, és fedett (színes) termékekhez ajánlják őket. Az üvegszerűen átlátszó műanyagokban ezek nem alkalmazhatók, mert elszínezik és elhomályosítják a polimert.

A **Degussa AG** (Hanau, Németország) azonban olyan *nanoméretű fém-oxidokat fejlesztett ki, amelyek a közeli infravörös tartományban (NIR) nyelik el a fényt, és tökéletesen átlátszó műanyagokban is használhatók.* Sokféle fém-oxid közül választották ki azokat, amelyek megfelelő mértékben képesek a lézersugarat elnyelni. A jól elosztott, nanoméretű NIR pigmentrészecskék megvilágításkor (általában 1064 nm-es lézer-

sugárral) elnyelik a lézersugár energiáját, amely hővé alakul. A hő hatására a polimer az adott ponton felhabosodik vagy elszenesedik. A habosodás vagy szenesedés mértéke a polimer összetételétől és a lézersugár paramétereitől függ. A besugárzott részek törésmutatója megváltozik, ennek következtében a felirat jól látható. A cég egy tökéletesen átlátszó, részben kristályos cikloalifás diamin PA 12 típuson (*Trogamid CX7323*) mutatta be az új adalék hatását. Adalék nélkül bizonytalan körvonalú és színű, NIR abszorberrel éles kontúrokat, határozott fekete színű feliratot kaptak. A minta átlátszóságát a hullámhossz és az adalék mennyiségének függvényében az 1. ábra mutatja.

A poli(metil-metakrilát) (PMMA) a többi átlátszó műanyagnál is nehezebben, adalék nélkül egyáltalán nem feliratozható lézersugárral. NIR adszorberrel világos színű feliratok vihetők fel rá. Kifejlesztettek egy olyan eljárást, amelyben két *plexilemez közé folyékony PMMA/MMA előpolimerizátumot visznek be, amely NIR adalékot tartalmaz. Készre polimerizálás után a lemez összvastagsága nem több mint 1–2 mm, és a belső réteg szabad szemmel nem érzékelhető. Lézeres kezeléskor csak ebben a belső rétegben válik láthatóvá a felirat.* Próbálkoznak azzal, hogy ilyen szendvicsszerkezetű lemezeket koextrudálással is előállítsanak, és hogy poli(metil-metakrilát)-on kívül az eljárást más átlátszó műanyagokra is kiterjesszék.

A **Gabriel Chemie GmbH** (Gumpoldskirchen, Ausztria) ugyancsak kínál átlátszó vagy áttetsző polimerekhez lézersugaras feliratozást megkönnyítő adalékot. Az adalék hőállósága  $>300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , élelmiszerekkel közvetlenül érintkező műanyagokba is bekeverhető, a vele készített feliratok fény- és időjárásállóak. Nehézfémeket nem tartalmaz. Az adalékot PE, PP, SAN, PS, ABS és PET anyagába lehet bekeverni; PMMA-ban csak halvány írásképet ad.



1. ábra.  
Az NIR abszorbens hatása a Trogamid CX7323 fényáteresztésére. (Az NIR adalék koncentrációja 1→3 irányban nő.)

A (vektor)lézeres berendezések gyártására szakosodott **Sator Laser GmbH** (Hamburg) és az automatizálásban járatos **Handke GmbH** (Garbsen, Németország) közösen olyan *modulrendszerű berendezést fejlesztett ki, amellyel a PMMA vagy a*

*polikarbonát nagy pontossággal feliratozható, de a modulok megfelelő összerakásával a berendezés vágásra, hornyolásra, strukturálásra is alkalmas.* A berendezést kezdetben CO<sub>2</sub> lézerrel üzemeltették, de YAG vektorlézerrel is működtethető. Alkalmazását elsősorban az autógyártás számára és mobiltelefonok gyártásához ajánlják. A gépkocsik alkatrészein ugyanis számos adatot kell feltüntetni a későbbi azonosítás érdekében, és a nagyon kis területre feliratozott információk pl. tintás nyomtatással nem készíthetők el. Vágáskor (pl. a beömlőcsonk levágásakor) olyan szép felületet kapnak, mintha azt polírozták volna. Az esztétikus megjelenés az autógyártásban éppen olyan fontos, mint a mobiltelefonok gyártásában. A műveletek gyorsak, és pontosságuk eléri a néhány század mm-t. A feliratozás, vágás közben nem képződnek mikrorepedések. A berendezés könnyen kezelhető és egyszerűen programozható.

## **Szinterezés lézerrel**

A műanyagból készített termékek gyártáselőkészítésre fordítható ideje egyre rövidebb, a formák egyre bonyolultabbak, a sorozatnagyságok egyre kisebbek. Ezt a fel fokozott tempót hagyományos eljárásokkal – pl. fröccsöntéssel – nem lehet győzni, ezért a fejlesztők és a feldolgozók új utakat keresnek. Ilyen lehet *a lézerszinterezés, amelynek lényege, hogy a lézerimpulzus egy porhalmaz meghatározott részében megolvastja a műanyag-, fém- vagy szilikátport, amely röviddel ezután ismét megszilárdul. Alkalmas programmal vezényelt impulzusok egymás utáni sorozatával, CAD adatokkal rétegenként felépíthető egy szilárd forma.* A lézerszinterezés teljesen új technológia, amelyet először gyors prototípusgyártáshoz alkalmaztak, de újabban kisebb terméksorozatokot is készítenek ezzel az eljárással. Egyik úttörője az **EOS GmbH** (Krailling, Németország), amely a gyors prototípusgyártást (rapid prototyping), a gyors szerszámkészítést (rapid tooling) és a gyors gyártást (rapid manufacturing) együttesen szellemes szóhasználattal „e-gyártásnak” („e-manufacturing”) nevezte el.

Az **EOS** cég *Eosint P 380* elnevezésű *gyártóberendezésének szinterezőkamrája 340x340x620 mm, és valamennyi meghatározó európai, észak-amerikai és ázsiai biztonsági előírásnak megfelel.* A berendezés része az ún. „integrierte process chain management” (IPCM), amely automatikusan és ismételten feltölti a kamrát a 24 órás termelés során. A cég egyre újabb szinterezőporokat is kifejleszt. A közelmúltban bevezetett poliamidalapú szinterezőporának márkanéve *PrimePart*. Prototípusgyártáshoz a világon elsőként állított elő egy 2 mm-es vastagságban UL94 szabvány szerint V0 éghetőségi fokozatú anyagot, de kínálatában ütésálló, töltött, nagy szilárdságú és merevségű anyagok is vannak. *Autofinish* a márkanéve a lézerszinterezéssel előállított termékek felületi kikészítésére szolgáló anyagnak. Ezzel tették fémszerűen fénylővé egy siba kancs kis sorozatban lézerszinterezéssel előállított zárókapcsait

Egy orvosi eszközöket gyártó cég, az **Andreas Hettich GmbH** (Tuttlingen, Németország) szabadalommal védett új eljárással gyárt laboratóriumi centrifugát. A *Rotomat* elnevezésű centrifuga háza nem csak bonyolult formájú, de percenkénti 2000 fordulatot és 1200 g gyorsulást is el kell viselnie. A hagyományos fröccsöntéshez nagyon bonyolult és drága fémszerszámot kellett volna készíteni, és a centrifugát eleme-

iből munkaigényes szereléssel kellett volna összeépíteni. A PA 12 típusú poliamidból (PA 2200) szinterezett darab több, eddig csak szereléssel felerősíthető eleme most az alapforma részét képezi. A CAD adatok alapján, közvetlenül állítják elő a terméket. Módosítások, variánsok kevés idő- és munkaráfordítással kivitelezhetők.

Egy falra szerelhető kábeltartót korábban 20 részből, csavarozással építettek össze. A falon 50 cm-enként fejmagasság felett kellett rögzíteni. A kábeltartó 35 EUR-ba került. Az áttervezett és lézerrel szinterezett kábeltartóban két zsanér és bepattanó kötések helyettesítik a csavarokat. A szerelés minimálisra csökkent. Az új kábeltartó mindössze 25 EUR-ba kerül.

Az új technológia az iparművészek fantáziáját is meglódította. Belgiumban különleges lámpákat, órákat terveztek. Egy divattervező lézerszinterezéssel olyan pulóverszerű ruhadarabot készített, amely kísértetiesen emlékeztet egy laza kötött holmira. Londonban egymásba fonódó banánszerű elemekből készítettek olyan világítótestet, amelyet a korábban ismert technológiákkal egyáltalán nem lehetett volna megvalósítani. Ez a lámpa bekerült a New York-i Modern Művészetek Múzeumába.

## Hegesztés lézersugárral

*A lézeres hegesztést néhány éve ipari méretekben alkalmazzák. Lényege, hogy a lézersugár számára „átlátszó”, azt felmelegedés nélkül áteresztő anyagot egy lézersugarat elnyelő, attól felmelegedő anyaggal kötnek össze. Az utóbbi hegesztendő felülete a lézersugártól megolvad, és megfelelő nyomás alatt a két felület között létrejön a kötés. Az eljárást folyamatosan fejlesztik, egyre újabb anyagok és lézersugarat elnyelő adalékok jelennek meg a piacon, amelyek hozzájárulnak a lézeres hegesztési technológia terjedéséhez.*

A lézeres kötéstechnikának többféle változata van. Leggyakrabban a *kontúrhegesztést*, a *szimultánhegesztést* és a *kvázi-szimultánhegesztést* alkalmazzák. Kontúrhegesztéskor a fókuszált lézersugarat végigvezetik a hegesztési varrat mentén, amelyben elhanyagolható mértékű levegőzárvány maradhat vissza. A kvázi-szimultánhegesztéskor a teljes hegesztendő felületet egyszerre világítják meg. Az ilyen hegesztés tömörebb, mint a kontúrhegesztés. Ezek az eljárások vonalszerű hegesztési varratot adnak és kétdimenziós kötést kötést hoznak létre.

A **Leister Process Technologies** (Sarnen, Svájc) két új eljárást fejlesztett ki. A *maszkos hegesztés* a vonalszerű varratok helyett felületek tetszőleges rajzolat szerinti összehegedését, a *Globo hegesztési eljárás tetszőleges méretű és alakú, háromdimenziós formák összeépítését teszi lehetővé*. A cég az előbbi eljárásért 2000-ben, az utóbbiért 2004-ben elnyerte a Svájcban nagy tekintélyt élvező „Svájci technológiai díj”-at (Swiss Technology Award).

A maszkos hegesztéshez a pontszerűen ható lézersugár helyett függönyszerű, széles lézersugarat használnak, amellyel egy maszkon keresztül világítják meg a hegesztendő felületet. Kötés csak a maszk áttört részeinél jön létre. A maszk finom rajzolata és a lézersugár energiájának finom szabályozása révén nagyon precíz kötési varra-

tokat lehet létrehozni, ezért ez az eljárás különösen jól alkalmazható a mikrotartományban; mikrorendszerek, elektronikai eszközök, érzékelők gyártásában.

A *Globo* eljárás túlzás nélkül forradalminak nevezhető újdonsága abban áll, hogy feleslegessé teszi a bonyolult formájú és működésű befogószerkezetet, amelynek feladata az optimális összenyomó erő kifejtése. Ezt egy légcsapágyas üveggolyó helyettesíti, amelyen keresztül a lézersugár a hegesztendő pontra jut. A golyót végiggördítik a hegesztendő vonal mentén, nyomását és a lézersugár energiáját mindenkor az optimális értékek megfelelően szabályozzák. Az eljárás alkalmazásának elvileg nincsenek sem méretbeli, sem formabeli korlátai. Elsősorban autóiipari, orvostechnikai, élelmiszeripari felhasználásra szánják.

A **Leister** cég újabb eljárásváltozatok kifejlesztésén dolgozik, várhatóan hamarosan bemutatja két új módszerét, a radiálhegesztést és a nagy sebességű lézeres hegesztést.

A lézeres hegesztési eljárások speciális igények kielégítésére alkalmasak. Kiegészítik, de nem helyettesítik a hagyományos kötési eljárásokat. A legalkalmasabb eljárást mindig az optikai, szilárdsági követelmények és a formai, méretbeli adottságok szerint kell kiválasztani.

## Szerszámtisztítás lézerrel

A gépkocsigyártásban a műszaki szempontokon túlmenően nagyon fontos a hibátlan, szép küllem. Fokozottan érvényes ez az utastérbe épített látható elemekre. Ilyenek az ajtót, a műszerfalat, az oszlopokat borító, héjszerű formák, amelyek gyártószámaikat a szokottnál gyakrabban kell tisztítani, hogy a legkisebb felületi hiba se fordulhasson elő a terméken. A tisztítást gyorsan, tökéletesen, környezetkímélő módon, kopásmentesen, automatikusan a meleg szerszámon kell elvégezni, és mindezek felül az alkalmazott eljárásnak a költségei sem lehetnek magasak.

Ezeknek az igényeknek a kielégítésére fejlesztette ki a **SLCR Lasertechnik GmbH** (Düren, Németország) *SLCR-TEA-CO<sub>2</sub>-Laser* nevű berendezését. Ez rövid pulzusokat bocsát a szerszám felületére, és minden egyes pulzus hatására 5–10 µm vastagságú réteg gőzölög el az odatapadt szerves szennyeződésből (formaválasztó, színezék, műanyagmaradék) néhány µs alatt. A szerves szennyeződést elszívják. Mivel a fém nem nyeli el a lézersugarat, a szerszámfelület a legkisebb mértékben sem sérül meg és nem is melegszik fel, ezért – más tisztítási eljárásoktól eltérően – sok száz tisztítás után sem kopik meg.

A lézerrel fémek, műanyagok, kerámiák; kicsi, nagy, egyszerű és bonyolult formák; sima és strukturált felületek egyaránt megtisztíthatók. Utántisztításra nincs szükség. Tisztítószert nem kell beszerezni. Hulladék nem képződik.

A szerszámtisztító berendezés felállítható önálló egységként vagy beépíthető egy gyártósorba. Részai a SLCR cégnél előállított lézer, egy letapogató optika, a tisztító-kabin, a megfogószerkezet, a vezérlőrendszer, továbbá egy hűtő- és szűrőrendszer. A berendezés teljesen automatikusan dolgozik, a tisztítási program beállítása és megindí-

tása után a gépkezelő nyugodtan magára hagyhatja. A berendezés ugyanazt a szerszámot ugyanazzal a programmal mindig pontosan ugyanúgy tisztítja meg.

A SLCR lézeres eljárásával üvegszálás műanyagtermékek felületét is meg lehet tisztítani lakkozás előtt a formaleválasztó maradékától. Ez jóval egyszerűbb, biztonságosabb és jobb minőségű terméket eredményez, mint az eddig használt nedves kézi csiszolás.

## A megfelelő lézer kiválasztása

A lézertechnikát még nem is olyan régen csak nagyobb értékű termékek gyártásakor használták. *Az olcsóbb diódalézerek és a kompakt Nd:YAG lézerek elterjedésével azonban egyre inkább alkalmazzák a tömegműanyagokhoz és a tömegtermékekhez is.* A siker feltétele azonban továbbra is az adott feladathoz legjobban illő lézer kiválasztása.

Az átlapolással végzett *hegesztéshez* Nd:YAG és diódalézert is lehet használni. A kontúr- és a szimultánhegesztést alacsonyabb ára és tömör felépítése miatt elsősorban diódalézerrel végzik. Ennek hátránya a gyengébb sugárminőség, aminek következtében a hegesztési fuga jobban kitágul. Az optikai szálban vezetett lézersugár hullámhossztartománya 800–1000 nm. Az optikai szál alkalmazása megkönnyíti beépítését a robotokba. A nagy teljesítményű diódalézerek a hőre lágyuló műanyagoknak ebben a hullámhossztartományban mutatott optikai tulajdonságai miatt hegesztésre különösen alkalmasak. A sugár behatolási mélységét korommal mint pigmenttel lehet beállítani. Ha a két összehegesztendő anyag a látható hullámhossztartományban azonos szín érdekében speciális pigmenteket tartalmaz, célszerű a látható fénynél nagyobb, 940–980 nm-es hullámhosszú diódalézert választani. A diódalézerek megbízhatóak, élettartamuk elérheti a 10 000 órát, és könnyen beilleszthetők a gyártósorba.

Kvázi-szimultánhegesztéskor a folyamatos besugárzás miatt az egész hegesztési varrat egyszerre melegszik fel. Ezért erre a célra inkább 100 W körüli teljesítményű folyamatos Nd:YAG lézert alkalmaznak. Ennek a lézernak jobb a sugárminősége, és nagyobb fókusztávolság mellett is kisebb sugárnyaláb-átmérővel dolgozik. Kisebb fókusztávolsággal és kis sugárátmérővel ilyen lézernel miniatürizált darabokon <200 µm-es hegesztési varrat is készíthető.

Az elektronikában és a mikrotechnikában a lézersugarat *strukturálásra* alkalmazzák olyan esetekben, amikor rendkívül kis méreteket kell kialakítani az építőelem minimális igénybevételével. Ilyen pl. az áramkörüi lemezek gyártása, a nyomdatechnika, az orvosi technika, a bioanalitika, a mikrorendszerek előállítása. Új sugárforrások és új alapanyagok bevezetésével ma már elérték a nanométeres tartomány határait.

Strukturálásakor a lézersugár energiáját abszorpció révén nagy pontossággal kell koncentrálni egy lehetőleg felszín közeli részben. Ezáltal igen nagy hőmérsékletgradiens lép fel az anyagban, és a felszíni réteg elpárolog. Annak érdekében, hogy az energiakoncentráció csak egy nagyon vékony rétegre terjedjen ki, két feltételnek kell teljesülnie:

- a sugárzás hullámhosszát és az anyag abszorpciós tulajdonságait úgy kell megválasztani, hogy az anyag abszorpciós tényezője az adott hullámhosszon viszonylag nagy legyen,
- a nagy hőmérsékletgradiens hatására az energiának nem szabad hővezetés útján a mélyebb rétegekbe jutni, ezért a lézersugár egy-egy pulzusának időtartamát rövidre kell állítani.

Az anyag pontos lemunkálása nagy teljesítménysűrűséget és homogén sugáreloszlást igényel. Gauss-görbe formájú intenzitáseloszlás életlen, lekerekített, megolvadt széleket eredményez.

A felsorolt követelményeket kétféle lézerrel lehet a legkönnyebben kielégíteni:

- 157–248 nm közötti hullámhosszú excimer lézerrel,
- 9,4  $\mu\text{m}$  vagy 10,6  $\mu\text{m}$  hullámhosszú  $\text{CO}_2$ -lézerrel.

Bizonyos esetekben, pl. poliimidből készített áramköri lapok fűrészához, vágásához megháromszorozott frekvenciájú, 355 nm hullámhosszú Nd:YAG lézert is lehet használni. Ilyenkor a műanyag abszorpcióját nagyon pontosan összehangolják a lézer hullámhosszával.

*A csomagolóiparban inkább  $\text{CO}_2$ -lézereket használnak*, ahol egészen a kW-os tartományig terjedő teljesítménnyel állnak rendelkezésre folyamatos lézerek. A legtöbb műanyag néhány  $\mu\text{m}$ -es vastagságban tökéletesen elnyeli a 10,6  $\mu\text{m}$  hullámhosszú infravörös fényt, ezért a megmunkálás és a vágás minősége igen jó. 9,4  $\mu\text{m}$  hullámhosszú lézert akkor választanak, ha 10,6  $\mu\text{m}$ -en a műanyag abszorpciója erős ingadozásokat mutat. Ilyen pl. a polipropilén és sok epoxigyanta, amelyekből áramköri lemezeket készítenek. Hogy elkerüljék az erős termikus igénybevételt, 100 ns időtartamú impulzusokkal dolgozó pulzáló  $\text{CO}_2$ -lézert alkalmaznak. A  $\text{CO}_2$ -lézerek közös hátránya a gyenge fókuszálhatóság. A velük elérhető legkisebb sugárátmérő kb. 50  $\mu\text{m}$ .

Nagyon kicsi, 1–100  $\mu\text{m}$  méretű felület megmunkálásához, pl. a litográfiában általában UV-excimer lézert választanak. Ilyen lézersugárral maszk segítségével 1  $\mu\text{m}$  alatti jelet lehet vinni a felületre. Itt a fotonenergia eléri számos polimercsoport kötési energiáját, és elvileg ún. hideg lemunkálás jön létre, bár a magas pulzusszám miatt itt is számolni kell felmelegedés okozta anyagvesztéssel is. Ennek a lézertípusnak nagy előnye a rendkívül rövid, 30 ns-os pulzusidőtartam és a középhullámú tartományba eső pulzusteljesítmény. Ezáltal minimális az anyag hőterhelése. Excimer lézerrel a műanyagok szinte mindegyike megmunkálható a tömegműanyagoktól (mint a polipropilén vagy a polikarbonát) a nagy teljesítményű műszaki műanyagokig [mint a poli(éter-éter-ke-ton) (PEEK) vagy a folyadékkristályos műanyagok LCP]. Az excimer lézerek általában 193 nm vagy 248 nm hullámhosszú fényt bocsátanak ki. Még a fluor-polimerek, pl. a poli(tetrafluor-etilén) (PTFE) is strukturálható 157 nm hullámhosszú, VUV- $\text{F}_2$ -lézerrel.

*Lézersugárral módosíthatók is a polimerek.* Módosításnak tekinthető pl. a színváltozással járó feliratozás. Ennek legegyszerűbb változatában maga a polimer bomlik-szenesedik el a lézersugár hatására. Vannak olyan adalékok, amelyek felhabosodnak a polimeren belül, és ilyen módon teszik láthatóvá a feliratot. Feliratozáshoz többnyire Nd:YAG lézert, néha  $\text{CO}_2$ -lézert alkalmaznak.

Egyes pigmentek besugárzás hatására más színt vesznek fel anélkül, hogy a felület sérülne. Ilyen pl. a fehér titán-dioxid, amely UV-lézersugár hatására szürke-fekete színű lesz. Ezt a jelenséget kábelek és háztartási eszközök jelölésére iparszerűen hasznosítják. Kezdetben ehhez a technológiához drága, 308 nm-es excimer lézert használtak, újabban kizárólag háromszoros frekvenciával üzemeltetett Nd:YAG lézerekkel dolgoznak.

A polimermódosítás egyik ma még ritkán alkalmazott formája a lézersugaras felületkezelés ragasztás vagy lakkozás előtt. Az excimer lézer 4–9 eV energiájú fotonjai felszakítják a felületen levő polimerláncokat, és az így keletkezett reaktív gyökök funkciócsoportokat tudnak képezni. Ezt az eljárást elsőként az orvostechikában és a szenzortechnikában próbálták ki.

Összeállította: Pál Károlyné

Wolff, W. P. .: Hochtransparente Kunststoffe dauerhaft beschriftet. = Kunststoffe, 95. k. 9. sz. 2005. p. 184–185.

Lasermarkierung ohne Transparenzverlust. = Kunststoff Trends, 2003. 4. sz. nov. p. 17.

Trennrand wirkt wie poliert. Laser bearbeitet Kunststoffteile rationell. = Industrie Anzeiger, 127. k. 22/23. sz. 2005. jún. 6. p. 64–65.

Laser-Sintern statt Spritzguss. EOS mit neuen Laser-Sinter-Produkten und neuen Anwendungen. = Kunststoff Berater, 2004. 11. sz. p. 16.

Stotko, Ch., M.; Methner, M.: Konstruieren nach Belieben. = Kunststoffe, 95. k. 11. sz. 2005. p. 71–74.

Jie-Wei Chen: Prozessvielfalt mit Laserschweißen. = Kunststoffe, 95. k. 6. sz. 2005. p. 26–28.

Sauber durch Laserpulse. Formenreinigung mit TEA-CO<sub>2</sub>-Lasern. = Plastverarbeiter, 55. k. 12. sz. 2004. p. 52, 54.

Gillner, A.: Die Wahl des richtigen Lasers. = Kunststoffe, 95. k. 6. sz. 2005. p. 22–24.