

Fém-műanyag hibrid szerkezetek előállításának új eljárásai

3D nyomtatással előállított fém alkatrészeket előnyösen lehet alkalmazni könnyű fém/műanyag hibrid termékek gyártásához, mivel segítségükkel komplex és/vagy súlymegtakarítást eredményező formákat és jó fém/műanyag tapadási szilárdságot lehet elérni kis szériák esetében is. Alacsony nyomású plazmakezeléssel vékony, nanopórusos szerkezetű tapadásközvetítő üvegréteget lehet fémek és más szerkezeti anyagok felületére felhordani, ami a műanyagok tapadását a hagyományos módszerekhez képest a többszörösére növeli.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; hibrid rendszerek; additív gyártástechnológia; felületkezelés; alumínium; acél; sárgaréz; TPE-S; PP; PA; PPS; PU; EP.

Az autógyártás és más iparágak által egyre inkább megkövetelt csökkentett súlyú alkatrészek kialakításának egyik jól bevált módszere a többféle alapanyagból, legtöbbször fém/műanyag kombinációjával előállított hibrid szerkezetek alkalmazása. Ilyenkor a mechanikai szilárdság szempontjából nagyon fontos kérdés, hogy milyen tapadást sikerül elérni a kétféle anyag érintkezési határfelületén.

3D nyomtatású fémrészekkel gyártott hibrid szerkezetek

A súlycsökkentési céllal készített hibrid szerkezeteknél előnyös a kis sűrűségű alumínium alkalmazása. A német Aalen Főiskola kutatói most additív gyártástechnológiával, vagyis *szelektív lézer szinterezéses 3D nyomtatással* alumínium porból állítottak elő olyan fémgyűrűket, amelyekre – egy megfelelő fröccsöntő szerszámba helyezve azokat – belső felületükre ráfröccsöntötték a műanyag tömítést.

A 3D nyomtatás lehetővé teszi, hogy olyan bonyolult kialakítású és kevesebb anyagot tartalmazó, vagyis könnyített alkatrészt állítsanak elő, amely a hagyományos, pl. forgácsolási eljárásokkal nem, vagy csak nagyon drágán lehetne előállítani. A 3D nyomtatás emellett nagyon gazdaságos kis szériás, vagy egyedi termékek gyártásához.

A jelen esetben hidraulikus szivattyúkhöz használatos dinamikus (rotációs) tömítéseket készítettek AlSi10Mg alumínium szinterporból úgy, hogy egy hűtőcsatornát is létrehoztak az alumínium gyűrű belsejében. Ezáltal egyrészt lehetségessé vált, hogy a működés közben a súrlódásból származó hőt elvezessék és ezáltal hűtsék a gyűrűre

tapadó műanyag tömítést, meghosszabbítva annak élettartamát. Másrészt a hűtőcsatorna ürege révén kevesebb alumíniumot építettek be a gyűrűbe, tehát könnyebb lett a gyűrű. Az ajakos tömítést sztirol alapú hőre lágyuló elasztomerből (TPE-S, 90 Shore A) fröccsöntötték rá a fröccsszerszámba helyezett gyűrű belső felületére. Így nagyon egyszerűen, kis élőmunka ráfordítással lehetett a terméket előállítani

A fém/műanyag hibrid szerkezetek szilárdságát gyakran a két anyag egymáshoz tapadásának mértéke határozza meg. A durva fémfelület, a mikroszkopikus pórusok, rések, alámetszések növelik a tapadóerőt, mivel így a műanyag nagyobb felületen képes lehorgonyozódni. A műanyagok általában nem túl erősen tapadnak a fémekhez, ezért a hagyományos eljárásokkal készült fém alkatrészek esetében gyakran szükséges a fémfelület felületkezelése, illetve tapadásközvetítő réteggel történő bevonása. Az egyik ilyen ismert felületkezelő eljárás a kisnyomású plazmával történő kezelés.

A szelektív lézer szinterezés egyik gyakran emlegetett hátránya a nem túl sima felület, amely a hibrid rendszereknél éppen ellenkezőleg, előnyt jelenthet. A kutatók ezért rászteres fénymikroszkóppal vizsgálták a 3D nyomtatással és a forgácsolással (AlMg4,5Mn) előállított alumínium gyűrűk felületi érdességét. Megállapítható volt, hogy a szelektív lézer szinterezéssel készült gyűrűk felülete durvább mintázatot ad, mint a forgácsolt felület, de annak finom mintázatú egyenetlenségei összességükben nagyon hasonló, csak 0,7%-kal kisebb fajlagos felületet biztosítanak.

A tapadási szilárdság mérésére egy, az alumínium gyűrűt egy fémcsővel alulról megtámasztó mintatartót helyeztek egy függőlegesen lefelé mozduló, a műanyag tömítés méreténél alig kisebb nyomódugattyút mozgató présgép alá. Előfeszítésként 3N erőt alkalmaztak, a dugattyú mozgási sebessége 10 mm/min, a mérés hőmérséklete 23 °C volt, és 5–5 párhuzamos mérést végeztek. A fröccsöntés előtt a fémfelületeket acetonnal zsírtalanították.

Azt tapasztalták, hogy míg a forgácsolt gyűrűk esetében a tépőerő kb. 400 kN volt, addig a szelektív lézer szinterezéssel készült gyűrűknél ez 1150 kN körüli érték, vagyis 242%-kal magasabb lett. Azonban, ha a forgácsolt gyűrűk felületét alacsony nyomású plazmával (5 perc argon és 5 perc oxigén) kezelték, a tépőerő 1340 kN körüli értékre emelkedett. E jelenség oka valószínűleg az, hogy az eltérő összetételű alumínium ötvözetekben lévő különböző fématomok eltérő hatást gyakorolnak a felületi oxidrétegre, és ezen keresztül a tapadást növelő reakciókat idéznek elő.

Jobb tapadás nanoporózus bevonattal

A német Fraunhofer Intézet Kémiai Technológia Intézete (ICT) kutatói egy új eljárást dolgoztak ki fém alkatrészek felületkezelésére, melynek segítségével azok erősebben tapadnak a fém/műanyag hibrid szerkezetekben a velük érintkező műanyag részhez. *Az eljáráshoz a plazma segítségével létrehozott kémiai gőz kicsapás (angol rövidítése: PECVD) módszert alkalmazták, melynek segítségével nagyon kis, a nano tartományba eső pórusokat hoztak létre egy nagyon vékony, a fém felületére felvitt tapadásközvetítő rétegben. A hibrid alkatrész előállításánál a megolvasztott hőre lágyuló műanyag vagy a folyékony, térhálósodó gyanta behatol a pórusokba, majd ott*

megszilárdulva lehorgonyzódik és ezáltal nagy tépőszilárdságot biztosít. A vizsgálatok szerint pl. a fém/PPS [poli(fenilén-szulfid)] tépőszilárdsága ezzel az eljárással a hagyományos felületkezeléssel kapott értékek többszörösét érte el.

Az eljárás előnye, hogy gyors (kb. 10 s) és a kémiai felület előkészítésekkel ellentétben hatása nem csökken a kezelés után eltelt idővel, tehát az így kezelt alkatrészek több hétig is tárolhatók, mielőtt a műanyag résszel összekötnék. A folyamathoz csak olcsó szilikon olajra és oxigén gázra van szükség. Ezzel a módszerrel nagy alkatrészek is kezelhetők, termelékenysége kompenzálja a plazma berendezés viszonylag magas beruházási költségét.

Mivel a plazmában a töltéssel rendelkező részecskék élettartama az időegység alatt bekövetkezett ütközések gyakoriságától függ, az eljáráshoz kis nyomású plazmát használnak. A plazma létrehozásához mikrohullámú energiaforrást alkalmaznak. A mikrohullámok használatával csekély ion- és magasabb elektronsűrűségű, hideg és reaktív plazmát hoznak létre, amivel nagy (akár 20 $\mu\text{m}/\text{min}$) bevonási sebességet lehet elérni az alkatrész felületének károsodása nélkül.

A légmentesen záródó, a céltárgy felfogásához szükséges befogó szerkezetet tartalmazó plazmakezelő kamrához egy vákuum szivattyút és az oxigén bevezetésére szolgáló betápláló csonkot csatlakoztatnak. A plazma begyűjtéséhez és fenntartásához mikrohullámot használnak. A mikrohullámok koaxiális elrendezésű hozzávezetésével több méter hosszú lineáris plazmaforrást lehet kapni. Miután egymással párhuzamosan több ilyen hozzávezetést építettek be, ezért nagy felületen is homogén plazmakezelést lehet biztosítani.

A PECVD eljárásnál a gáz halmazállapotú komplex molekulákat (prekursorokat) és az ún. munkagázt (pl. oxigént) bevezetik a plazmakezelő kamrába. Amikor a plazma létrejön, a prekursor molekulák és az oxigén reakciótermékei kicsapódnak és kémiailag hozzákötődnek a céltárgy felületére. Így például, ha prekuzorként gázfázisú hexametil-disziloxánt (HMDSO) használnak:



keletkezik. Vagyis a HMDSO-ból az oxigén és a plazma hatására egy nagyon vékony, átlátszó üvegréteg (a SiO_2 monomer egységek polimerizálódnak) kötődik a fém vagy kerámia, üveg, műanyag céltárgy felületére. A fenti reakció paramétereinek változtatásával nagyon különböző tulajdonságú (pl. kemény/lágy, hidrofil/hidrofób) komplex rétegeket lehet létrehozni. A plazma paraméterek (pl. nyomás, mikrohullám teljesítmény, gázáram) beállításával a bevonat, a céltárgy anyagától függetlenül, pórusossá alakítható.

A kutatók különböző fémekkel és műanyagokkal próbálták ki sikeresen az eljárást. Minden esetben azt tapasztalták, hogy a fémfelületen így létrehozott nanopórusos tapadásközvetítő bevonat megtöbbszörözte a fém/műanyag tapadási szilárdságát. E munka során polipropilént, poliamidot, PPS-t, poliuretánt, epoxi- és szilikongyantát, illetve alumíniumot, acélt és sárgarezet használtak. Megállapították, hogy a különböző

adalékanyagok – mint az üvegszálak vagy a korom – bekeverése nem befolyásolja a tapadószilárdságot.

A tapadásközvetítő réteg hatékonyságának ellenőrzésére a nanopórusos bevonat mellett hagyományos felületkezelő eljárásokat is alkalmaztak. Így az alumínium és az acél próbatesteket (100x100 mm²) 65 °C-on foszforsavas maratással kezelték. Egy másik felületkezelő eljárásnál 6 bar nyomással (~340 l/min) 70 µm átmérőjű üveg-gömböcskéket szórtak a fémfelületre. A sárgaréz próbatestek esetén a foszforsavas maratást elhagyták, mert ennél az anyagnál ilyenkor mérgező vegyületek keletkezhetnek. Amikor a különböző felületkezelő eljárásokkal készült fémlemezekre PPS lemezt hegesztettek és megmérték e hibrid rendszerek tapadószilárdságát (1. táblázat). Azt tapasztalták, hogy a nanopórusos tapadásközvetítő réteg alkalmazásával a tapadószilárdság a kémiai maratásnál mintegy kétszer, az üveggyöngyszórásnál pedig kb. négyszer nagyobb értéket biztosít, a fém fajtájától függetlenül.

1. táblázat

Eltérő felületkezelésű fémek és a PPS tapadószilárdsága

Fém	Felületkezelés	Tapadási szilárdság, MPa
Alumínium	foszforsavas maratás	12
	üveggyöngyszórás	5
	nanopórusos tapadásközvetítő réteg	22
Acél	foszforsavas maratás	10
	üveggyöngyszórás	6
	nanopórusos tapadásközvetítő réteg	22
Sárgaréz	üveggyöngyszórás	6
	nanopórusos tapadásközvetítő réteg	22

Összeállította: dr. Füzes László

Frick A., Boßler R., Riede F.: Ein neuer Zugang zu leichten Hybridstrukturen = Kunststoffe, 7. sz. 2018. p. 63–66.

Emmerich R., Laux M., Dreher R.: Beinahe unzertrennlich = Kunststoffe, 6. sz. 2018. p. 96–98.