

KOVÁCS ZSÓFIA¹, TOLDY ANDREA¹

ÉGÉSGÁTOLT GÉLBEVONATOK FEJLESZTÉSE AUTÓIPARI ALKALMAZÁSOKHOZ

DEVELOPMENT OF FLAME RETARDED GELCOATS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

Manapság az autóiparban a szigorú biztonságtechnikai előírások miatt szükség van a polimer alkatrészek égésgátlására. Az égésgátlókat általában a polimer mátrixhoz adják, ami befolyásolja a mátrix viszkozitását. Egy másik lehetséges megoldás az égésgátló bevonat alkalmazása, amely biztosítja a megfelelő felületi minőséget, véd a külső behatásokkal szemben, valamint az adalékanyagot, azaz az égésgátlót is tartalmazza. Polimerek esetén a gélbevonat alapanyaga valamilyen polimer gyanta, amelyet szórással vagy kenéssel lehet az adott felületre felvinni. Kutatásunk során referencia (égésgátló nélküli) és égésgátolt gélbevonat alapanyagok éghetőségét vizsgáltuk oxigénindex (LOI), UL-94 szabvány szerinti, valamint tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalometriai (MLC) vizsgálatokkal. Éghetőségi szempontból a legjobban teljesítő bevonatokat polipropilén (PP) mátrixú alappolimerekre vittük fel. Ezenkívül vizsgáltunk referencia és égésgátolt bevonattal ellátott PP és poliuretán (PUR) autóipari alkatrészeket is.

Nowadays, the automotive industry requires flame retardants in polymer parts due to stringent safety regulations. Flame retardants are usually added to the polymer matrix, which affects the viscosity of the matrix. Another possible solution is the application of a flame retardant coating. This layer provides the required surface quality, the protection against external influences, and contains the additive, i.e. the flame retardant. In the case of polymers, the gelcoat layer is based on a polymer resin, which can be applied to the surface by spraying or brushing. In our research, the flame retardancy of reference (without flame retardant) and flame retarded gelcoat base materials was investigated using oxygen index (LOI), UL-94 and mass loss type cone calorimetry (MLC) tests. The best performing coatings in flame retardancy were applied to polypropylene (PP) matrix base polymers. In addition, PP and polyurethane (PUR) automotive components with reference and flame retardant coatings were investigated.

1. BEVEZETÉS

Manapság a járműipari alkatrészek nagyjából egyharmada műanyagból készül, mivel kis sűrűségük miatt lehetővé teszik a gépjárművek tömegcsökkentését, és ezzel összefüggésben a fogyasztás és károsanyag kibocsátás csökkentését. A polimerek megfelelnek a hagyományos autóipari követelményeknek, mint kiváló mechanikai tulajdonságok, ütésállóság, hőállóság, kémiai ellenállás, testreszabhatóság, könnyű alakíthatóság, viszonylag alacsony költség és újrahaznosíthatóság [1]. Azonban a szigorú biztonságtechnikai előírások miatt szükség van a polimerek égésgátlására. Az égésgátlók hozzáadhatók a mátrixhoz, viszont sok esetben ez ronthatja a mechanikai tulajdonságokat. Továbbá nem feltétlenül szükséges az alkatrészt teljes anyagában égésgátolni, hiszen a legtöbb esetben a kialakuló tűz a szerkezet külső felületével érintkezik. Erre megoldást jelenthet az égésgátolt gélbevonat alkalmazása.

A gélbevonat fő funkciója a megfelelő felületi minőség biztosítása, az alkatrész védelme a külső behatásokkal szemben, valamint a végső megjelenés kialakítása. A gélbevonatokat széles körben alkalmazzák az iparban, többek között az építőiparban (csempék külső rétegeként), a járműiparban és az elektronikai iparban. Ugyanakkor adalékanyagok hozzáadásával egyéb tulajdonságokkal is elláthatjuk, mint például elektromos vezetőképességgel, vízállósággal vagy égésgátlással [2].

Égésgátolt bevonatok jellemzően lehetnek felhabosodó vagy nem felhabosodó típusúak. A nem felhabosodó bevonatok esetén főként gáz fázisban ható halogén- és foszfortartalmú égésgátlókat alkalmaznak. A felhabosodó (intumeszcens) bevonatoknál az égésgátlók termikus bomlása során a polimer felületén egy felhabosodott szén réteg képződik, amely gátolja a hőforrásból a polimerbe történő hőátadást, valamint az oxigén diffúzióját a polimerbe. Tipikus intumeszcens égésgátló az ammónium-polifoszfát (APP) [3-6].

A gélbevonatok felvitelére jellemzően szórás, kenés vagy szerszámban történő bevonatolás használható. A kenés a legegyszerűbb módszer a bevonatok felvitelére, azonban a bevonaton meglátszódnak az ecsetvonások, és nehéz egyenletes rétegvastagságot kialakítani. Emellett a nagy felületek bevonása

hosszú időt igényel. A kenéshez képest jobb megoldást jelenthet a szórás, ahol nagyobb a termelékenység, valamint bonyolultabb geometriájú szerszámoknál is használható. Egy viszonylag új módszernek számít a szerszámba történő bevonatolás, ahol egyenletes vastagságú bevonatot lehet létrehozni illékony szerves vegyületek (VOC) alacsony kibocsátása mellett [2, 7, 8].

Kutatásunkban referencia és égésgátolt gélbevonatok éghetőségét vizsgáltuk oxigénindex, UL-94 szabvány szerinti vizsgálattal és tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalometriával. Éghetőség szempontjából a legjobban teljesítő bevonatokat PP alappolimerekre vittük fel és vizsgáltuk a bevonat polimer éghetőségét. Továbbá 15% P-tartalomnak (15%P) megfelelő APP-t tartalmazó gélbevonattal ellátott PP és PUR autóipari alkatrészek éghetőségét is vizsgáltuk.

2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. FELHASZNÁLT ANYAGOK

Kísérleteinkhez égésgátolt gélbevonatként SGi128 típusú epoxi alapú gyanta komponenst és SD 228 típusú térhálósító komponenst használtunk, ahol a komponensek keverési aránya 100:70 (epoxigyanta komponens:térhálósító) volt. Égésgátó nélküli gélbevonatként SG715 tixotróp tulajdonságú, epoxigyanta alapú gyanta komponenst és SD802 térhálósító komponenst alkalmaztunk. A két komponens keverési aránya 100:27 (epoxigyanta komponens:térhálósító) volt. A gélbevonat mintákhoz foszfortartalmú additív égésgátó adalékokat adtunk. Égésgátóként ammónium polifoszfátot (APP, NRC Nordmann) és rezorcín-bisz(difenil-foszfat) (RDP, Chemtura Europe Ltd.) adalékokat alkalmaztunk. Hőre lágyuló polimer mátrixként Mitsubishi Borealis MCE-IPN-02 (IPN02, Mitsubishi Chemical Europe GmbH) polipropilént és Innopol CS 2-9000 BU/2 (CS2-9000, Inno-Comp Kft.) polipropilén blokk-kopolimert használtunk. A mátrix égésgátlásához ammónium-polifoszfátot (AP766, Clariant) alkalmaztunk. Ezenkívül vizsgáltunk a PEMÜ Műanyagipari Zrt. által biztosított, polipropilénből készült biztonsági öv alkatrészt (1. ábra), valamint poliuretán (PUR) alapú alkatrészeket.

A referenciának használt SG715 típusú gélbevonat szórása esetén a viszkozitás csökkentése miatt szükség van hígító használatára. Ehhez használható gyári hígító (Sicom EP 960: 50-100% etanol, 2,5-10% izopropanol, 2,5-10% MEK keveréke), ahol a gyártó által javasolt keverési arány SG715 / SD802 / EP



△ 1. ábra: Referencia és SG715 15%P APP bevonattal ellátott biztonsági öv csúszka mintadarab

960 = 100 g / 27 g / maximum 27 g arányban. A szórópisztolyos felvitelhez 90% etil-alkohol, 5% izopropil-alkohol, 5% metil-etil-keton összetételű hígító állítottunk elő. Csak APP-t tartalmazó gélbevonat szórópisztolyos felviteléhez szintén szükség volt hígítóra, azonban az SG715 / SD802 5%P APP 5%P RDP vegyes gélbevonat esetén a folyékony RDP lecsökkentette a viszkozitást, így hígító nélkül is felvihető volt a bevonat.

2.2. MINTAKÉSZÍTÉS

A megfelelő összetételű bevonat kiválasztásához a bevonatokat önmagukban is vizsgáltuk, amelyeket a gyártó javaslatának megfelelő gyanta-térhálósító arányban készítettünk el, majd öntéssel a vizsgálati eljárásnak megfelelő méretű mintákat hoztunk létre szilikon szerszámokban (2. ábra).

Az égésgátolt minták előállításánál a PP alapanyagot és az AP766 égésgátó adalékot Brabender Plasti-Corder típusú belső keverőben (Brabender GmbH & Co. KG) homogenizáltuk 180 °C-on 10 percig. A referencia és az égésgátolt polimerekből Teach-Line Platen Press 200E típusú hidraulikus présszel (Dr. Collin GmbH) állítottunk elő 200x200x2 mm-es lapokat 180 °C-on 150 bar nyomáson. Az égésgátó bevonatokat 0,5 mm vastagságban szórással vittük fel. A szórásos bevonatfelvitelnél Asturo E70 típusú szórópisztolyt használtunk, a pisztolyba jutó sűrített levegő nyomása a reduktorszelepnél 2 bar volt.

2.3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Az oxigénindex (LOI) méréséhez az ISO 4589-1 és ISO 4589-2 (2000) szabványokat használtuk. Az oxigénindexen azt a minimális oxigén térfogatszázalék értéket értjük, aminél a minta még ég. Ehhez nitrogén és oxigén gáz megfelelő arányú keveréke szükséges.

Az UL-94-es vizsgálatokat az ISO 9772 és ISO 9773 szabványok szerint végeztük. A vizsgálat során vízszintes és függőleges



△ 2. ábra: Gélbevonatok öntéséhez használt szilikon szerszámok

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.



3. ábra: Tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalorimetria

elrendezésben történik a mérés. Vízszintes elrendezésnél meghatározható a lángterjedési sebesség. A minták besorolása lehet HB, V-2, V-1, V-0, ahol a V-0 jelenti a legjobb, önkioltó besorolást.

A minták komplex égési jellemzőinek meghatározásához tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalorimetriát (MLC) (FTT Inc.) alkalmaztunk (3. ábra). A mérés során 50 kW/m² hőfluxusú hősugárzásnak vetettük alá a 100x100 mm-es próbatesteket. A PP alapú biztonsági öv csúszka esetén a vizsgált próbatest mérete 40x100 mm volt. A minták felületének begyulladását egy szikráztató egység segíti. A mérés során mértük a próbatestek begyulladás idejét (TTI – time to ignition), a teljes (THR – total heat release) és a maximális hőkibocsátás értékét (pHRR – peak heat release rate), az addig eltelt időt (time to pHRR), a teljes égési időt (burning time), valamint a maradék tömeget (residue).

3. EREDMÉNYEK

3.1. GÉLBEVONATOK ÉGHETŐSÉGE

A referencia, az APP-vel és RDP-vel égésgátolt bevonatok, valamint a kereskedelmi forgalomban kapható égésgátolt bevonat oxigénindexét és UL-94 besorolását az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Gélbevonat alapanyagok oxigénindexe és UL-94-es besorolása [A vízszintes lángterjedési sebesség átlagos szórása: ±1 mm/perc]

Gélbevonat	LOI [%]	UL-94 (vízszintes lángterjedési sebesség)
SG715 REF	21	HB (23 mm/perc)
SGi128 FR	42	V-0
SG715 5%P APP	33	V-0
SG715 5%P RDP	25	V-0
SG715 5%P APP 5%P RDP	35	V-0
SG715 10%P APP	62	V-0
SG715 15%P APP	>85	V-0

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható SGi128 FR égésgátolt gélbevonattal kétszer nagyobb oxigénindex értéket lehet elérni, mint a referencia értéke. Már 5%P APP hozzáadásával is növelhető az oxigénindex (33%), azonban 10%P APP-vel már a referenciához képest közel háromszor akkora oxigénindex érték érhető el (62%). A legjobb eredményt 15%P APP-vel adalékolt gélbevonattal kaptuk, a minta oxigénindexe meghaladta a 85%-ot (a berendezés méréshatára 85%). 5%P RDP növelte az oxigénindex értékét a referenciához képest, azonban nem olyan mértékben, mint az 5%P APP-vel adalékolt gélbevonat. UL-94 vizsgálat során mindegyik égésgátolt gélbevonat V-0 önkioltó besorolást ért el.

A referencia, az APP-vel és RDP-vel égésgátolt bevonatok, valamint a kereskedelmi forgalomban kapható égésgátolt bevonat MLC vizsgálatának eredményeit a 2. táblázatban foglaltuk össze, a hőkibocsátási görbék a 4. ábrán láthatók.

Ahogy várható volt, a legnagyobb maximális hőkibocsátása (428 kW/m²) és legnagyobb teljes hőkibocsátása (60 MJ/m²) az égésgátolt nem tartalmazó referencia gélbevonatnak volt. A kereskedelmi forgalomban kapható égésgátolt gélbevonat pHRR értéke 70%-kal lecsökkent, a pHRR ideje pedig 31%-kal megnőtt a referenciához képest. Az SGi128 minta hőkibocsátási görbéjén nincs lecsengés, ami azzal magyarázható, hogy az intenzív habosodás miatt a gélbevonat belehabosodott a kaloriméterbe, ahol a fűtőszálak által biztosított magas hőmérséklet és hőkibocsátás hatására a minták pislákolva tovább égtek. A csak APP-t tartalmazó minták esetében a P-tartalom növekedésével a maximális hőkibocsátás 133-200 kW/m² közötti értékre csökkent, a teljes kibocsátott hőmennyiség pedig 27,3-42,1 MJ/m² közötti értékre csökkent, a pHRR ideje 74-84 s között volt, a maradék tömeg pedig 32,1-62,1% közötti értékre nőtt. RDP hatására a begyulladás ideje jelentősen lecsökkent (41 s-ről 14 s-re), ami az égésgátó hatásmechanizmusával magyarázható: az RDP gáz fázisban fejt ki hatását a degradáció kezdeti szakaszában, és ennek megfelelően kisebb a termikus stabilitása [9]. A 4. ábra alapján megállapítható, hogy az 5%P RDP-t tartalmazó mintánál egy intenzív csúcs után a hőkibocsátás jelentősen lecsökkent, így a teljes kibocsátott hőmennyiség is kisebb, mint az 5% és 10% foszfortartalomnak megfelelő APP-t tartalmazó mintáknál. A vegyes (5%P APP

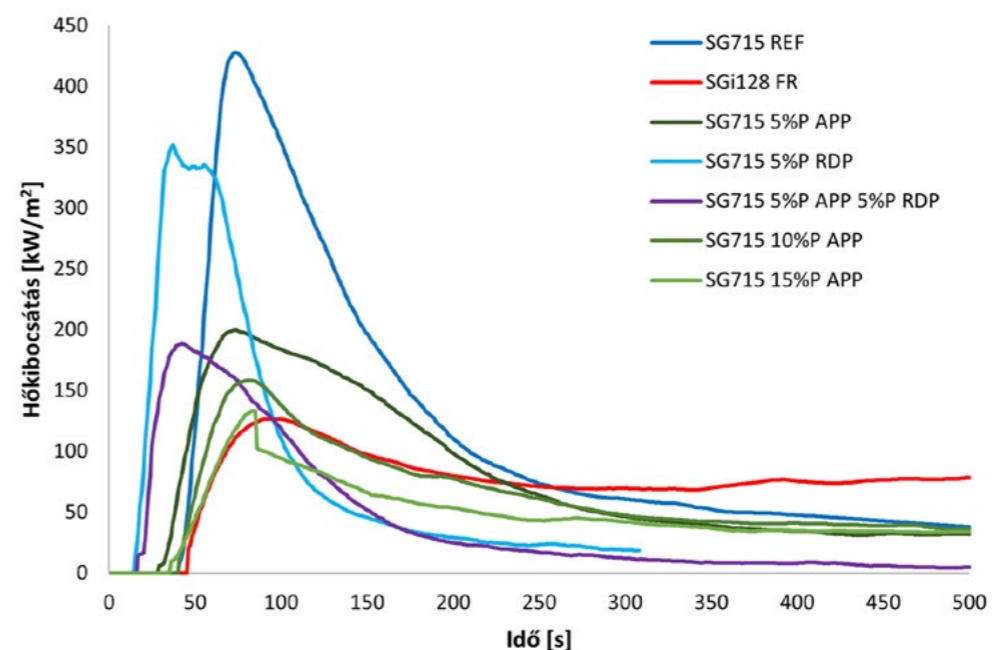
5%P RDP) gélbevonat esetén megfigyelhető mindkét égésgátó hatásmechanizmusa: a gáz fázisban ható RDP hatására a minta hamarabb begyulladt, a hőkibocsátás maximuma rövidebb időn belül jelentkezett, a szilárd fázisú APP hozzáadásával pedig megnőtt a maradék tömeg, és ennél a mintánál értük el a legkisebb teljes hőkibocsátást (21,8 MJ/m²).

Az éghetőségi eredmények alapján a továbbiakban a vegyes (5%P APP 5%P RDP) és a 15%P APP-t tartalmazó gélbevonatokat vittük fel a PP alappolimerre.

3.2. BEVONATOLT POLIPROPILÉN MINTÁK ÉGHETŐSÉGE

Mindkét alkalmazott PP mátrixból készítettünk referencia és Clariant AP766 adalékkal égésgátolt próbatesteket, majd azokra 0,5 mm vastagságban szórással felvittük az égésgátolt gélbevonatokat. A bevont és bevonat nélküli próbatestek éghetőségét tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalorimetriai vizsgálatokkal hasonlítottuk össze. A referencia és a bevonatolt IPN02 alapú

minták tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalorimetriával mért hőkibocsátása az 5. ábrán látható. Az IPN02-es minták esetén 0,5 mm vastag 15%P APP-t tartalmazó égésgátó bevonattal a hőfluxus hatására azonnali felhabosodás következett be. A tömegcsökkenés 10%-nál megállt, és a hőkibocsátás maximuma a referencia mintánál mért értékhez képest (320 kW/m²) lecsökkent (80 kW/m²). Önmagában a PP mátrixban alkalmazott 20% AP766 hatására a pHRR ideje 630 s-ra nőtt és a pHRR értéke 180 kW/m²-re csökkent. Bevont IPN02 AP766 esetén 10 perc után a minta újra begyulladt. Ez azzal magyarázható, hogy a bevonat alatti habosodás károsította a bevonat fizikai integritását. Vegyes bevonat (5%P RDP 5%P APP) esetén is azonnali felhabosodás figyelhető meg, azonban a kisebb foszfortartalom miatt a bevonat csak kb. 50 s-ig eredményezett kis hőkibocsátást, utána ismét megnőtt az értéke. A vegyes bevonat esetében jelentős előnyt jelent a PP mátrix égésgátolása, a maximális hőkibocsátás 100 kW/m²-rel kisebb, mint az ugyanezzel a vegyes bevonattal bevont, de mátrixban égésgátolt nem tartalmazó minta maximális hőkibocsátása.

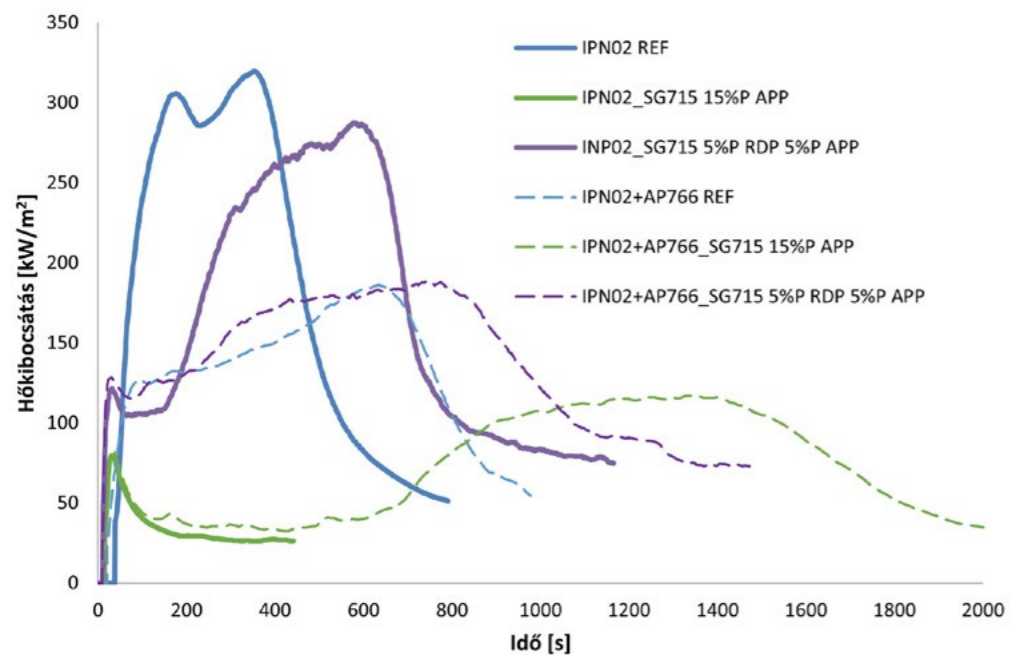


4. ábra: Gélbevonat alapanyagok hőkibocsátása

2. táblázat: Gélbevonat alapanyagok MLC eredményei

[TTI: begyulladásához szükséges idő (time to ignition), pHRR: maximális hőkibocsátás (peak heat release), THR: teljes kibocsátott hőmennyiség (total heat release). Átlagos eltérések: TTI: ±3 s, pHRR: ±30 kW/m², pHRR ideje: ±5 s, maradék tömege: ±2 m/m%]

Gélbevonat	TTI [s]	pHRR [kW/m ²]	pHRR ideje [s]	THR [MJ/m ²]	Maradék tömege [%]
SG715 REF	41	428	74	60,0	18,7
SGi128 FR	46	127	97	45,0	39,6
SG715 5%P APP	29	200	74	42,1	32,1
SG715 5%P RDP	14	352	37	28,3	17,7
SG715 5%P APP 5%P RDP	17	189	42	21,8	27,8
SG715 10%P APP	41	158	82	35,0	48,9
SG715 15%P APP	36	133	84	27,3	62,1



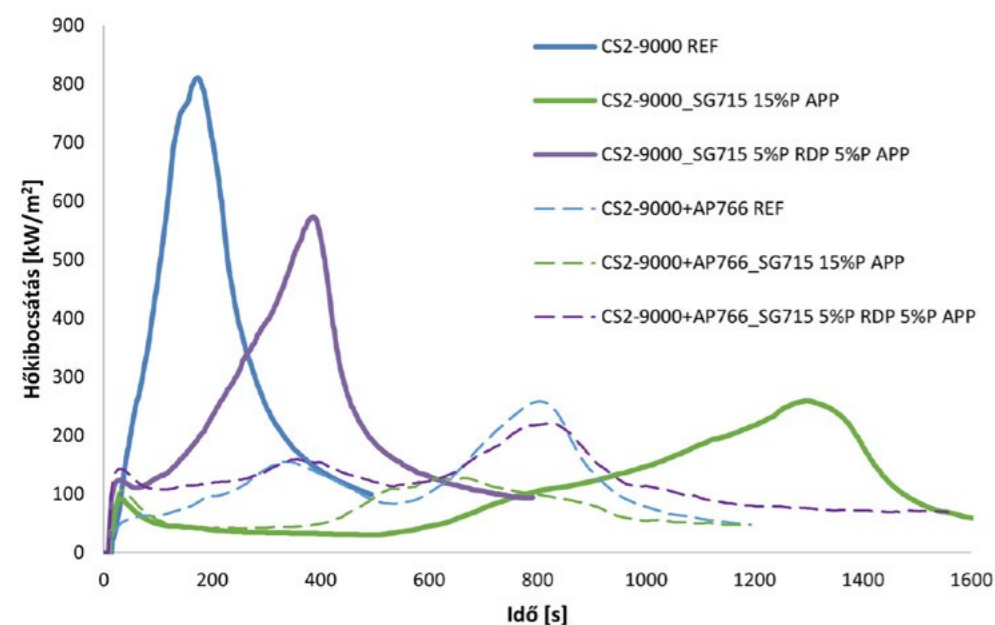
5. ábra: IPN02 alapú referencia és égésgátlott minták éghetősége bevonattal és bevonat nélkül

IPN02 típusú PP esetén a 15%P APP bevonat önmagában is kiváló égésgátló hatást eredményez, nincs szükség a mátrix külön égésgátlására. Ezzel szemben a kisebb foszfortartalmú vegyes bevonat (5%P RDP 5%P APP) esetén javasolt a PP mátrix égésgátlása.

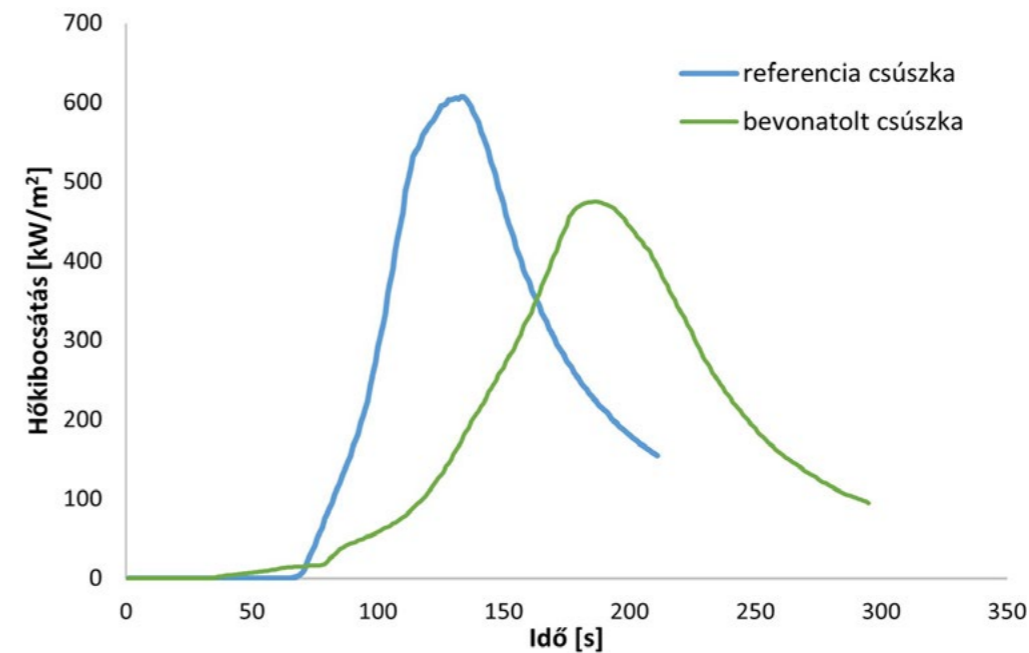
A referencia és a bevonatolt CS2-9000 alapú minták tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalorimetriai vizsgálatai a 6. ábrán láthatók. A CS2-9000-es referencia mintának nagyobb volt a hő kibocsátása, mint az IPN02-es alappolimernek. Ez az eltérés a polimerek folyóképességével és csepegési hajlandóságával van összefüggésben: a CS2-9000 folyóképessége (40 g/10 min) közel kétszer akkora, mint az IPN02 polimeré (23 g/10 min).

A 0,5 mm vastag, 15%P APP égésgátló bevonattal ellátott CS2-9000-es minták a hőfluxus hatására azonnal felhabosodtak, aminek következtében az égés megszűnt. Azonban 550 s után újra

meggyulladt a minta. A pHRR értéke 810 kW/m²-ről 90 kW/m²-re csökkent, majd az újragyulladás után a hő kibocsátás maximuma 260 kW/m² volt. 20% AP766 hatására a pHRR ideje 340 s, majd a minta újragyulladása után 810 s volt. A pHRR a referencia mintához (810 kW/m²) képest lecsökkent (160 kW/m²), az újragyulladás után a maximális hő kibocsátás 260 kW/m² volt. A legnagyobb maradék tömeget a 15%P APP bevonattal ellátott CS2-9000 mintával lehetett elérni. A minta kb. 10 perc után azonban újra begyulladt, ami annak a következménye, hogy a bevonat alatti habosodás károsította a bevonat fizikai integritását. A vegyes bevonatnál (5%P RDP 5%P APP) azonnali felhabosodás figyelhető meg, de a kisebb P-tartalom miatt az égésgátlómentes PP alap esetén a minta szinte azonnal újragyulladt. Ennek ellenére a pHRR értéke a referenciához képest lecsökkent 570 kW/m²-re, és a pHRR ideje is eltolódott 390 s-re. A vegyes bevonat



6. ábra: CS2-9000 alapú referencia és égésgátlott minták éghetősége bevonat nélkül és bevonattal



7. ábra: Referencia és SG715 15%P APP bevonattal ellátott biztonsági öv csúszka hő kibocsátása

esetén az alap PP mátrix égésgátlásának hatására az azonnali felhabosodás után a pHRR értéke tovább csökkent 220 kW/m²-re, és a pHRR ideje jelentősen eltolódott (820 s), ami fontos lehet a menekülési idő szempontjából egy esetleges tüzesetnél. Az eredmények alapján a bevonatolt minták égésgátlott PP és égésgátlómentes PP esetén is újragyulladtak, viszont érdemes a PP alapot égésgátlóval, mivel az égésgátló késleltette időben az újragyulladást.

3.3. BEVONATOLT PP TERMÉKEK ÉGHETŐSÉGE

A PP biztonsági öv csúszka felületére a korábbi eredmények alapján legjobbnak bizonyult (3.1. és 3.2. fejezet) SG715 15%P APP bevonatot vittük fel, majd összehasonlítottuk a bevonat nélküli

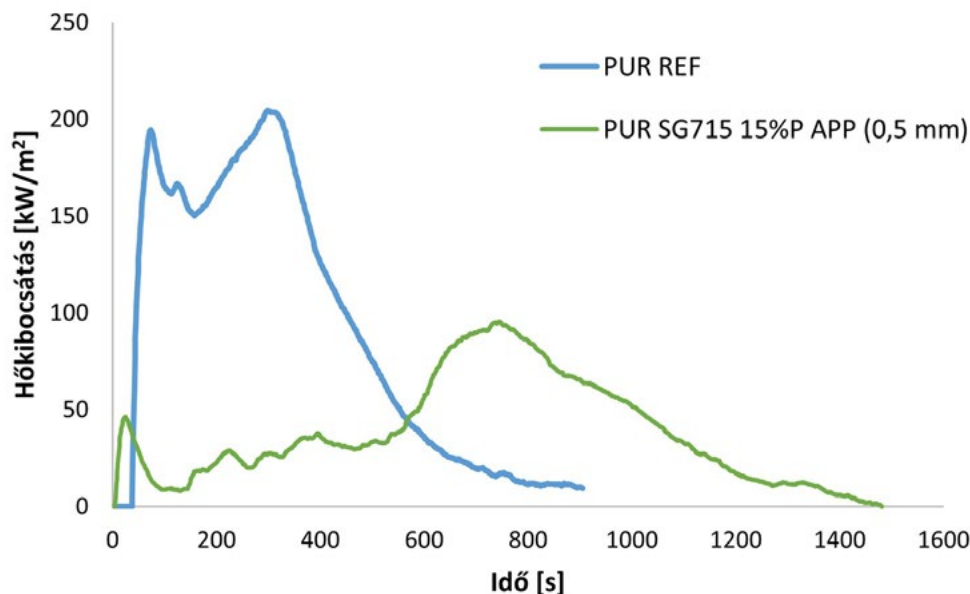
és a szórással bevonatolt minták éghetőségét. A bevonat nélküli és bevonattal ellátott biztonsági öv csúszka tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalorimetriával mért hő kibocsátása a 7. ábrán látható. Megállapítható, hogy 0,5 mm vastag SG715 15%P APP bevonat 22%-kal lecsökkentette a pHRR értékét, az idejét pedig 54 s-mal eltolta. A referencia minta a vizsgálat során teljesen elégett, azonban a bevonattal ellátott mintánál jelentős mennyiségű felhabosodott réteg képződött (8. ábra).

3.4. BEVONATOLT PUR TERMÉKEK ÉGHETŐSÉGE

A referencia és az SG715 15%P APP-vel bevont poliuretán minták éghetőségét tömegcsökkenésen alapuló kónikus kaloriméterrel vizsgáltuk (9. ábra). A 8 mm vastag PUR mintára felvitt 0,5 mm



8. ábra: SG715 15%P APP bevonattal ellátott biztonsági öv csúszka mintadarab maradványának habszerkezete a kalorimetriai vizsgálat után



◀ 9. ábra: SG715 15%P APP égésgátló bevonattal ellátott poliuretán minta hőkibocsátása

vastag SG715 15%P APP bevonat 53%-kal lecsökkentette a maximális hőkibocsátást, és 447 s-mal eltolta a pHRR idejét. A bevonattal ellátott minta égés után visszamaradt tömege kétszer akkora volt, mint a bevonat nélküli mintának. Megállapítható, hogy a poliuretán önmagában is habosodik az égésvizsgálat során, de a bevonat esetében a felületi védelem még hatékonyabb.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatómunkánk során új epoxigyanta gélbevonatokat fejlesztünk, amelyek a megfelelő felületi minőség, keménység, karcállóság mellett az alappolimer éghetőségének hatékony csökkentésére is alkalmasak. Az éghetőségi eredmények alapján legjobb eredményt a 15% foszfortartalomnak megfelelő APP-t tartalmazó, valamint az 5% foszfortartalomnak megfelelő APP-t és 5% foszfortartalomnak megfelelő rezorcin-bisz(difenil-foszfát)-ot (RDP) tartalmazó vegyes gélbevonattal értünk el. A vegyes összetételű égésgátló bevonat esetén együttesen érvényesül az APP intumescens és az RDP gázfázisú hatása.

A két legjobb bevonatot referencia és APP-vel égésgátló IPN02 és CS2-900 típusú polipropilén (PP) alappolimerekre vittük fel 0,5 mm vastagságban szórással. Az IPN02 típusú polimernek jóval kisebb a hőkibocsátása a CS2-9000 polimerénél, ezért a további ipari alkalmazásoknál, ahol fontos az égésgátlás, ott célszerű az IPN02 polimert alkalmazni. Amennyiben a nagyobb folyóképességű CS2-9000 mátrix alkalmazása elkerülhetetlen, akkor az égésgátló bevonat mellett a mátrix égésgátlása is ajánlott. A 15%P APP bevonat mindkét polimer esetében már 0,5 mm vastagságban is jelentős mértékben lecsökkentette a hőkibocsátás maximumát, referencia IPN02 esetében 80%-kal, míg CS2-9000 esetében 89%-kal. Az 5%P RDP 5% APP vegyes bevonat a kisebb foszfortartalom miatt kisebb mértékben csökkentette a hőkibocsátást, ugyanakkor jelentős előny a felhasználás szempontjából, hogy a folyékony RDP alkalmazása kisebb viszkozitást eredményez, így a 15%P APP bevonattal szemben a vegyes bevonat hígító alkalmazása nélkül is szórható.

Bevonatolt rendszereknél az alappolimer égésgátlása hozzájárult a bevonat alatti réteg habosodásához, így a bevonat integritásának a sérüléséhez, ami a polimer későbbi időpontban történő visszagyulladását eredményezte. Amennyiben az alappolimer folyóképessége kicsi és a hőkibocsátás alacsony, akkor célszerű az égésgátló bevonatot az alappolimer égésgátlása nélkül alkalmazni. A bevonat önmagában is megfelelő égésgátlást biztosít az alappolimer mechanikai tulajdonságainak megőrzése mellett. Amennyiben az alappolimer folyóképessége és hőkibocsátása is nagy, akkor a bevonatolt minta újragyulladására számíthatunk, ami sikeresen kisleltethető az alappolimer égésgátlásával.

A PP mátrix hőkibocsátási eredményei alapján legjobbnak bizonyult SG715 15%P APP bevonatot egy PP mátrixú biztonsági öv csúszka és PUR mintadarabra is felvittük. A szórással bevonatolt termék tömegcsökkenésen alapuló kónikus kalorimetriai eredményei alapján megállapítottuk, hogy a 0,5 mm vastag SG715 15%P APP bevonat felhabosodó védőréteget képzett a PP mintadarab tetején, valamint 22%-kal lecsökkentette a maximális hőkibocsátást, illetve az idejét is eltolta 54 s-mal a bevonat nélküli termékkel összevetve. PUR alkatrész esetén pedig 53%-kal lecsökkentette a maximális hőkibocsátást és 447 s-mal eltolta a pHRR idejét.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Krawczak, P.: Automotive plastics: What future is there for polymers in tomorrow's electric and autonomous vehicles?, *eXPRESS Polymer Letters*, 15, 288 (2021).
- [2] Pomázi, Á.; Toldy, A.: Multifunctional gelcoats for fiber reinforced composites, *Coatings*, 9, 173 (2019).
- [3] Bar, M.; Alagirusamy, R.; Das, A.: Flame Retardant Polymer Composites, *Fibers and Polymers*, 16, 705–717 (2015).
- [4] Gu, J.-W.; Zhang, G.; Dong, S.; Zhang, Q.; Kong, J.: Study on preparation and fire-retardant mechanism analysis of intumescent flame-retardant coatings, *Surface and Coatings Technology*, 201, 7835–7841 (2007).
- [5] Weil, E. D.: Fire-Protective and Flame-Retardant Coatings - A State-of-the-Art Review, *Journal of Fire Sciences*, 29, 259 (2011).
- [6] Pomázi, Á.; Toldy, A.: Development of fire retardant epoxy-based gelcoats for carbon fibre reinforced epoxy resin composites, *Progress in Organic Coatings*, 151, 106015 (2021).
- [7] Yuhazri, M. Y.; Haeryip, S.; Muhammad Zaimi, Z. A.; Nilson, G. C.: A review on gelcoat used in laminated composite structure, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4, 49–58 (2015).
- [8] Rogers, W.; Hoppins, C.; Gombos, Z. J.; Summerscales, J.: In-mould gel-coating of polymer composites: a review, *Journal of Cleaner Production*, 70, 282–291 (2014).
- [9] Pomázi, Á.; Szolnoki, B.; Toldy, A.: Flame Retardancy of Low-Viscosity Epoxy Resins and Their Carbon Fibre Reinforced Composites via a Combined Solid and Gas Phase Mechanism, *Polymers*, 10, 1081 (2018).