



Nola konpondu garraio publikoetako sute-arriskuak?

**K. Gondra, A. Azpiazu
L. Madariaga & J. Vergara***

Trengintzak, eta garraio-industriak oro har, erabiltzaileen segurtasuna eta erosotasuna hartu izan dituzte kontutan betidanik. Horren ondorioz, plastikozko materialek metalezkoak ordezkatu dituzte kasu askotan, ibilgailuen pisua arinduz eta bibrazioak sortutako zaratak gutxiagotuz. Poliesterreko erretxinak dira gehien garatu direnak eta beraiek erabiliz, forma konplexuak lortzeko teknika berriak ere azkar hedatu ziren hasiera batean. Baina, azken urteetan gertatu diren suteen ondorioz, suarekiko neurri eta arauak gero eta gogorragoak dira. Poliesterraren kasuan esaterako, halogenatuak gehitu behar zaizkio arau berriek ipini dituzten baldintzak gainditzeko. Horrela jokatzuz gero berriz, sute-kasuan sortuko litzatekeen kearen toxikotasuna eta opakotasuna areagotu egingo litzateke. Beraz, esan eta baieztatu daiteke suarekiko portaera egokia izango duen materiala ezin dela poliesterra erabiliz ekoiztu. Ondorioa ere sinplea da: eskaera berriak gainditzeko ezinbestekoa da material berriak ikertzea. Eta GAIKER, erronka berriaz jabeturik eta fenolezko konpositeak industri mailan ezartzeko helburuarekin, erretxina hauen prozesaketa hari da ikertzen. Ikus dezagun.

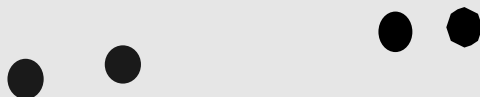
Aurrez esan bezala, plastikozko produktuek garrantzitsua izan dute azken urte hauetan. Erretxina berriak agertzen dira urtero, baina fenolezko erretxinek suarekiko duten portaerak, hots, kearen toxikotasun eta opakotasun txikiak, interesa suspertzea eta ikerketak ugaritzea eragin dute (*Forsdyke eta Hemming, 1989; Gupta, 1986; Dayley, 1989; Ellis, 1988; McQuarrie eta Lake, 1986; Savey, 1989*). Beira-zuntzez sendotutako plastikoen artean poliester, epoxi eta fenolezkoak daude. Poliesterreko eta epoxizko erretxinek suarekiko duten portaera txarra eta garraioetako segurtasun-arauak hartuz, azkenaldian fenolezko erretxinak nagusitu dira nabarmenki. Erretxina hauek suspertzen eta ikertzen ahalegin handiak egiten ari dira. Gaur egun fenolezko erretxinak hegazkintzan eta untzigintzan (barneko piezak egiteko), garraiozintzan (eserlekuak egiteko), makina-erremintan (marruskadurako eta ebakiketarako diskoak egiteko) eta zurgintzan (xaflak eta aglomeratuak egiteko) erabiltzen dira. Artikulu honetan, garraiozintzako aplikazioetara mugatuko gara.

Hegazkintza

Arlo honetan erabiltzen diren materialek bete behar dituzten baldintzak ondokoak dira: pisu espezifiko txikia, propietate mekaniko onak, zurruntasuna (hego eta aleroietan) eta nekearekiko erresistentzia ona hego, aleroi eta helikopteroen palek makurdura- eta dardara-prozesuei eusteko.

Konpositeek ohizko materialekiko (aluminioa eta aleazio bereziekiko bereziki) dituzten abantailak berriz, ondokoak dira: merkeagoa izatea, pisu espezifiko txikiagoa edukitzea, forma kon-

"CONCORDE" HEGAZKINA



1972an, fenolezko erretxinek suarekiko zituzten abantailak kontutan hartuz, "Concorde" hegazkinen barneko piezetan berauek erabiltzea erabaki zen.

plexuak lortzeko erraztasuna eskaintzea eta egonkortasun dimentsionala edukitzea.

Ikuspegi historikotik ikusita, material konpositeak Bigarren Mundu Gerran hasi zirela erabiltzen esan behar da. 1943an, beiraz sendoturiko poliesterraz egindako lehen fuselajeak hasi ziren erabiltzen. 1955ean, amianto eta aramidaz sendoturiko fenolezko konpositeak frogatu ziren. 1960an, beira-zuntzez sendoturiko epoxizko konpositeak erabili ziren "Windecker" hegazkinean. 1972an, fenolezko erretxinek suarekiko zituzten abantailak kontutan hartuz, "Concorde" hegazkinen barneko piezetan erabiltzea erabaki zen. 1973an berriz, "Concorde" hegazkinaren lehen egitura-piezak egin ziren karbonoz sendoturiko epoxizko erretxina erabiliz.

Bestalde, Bakelite enpresak hegazkintzan aplikazioa eduki lezaketan material berriak aurkeztu zituen Verbundwerk'93 azokan, zehatzago esanda, epoxi/fenolezko konposite hibridoak. Material hauetan, epoxizko materialek gehigarri-modura jokatzeko dute eta fenolezkoek suarekiko propietateak hobetzen dituzte.

Ciba-Geigy enpresak hegazkinaren barnealdean erabiltzen diren panelak material desberdinez fabrikatzen ditu. Ezaugarri mekanikoen arabera, material hauen gainazala fenolezko erretxinazkoa da eta erdialdea, aluminiozko edo material sintetikoazko apar zurrunez egin da, edo material berekoa eta abaraska-forman egin.

nez egin da, edo material berekoa eta abaraska-forman egin.

Espaziuntziak

Espaziuntzietan bereziki erabiltzen diren materialak ondoko hauek dira: karbono, boro edota aramidazko zuntzak, erretxina termoeگونkorrak (epoxi eta fenolezkoak) eta, tenperatura handia jasan behar dituzten piezetan bereziki, material zeramikoak. Plastikozko konpositeek gainerako materialekiko eskaintzen duten abantaila, duten dentsitate baxua da.

Sektore honetan konpositeek dituzten aplikaziorik garrantzitsuenak I. taulan laburbiltzen dira.

Untzigtza

1950eko hamarkadan, beiraz sendoturiko poliesterreko konpositeak erabiltzen hasi ziren untzigtzan. Gaur egun, karbono eta aramida errefortzuak eta epoxizko erretxina oso aplikazio berezietan erabiltzen dira.

Arlo honetan materialei eskatzen zaizkien ezaugarriak ondoko lerrootan biltzen dira: iraunkorrak eta itsas inguruarekiko erresistenteak izan behar dute, mantenu eta erreparazio errazekoak, talkarekiko erresistenteak, magnetismoaren aurkako eta dielektrikoarekiko propietate egokiak dituztenak, zampaketa-erresistenteak, errefortzua birbideratzeko aukera

ERABILERA	PIEZA	MATERIALA
"Columbia" espaziuntzia.	Panelak.	Epoxi/karbono aurrekutsatua.
	Atmosferara sartzerakoan tenperatura igoera jasan behar dituzten piezak.	Karbono eta fenolezko erretxina bereziz egindako material aurrekutsatua.
Telekomunikaziorako sateliteak.	Hodi zentrala.	Epoxi/karbonozko konpositea.
	Tenperatura-aldaketak jasan behar dituzten piezak.	Zuntz erregogorrez sendoturiko fenolezko erretxina.
Jaurtigai balistika.	Tenperatura-aldaketak jasan behar dituzte piezak.	Granitozko zuntzez sendoturiko fenolezko erretxina.

I. taula. Espaziuntzigtzan konpositeek dituzten aplikaziorik garrantzitsuenak.

ERABILERA	MATERIALA
Kirol untzien egiturak.	Beira-zuntzez sendoturiko poliesterra.
Itsaspeko miaketan erabiltzen diren jaurtigaien fuselajeak.	Beira-zuntzez sendoturiko poliesterrezo gainestaldura.
Ur- eta erregai-bilketarako untziak.	Beira-zuntzez sendoturiko poliesterra.

2. taula. Untzigintzan erabiltzen diren materialak eta aplikazioak.

eskaintzen dutenak eta azkenik noski, lehiakide diren materialak baino merkeagoak izan behar dute.

Material hauek untzigintzan dituzten aplikazioak eta aplikazio horietarako erabiltzen diren materialak 2. taulan laburbiltzen dira.

Trengintza

Lehen esan badugu ere, garraio-gintzan poliesterrezo eta fenolezko konpositeen erabilera garrantzitsua dela gogoraraztea ona da. Poliesterra erabiliz, gainazalaren itxura hobeagotu egiten da, baina ezin dugu ahaztu suarekiko portaera txarra duela. Berau hobetzeko konposatu halogenoak nahitaez erabili behar dira. Hobetu hobetzen da, baina baita kearen toxikotasuna eta opakotasuna areagotu ere. Beraz, sute-kasuan erabiltzaileen arriskua gutxiagotu nahi bada, fenolezko konpositeak erabiltzea gomendatzen da.

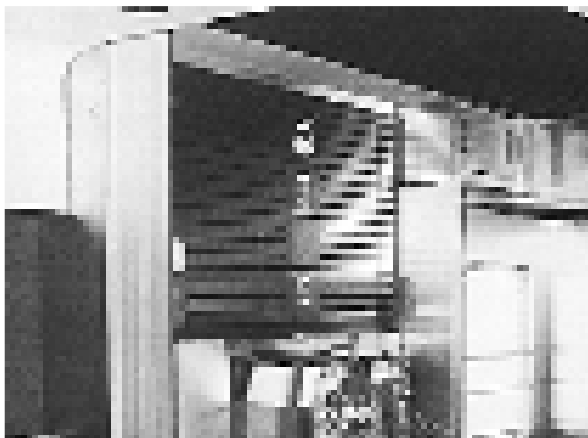
Esaterako, estatu espainoleko trenek sortzen zituzten arazo-teknikoei aurre egiteko, beiraz sendoturiko poliester ignifugatuak erabili dira (fenolezko erretxinak erabili ordez) eta ondorioz, sute-kasuetarako bidaiarien arriskua areagotu egin da. Ondokoak dira estatu espainoleko trenetan erabili diren konposite garrantzitsuenak:

- × RENFE. E 444-5 bidaia luzeko tren elektrikoaren hiru serietan, kabinaren aurrealdea.
- × Madrilgo metroa. 2000 serieko tren elektrikoetan Karrozeria-ko elementu batzuk beiraz sendoturiko poliesterraz egin dira. MI sailkapena dute suarekiko.
- × Bartzelonako F.C. Metropolitan. 2000 serieko tren ba-

tzuk poliester ignifugatuaz egindako elementuak dauzkate. MI sailkapena dute suarekiko.

- × RENFE. U-446 eta UT-447 tren elektrikoaren hiru serietan, kabinaren barnealdea eta eserlekuak beiraz sendoturiko poliesterraz egin dira. MI sailkapena dute suarekiko.
- × Madrilgo metroa. 2000 serieko tren elektrikoetan, kabinaren barnealdea eta eserlekuak poliester ignifugatuaz eginak dira. MI sailkapena dute.

Europar eta munduan hemen baino gehiago erabili izan da fenolezko erretxina; hona hemen adibide batzuk: Parisko metroan, karrozeria; Caracasko metroan, eserlekuak eta barneko hornidura; San Frantziskoko metroan, barneko hornidura; Londresko metroan, geltokiaren hornidura; Aramis de Matra-ko metroan, gurteri osoa, eserlekuak eta bar-



Estatu espainoleko trenek sortzen zituzten arazo-teknikoei aurre egiteko, beiraz sendoturiko poliester ignifugatuak erabili dira eta ondorioz, sute-kasuetarako bidaiarien arriskua areagotu egin da.



neko piezak; Ingalaterrako tren-bidean, agente-mahaiko kotsola; Erromako metroan, karrozeria; Lyongo metroan, eserlekuak eta Alpesko funikularrean, gurteri osoa eta barneko piezak.

Eraldaketa burutzeko metodoak

Hautatutako metodoaren arabera, konpositeen eraldaketan aldibereko edo aldibanako hiru pausu eman behar dira: errefortzuak txertatzea, material konposatuak moldatzea eta materiala gogortzea eta pieza moldetik ateratzea.

GAIKERek, prozesaketarako metodo desberdinak aztertu ditu eta lortutako piezen karakterizazioa egin du.

Eskuzko moldeaketa

Plastikozko laminatuak egiteko erabili zen lehen metodoa izan zen. Gaur egun ere, berau da gehienetan erabiltzen dena.

Serie laburreko eta gainazalera handiko piezetarako metodorik

merkeena izatea eta pertsonal espezializaturik behar ez izatea dira bere abantaila nagusiak. Eragozpenak berriz, produkzio geldoa izatea, eskulan asko behar izatea, itxura ona piezaren alde batek bakarrik behar izatea eta beste metodoekin alderatuz, propietate fisiko zein kimiko baxuagoak izatea dira.

Metodo hau, fenolezko erretxinaren kasuan, trenaren gurteria fabrikatzeko erabiltzen da, sareketa burutzeko katalizatzaile-gisa azidoak erabiltzen direlarik.

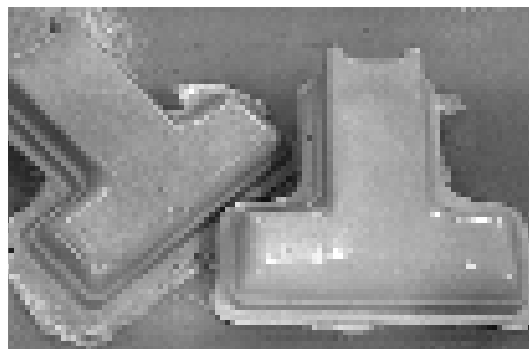
RTMa

RTM aparatuak xiringa-modura funtzionatzen du. Lehenik erretxina eta katalizatzaile-nahastea zurrupatu egiten du eta ondoren, zuntzez hornitutako moldera injektatzen du.

Prozesaketa honetan erabiltzen diren presio eta tenperatura baxuen ondorioz, moldeak berogailodun edo berogailugabeak izan daitezke, piezaren akabera moldearen gainazalak duen itxurarekin eta erabili den katalizatzailearekin lotuta dagoelarik.

Moldearen tenperaturaren arabera, prozesaketan kanpoko edo barneko desmoldatzaileak erabil daitezke; materialaren propietateak aldatzeko eta prozesu-kostuak gutxiagotzeko berriz, erretxina kargatua erabil daiteke. Segidan metodo hau erabiliz fenolezko konpositeak fabrikatzen dituzten enpresak eta produktuak aipatuko ditugu: WES Plastics-ek, elementu militarrek; Flexadux Plastics Ltd.-ek, trenen karrozeriak; Move-Vigo Ltd.-ek, neurri handiko piezak (3 m x 3 m x 22 mm) eta Plasteck Thermoset Tectronic-ek, hegazkinentzako osagaiak.

Egungo joera aztertuz, RTM teknologia datoen urteotan automatizazio- eta teknologia-maila egokiak lortuko dituela uste da; horrela, hegazkintzarako osagaiak fabrikatzeko erabiliko dela



Hautatutako metodoaren arabera, konpositeen eraldaketan aldibereko edo aldibanako hiru pausu eman behar dira: errefortzuak txertatzea, material konposatuak moldatzea eta materiala gogortzea eta pieza moldetik ateratzea.

aurrean dezakegu. Arlo honetan ikerketarik garrantzitsuenak egiten ari den enpresa Plasteck Thermoset Tectronics da.

Hotzetako prentsaketa

Urteko 1.000tik 10.000 pieza bitarteko produkzioa egiteko erabiltzen da metodo hau. Prentsaketan presioa baxua izaten denez, konpositezko moldeak erabil daitezke. Erabiltzen den erretxinaren biskositatea ertaina izaten da eta formulazioaren salneurria murrizteko eta piezaren zurruntasuna areagotzeko, kargak gehitzen zaizkio.

Moldeak, prentsaketaren ondorioz sortutako tentsioa eta nekea ongi jasateko, propietate mekaniko onak eta tenperaturarekiko estabilitate dimentsionala eduki behar du. Ex-press Plastics Ltd. enpresak Docklands trenaren eserlekuak eta Scandura Seal Tex enpresak automobilgintzarako piezak egiteko erabiltzen dute metodo hau.

SMC/BMC aurrekutsatuak

Fenolezko SMC/BMC aurrekutsatuen fabrikazio-prozesuak hiru pausu ditu:



- × Aurrekutsatuen fabrikazioa. SMC makinan erretxina, karga, katalizatzailea eta gehigarri desberdinez hornitutako oreka errefortzuarekin nahasten da, bobina-formako erdiproduktua lortzen delarik.
- × Aurrekutsatuen ontzea. Prozesua hezetasuna eta temperatura kontrolatzen duen ganbaran egiten da.
- × Prentsaketa. 160 °C-ko tenperaturaren eta 30-90 kg/cm²-ko presiopean egiten da.

Gaur egun fenolezko SMCari dagokionez egiten diren aplikazioak berriz, ondokoak dira:

- × Eraikuntzetako panelak eta gainestaldurak.
- × Garraioetarako osagaiak (trenetako eserlekuak, leihoetako markoak, buru-euskarriak, autoetako kapotaren barnealdeak, hegazkinen barneko panelak, horniduretako osagaiak eta abar). Bestalde, Bakelite-Isole korporazioa hegazkinetako pieza konplexuak eta errezeinak fabrikatzeko ere, teknologia honetaz baliatzen da.
- × Pieza elektrikoak (makinak, pieza elektrikoak, karkasak, etab.).

DSM UK Resins & Dynochon UK, Norsolor, Chemical Corporation-en mendebaldeko dibisioa, Scandura Sealtex, Fers Resins S.A. eta Bakelite-Isole dira SMC fabrikatzeko teknologia garatu dituzten enpresak.

Aurrekutsatuak

Fenolezko erretxinaren kasuan, hegazkintzan gehien hedatu den metodoa da eta prozesaketa bi alditan egiten da: lehenengoan erretxina diluitzaile egokian disolbatzen da eta ondoren, tenperaturaz baliaturik diluitzailea kanporatu egiten da. Lortzen diren aurrekutsatuak ur-edukin baxua eta biskositate-maila (60 10⁶ cps.) egokia izaten dute. Aurre-

kutsatu hauetatik piezak ateratzeko bi bide daude: prentsaketa (90 kg/cm²-ko presioa eta 160 °C-ko temperatura erabiliz) eta moldaketa (lehenengoz hutsa erabiltzen da hegazkorrak kanporatzeko eta ondoren, 110-130 °C-ko tenperaturaz eta 2-5 kg/cm²-ko presioaz sareketa egiten da.

Prozesu honek une honetan dituen desabantailarik garrantzitsuenak prozesaketarako behar duen denbora eta, pieza konplexuen kasuan, duen lerma handia dira. Bestalde, propietate mekaniko onak eskatzen dituzten aplikazioetan, karbono edo aramidazko ehunak erabiltzen dira sarritan.

Garraioetan bete beharreko arauak

Plastikozko materialek suarekiko duten portaera eta kearen toxikotasuna eta opakotasuna neurtzeko normalean laborategian erabiltzen diren entseiuaz gain, garraiogintzan, hegazkintzan, eraikuntzan eta untzigintzan arau bereziak ezarri dira. Hona hemen arau horietako batzuk, garrantzitsuenak:

- × BS 6853, 1987 "British Standard Code of practice for Fire Precaution in the Design and Construction of Railway Passenger Rolling Stock" arau ingelesak, London Underground



Trengintzak, eta garraio-industriak oro har, erabiltzaileen segurtasuna eta erosotasuna hartu izan dituzte kontutan betidanik. Baina eman diren urratsak egokiak al dira? Nola egin zaie aurre suteei?



Ltd.-k garatu dituen entseiu espezifikoak hartzen ditu kontutan. Entseiu hauek kearen eta sukoitasunaren tenperaturari dagozkion indizeen neurrak zehatzetan oinarritzen dira.

- × Royal Navy enpresak untzigintzan erabiltzen diren materialak sailkatzeko arau bereziak garatu ditu: NES 705 "Selection of Material on the Basis of Their Fire Characteristics (1983ko maiatzean)". Kearen opakotasuna, gasen toxikotasuna eta oxigenoa erlazionatuz lortzen diren parametroen arabera sailkatzen dituzte materialak.
- × Hegazkintzari dagokionez, fenolezko materialek bete behar dituzten arauak aire garraioari dagokion ASTM 1000.001 eta Ohio-ko Unibertsitateko entseia (USO) dira.
- × Espainiako estatuan eraikuntzarako materialek bete behar

dituzten arauak UNE-23-102 eta UNE-23-721etik UNE-23-730 bitartekoak dira. Berauen egitekoa eraikuntzan erabiltzen diren materialak suarekiko duten portaeraren arabera sailkatzea da. Bestalde, une honetan eraikuntzan ez dago kearen opakotasuna eta toxikotasuna neurtzeko arau espezifikorik. Arlo honetan, garraioari dagozkion arau frantsesak erabiltzen dira.

- × NF X 10-702 araua. Materialen errektuntza eta pirolisiaren ondorioz sortzen diren gasen dentsitate optikoa neurtzen ditu.
- × NF X 70-100 araua. Hodi-itxurako labearren metodoa. Materialen errektuntza eta pirolisiaren ondorioz sortzen diren gasen analisiak dihardu.
- × NF F 16-101 araua. Suarekiko portaera arautzen du. Materialen hautaketan erabiltzen da.

Ondorioak

Azken urteotan garraioagintzan plastikozko materialen erabilera gorakada nabaria izan du; piezen pisua murriztuz, energi kontsumoa gutxiagotu egin da eta ondorioz, sortu den poluzioa ere murriztea lortu da. Baina gertatu diren suteek eman dituzten emaitza latzen aurrean, erabiltzaileen segurtasuna hobetzeko suarekiko portaera oneko materialak erabiltzea lehentasunezko helburua bilakatu da. Gaur egun, suarekiko propietaterik onenak eta kostu txikienak erakutsi dituzten erretxinak fenolezkoak dira. Baina material hauek eraldatzeko baldintzak ez daudenez egokituta, Euskal Herriko eta Espainiako enpresek ez dute menperatzen fenolezko erretxinaren eraldaketa. GAIKERen fenolezko erretxinak eraldatzeko baldintzak eta lortutako piezen gainazalaren itxura eta propietateak hobetzen ari gara. Horri begira eman ditugun urratsen ar-

tean, suarekiko dauden eta agertuko diren arauak kontuan izanik, fenolezko konpositearen erabilera bideratu da eraikuntzan eta garraioagintzan. Horrez gain, suarekiko arauak bete behar dituzten piezetan, poliesterezko eta epoxizko konpositeak fenolezkoaz ordezkatzeko teknologia garatu da. Ahalegin horren emaitzak ikus daitezke jadanik; Euskal Komunitate Autonomoko industrian fenolezko aurrekutsatuen fabrikazioa eta eraldaketa egiteko eta hegazkintzan aplikatzeko pausua eman dira, eta amaitzeko, eskuzko moldeaketa, RTM edo injekzio eta hotzetako prentsaketa bidez eraikuntzarako eta garraioetarako osagaiak fabrikatzeko prozesuak egokitu egin dira.



* **GAIKER** teknologi zentruko ideak.

Gaur egun, suarekiko propietaterik onenak eta kostu txikienak erakutsi dituzten erretxinak fenolezkoak dira. Baina material hauek eraldatzeko baldintzak ez daudenez egokituta, Euskal Herriko eta Espainiako enpresek ez dute fenolezko erretxinaren eraldaketa menperatzen.

