

A műanyagok feldolgozásának elő- és utóműveletei

3. (befejező) rész

Dr. Füzes László okl. vegyészmérnök

2.5. Felületkezelések

A műanyagok alkalmazásának egyik fontos előnye, hogy ellentétben más szerkezeti anyagokkal, legtöbbször nem igényelnek felületkezelést. Ezek a módszerek ugyanis általában bonyolult technológiai lépésekből állnak és így jelentősen növelhetik a költségeket.

Bizonyos esetekben azonban mégis elkerülhetetlen a műanyag termékek felületkezelése. A leggyakrabban alkalmazott felületkezelési módszerek a következők:

- tisztítás,
- a felület kémiai összetételének megváltoztatása a jobb tapadás érdekében,
- festés és lakkozás,
- nyomtatás, ábrák és feliratok elkészítése,
- fémbevonás,
- egyéb (ritkábban alkalmazott) felületkezelő módszerek:
 - polírozás,
 - bolyhosítás,
- felület textúrájának megváltoztatása (barkázás vagy prégeles),
- a felület tulajdonságainak megváltoztatása kémiai összetételének megváltoztatásával (a bevonatok tapadásának növelésén kívül),
- antisztatizálás,
- súrlódáscsökkentés.

Felületkezelés előtt, ha nem a termelési folyamatba szorosan integrált (angol kifejezéssel: inline) felületkezelésről van szó, nagyon gyakran szükséges a felület kezelés előtti megtisztítása (ld. 2.5.1.). Számos felületkezelési módszer alkalmazása előtt a tiszta (vagy megtisztított) felületet kémiailag módosítani kell (ld. 2.5.2.) annak érdekében, hogy a különböző festékek, bevonatok jobban tapadjanak. Gyakran a ragasztás előtt is szükség van hasonló eljárás alkalmazására.

A felületkezelési módszerek kiválasztásánál a következő fő szempontokat kell figyelembe vennünk:

- esztétikai követelmények (pl. szín, fémes megjelenés),
- a termék geometriája, anyaga,
- környezeti hatások (pl. időjárás, vegyszerek, hőmérséklet),

- egyszer vagy többször használatos termékről van szó,
- koptató, karcoló hatások,
- funkcionális követelmények, mint pl. elektromágneses árnyékolás, karcállóság növelése, tartósan olvasható felirat,
- szükséges felület-előkészítés,
- gazdaságossági megfontolások.
- környezet- és munkavédelmi szempontok (pl. oldószeremisszió).

2.5.1. Műanyag termékek felületének tisztítása

A felületek vizes és/vagy oldószeres tisztítása a szennyeződések és a zsiradékok eltávolítását szolgálja. A műanyag tárgyakat a bevonatok, feliratok felhordása előtt általában meg kell tisztítani, ha csak nem biztosítható a felület tisztasága a gyártás és a felületkezelés között eltelt időszakban. A levegőből porszemcsék rakódnak le a műanyagok felületére, a nagy sztatikus feltöltődési hajlam ezt elősegíti. A formaleválasztót és az anyagból esetleg kimigráló adalékokat (pl. lágyítók, stabilizátorok, csúsztatók, siklásjavító szilikonoligomerek) el kell távolítani. Általában alkálikus vizes tisztítószeret, a hidrofób szennyeződésekhez pedig alifás szénhidrogének vizes emulzióját szokták alkalmazni. A tisztítás után ionmentes vízzel kell leöblíteni a termék felületét.

Az oldószeres tisztításhoz általában toluolt és perklórozott szénhidrogéneket (pl. triklór-etilént) alkalmaznak. A szennyezések eltávolítása mellett ezek gyakran duzzasztják a műanyagok felületét, ezáltal megkönnyítik a festékanyagok feltapadását. Az oldószer feszültségkorróziós repedezést okozhat.

A tisztításhoz használatos leggyakoribb módszerek a következők:

- törlés (ronggyal, szivaccsal stb.),
- bemerítés (esetenként ultrahangos vibrációval),
- nagynyomású permetszórás,
- oldószergőzös zsírtalanítás.

A törlés csak a durva szennyeződések eltávolítására alkalmas. A leggyorsabb (öblítéssel 2–3 perc) a permetszórás, a leghatékonyabb az ultrahangos vibrációval kombinált bemerítés (5–10 perc). Az oldószergőzös módszer is nagyon hatékony, de jelentős beruházást igényel.

2.5.2. Műanyag termékek felületének kémiai módosítása

A felületek tisztasága, zsírtalanítása minden esetben alapkövetelmény. Emellett azonban bizonyos, nagymértékben apoláros jellegű műanyagok felületén a bevonóanyagok és a ragasztók csak akkor tapadnak meg kellő szilárdsággal, ha a felület kémiai összetételét megváltoztatjuk. A megtisztított, kémiaileg módosított felületeket kézzel ne érintsük, a felületkezelés előtt a szennyeződések lerakódását meg kell akadályozni.

Az alábbi műanyagok esetében mindenképpen szükséges a felület kémiai összetételének megváltoztatása, ha bevonó vagy ragasztóanyagot (kivéve néhány ömledékragasztót) kívánunk alkalmazni:

- poliolefinek: PE, PP és EPDM
- fluortartalmú polimerek: PTFE és kopolimerei
- poliformaldehid.

A fenti anyagok erősen töltött típusainál a felületkezelés néha elhagyható.

Ha műanyag termékeken fémbevonatokat akarunk kialakítani, akkor is gyakran szükséges a felület módosítása. Ez galvanizálás esetében a felület maratását, alámetszéses mikropórusok kialakítását jelenti, amelyekben a fém mechanikailag lehorgonyozódhat. Vákuumgőzölnél bizonyos műanyagok esetében az anyagban megtalálható kis molekulatömegű komponensek kipárolgását lakkréteggel akadályozzák meg. A lakkréteget esetenként a felület kisimítására is használják.

A felületi réteg kémiai módosítása (pl. oxidálása, poláros csoportok kialakítása) minden műanyagnál javítja a bevonóanyag (festék, ragasztó stb.) tapadási szilárdságát, de az ilyen eljárások költségei miatt a poliolefinek, a fluortartalmú polimerek és a poliformaldehid kivételével általában nem használják azokat.

A leggyakrabban alkalmazott felületmódosító eljárások a következők:

- lángkezelés,
- koronakisüléssel történő kezelés,
- plazmakezelés,
- kémiai maratás,
- mechanikai maratás,
- ultraibolya (és más, pl. ionizáló) besugárzás.

a) **Lángkezeléssel** általában fröccsöntött vagy fűjt poliolefintermékek felületét módosítják, vékony (0,5 mm alatti) fóliáknál ma már nemigen használják. E módszert poliformaldehidtermékek és néha PET palackok felületkezelésére is alkalmazzák. Az 1000–2500 °C-os láng érintkezése a felülettel 1 másodpercnél rövidebb ideig tart. Láng helyett néha 500 °C-os levegősugarat használnak. A lángkezelés jól automatizálható, szállítószalagos gépsoroknál is alkalmazható. Ha nem sík felületet kell kezelni (pl. palackok palástját), akkor több, illetve speciális kiképzésű égőt használhatunk. Tagolt felületű termékekhez a lángkezelés nem használható, mert a felület és a láng távolsága nem tartható mindenütt egyenletes értéken, és ez a túl közeli felületek megolvadásához, a túl távoliak elégtelen eloxidálásához vezet. Tűz- és robbanásveszélyes anyagokkal egy helyiségben (pl. festőüzemben) nyílt láng nem használható.

b) **Koronakisüléssel** módszerrel szinte kizárólag a fóliák felületét kezelik. Túlnyomórészt PE és PP fóliákhoz alkalmazzák, de jó eredménnyel használható fluortartalmú polimerekhez, PET, PVC, PC, PA 6 és csaknem minden anyaghoz. A koronakisülés tulajdonképpen atmoszferikus körülmények között történő plazmakezelés. A generátor 20–30 kHz frekvenciájú, 15–30 kV feszültségű erőteret hoz létre a fegyverzetek között. A fólia ezek között áthaladva érintkezik a létrehozott (hideg) plazmával és a felületi szén-szén, illetve szén-hidrogén kötések gyökös elbomlása után bekövetkezik a felület oxidációja.

A koronakisülés hatására a polietilénfólia felülete nemcsak festhetővé, nyomtathatóvá válik, hanem hegeszthetőségének hőmérséklete is lényegesen (30–50 °C-kal) alacsonyabb lesz, belsejének olvadáspontja azonban nem változik. PET fóliáknál ez az érték

265 °C-ról akár 140 °C-ra is csökkenhet. A koronakisülés hatására fellépő kémiai változások a tárolási idő függvényében egyre csökkennek, már néhány nap is 10–30%-kal gyengébb tapadást okozhat. Fémfelületekkel érintkezve a felületkezelés hatása erősen leromlik, ezért feltekereslésnél és/vagy az utólag elvégzett nyomtatásnál csak polietilénnel (vagy más műanyaggal) bevont hengereket, görgőket használjunk.

- c) **Plazmakezeléshez** ún. hideg gázplazmát alkalmaznak, amelyet egy rádiófrekvenciás (100–300 kHz vagy 10–30 MHz) generátor segítségével zárt (Pyrex üveg, kvarc vagy alumínium) kamrában hoznak létre. A céltárgyak behelyezése után egy vákuumszivattyú eltávolítja a levegőt, majd benyomják a kezeléshez szükséges gázt. A generátor bekapcsolása után lezajlik a felületkezelés, majd a gázelegyet levegőre cserélik és a termékeket kivesszük. Az egész ciklus kb. 5 percet vesz igénybe. Kis keresztmetszetű extrudált termékek folyamatos üzemmódban is kezelhetők, ekkor a légzárást a termék keresztmetszetének megfelelő be- és kivezető rések biztosítják. Tekercselt termékek (pl. fóliák) esetében az egész tekercs behelyezhető a speciálisan erre a célra kialakított reakciótérbe; a kezelés az elektródák közti áttekereslés során zajlik le.

A plazmakezelés költséges beruházást igényel (mérettől függően 30–150 ezer USD), nagy sorozatoknál azonban a befektetés gyorsan megtérül, mivel a kezelés költségei rendkívül alacsonyak (1–10 USD/ezer db).

Plazmakezeléssel gyakorlatilag minden műanyag felülete módosítható, használata különösen előnyös poliolefineknél és fluorozott polimereknél.

- d) **Kémiai maratás** csak akkor célszerű, ha más módszer nem alkalmazható. Ez a technológia időigényes, veszélyes vegyszerekkel kell dolgozni és számos munkafázist (kezelések, öblítések) kell elvégezni.

Poliolefinek maratásához forró (80–90 °C-os) oldószereket, erős, oxidáló savakat (pl. krómkénsavat) kell használni. Az ABS galvanizálása során is kénsavas/krómkénsavas közeget alkalmaznak a nagyon sok lépésből álló technológia első szakaszában a butadiénkaucsuk részecskék kimaratására. PTFE, FEP és PFA termékeknél oxigéntől és víztől elzárt edényzetben kell nátrium, naftalin és tetrahidrofurán, vagy folyékony ammóniás nátriumoldatot alkalmazni. PA 6 esetében 80%-os fenol/víz, PET termékeknél 20%-os NaOH oldatot használhatunk. A POM termékek felületét perklóretilénben feloldott 3% 1,4-dioxán, 0,3 % p-toluol-szulfonsav és 0,4% szilika elegyével kell 5–30 másodpercig 80–110 °C-os fürdőbe merítve maratni, majd desztillált vízzel leöblítve 100–120 °C-os szárítószekrényben kell azokat megszáritani. A felületi kötőerő tapadásközvetítő és ún. aktiváló (primer) anyagokkal fokozható.

A felületet módosíthatjuk reakcióképes gázokkal (pl. klór, fluor vagy kén-dioxid), de ezek mérgezők, ezért ezt a módszert nem szokták felületelőkészítésre használni, amelyre egyszerűbb megoldások is vannak, hanem speciális célokra (pl. gáz- vagy benzingőz-áteresztési képesség csökkentésére) alkalmazzák (ld. 2.5.6.4.).

- e) **Mechanikai maratást** homokfúvással (nemcsak homok, de bármilyen nemfemes, kemény anyagszemcsék használhatók), kézi dörzspapíros csiszolással vagy nagynyomású alumínium-oxid zagysugárral végezhetünk. A feldurvított, és ezáltal megnövelt felületre jobban tapadnak a felhordott bevonatok, ragasztók. A mechanikai maratás

egyúttal tisztítást, zsírtalanítást is eredményez (oldószeres tisztítással is kombinálható). A maratás emellett a felületi molekulák kémiai kötéseinek gyökös mechanizmusú bomlását is előidézi, ezek a gyökök azután a levegő oxigén- és/vagy nedvességtartalmával reagálva poláros csoportokat hoznak létre, amelyek elősegítik a bevonat tapadását.

f) Az **ultraibolya és más nagy energiájú (ionizáló) sugárzások** hatására a műanyag termékek felületén elhelyezkedő kémiai kötések elbomlanak, és eloxidált, poláris csoportok képződnek. Ezt a hatást jelentősen megnövelhetjük, ha fotoérzékeny adalékanyagokat hordunk fel a céltárgy felületére. Így pl. benzofenon 5%-os metilén-kloridos oldata használható polietilén, EPDM kaucsuk és fluortartalmú polimerek felületének módosításához.

Tagolt felületű termékek esetében az egyenletes sugárdózist szinte lehetetlen biztosítani.

2.5.3. Festés és lakkozás

A műanyag termékek festése/lakkozása általában csak speciális követelmények (pl. autók utastere, szórakoztató elektronikai berendezések burkolata) esetében szükséges. Műanyag felületek festése és lakkozása, mint technológiai folyamat teljesen azonos a többi szerkezeti anyagnál (fémek, fa stb.) alkalmazott eljárásokkal. Az alapvető különbség a felület előkészítésében és a festék (lakk)/céltárgy kölcsönhatásaiban rejlik. E téren a problémát tulajdonképpen a festék és a műanyag tárgyak anyagának nagymérvű hasonlósága (a lakkok, festékek is polimerbázisúak) okozza. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- a festék/lakk oldószere oldhatja a műanyag terméket, ami javíthatja a tapadást, de általában több kárt okoz, mint hasznot,
- a szárításhoz/beégetéshez szükséges hőkezelés hatására a műanyag tárgy deformálódhat,
- a festék/lakk valamelyik komponense (általában az oldószer) feszültségkorróziós repedezést okozhat, és/vagy erősen csökkentheti a termék ütésállóságát.

A műanyag termékeket általában anyagukban színezik, a gyakorlatban mégis vannak olyan alkalmazások, amelyeknél szokás mégis festeni, lakkozni.

- Nagyon pontos színárnyalat szükséges. Ez különösen a több, eltérő anyagú alkatrészről álló szerkezetek (pl. gépkocsik) esetében fontos, ahol nem elegendő az összeszerelésnél biztosítani az azonos színt. Ez elvileg megoldható lenne anyagában színezett műanyaggal és festett fém alkatrészekkel, de az autó alkatrészeinek néhány évvel később, az időjárás és más igénybevételek után is azonos színűeknek kell maradniuk, ami pedig csak úgy érhető el, ha a fém és a műanyag alkatrészeket ugyanazzal a festékekkel/lakkal vonták be.
- A műanyag termék felületének speciális tulajdonságúnak (pl. kopásálló, vezetőképes, vegyszerálló, nagyon szép felület) kell lennie.

- A termék felületének egyes helyein különböző szín szükséges (pl. játékgúny arca, ruhája), és ezt a lehetséges többi eljáráshoz (pl. kettős fröccsöntés, több alkatrész összeszerelése) képest festéssel lehet a leggazdaságosabban biztosítani.
- A feldolgozási technológia, vagy az alapanyag nem tette lehetővé a szép felület kialakítását. Így pl. a RIM technológiával készített poliuretántermékeket szinte minden esetben festik/lakkozzák, a habosított fröccsöntéssel vagy SMC anyagok sajtolásával készült darabok felülete sem eléggé esztétikus számos alkalmazási területhez.
- Ugyanabból a termékből sokféle színű szükséges, amelyek közül néhány szint csak kis darabszámban igényelnek.
- Már elkészített, elfekvő készletet jelentő darabokat lehet eladni más (pl. divatosabb vagy az új piacon hatáságilag megkövetelt) színben.

A festési technológiák közül a legtöbbször a következőket alkalmazzák:

- mártás,
- szórás,
- festés ecsettel vagy festőhengerrel,
- hengerelés,
- filmöntés,
- szerszámon belüli festés.

Az egyes technológiák és festékrendszerek kiválasztásakor a termék anyagát, méretét, a sorozat nagyságát és a bevonattal szemben támasztott követelményeket kell figyelembe venni. Fontos szempont emellett a festékek, lakkok egészség- és környezetkárosító hatása, továbbá tűz- és robbanásveszélyessége. Természetesen a festék ára és a megfelelő bevonathoz szükséges rétegszám, a szárítás/beégetés eszköz- és időigénye is alapvető szempont. A festés/lakkozás gazdaságosságát lényegesen befolyásolhatja a selejtarány és a hibás termékek javíthatósága.

A festés/lakkozás általában kiemeli a felületi hibákat (pl. a beszívódásokat) hacsak nem alkalmazunk speciális alapozórétegeket és/vagy kittelést.

a) A mártásos eljárást egyszerűsége miatt gyakran alkalmazzák.

Előnyök:

- legnagyobb előnye az egyenletes rétegvastagság,
- ha a bemelegítés nem teljes, lényegesen élesebb kontúrvonalat lehet segítségével létrehozni, mint maszkolással,
- szállítószalagok és függesztőpályák alkalmazásával a festés/lakkozás nagyméretben automatizálható.

Hátrányok:

- nagyméretű háromdimenziós termékeknél nagy, nyitott festéktartályra van szükség, ami az oldószer párolgása miatt munka- és tűzvédelmi problémákat okozhat, az oldószer pótlása pedig növeli az anyagköltséget,
- a tartályban lévő nagy mennyiségű festék esetleges szennyeződése jelentős anyagi kárt okoz,

- problémát jelent a festék lecsurgása miatt létrejövő inhomogenitások (pl. az alul lelógó cseppek) elkerülése, eltávolítása; megfelelő kiemelési és mozgatási programmal e nehézségek leküzdhetők,
- a műanyag tárgyak sűrűsége általában alig nagyobb (néha kisebb), mint a festéké, ezért csak megfelelően kialakított felfüggesztéssel lehet megakadályozni, hogy bemerítéskor a termék „leússzon” a tartóról. Habosított műanyagból készített darabokat nem lehet mártásos eljárással festeni.

A mártásos eljárás egy speciális válfaja az a megoldás, amikor a tárgyat nem egy fürdőbe merítik, hanem a festéket/lakkot felülről öntik rá (általában egy résen át). Az alul lefolyó felesleges festéket egy teknőben összegyűjtik, és szűrés után visszaszivattyúzzák a folyamatba. Ezzel a módszerrel nagyméretű, bonyolult alakú tárgyakat is egyenletes rétegvastagsággal lehet befesteni, és elkerülhetők a nagy festéktartály, illetve a felúszás okozta problémák. Tixotróp és oxidációval kötő, illetve alumíniumlemezkéket tartalmazó (metál) festékek használata különleges módszereket igényel.

- b) A festékek lakkok szórása. A szórás robotok alkalmazásával automatizálható, egyébként a festés/lakkozás egyenletes minősége függ a szakmunkás ügyességétől. Tagolt felületek nehezen vagy egyáltalán nem festhetők be egyenletes vastagsággal. A festékvesztés jelentős, akár 50% is lehet. Azokat a felületeket, amelyeket nem kívánunk befesteni, öntapadó vagy mechanikus maszkolással (legalább 3 ikermaszk szükséges) lehet lefedni. Nagy sorozatoknál a darabokat célszerű konvejsorral (függesztőpályával) mozgatni, lehetőleg forgatható felfüggesztéssel. Jobb festékhasznosítást és tagolt termékeknel egyenletesebb rétegvastagságot lehet elérni elektrosztatikus festékszórással. Mivel a műanyagok (speciális típusok kivételével) villamos szigetelők, a töltéselvezetésre egy, a konvejláncre akasztott fémrudat használnak, mely egyúttal ellátja a darab felfüggesztését is.
- c) Festés kézzel. A kézi módszerekkel végzett festés ecsettel és teddyhengerrel csak kis darabszámoknál és prototípusoknál lehet gazdaságos, egyébként csak akkor alkalmazzák, ha nincs idő vagy pénz az a) és b) módszereknek megfelelő festőműhely létrehozására. Anyagkihasználása a legkedvezőbb. A hibás darabokat is általában kézi festéssel javítják.
- d) A szerszámon belüli festés. Ezt az eljárást elsősorban a poliuretán integrált habok reaktív fröccsöntésekor (a RIM technológiánál) alkalmazzák úgy, hogy a kétrészes szerszám falát először lekenik (lefűjják) formaleválasztóval, ezután egy gyorsan gélesedő (ált. PUR alapú) festékkel fűjják le, majd a szerszám összezárása után megvárják, amíg a festék részben megköt és ez után fröccsöntik be a reakcióelegyet. A PUR hab hozzáköt a festékréteghez.

2.5.4. Nyomtatás, ábrák és feliratok készítése

Műanyagok nyomtatásához egyrészt a nyomdaiparban megszokott eljárásokat alkalmazzák, kisebb-nagyobb módosításokkal, másrészt kimondottan a műanyagipar szá-

mára kifejlesztett megoldásokat is használnak. Feliratokat, ábrákat nemcsak nyomtatással készítenek műanyag termékek felületére. A leggyakrabban használt eljárások a következők:

- szitanyomás,
- flexonyomás,
- gravír- vagy mélynyomás,
- tamponnyomás,
- feliratozás printerekkel,
- fóliabesütés,
- lézeres feliratozás,
- ragasztott vagy rázsugorított címkék,
- fröccsszerszámba behelyezett címkékre ráfröccsöntés,
- a szerszámba (extrudálásnál, kalanderezésnél a lehúzó henger előtti prégelő hengerbe) begravírozzák a feliratot/ábrát,
- kétkomponensű fröccsöntés.

A nyomtatást megelőző felületkezelési eljárásokat a 2.5.1.–2.5.2. pontokban ismertettük. Feliratok és ábrák kialakításakor általában a következő szempontokat szokták figyelembe venni:

- esztétikus megjelenés,
- kopásállóság és letörölhetőség,
- kontraszt,
- gazdaságosság a sorozatnagyság függvényében,
- alapanyag (felület-előkészítés és tapadás),
- a felirat, ábra méretei, bonyolultsága, színeinek száma,
- újrafeldolgozhatóság (idegen anyagot visz be a rendszerbe, vagy sem; és ha igen, milyen mennyiségben),
- hatósági előírások (pl. élelmiszeripari, villamosipari).

a) A **szitanyomást** gyakran alkalmazzák fóliák, sík felületű fröccstárgyak és hengeres palackok nyomtatására. A technológia állandóan fejlődik, dekoratív, többszínű ábrák és feliratok is készíthetők szitanyomással. A berendezés olcsó, a stencileket általában fotoeljárással készítik. Egyaránt alkalmas egészen vékony és nagyon vastag bevonatok készítésére. Az egyes színeket külön lépésben viszik fel.

b) **Flexonyomással** régebben csak nagyon egyszerű, igénytelen feliratokat készítettek. Mostanára azonban kialakultak a jó minőségű színes nyomtatásra is alkalmas módszerek. A nyomdafestéket fotomaratással kialakított fémmatricáról lehúzott gumilap/henger hordja fel a sík műanyag felületekre. Egy matricáról akárhány gumi nyomtatólapot készíthetünk gyorsan és olcsón. Ma már lézer-litográfiával is előállítanak flexo nyomólapokat. Flexográfiás módszerrel általában fóliákat nyomtatnak, de egyedi, sík felületű tárgyakhoz (pl. rekeszekhez, ládákhoz) is használható. Viszonylag olcsó, ezért kisebb sorozatoknál is gazdaságosan használható.

c) A **gravírnyomás** során a feliratokat, ábrákat gravírozott fémhengerrel felvitt nyomdafestékkel készítik. E nagyon termelékeny módszer csak folyamatosan előállított, feltekercselt fóliák nyomtatására alkalmas. A fémhengerek drágák, ezért a kitűnő, egyenle-

tes nyomtatási kép és a nagyfokú megbízhatóság ellenére is csak nagy sorozatoknál érdemes használni. Több szín nyomásánál több, egymás után elhelyezett hengerre van szükség.

- d) A **tamponnyomás** tulajdonképpen offset gravírnymtatási mód. A nyomdafestéket először egy gravírozott fémlapra hordják fel. Erre nyomják azután rá a flexibilis szilikongumi nyomtatótampont, amely a festéket felszedi és rányomja a céltárgy felületére. Alapvetően szakaszos eljárás 20–40 ciklus/perc átlagos sebességgel, de használnak tamponnyomó hengereket is hengeres formájú palackokhoz (300–400 palack/min). A modern szakaszos üzemű gépeken egy cikluson belül több nyomatot is lehet készíteni.



2.5.1. ábra Egy és négy szín nyomására alkalmas tamponnyomó gépek és néhány ezekkel készült grafika a termékeken

Több tamponnal és gravírlamezzel többszínű nyomtatás is megoldható. Legnagyobb előnye más eljárásokkal szemben, hogy tagolt, egyenetlen felületekre is lehet vele nyomtatni.

- e) Az olcsó, nagy teljesítményű számítógépek elterjedésével lehetségessé vált, hogy a **computer nyomtatója** némi átalakítás után papír helyett műanyag termékek felületére nyomtasson feliratokat, ábrákat. Megfelelően kialakított (lézer és tintasugaras) nyomtatófejekkel a legegyszerűbb esetet jelentő fóliákon kívül sík felületű tárgyakra, esetleg kisebb-nagyobb görbületekkel rendelkező felületekre (pl. csövekre) is lehet nyomtatni.

A módszer egyik változata az ún. **elektrosztatikus nyomtatás**, ami tulajdonképpen a xeroxgép és a számítógép összekötésével jött létre. Ennél az eljárásnál a számítógépbe digitálisan betáplált információ alapján egy lézersugár pásztázza végig folyamatosan, változó intenzitással a fényérzékeny (pl. szelén) nyomtatóhengert.

A fényintenzitástól függő mértékben feltöltődő hengerre elektrosztatikusan feltapadnak a festékcseppecskék, amelyeket a henger a céltárgy (papír vagy műanyag fólia) felületére nyom rá. A számítógép akár minden egyes nyomatnál megváltoztathatja a képet/feliratot.

- f) Az ún. **fóliabesütéses eljárásban** egy előre elkészített ábra/felirat kerül át a hordozófelületről a műanyag termékre. A hordozófólia általában viaszbevonatú papír, PET fő-

lia, műanyaggal bevont/laminált papír. Az ábrák/feliratok elkészítéséhez leggyakrabban szita- vagy gravírnymást alkalmaznak. A fóliabesütést a bőr- és textiliparban is elterjedten használják. Az ilyen (ált. tekercs formájában forgalmazott) fóliák rétegfelépítése többféle lehet, mint pl.:

hordozópapír	PET fólia	papír
viasz	leválasztó réteg	műanyag fólia
védőlakk (opcionális)	nyomdafesték	védőréteg
nyomdafesték	ragasztó (opcionális)	nyomdafesték
ragasztó	ragasztó	

Az eljárást elsősorban palackok és fröccstárgyak feliratozására, ábrákkal, dekoratív felületekkel való ellátására használják. A felmelegített fóliaszemmel láthatóan körülhatárolt munkafelületet ráhelyezik a céltárgy felületére (a pozicionálást perforáció és/vagy optikai jelek segítik), majd forró (120–180 °C) szilikongumi hengerrel vagy préslappal rányomják (nyomtatáshoz 10–30 bar, dekorációs fóliákhoz 1–2 bar szükséges).

Hőre keményedő műanyagoknál magasabb hőmérsékletet (170–230 °C) és nagyobb (fém nyomólappal elérhető 50–150 bar) nyomást kell alkalmazni. Fém nyomólappal hőre lágyuló műanyagokba néhány tized mm-nyire besüllyeszthetjük a nyomtatott ábrát/feliratot/fóliát. A meleg hatására a viasz (vagy más leválasztó réteg) megolvad, a ragasztóréteg (ömledékrasztó) ragacsossá válik és a meglágyuló nyomdafesték a nyomás hatására átragad a céltárgy felületére. A fólia képes görbületek követésére (pl. öblösödő palackokon). Ha a palackok fala nem eléggé merev, általában sűrített levegővel merevítik ki nyomtatás közben.

A dekoratív (pl. aranyozás hatású) felületek kialakításánál a fólia rétegfelépítése általában a következő:

PET (cellofán, papír) fólia
leválasztó
dekoratív fólia
ömledékrasztó

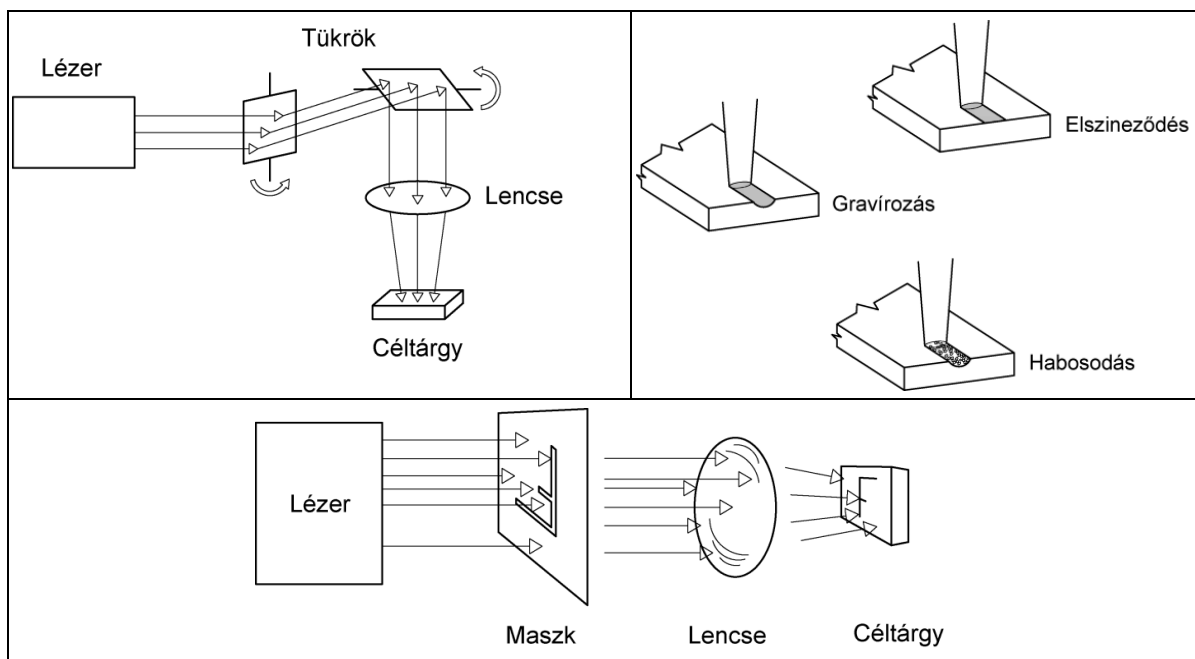
A fémhatású fóliáknál általában vákuumgőzöléssel felhordott vékony alumínium (króm) réteget visznek fel a dekoratív fóliára. Ha az alumínium felületét eloxáljuk vagy más módon alakítunk ki rajta egy vékony réteget, különböző színhatásokat (pl. arany) érhetünk el. A dekoratív fóliákkal lehetséges

- márványt és más kőzetet utánzó,
- fa jellegű,
- csillogó és patinás arany, bronz, ezüst stb. fémhatású,
- textil, bőr,
- virágokat, állatokat, absztrakt mintákat hordozó sokszínű,
- korrózió- és/vagy kopásálló stb.

felületeket kialakítani. Ha átlátszó tárgyak hátlapjára nyomtatunk, a felirat/ábra védett a koptató és más hatásoktól, emellett pedig háttérrel szolgálthat az előlapra nyomtatott képnek (ha van ilyen).

A fóliabesütéses eljáráshoz olyan festéket is kifejlesztettek, amely a fentiekben vázolt technológiával felhordva kb. 0,1 mm mélyen bediffundál a műanyag tárgy felületébe, ezáltal a felirat gyakorlatilag letörölhetetlen lesz. Ezt a módszert elsősorban PBT-ből fröccsöntött számítógép (írógép, telefon stb.) billentyűk feliratozására használják. Ilyen jellegű **diffúziós festékeket** más nyomdatechnikával (pl. tamponnyomással, szitázással) is felhordhatunk, ekkor a diffúziót elősegítő hőkezelést külön lépésben kell megoldani.

- g) A **lézeres feliratozást** az olcsó lézerek és számítógépek megjelenése tette versenyképes eljárássá. A gyakorlatban elsősorban szén-dioxid (hullámhossz 10 μm) és Nd:YAG (hullámhossz 1 μm), ritkábban az ultraibolya tartományban működő ún. excimer lézereket (hullámhossz 170–351 nm) alkalmaznak. Az Nd:YAG lézerek esetében a lézersugarat pásztázó (scanner) üzemmódban, két számítógépes vezérléssel forgatott tükör segítségével mozgatják, fókuszálásáról egy lencserendszer gondoskodik. A szén-dioxid és az excimer lézereknél általában fém vagy kerámiamaszkok kivágásain engedik át a lézersugarakat, majd ezt követően fókuszálják a céltárgy felületére (ld. 2.5.2. ábrát).



2.5.2. ábra Lézeres feliratozás elvi sémája

A szén-dioxid lézerek sugarait a legtöbb műanyag nagyon jó hatásfokkal elnyeli, segítségével a felületből könnyen kimarható egy réteg (gravírozás). A másik két lézert inkább csak a színezőanyagok bomlása érhető el, és az így bekövetkező elszínező-

dés hatására jelenik meg a felirat/ábra. Az Nd:YAG lézerekkel (használnak normál és megduplázott frekvenciájú, 0,5 μm hullámhosszú YAG lézereket is) azonban gravírozni is lehet, noha lényegesen rosszabb hatásfokkal, mint a szén-dioxid lézerekkel. A lézerek által kifejtett hő hatására az anyag felhabosodhat, ilyenkor a felirat kissé ki-domborodik a felületből.

A lézeres feliratok világos mátrixanyag esetén fekete vagy szürke (esetleg drapp/bézs) színűek, sötét színezékek esetében a színezék bomlása következtében fehér vagy világosszürke színűek lesznek. A színhatás egyrészt a polimer elszenesedése (fekete szín), másrészt a speciális színezékek elbomlása (fekete vagy fehér szín) révén következik be. A jelentősebb alapanyaggyártók kimondottan lézeres feliratozásra alkalmas színezékekkel ellátott típusokat is forgalmaznak. Ezek használata különösen akkor előnyös, ha nagy kontraszthatást kell elérnünk (pl. számítógépek billentyűzetén).



2.5.3 ábra Lézeres feliratozással készült fekete és fehér alapú számítógép-klaviatúra

A lézeres feliratozás/ábrakészítés **főbb előnyei** a többi eljárással szemben a következők:

- nincs szükség felület-előkészítésre még a poliolefinok, POM, PTFE esetében sem, sőt a felület tisztítása, zsírtalanítása sem szükséges,
- teljesen automatizálható, érintésmentes, flexibilis gyártási módszer; különösen alkalmas a raktárkészletek nélküli (just in time) termelés megvalósítására,
- pásztázással nagyon kis maszkolással közepes sorozatoknál is gazdaságos,
- bármilyen műanyaghoz (és sok más anyaghoz is) alkalmazható,
- a felirat letörölhetetlen, kopásnak, vegyszereknek tökéletesen ellenáll.
- gyors és olcsó,
- nem igényli oldószerek, festékek használatát és így egyrészt környezet- és munkavédelmi szempontokból előnyös, másrészt nem okozhat feszültségkorróziós repedezést,

- beszerelt alkatrészekhez is alkalmazható, pl. egy kész számítógép billentyűzet utólag is feliratozhatunk, ezért nem kell a billentyűket szerelés előtt szétválogatni.

Hátrányai:

- viszonylag nagy beruházási igény,
- kis (ált. 100x100 mm) célfelület,
- színes ábrák, feliratok készítésére nem alkalmas, bár ennek megoldásán már dolgoznak a kutatók,
- a vonalvastagság alulról limitált.

2.5.1 táblázat

A pásztázó és a maszkos feliratozási (ábrakészítési) módszerek összehasonlítása

Jellemző	Pásztázó	Maszkolt
Kis sorozatoknál gazdaságos	+	–
Kopás- és vegyszerállóság	+	+
Nagy sorozatok és közepesen nagy felületek esetében termeléken	–	+
Gyorsan változtatható felirat	+	–
Összeszerelt alkatrészeknél is alkalmazható	+	+
Reprodukálhatóság	+	+
Oldószer- és festékmentes környezetbarát technológia	+	+

h) A **ragasztott és rázsugorított címkéket** elsősorban flakonok, palackok palástjára helyezik fel, néha fröccstermékek és más technológiákkal előállított darabok (pl. játékok, bukósisakok) feliratozására, díszítésére is használják. A címkék általában papírból készülnek, de műanyag (ált. PET) fóliából is gyártanak átlátszó – és ezért dekoratív – címkéket. A ragasztó általában poli(vinil-acetát) és kopolimerjei vizes emulzió vagy ömledék ragasztó formájában. Az öntapadó címkéket egyre több területen alkalmazták. A címkeragasztás előnye, hogy megfelelő ragasztóval bármilyen műanyag terméken alkalmazható, nagyon egyszerű és olcsó technológia, melynek gazdaságossága csak a nyomdaköltségek miatt függ a darabszámtól. Nagy sorozatokban természetesen automata gépsoron ragasztják fel a tekercsként kiserelt címkéket. Általában nem igényel felület-előkészítést, még tisztítást, zsírtalanítást sem. Hátránya, hogy a papír (vagy más idegen anyag) nagyon megnehezíti a hulladékpalackok újrafeldolgozását. A legtöbb esetben kevésbé dekoratív, mint a direkt nyomtatási eljárások. Elsősorban az újrafeldolgozási szempontok miatt terjedtek el az ált. PET vagy PP fóliából készített, palackokra rázsugorítható címkék. Ezek tulajdonképpen a palack átmérőjénél kissé nagyobb átmérőre feltágított és nyomtatással feliratozott/dekorált fóliatömlőből darabolt „fóliagyűrűk”, amelyeket a palackra ráhúzva hőkezeléssel rázsugorítanak a palackra. Ha ugyanis a címke és a palack (vagy más műanyag termék) anyaga megegyezik, nem merülnek fel összeférhetlenségi problémák a termék (ált. pa-

lack vagy más csomagolóeszköz) újrafeldolgozásánál. Ma már az ásványvizes és üdítő palackok túlnyomó része ezzel a technológiával készül.

- i) Ha az alakadó **szerszám felületébe gravírozzuk be** a feliratot vagy ábrát, nincs szükség másodlagos műveletekre, emellett a felirat letörölhetetlen lesz. E módszert főleg fröccsöntött, préselt és fűjt termékek esetében használják. A fröccsöntött és sajtolt darabokon elsősorban a gyártó megjelölésére, az egyes gyártószerszámok és azon belül a szerszámfészkek jelölésére, az újrafeldolgozhatóság érdekében tett anyagmegjelöléseknél és a hatóságilag előírt jelölések (pl. a villamos iparban) megjelenítésére használják. Palackokon gyakran a tartalmat és/vagy a használat módját tüntetik fel. Az eljárás előnyös az újrafeldolgozhatóság szempontjából is, mert nincs idegen anyag a rendszerben. Hátránya, hogy nem dekoratív, a feliratok/ábrák nem eléggé szembeötlőek, emellett pedig megnöveli a szerszámköltséget. Ha betéteket használunk, a felirat nehézkesen és drágán, de mégis cserélhető/módosítható. Csak nagy sorozatoknál gazdaságos.
- j) A **kétkomponensű fröccsöntést** feliratozásra is lehet használni. A gyakorlatban a nagy szerszámköltség és a bonyolult technológia miatt ma már csak ritkán és csak nagyon nagy sorozatok esetén, mint pl. bizonyos számítógépek, telefonok és más, hasonló eszközök billentyűit készítik ezzel a módszerrel. Az ilyen feliratok ugyanis kellően kontrasztosak (ez előírás) és nem kopnak le a használat során.

2.5.5. Fémbevonás

A műanyag termékek külső vagy belső felületére általában a következő célokból (és ezek kombinációiként) hordanak fel – különböző technológiákkal – fémrétegeket:

- dekorációs, díszítő célokból, sokszor az eredetileg fémből készített tárgy formájának utánzásával, de mindig jelentős tömegmegtakarítással és szabadabb formaképzéssel párosítva,
- elektromágneses árnyékolás,
- tükröző felületek, tükrök kialakítása,
- nyomtatott áramkörök és membránkapcsolók vezető sávjainak kialakítása,
- az időjárás és más környezeti hatások (pl. vegyszerek, koptató hatások) elleni védőréteggént,
- a műanyag fóliák (flakonok) gázáteresztő képességének csökkentése,
- a fémréteggel megakadályozható a polimermátrixban mindig kisebb-nagyobb koncentrációban jelen lévő kis molekulatömegű adalékanyagok, szennyezések migrálása, ami elsősorban az élelmiszeriparban és a gyógyászati alkalmazások esetén előnyös.

A műanyag termékek felületén kialakított fémbevonatok drágák, általában 2–10-szer annyiba kerül a fémréteggel ellátott termék az eredetihez képest. A fémbevonat emellett a műanyag tárgy eredeti tulajdonságait is jelentős mértékben megváltoztatja. Ezek közül vannak kedvező és kedvezőtlen hatások. Utóbbiakat a termék alakjának és feldolgozási paramétereinek helyes megválasztásával részben vagy egészben ellensúlyozhatjuk:

- A fémréteg rugalmassági modulusa sokkal nagyobb, mint a hordozó polimeré. A fémmel bevont műanyag tárgyak merevebbek, de általában törékenyebbek is lesznek, hajlítoszilárdságuk csökken. Ezért például a bepattanó kötések felületét nem célszerű bevonni, mert letörhetnek. Az ütéseknél kitért termékeken használjunk minél kisebb, csak a legszükségesebb felületekre kiterjedő bevonatokat. A fémréteggel borított részeket a szokásosnál nagyobb keresztmetszetűre, erősebbre tervezzük (különösen vékony fülek, tengelyek esetében).
- Csak megfelelően lekerekített sarkokat és éleket lehet kielégítően bevonni. Kerüljük a csavarmenetek és különösen az anyamenetek bevonását. Ha ez mindenképpen szükséges, használjunk minél durvább zsinórmenetet és szakítsuk meg a menetet legalább két oldalon. Átmérőjükhöz képest mély furatok, hornyok nagyon nehezen, vagy sehogy sem vonhatók be, ezért legfeljebb átmérőjük feléig terjedő mélységű bemélyedéseket alkalmazunk. Hasonlóan problematikus az erősen kiemelkedő részek (pl. bordák, szemek) bevonása. E tekintetben a galván eljárás különösen érzékeny, általában csak külön elektróda segítségével lehet megfelelő minőségű bevonatot kialakítani.
- Ha a termék egyes részeit később ragasztani, hegeszteni vagy nyomtatni, festeni kívánjuk, ezeket a felületeket ne vonjuk be.
- A fémbevonat nagymértékben kiemeli a felületi hibákat, beszívódásokat. Így pl. a bordák a túloldalon mindig meglátszanak. Dekoratív felületek eléréséhez csak nagyon simára polírozott és/vagy keménykrómozott felületű szerszámokat használjunk.
- Alapozó/kittelő lakkréteg alkalmazása nélkül az üveg- vagy más szálakkal erősített műanyag termékek felületén a szálak rajzolata a fémréteg felhordása után meg fog jelenni. Ugyancsak láthatóvá válnak az összecsapási frontok és nagyon zavaróan hatnak a lecsípett beömlőnyílások, de még a kidobócsapok nyomai és a szerszám zárósíkjai is. Ezért a szerszámokat úgy kell tervezni, hogy ezek ne a látható, bevont felületekre essenek. Kerüljük a nagy, sík felületeket, helyettük egy egészen kis görbületet alkalmazva sokkal szebb megjelenést kölcsönözhetünk a terméknek.
- Ügyeljünk arra, hogy a bevonandó műanyag termékek ne tartalmazzanak a feldolgozásból eredő belső feszültségeket. Ezt egyrészt a feldolgozási (fröccsöntési, sajtolási stb.) paraméterek helyes beállításával (pl. magasabb ömledék- és szerszámhőmérséklet, kisebb fröccsebesség) érhetjük el. Másrészt a szerszám megfelelő kialakításával (pl. nagyobb gátkeresztmetszet, egyenletes falvastagság, nagy görbületi sugarak, egyenletes temperálás) is elősegíthetjük. Végül a feldolgozás utáni hőkezeléssel, kondicionálással relaxáltathatjuk a belső feszültségeket. Természetesen az alapanyag helyes megválasztása is nagyon lényeges szempont. A belső feszültségeken kívül az átkristályosodási, utólagos térhálósodási és más folyamatok (pl. a poliamidok egyensúlyi vízfelvétele) is okozhatnak olyan alak- és méretváltozásokat, amelyek a bevonat megrepedéséhez, sőt esetenként a darab töréséhez is vezethetnek.

- A feldolgozás során lehetőleg ne használjunk formaleválasztó szereket, vagy pedig utólag gondosan el kell azokat távolítani. Gondoskodni kell továbbá a felületek tisztaságáról, zsír-, por- és karcmentességéről. Csak kesztyűvel (vagy robotokkal) foghatjuk meg a darabokat.
- Galvanizáláshoz csak kimondottan erre a célra kifejlesztett típusokat használjunk, de a többi módszernél is tanácsos ilyen célokra javasolt alapanyagokat alkalmazni (pl. a kimigráló adalékok leronthatják a bevonat tapadását). Higroszkópos anyagoknál ügyeljünk a megfelelő előszárításra.
- A termék tervezése és alkalmazása során vegyük figyelembe a fém és a műanyag kb. egy nagyságrenddel eltérő hőtágulási együtthatóját. A minél vékonyabb bevonat és természetesen a nagy tapadási szilárdság megkönnyíti a bevonat és a hordozó együttes deformálhatóságát.
- Ha a hordozó felület eléggé sima volt, a fémtárgyakkal ellentétben nincs szükség utólagos polírozásra a szép, csillogó, tükörsima felület eléréséhez.

A leggyakrabban alkalmazott fémbevonási módszerek:

- galvanizálás,
- vákuumgőzölés,
- fémszórás,
- katódporlasztás,
- fémszemcséket tartalmazó lakkok/festékek,
- fémfóliák felragasztása,
- kémiai kicsapás.

Elsősorban az alábbi termékeken használnak a fémbevonatokat:

- A műanyag járműalkatrészek fémréteggel történő díszítése a legrégebbi és legelterjedtebb alkalmazási terület. A hűtőrácsokat, fogantyúkat, dísztárcsákat, fényszórókarimákat és visszapillantó tükröket általában galvanizálással vonják be, a reflektorok parabolatükrét pedig vákuumgőzöléssel készítik.
- A különböző híradástechnikai, szórakoztató elektronikai eszközök, műszerek, háztartási gépek kezelőgombjainak díszítésénél a fémbevonat csak a látható felületekre korlátozódik, ezért a többi rész kellő biztonsággal villamosan szigetel. Az ilyen jellegű termékekhez általában a galvántechnikát használják.
- Fényvisszaverő- és tükörfelületek, mint például reflektorok, fogászati tükrök esetében is általában a vákuumgőzöléses és a galvántechnikai eljárást használják.
- Az elektronikus berendezések, műszerek burkolatait fémbevonattal is lehet megfelelően árnyékolni az elektromágneses interferencia (EMI) elleni védelem céljából. Erre a célra mindegyik fémbevonási eljárást eredményesen használhatjuk. Az árnyékoló hatás a fémréteg anyagától és vastagságától függően általában 40–90 dB.
- A nyomtatott áramköri panelek esetén a műanyag hordozópanel felületére vagy rézfóliát ragasztanak (laminálnak), amelyet azután szelektíven lemarnak róla, vagy pedig utólagosan alakítanak ki egyes sávokban vezető fémréteget. Utóbbi megoldás csak a bonyolult, háromdimenziós fröccsöntött kártyák esetében gazdaságos. Ha az áramköröket a készülék burkolatának belső oldalán alakítják ki, természetesen csak az utólagos fémbevonatok jöhetnek számításba. E célra a

galvántechnika is alkalmazható, de nem előnyös, helyette inkább a kémiai fémbevonási eljárásokat használják.

- Jelentős mennyiségben gyártanak olyan fürdőszobai csaptelepeket és más szaniter-felszereléseket, amelyeket fröccsöntött műanyagra galvántechnikai úton felvitt fémbevonattal díszítenek. Tűzhelyek fogantyúi, irodabútorok kerekei és fogantyúi, kilincsek, sportszerek újabban speciális, galvanizálható poliamidtípusokból készülnek.
- Játékok, háztartási eszközök és tartós használatra szánt dísztárgyakhoz is általában a nagyobb tapadási szilárdságú, vastagabb, kopásálló rétegfelépítést biztosító galvántechnikát használják. Kozmetikumok tégelyei, kupakjai és más rövid ideig használatos dekoratív bevonatok inkább az olcsóbb vákuumgőzöléses módszerrel vagy rásütött/ragasztott fémfóliákkal készülnek.

2.5.5.1. Galvanizálás

A műanyagok felületét galvanizálás előtt vezetővé kell tenni, és gondoskodni kell arról, hogy a kialakított fémréteg kellő szilárdsággal tapadjon a műanyag termékre. A vezetőképességet elvileg kétféle úton érhetjük el:

- Ha a polimermátrixba kellő mennyiségű vezetőképes adalékot (pl. fémszemcséket és/vagy szálakat, grafitot stb.) keverünk, a műanyag vezetőképes lesz és a fémekhez hasonlóan galvanizálhatóvá válik. A gyakorlatban ezt az utat ritkán választják, a vezetőképes adalékokkal módosított műanyagokat elsősorban elektromágneses árnyékolásra, kis teljesítményű fűtőtestek és antisztatikus termékek gyártására használják.
- A másik lehetőség az, ha kémiai módszerekkel (ált. redukálószerrel) több lépésben különböző fémsók oldatából nagyon vékony fémréteget csapunk ki a bevonandó tárgy felületére. Erre a fémesen vezető rétegre lehet azután galvántechnikai úton leválasztani a következő, nagyságrendekkel vastagabb fémrétegeket.
- Mivel a leválasztott fémréteg nem tapad a műanyagok felületére, csak akkor lesz szilárd a kötés, ha a felületen szemmel nem látható, kicsiny alámetszéseket is tartalmazó mikropórusokat alakítunk ki, melyekbe a fémréteg lehorgonyozódhat. Ezt a hatást a gyakorlatban kémiai maratással érik el. Miután nem az egész felületet, hanem csak annak egyes pontjait kell kimarni, általában azok a műanyagok galvanizálhatók kellő rétegszilárdsággal, amelyek inhomogén mikrofázisok keverékéből tevődnek össze, mely fázisok egyike lényegesen nagyobb sebességgel maratható ki (vegyszerrel, vagy más módon), mint a másik.

A legrégebben és leggyakrabban alkalmazott ilyen műanyag az ABS. Az akrilnitril/sztirol mátrix néhány mikrométer átmérőjű butadiénkaucsuk szemcséket tartalmaz. E kaucsukszemcsék közül azok, amelyek a termék felületén vannak, krómkénsavval vagy más erősen oxidáló vegyszerrel elroncsolhatók, kioldhatók, és a helyükön mikropórusok jönnek létre. A polipropilénben az amorf részek bizonyos szerves oldószerek hatására sokkal jobban megduzzadnak, mint a kristályos fázis, és krómkénsavval kimarathatók, szintén mikropórusokat eredményezve.

Egyes PPE típusok szintén tartalmaznak butadiénkaucsuk szemcséket, amelyek kimarathatók. Speciális, erősen töltött poliamid 6 és 66 típusokat is forgalmaznak, amelyek szintén tartalmaznak kimaratható komponenseket. Néhány más műanyag (pl. PSU/ABS keverék, PSU, PES) is lehetséges többé-kevésbé jól tapadó réteget létrehozni, azonban ipari jelentősége csak a fentiekben felsorolt anyagok galvanizálásának van, ebből is több mint 90% az ABS (speciálisan galvanizálásra ajánlott típusokat használjunk) részaránya.

A vegyszeres maratás balesetveszélyes, az agresszív vegyszerek (beleértve a galvánfürdőket is) emellett környezetvédelmi szempontból is problémát jelentenek.

A maratással előkészített és a vegyszernyomoktól ionmentes vízzel végzett többszörös öblítéssel megtisztított felületre redukálószerrel (pl. formaldehiddel) ónklorid oldatból sósavas közegben először önt, majd pedig palládium-klorid oldatból palládiumot csapnak le. Ezt a két lépést aktiválásnak illetve szenzibilizálásnak nevezik. Az ily módon létrehozott, mindössze néhány atomnyi vastagságú rétegre csapnak le egy lényegesen vastagabb nikkelbevonatot, amely már villamosan vezetőképes felületet eredményez. A palládium és nikkelt helyett használhatunk ezüstöt és rezt is.

A vezetőképes alapozórétegre ezután galvántechnikai úton vékony rézhártyát visznek fel, erre galvanizálják rá a felhasználási céloktól függő minőségű és vastagságú fémrétegeket. Legtöbbször egy fényes vagy félig fényes nikkelt, majd ezt követően egy fényes, kemény, vegyszer- és kopásálló krómréteg alkotja a bevonatot, de alkalmaznak más fémeket is. Így például az első rézrétegre felhordhatunk egy újabb, vastagabb rézbevonatot (ha pl. patinás, antik hatású tárgyat kívánunk létrehozni), vagy aranyat, nikkelt is alkalmazhatunk fedőréteggé. A fémrétegek együttes vastagsága általában néhány század mm, de lehetőség van ennél nagyságrendileg vastagabb bevonatok kialakítására is.

A galvántechnikai eljárással létrehozott fémbevonatok minden esetben számos technológiai lépés eredményeképpen jönnek létre. Az összetett, szendvicsszerkezetű fémrétegek (és a műanyag hordozó) fizikai és kémiai jellemzői eltérőek, amit a bevonat megtervezésénél, illetve a termék alkalmazástechnikai szempontok alapján végzett méretezésénél feltétlenül figyelembe kell vennünk. Ha a műanyag tárgynak csak egyes felületeit kívánjuk bevonni, a maratás előtt az üresen maradó felületeket védőlakkal kell lefedni. Ha a bevonandó felületek egymástól elválasztva helyezkednek el, akkor mindegyikükhöz külön elektródot kell alkalmazni, ami megdrágítja a technológiát. Hasonló a helyzet az átmérőjükhöz képest mély furatokkal, hornyokkal vagy a túlságosan kiemelkedő bordákkal, szemekkel is, vagyis ezeknél is csak külön elektródákkal készíthetünk jó minőségű bevonatot. Mély zsákfuratok maratása, öblítése szintén nehézségekbe ütközik. Kisméretű termékeket ömlesztve, forgódobos megoldással galvanizálnak, a nagyobbakat tartókon felfüggesztve helyezik a galvánfürdőbe.

A galvanizált fémrétegek önmagukban is jól ellenállnak a környezeti hatásoknak, néha ennek ellenére védőlakkréteggel is ellátják őket. Erre elsősorban akkor kerül sor, ha szelektív bevonást alkalmaznak és a fémréteg nélküli felületeket utólag befestik, lakkozzák. Néha csak a műanyagot és a fémréteg legszélét festik le, így kontrasztosabb lesz a fém/műanyag határvonal.

A galvanizálás költséges, munkaigényes eljárás, a fémbevonat ára a fröccstermék árának 3–10-szerese is lehet. Noha a felület előkészítése is igen hosszadalmas és költséges, a műanyagok galvanizálása mégis gyakran versenyképes a fémekével, mivel a fröccsöntés és a kémiai maratás, aktiválás költségei általában kisebbek, mint a fémtermékeknel szükséges forgácsolási és polírozási műveleteké, a galvanizálás pedig gyakorlatilag azonos mindkét alapanyagnál.

2.5.5.2. Vákuumgőzölés

A vákuumgőzöléses módszer a hetvenes évek vége óta gyorsan terjed, segítségével gyakorlatilag minden műanyag felületén tömör, tetszetős fémréteget alakíthatunk ki. Az eljárás azon az elven alapul, hogy nagy vákuumban (0,1–0,01 Pa) a magas hőmérsékletre felhevített fémek gőzei nagy távolságokat (0,3–0,7 m) is képesek megtenni. Ezért az ilyen gőztérbe helyezett műanyag (vagy bármilyen más anyagból készített) tárgy felületére eljutva a fémgőz kondenzál és idővel vékony, összefüggő réteget alkot. Levegő jelenlétében a módszer nem működik, mivel egyrészt a fém oxidálódik, másrészt a fématomok a levegő molekuláival ütközve a fenti úthossznak csak töredékét tudják megtenni. Mivel a fémgőz atomjai egyenes vonalú mozgást végeznek, a sík felületek kivételével a tárgyakat az egyenletes rétegvastagság kialakításának érdekében forgatni kell.

Bevonó fémként az esetek túlnyomó részében nagy tisztaságú alumíniumot használnak, amelyet villamosan hevített volfrámhuzalspirálról gőzölögtetnek el. Ha olyan fémet (pl. arany, réz, nikkel, ezüst) használunk, amely a volfrámot rosszul nedvesíti, akkor legtöbbször molibdénfóliából készített „csónakokban” hevítik fel az elgőzölögtendő fémet. Ennél a módszernél a gőzök csak egy térirányba terjednek, míg a spirálos eljárásnál gömbszimmetrikusan. A hatékony termelés érdekében a kisebb tárgyakból sokszor több százat helyeznek el megfelelő forgatást biztosító tartókon felfüggesztve a vákuumgőzölő kamrában.

A legtöbb műanyag termékből a vákuum hatására különböző kis molekulatömegű, illékony anyagok (pl. monomerek, vízgőz, adalékanyagok) szabadulnak fel. Ezek egyrészt csökkentik a vákuumot, másrészt károsíthatják a drága vákuumszivattyúkat. Ezért a legtöbb esetben a műanyag termékek felületét alapozó védőlakkal (ált. oldószermentes, beégetős lakkal) vonják be, amely egyrészt lezárja az illékony anyagok útját, másrészt eltünteti a kisebb felületi hibákat.

A vákuumgőzöléses eljárással egy lépésben csak vékony (max. 3–6 μm) fémréteget lehet kialakítani. Azonban dekorációs célokra ennél sokkal vékonyabb fémréteg is megfelel. Az ilyen fémbevonatok – ellentétben a galvántechnikával előállítottakkal – könnyen sérülnek, kopás- és karcállóságuk kicsi. Ezért általában még egy átlátszó, védő lakkréteggel (ez lehet oldószeres lakk is) el kell látni. Ha ezt a réteget színezzük, a legkülönbözőbb fémes színhatásokat hozhatjuk létre. Egyes rövid idejű használatra szánt termékeknél a védőréteg elhagyható. Víziszta műanyagokból készült tárgy belső felületét is bevonhatjuk, így a fal megvédi a fémréteget a külső környezet hatásaitól. Ilyen esetekben azonban természetesen csak átlátszó alapozó lakkokat használhatunk, míg a fedőréteg átlátszósága nem lényeges. Az apoláros felületű anyagok (poliolefinok, fluortartalmú polimerek, poliformaldehid) vákuumgőzölésekor a tiszta, zsírtalan felület nem elegendő,

mivel sem a fém, sem pedig az alapozó lakkréteg nem tapad eléggé, és ennek következtében a fémréteg könnyen leválik. Ilyenkor az 2.5.2. pontban ismertetett módszerek valamelyikével kell a termék felületét kémiai módon módosítani.

Azokat a felületeket, amelyeket nem kívánunk bevonni, maszkolni kell. Ez történhet utólag lehúzzható öntapadó fóliával, szilikongumi bevonattal vagy fémmaszkokkal is, a termék alakjától és a sorozatnagyságtól függően.

A vákuumgőzöléses eljárás beruházásigényes, a nagyméretű (ált. 1–10 m³) vákuumkamra és a nagy teljesítményű szivattyúk igen drágák. Ehhez járulnak hozzá a fel-fogó- és mozgókeretek, állványok, illetve a lakkozáshoz szükséges berendezések költségei. A bevonandó termékek méreteivel együtt rohamosan nőnek a beruházási költségek. A nagyobb saját vákuumgőzölő kamrák felállítását a sorozatnagyság csak ritkán teszi gazdaságossá, ilyenkor célszerűbb a bevonást egy erre szakosodott céggel bér-munkában elvégeztetni. Hasonló a helyzet a fóliák bevonásánál is. A fóliateker-cset a felcsévé-lő berendezésekkel együtt behelyezik a szükségképpen nagyméretű vákuumkamrába és a fémréteg kialakítása félfolyamatosan, a fólia átteker-cselése során megy végbe. A fólia általában polietilén, polipropilén vagy poli(etilén-tereftalát), fémréteggént szinte mindig alumíniumot használnak.

A vákuumgőzölés költsége a termék geometriájától és a sorozatnagyságtól függően általában 5–20 USD/m², ciklusideje (lakkozás nélkül számítva) 10–30 perc.

2.5.5.3. Fémszórás

A fémszórásnál általában olyan szórópisztolyt használnak, amelynek fejébe folyamatosan két fémhuzalt vezetnek be. A huzalok között villamos ívet húznak, amely megolvasztja a fémet és ennek cseppecskéit sűrített levegővel vagy nitrogéngáz-sugárral a céltárgy felületére juttatjuk. Villamos ív helyett használhatunk gázlángot és plazmaheví-tést is a fém megolvasztásához. Az ív reprodukálhatóbb eredményt ad, mint a gázlángos olvasztás. A plazma előnye az inert atmoszféra mellett az, hogy finom fém (és más, pl. kerámia) port is használhatunk, amely kisebb cseppeket és ezáltal egyenletesebb bevonatot eredményez. Hátránya, hogy az ilyen berendezés nagyon drága.

A gyakorlatban alacsony olvadáspontja és jó korrózióállósága miatt csaknem kizá-rólag cinket használnak műanyagok bevonásához. Magasabb olvadáspontú fémeknél a műanyag termék általában már károsodik, ezért először itt is egy cinkréteget visznek fel, amely megvédi az alatta elhelyezkedő műanyagot a réz, acél, nikkkel, bronz stb. cseppek közvetlen hőhatásától.

A kézi pisztolyok használatához nagy gyakorlat és ügyesség kell az optimális 50-100 mikrométer vastagságú fémréteg egyenletes felhordásához. A forró fémcseppek miatt a dolgozók védőruhát, sisakot és légzőkészüléket viselnek. Robotok használatával a munkavédelmi kérdések háttérbe szorulnak és az egyenletes rétegvastagság is biztosítha-tó. A szóróberendezés (pisztoly és kamra) meglehetősen drága.

A felületet általában homokfúvással érdesítik fel, ennek ellenére a cinkréteg tapadá-sa gyenge; a készülékházak belső felületéről lepattogzó fémrészecskék rövidzárlatot okozhatnak. Az olvadt cinkcseppecskék a céltárgyat erősen felmelegítik, ezért ezt a tech-nológiát csak hőálló műanyagokon lehet alkalmazni, különben vetemedést, méretváltó-

zást okozhat. A cinkréteg jó (45–90 dB) elektromágneses árnyékolást eredményez, a környezeti hatásoknak évtizedekig ellenáll. Általában nagyméretű készülékházak és műszerek burkolatainak (nem dekoratív) belső oldalát vonják be ezzel az eljárással. A cinkbevonat ára alacsonyabb, mint a vákuumgőzöléssel előállított fémrétegé.

A fémszórás egyik érdekes alkalmazási területe a fémszobrok készítése. Ennél az új eljárásnál először összeragasztott kemény PUR habdarabokból durván megformálják a szobrot, majd erre üvegszál-erősítésű poliésztergyantát szórnak. Ennek felületét a gyanta megkötése után végleges formájúra faragják, az anyagihiányos részeket poliészter- vagy epoxigyanta-alapú, erősen töltött kittekkel pótolva. A végleges formájú szobrot először cinkszórással vonják be, majd pedig bronzsal (esetleg más fémmel). Nagyobb sorozatok gyártásához (pl. Olaszországban a vallási tárgyú kis és közepes méretű szobrokat több száz példányban is gyártják) a poliészter (vagy a poliuretán) szobor elkészítéséhez negatív öntőformát készítenek. Az eljárás lényegesen olcsóbb, mint a hagyományos, pozitív viasz- és negatív gipszformát igénylő bronzöntéses technológia.

2.5.5.4. Vezetőképes festékek

A vezetőképes festékek/lakkok általában réz-, ezüst-, nikkell- vagy aranyszemcséket tartalmaznak nagy koncentrációban. Az olcsóbb grafitöltetű bevonatokkal csak gyenge (max. 20–30 dB) elektromágneses árnyékolás érhető el, ami csak antisztatizálásra alkalmas. A rézadalékok árnyékoló hatása (35–50 dB) valamivel jobb, mint a nikkelé, de levegő hatására a réz könnyen oxidálódhat. Speciális rézadalékok azonban ellenállnak az oxidációnak. Az ezüstöt tartalmazó festékek árnyékoló hatása 50–70 dB, de áruk 5–10-szerese a réz- vagy nikkelladalékokkal ellátott típusokénak. Ezért az ilyen festékeket csak katonai célokra vagy olyan értékes berendezések védelmére használják, ahol az ár nem lényeges szempont az árnyékolás mértékével szemben. Az aranytartalmú festékek természetesen még drágábbak és hatékonyabbak.

A vezetőképes festékek/lakkok általában nem képeznek dekoratív felületet. Legnagyobb előnyük, hogy alig vagy egyáltalán nem igényelnek beruházást, a legtöbb üzemben megtalálható hagyományos festőeszközökkel (akár ecsettel is) felhordhatók. Ezért kis darabszámoknál és nagyon nagy felületek esetében is gazdaságosan alkalmazhatók. Árnyékoló hatásuk azonban (a nemesfémtartalmú típusok kivételével) elmarad az előzőekben tárgyalt fémbevonatok mögött. Az ilyen festékek, lakkok oldószerei feszültségkorrosziós repedezést okozhatnak, és természetesen munka- és tűzvédelmi, illetve környezet-szennyezési problémákat jelentenek. A jó tapadást az 2.5.2. pontban ismertetett módszerekkel lehet biztosítani.

2.5.5.5. Katódporlasztás

A katódporlasztásos eljárás nagyon hasonlít a vákuumgőzöléses módszerhez. Vákuumkamrában pozitív töltésű, felhevített gáz (általában argon) ionok csapódnak be elektrosztatikus erőter hatására egy fémfelületbe (katódba). A fémet a nagy energiájú ionok elgőzölögtetik és a fémgőz (a vákuumgőzölésnél ismertetett módon) a bevonandó műanyag (vagy más anyagú) céltárgy felületén kondenzálva vékony, összefüggő, dekoratív fémréteget képez. Az így kialakított bevonat tapadási szilárdsága valamivel jobb, mint a vákuumgőzölésnél elérhető érték. Az eljárás elsősorban Japánban és az USA-ban ter-

jedt el, fóliák bevonására is használják. Alkalmazása elsősorban a magas olvadáspontú fémek esetében előnyös a vákuumgőzöléssel szemben.

2.5.5.6. Kémiai módszerek

A kémiai módszerekkel kialakított fémbevonatok előállítására többféle, a galvanizációnál ismertetett eljáráshoz hasonló megoldást használnak. Általában először oxidáló savakkal (pl. krómkénsavval) maratják a bevonandó felületet, majd öblítés után savas kémhatású ón-diklorid oldatból ónionokat adszorbeáltatnak az oxidált felületre. Ezután, ha réz bevonatra van szükség, akkor ezüst-nitráttal, ha pedig nikkelre, akkor palládium-kloriddal aktiválják a felületet. Ekkor az ón(II)-ionok ón(IV)-ionokká oxidálódnak. Az így előkészített felületre azután réz-szulfát oldatból formaldehiddel rezet, vagy pedig nikkel-szulfát oldatból hipofoszfittal nikkelt csapnak ki. Mivel a réz oxidációra érzékeny, általában még lefedik egy egészen vékony nikkelréteggel is. Az egyes lépések között ionmentes vízzel öblítik a termék felületét.

A kémiai módszerekkel kialakított fémrétegek legfontosabb alkalmazási területe a háromdimenziós, fröccsöntött nyomtatott áramkörök (NYÁK) vezetősávjainak előállítása. Használják még emellett készülékházak elektromágneses árnyékolására is.

Miután a háromdimenziós NYÁK kártyák anyagának (rövid ideig) el kell viselnie a hullámforrasztás kb. 250 °C-os vagy az infra- és gőzfázisú forrasztás még magasabb hőmérsékletét, ilyen kártyákat csak ún. nagy hőállóságú speciális műanyagokból készítik, azaz anyaguk általában PSU, PES, PEI, ritkábban PPS, PEK, LCP vagy PEEK. Ezeknek az anyagoknak nemcsak a hőállósága megfelelő, de dielektromos állandójuk és méretstabilitásuk is jobb, mint a hagyományos, üvegszál-erősítésű epoxigyanta hordozóra laminált rézfóliás NYÁK lapoké. Emellett éghetőségi jellemzőik égésgátló adalékok nélkül is kielégítik a megszigorúbb biztonsági előírásokat.

A fröccsöntési technológia révén a tervező szabadon alakíthatja ki a kártya alakját, nincs szükség utólagos megmunkálásra, mint pl. furatok, megvezető hornyok elkészítésére, sőt merevítő bordák, villamos csatlakozók és a szerelést megkönnyítő csavarmenetek, bepattanó kötések is egyetlen lépésben kialakíthatók. A fröccsöntött NYÁK kártya hátoldala esetenként a készülék egyik oldalát is alkothatja, ezzel jelentős hely és gyártási költség takarítható meg. A fröccsszerszám elkészítése azonban jelentős költséggel jár, ezért ez az eljárás csak nagy (10 ezernél nagyobb) darabszámok esetében lehet gazdaságos. Az ilyen kártyák mérete általában nem haladhatja meg az 500-700 cm²-t, mivel ebben az esetben a fröccsöntés költségei ugrásszerűen megemelkednek. Hajlékony NYÁK kártyákat és szalagkábeleket a kevésbé hőálló, de olcsóbb poli(etilén-tereftalát)-ból is gyártanak.

A nagy hőállóságú műanyagokból készített NYÁK kártyák előállításához az alapanyaggyártók komplett technológiákat kínálnak. Ezek közös vonása, hogy a közönséges, rézfóliával borított NYÁK lapoknál alkalmazott maratásos módszer helyett itt éppen fordítva, csak azokon a helyeken alkalmazzák a vegyi kezelést (vagy annak egy részét), amelyeken utólag fémréteget akarnak kialakítani. Valamennyi eljárásnál a tiszta, zsírtalanított felületet oxidáló savakkal vagy oldószerekkel (pl. a PEI esetében dimetilformamiddal) maratják. Ezután az előzőekben említett ónionokkal végzett aktiválás következik. Egyes eljárásokban ezt követően, másoknál már a maratás előtt maszkolják a

nem bevonandó felületeket. A maszkolás módja és anyaga függ az alapanyagtól, a sorozatnagyságtól és a kártya alakjától. Van olyan eljárás is, amikor a rézleválasztás számára csak azok a felületek aktiválódnak, amelyeket előzőleg ultraibolya fénnel megvilágítottak, ezért itt bevonatok helyett fémmaszkokat alkalmaznak. A technológiák végén a már leírt módszerrel rezet és/vagy nikkelt csapnak ki. Ezután vagy leoldják vagy sem a védő, maszkoló bevonatokat, esetleg az ezek alatt elhelyezkedő aktivált ionréteget.

A felragasztott fémfóliáknak elsősorban dekorációs funkciója van, ezekkel az 2.5.4. pont „h” részében foglalkoztunk.

2.5.6. Egyéb felületkezelési módszerek

A műanyag termékek felületének módosítása szinte kimeríthetetlen variációs lehetőségeket kínál. Ezek közül a leggyakrabban használatos eljárások a következők:

- polírozás,
- bolyhosítás,
- a felület textúrájának módosítása (pl. prézeléssel),
- kémiai módosítás (nem tapadásjavítás céljából),
- karc- és kopásállóság növelése,
- antisztatizálás,
- súrlódás csökkentése.

2.5.6.1. Polírozás

A műanyagokat viszonylag ritkán kell polírozni, hiszen ha az alakadó szerszám felülete megfelelően sima volt, a belőle kiemelhető daraboké is az lesz. Néha azonban előfordul, hogy mégis polírozni kell műanyag tárgyak felületének kisebb-nagyobb részeit. Ez elsősorban a következő okokból szükséges:

- A felületi hibák (pl. sorja, beömlőcsonc helye, hegesztési varratok, karcok) eltávolítása, kisimítása.
- Víziszta, átlátszó öntött termékek, illetve ilyen gyantákba beágyazott tárgyaknál a gyantaréteg felülete nem elég sima az optikai követelmények kielégítéséhez. Különösen így van ez a felső, a zsugorodás következtében ívelt felületnél, amelyet mindenképpen először vízszintesre (vagy más síkra) kell marni, majd simára polírozni.
- A polírozás történhet forgó dobban (apró termékek esetén) vagy textil polírkorongokkal. Mindkét esetben viasszal, olajjal nedvesített szemcséket tartalmazó polírpasztákat alkalmaznak. A hőre lágyuló műanyagokon, ha nem ügyelünk, a polírozásnál fellépő súrlódás hatására a felület hőmérséklete nagyon gyorsan olyan magasra emelkedhet, hogy az anyag megolvad. Tulajdonképpen a polírozási folyamat során is az anyag megolvadásáról van szó (nem pedig koptatásról), de ekkor az olvadás csak nagyon vékony (néhány μm) rétegben megy végbe, miközben az olvadt anyag kitölti, elsimítja a felületi repedéseket, mélyedéseket. A helytelenül megválasztott polírpaszta feszültségkorróziós repedezést okozhat.

Hőre keményedő anyagokon jóval magasabb (kb. 150 °C vagy e feletti) hőmérsékletek is megengedhetők, vagyis nagyobb fordulatszámmal (kerületi sebességgel) lehet a

polírkorongot hajtani. Hőre lágyuló műanyagoknál a polírkorong kerületi sebessége általában nem haladhatja meg a 15–20 m/s értéket, duroplasztoknál pedig 20–25 m/s az ajánlott sebességhatár.

A dobban végzett polírozásnál (pl. napszemüveg-keretek, gombok, nyakláncok gyöngyei) a dobba kis fadarabokat vagy műanyag testeket is adagolnak, amelyek felületén megtapad a polírpaszta. Az ilyen hordozóanyagokkal kb. kétharmadnyira feltöltött dobba adagolják be a polírozandó tárgyakat. A polírozás sokszor nem egy, hanem 2–4 lépésből (durvább és finomabb kezelés) áll, ezek ideje és az optimális eredményt adó polírozó anyagok minősége minden egyes terméknel csak tapasztalati úton állítható be.

A bútoriparban (és néha máshol is) gyakran poliészter lakkréteggel vonják be az alkatrészeket, és a lakk megkötése után polírozással hozzák létre a kellően magas fényű felületet.

2.5.6.2. Bolyhosítás

A bolyhosítás (vagy pelyhesítés) során a ragasztóval bevont műanyag felületre rövid textilszálakat szórnak, melyek a ragasztó megkötése után szilárdan megtapadva puha, textilhez, plüsshez hasonló, hosszabb szálak esetében pedig szörme jellegű felületet eredményeznek.

Ragasztóként általában vizes poli(vinil-acetát), akrilát vagy poliuretánlatexeket, oldószeres epoxi- és poliuretánragasztókat, PVC esetében oldószermentes plasztiszolokat alkalmaznak. A ragasztó fázékidejének elegendően hosszúnak kell lennie a zavarmentes gyártáshoz, ugyanakkor a szárítóalagútban (kemencében) gyorsan meg kell szilárdulnia.

Az örölt szálak hossza 0,1–0,5 mm, a vágott szálaké 0,3–5 mm között váltakozik. Az egyenletes szálhosszúság jobb minőségű terméket eredményez. Szinte mindegyik természetes és műszálal használhatjuk, a legnagyobb mennyiségben mégis a poliamid 6 szálakat, ennél jóval ritkábban pedig a poliamid 66, poliészter, akrilát- és pamutszálakat használják. A szálak keresztmetszete legtöbbször kör vagy ritkábban a merevebb H alak variációja. A szálak finomsága (vastagsága) általában 0,5–10 dtex. Az elektrosztatikus eljárásokban a ragasztónak kell vezetőképesnek lenni, mivel a hordozó műanyag villamos szigetelő és a célfelületet földelni kell. A vizes rendszerek e tekintetben általában önmagukban is megfelelőek, a többi ragasztónál azonban adalékokkal kell a vezetőképeséget biztosítani.

A bolyhosítást már évszázadok óta használják textíliák és papír módosítására. Műanyagfelületek bolyhosítására jelenleg a következő eljárásokat alkalmazzák nagyipari méretekben:

- mechanikai szórás a céltárgy vibrációjával,
- elektrosztatikus szórás váltófeszültséggel,
- elektrosztatikus szórás egyenfeszültséggel.

Az elektrosztatikus szórási módszerekben is gyakran vibráltatják a céltárgyat, mert így tömörebben helyezkednek el a felületen a szálak. Esetenként a szálak intenzívebb mozgatására sűrített levegőt is használnak (főleg háromdimenziós termékekhez).

A mechanikai eljárást még ma is alkalmazzák, de csak fóliák (és persze textíliák, papírok) bolyhosítására. A rövid szálak egy forgó adagolóhengerből kihullva a gravitáció

hatására jutnak az alattuk elhelyezett ragasztóréteggel bevont felületre. A vibráció hatására a szálak vége jobban behatol a ragasztórétegbe, a szálak elhelyezkedése nagyobb mértékben közelíti meg a merőlegest és így tömörebben is helyezkednek el.

A **váltóáramú** elektrosztatikus szórásnál egy nagyfeszültségű, szigetelt rácselektroda helyezkedik el a száladagoló és a céltárgy felülete között, a ragasztóréteg földelt. A szálak áthullva az elektródán kismértékben feltöltődnek és ezáltal rendezettebben, azaz a felületre statisztikusan nagyobb mértékben merőlegesen helyezkednek el. Az erőtér nem gyorsítja fel a szálakat, azokat a gravitáció juttatja a céltárgy felületére. Ezért a jobb beágyazódást itt is vibrációval érik el. A módszert csak sík felületekhez használják. Az egyenfeszültséget használó eljáráshoz képest előnye a nagyobb termelékenység, továbbá hogy kisebb vezetőképességű szálak is használhatók hozzá. Emellett pedig kevésbé érzékeny a szálak hosszának ingadozására. Hátránya, hogy nagyon finom szálakhoz nem használható, a szálak kevésbé lesznek párhuzamosak, azaz műszörme jellegű, nagy szál-sűrűségű felület nem biztosítható. Az olyan anyagok, amelyeket nem lehet vibrálni (pl. kötött textíliák), nem használhatók ennél a módszernél.

Az **egyenfeszültségű** erőteret használó eljárások két fő csoportba sorolhatók:

- az elkülönített elektródákkal és
- a (hatékonyabb) direkt töltésű adagolóval dolgozó berendezések.

Ezekkel a módszerekkel alakos tárgyakat is lehet bolyhosítani (pl. gépkocsik műszerfalát vagy kesztyűtartójának belsejét, játékfigurákat, bőröndöket, kozmetikai szerek tubusait). Alkalmasak nagyon finom szálak feldolgozásához is, a szálak rendezettsége igen nagymérvű is lehet. A keretre szerelt, mozgatható magasságú (rács, háló, alakos formájú stb.) elektródák nincsenek szigetelve, ionizációval adják át töltésüket a szálaknak. Az erőtér jelentős gyorsító hatást is gyakorol a feltöltődött szálakra. Ha több szóróberendezést sorba kapcsolunk, a rendszer termelékenysége elérheti a váltófeszültséggel dolgozó berendezésekét.

Háromdimenziós termékeknél a céltárgyat általában forgatják és a szálakat az elektrosztatikus erőtér mellett gyakran sűrített levegővel is mozgatják.

2.5.6.3. A felület textúrájának módosítása (prézelés)

A műanyag termékek felülete általában jól követi az alakadó szerszám felületének rajzolatát. Ezért ha sima, csillogó felületet akarunk készíteni, akkor a szerszám felületét polírozni, esetleg keménykrómozni kell. Bizonyos műanyagokból, mint pl. üvegszállal erősített vagy habosított rendszerekből nem lehet fényes felületet készíteni. Ha matt felületet akarunk, akkor a szerszám felületét homokfúvással vagy kémiai maratással, esetleg szikraforgácsolással fel kell durvítani. A szerszám felületén kémiai maratással (maszkolva), lézerrel vagy szikraforgácsolással mintázatot (pl. textil-, fa-, bőr utánzatok, geometriai minták, recézés) is kialakíthatunk. Ugyanezt megtehetjük kalanderezésnél vagy síkfóliák extrudálásánál a hűtőhengerek után elhelyezett mintázott felületű hengerekkel (prézelés). Ilyenkor a műanyag felületét előmelegítjük és átvezetjük egy olyan hűtött hengerpár között, amelyek közül az egyik vagy mindkettő felületére rá van garvírozva a kívánt felületi textúra.

A felület textúrájának módosítása nemcsak dekorációs, hanem funkcionális célokat is szolgálhat. Így pl. fóliák prézelésével javíthatjuk azok továbbszakadási szilárdságát, lágyabb tapintásúvá tehetjük azokat és csökkenthetjük zörgésüket is. Műbőr ülészetek mély recézése javíthatja az ülés szellőzését, merev műanyag ülések és lépőfelületek (pl. hajók fedélzetén) recézése csúszásgátló hatású. A felületek szerkezetének utólagos módosítása polírozással vagy ultrahangos prézeléssel történhet.

2.5.6.4. Kémiai módosítás

A műanyag termékek felületét az 2.5.2. pontban tárgyalt tapadásnövelő hatásokon kívül is szokták módosítani. Ennek több célja lehet, ezek közül a következők a leggyakoribbak:

- gáz-, gőz- vagy folyadékáteresztő tulajdonságok megváltoztatása,
- kopás- és karcállóság javítása,
- vegyszerállóság javítása,
- membránok esetében a szelektivitás fokozása/megváltoztatása.

A fenti felületmódosítások általában más tulajdonságokat is megváltoztatnak. A módosítás történhet vegyszeres maratással, plazmakezeléssel, esetleg ionizáló sugárzással.

A **vegyszeres maratás** általában fluorozást, klórozást vagy szulfonálást jelent. Az eljárás legnagyobb jelentőségű ipari alkalmazása jelenleg a gépkocsik üzemanyagtartályaival kapcsolatos. A személyautók benzintankját ugyanis ma már nagyon sok esetben polietilénből fűjják. A polietilén azonban az adott falvastagságnál nem képes eléggé visszatartani a benzingőzőket ahhoz, hogy az autó benzinemissziója a megengedett érték alatt maradjon. Ezért a tankok falát fluorozzák vagy szulfonálják, az így polárossá tett felületi réteg ugyanis sokkal inkább visszatartja a benzinben lévő apoláros szénhidrogénmolekulákat.

Egy másik, a DuPont cég által szabadalmaztatott eljárással úgy oldják meg ezt a problémát, hogy poliamidot kevernek be egy speciális (Selar ionomer) adalékanyaggal együtt a polietilénbe. Így elmarad a veszélyes vegyszeres kezelés.

A vegyszeres felületmódosítást alkalmazzák még különböző flakonok és tartályok vegyszerállóságának és gázzáró képességének javítására is.

Plazmakezeléssel szinte bármilyen atomokat, molekulákat rá lehet ültetni a műanyagok felületére. Így például lehetséges kerámia (üveg, kvarc) rétegek kialakítása is, ezzel a gázzáró képesség és a kopásállóság lényegesen megjavul. A plazmakezelés azonban ma még nagyon drága.

Kopásálló szilícium-dioxid réteget beégetős lakkokkal, kémiai úton is létre lehet hozni műanyagok felületén. Ezt a módszert elsősorban az átlátszó műanyagokhoz használják egyes optikai lencséken és főként a gépkocsigyártásban, ahol pl. a reflektorok polikarbonátbúróját így óvják meg a por és a felferődő szennyezések koptató, karcoló hatásától. Az ilyen bevonatok keménysége csaknem azonos az üvegével, emellett javítják a műanyag termék vegyszer- és időjárásállóságát is.

A néhány mikrométer vastagságú szilícium-dioxid réteggel borított műanyag fóliák rendkívül jó gázzáró képességét az élelmiszerek csomagolásánál hasznosítják.

2.5.6.5. Antisztatizálás

A műanyagok általában olyan jó villamos szigetelők, hogy erősen hajlamosak az elektrosztatikus feltöltődésre. Ez a probléma kevésbé jelentkezik az amino- és fenoplasztok, illetve a poliamid 6 és 66, továbbá néhány poliuretántípus esetében, mivel ezek felületi vezetőképessége a környezet nedvességének hatására már csaknem eléri az antisztatikus határt (kb. 10^8 – 10^9 Ω fajlagos felületi ellenállás).

Az antisztatizálást elvileg négyféle módon érhetjük el.

- Az egyik módszer a vezetőképes adalékok (pl. korom, grafit, fémszemcsék és/vagy -szálak) bekeverése.
- A másik a levegő nedvességtartalmának illetve szabad iontartalmának növelése (ezek levezetik a felületi töltéseket).
- A harmadik módszer a felület kezelése olyan folyadékokkal, amelyek megkötik a levegő nedvességtartalmát és ezáltal vezetőképes elektrolithártyát alkotnak a műanyag tárgyak felületén. Ilyen célokra legtöbbször kvaterner amóniumnások vizes oldatát/emulzióját használják. Ez a bevonat nem ad tartós védelmet, a használat során könnyen letörölhető. Alkalmas azonban annak megakadályozására, hogy a műanyag termékek a tárolás, szállítás során bepiszkolódjanak. Emellett, ha a felhasználó időnként, vagyis néhány hét vagy hónap elteltével, az igénybevételtől függően megújítja, tartós antisztatizáló hatás is biztosítható.
- Végül a negyedik megoldást az jelenti, ha az antisztatizáló szert bekeverjük a polimerbe. Ekkor a kismolekulájú adalék folyamatosan migrál a felületre, így akár néhány éven át is antisztatikus marad a termék.

2.5.6.6. Súrlódáscsökkentés

A műanyagok egy része önkenő jellegű, pl. a poli(tetrafluor-etilén) (PTFE, teflon) a legkisebb súrlódási együtthatóval rendelkező szilárd anyag. Bizonyos műanyagok súrlódási együtthatója viszont nagy, és bizonyos alkalmazásoknál mindenképpen hasznos a siklási jellemzők javítása. Ezt az alapanyag helyes megválasztása mellett háromféle módon érhetjük el.

- Az egyik lehetőség az, ha a csúszó felületet valamilyen folyadékkal kenjük. A műanyagok a fémektől eltérően nem érzékenyek arra, hogy milyen folyadékot használunk erre a célra, ha az nem okoz vegyszerállósági vagy feszültségkorróziós problémákat. Így például vízzel kb. ugyanolyan jó eredményt érhetünk el, mint olajjal.
- A másik lehetőség szilárd adalékanyagok (pl. molibdén-diszulfid, grafit, teflonpor) bekeverése, amelyek együtt kopnak a hordozó polimerrel, és eközben kenő hatást fejtenek ki.
- A harmadik, gyakran az előzőekkel kombinálva alkalmazott megoldás az, ha néhány százalék kis molekulájú szilikonolajat keverünk be a műanyagba. Ezek a molekulák lassan a felületre migrálva kenő hatást fejtenek ki.

V É G E