

Johdanto

1.1. Johdatus polymeerimateriaaleihin ja polymeerien käsittelyyn

1.1.1. Polymeeriset materiaalit

Tällä opitunnilla analysoidaan polymeerimateriaalien eroja liittyen niiden kierrätettävyyteen.

Polymeerimateriaalien tyypit

Polymeerimateriaalien luonteen ja käyttäytymisen ymmärtäminen on välttämätöntä muovin kierrättämisen kannalta.

Polymeerimateriaalit voidaan luokitella kolmeen pääluokkaan molekyyliarakenteen ja valmistusreittien mukaan: kestonmuovit, kertamuovit ja elastomeerit.

Elastomeereja ei tällä kurssilla käsitellä, koska niiden käyttö pakkauksissa ja kulutustavaroissa on harvinaista. Katsotaan lähemmin kestonmuoveja ja kertamuovia.

Kestomuovit

Kestomuovit voidaan määritellä materiaaleiksi, joiden rakenne pehmenee ja kovettuu palautuvasti kuumennettaessa ja jäädytettäessä. Tämän ansiosta kestonmuovimateriaalit voidaan kierrättää sulattamalla ja uudelleenprosessoimalla.

Teoriassa nämä muutokset ovat palautuvia eivätkä aiheuta muutoksia polymeerin kemialliseen rakenteeseen. Ihannelanteessa termoplastiset materiaalit voitaisiin siis kierrättää yhä uudelleen.

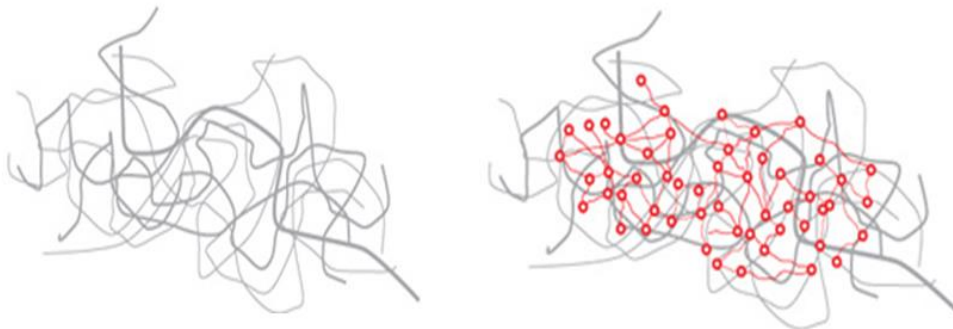
Käytännössä kierrätysprosessin aikana tapahtuu jonkin verran lämpö- ja oksidatiivista hajoamista ja materiaalin ominaisuuksissa voidaan olettaa tapahtuvan muutoksia.

Kun kestonmuovit sulatetaan, polymeerimolekyylit eivät kiinnity kemiallisesti toisiinsa. Termoplastisia ketjuja pitävät koossa heikot kemialliset vetovoimat (esim. van der Waalsin voimat) tai molekyyliketjujen kietoutuminen.

Kestomuoveista, kuten polyolefiineista, polyamideista ja polyestereistä, valmistetaan monia kulutustavaroita, kuten pulloja, pusseja ja kalvoja. Alla olevaan taulukkoon on koottu joitain yleisiä kestonmuovimateriaaleja ja niiden sovelluksia.

Termoplastinen polymeeri	Sovellukset
Korkeatiheyspolyeteeni (HDPE)	Pakkaukset, säiliöt, pullot, laatikot, kalvot
Matalatiheyspolyeteeni (LDPE)	Pakkaukset, ruokakassit, lelut, kannet
Lineaarinen matalatiheyksinen polyeteeni (LLDPE)	Pakkaus
Polypropeeni (PP)	Korkit, kattilat, pullot, kalvot, jogurttipurkit, matkalaukut, putket, kauhat, matot, akkukotelot, köydet
Polystyreeni (PS)	Jogurttipurkit, vaahtolevyt, läpinäkyvät korkit
Polyamidi (PA)	Tyhjiöpussit, siimat, luistinpyörät, vaatteet
Polyeteenitereftalaatti (PET)	Pullot, kattilat
Polyvinyylikloridi (PVC)	Elintarvikepakkaukset, lattiat, putket

Kertamuovit sulaprosessoidaan yleensä samalla tavalla kuin kestumuoivit, mutta ne kovettuvat palautumattomasti kuumennuksen tai erikoiskemikaalien lisäyksen ansiosta. Tässä kovettumisprosessissa lineaaristen polymeeristen molekyylien välille muodostuu kemiallisia sidoksia ja prosessissa saadaan aikaan yhtenäinen silloitettu makromolekyyli. Seuraava kuva havainnollistaa kestumuoivimateriaalien ja kertamuovimateriaalien molekyyliarakenteen eroja.



Kuvio. Kestumuovimateriaalin (vasemmalla) ja kertamuovimateriaalin (oikealla) molekyyliketjujen rakenne.

Kerran muodostuneita kertamuoveja ei voida prosessoida uudelleen sulattamalla, sillä selkeitä rakenteellisia muutoksia tapahtuu ennen kuin ne sulavat uudelleen. Tästä syystä kertamuovijätteitä ei voida kierrättää kuten kestumuvijätteitä.

Kertamuoveja käytetään, kun vaaditaan lujuutta ja kestävyyttä. Seuraavassa taulukossa on esimerkkejä yleisistä lämpökovettuvista materiaaleista ja niiden sovelluksista.

Lämpökovettuva polymeeri	Sovellus
Epoksi	Liimat, eristeet, tekniset päällysteet
Melamiini-formaldehydiharts	Lämmönkestävät laminaatit, kovat pinnat
Fenolinen	Lämmönkestävät kahvat keittiövälineet
Polyuretaani (PU)	Jäykät tai joustavat vaahdot verhoiluun ja eristykseen
Tyydyttymättömät polyesterit	Rakennusten väliseinät, leivänpaahtimen sivut

Kestomuovit vs. kertamuovit

Miten kestomuovi- ja kertamuovipolymeerien ominaisuudet vertautuvat toisiinsa?

Termoplastisilla polymeereillä (kestomuoveilla) on seuraavat ominaisuudet:

- Suoraketjuisten molekyylien välillä on heikkoja sidoksia, jotka voidaan rikkoa kuumentamalla.
- Materiaalintoimittaja polymeroi tyypillisesti jo ensimmäisessä vaiheessa.
- Ovat elastisia ja joustavia.
- Liukenevat orgaanisiin liuottimiin.
- Kuumennettaessa ne pehmenevät ja lopulta sulavat.
- Niiden sulamispiste on alhaisempi kuin niiden hajoamispiste.
- Ennen prosessointia ne ovat polymeroidusta materiaalista valmistettuina kiinteinä pelletteinä.
- Kiinteässä tilassa niillä on suhteellisen pehmeä rakenne, joka koostuu kovista kiteisistä alueista ja elastisista amorfisista alueista.

Lämpökovettuvilla polymeereillä (kertamuoveilla) on seuraavat ominaisuudet:

- Vahvat kemialliset sidokset, mukaan lukien ristisidokset.
- Polymeeriketjut eivät erkane toisistaan lämmitettäessä.
- Prosessointiin sisältyy kaksivaiheinen polymerointi.
- Ovat kovia ja hauraita.
- Eivät liukene orgaanisiin liuottimiin.
- Kuumennettaessa ne hiiltävät, eivät sula.
- Hajoamispiste on alhaisempi kuin niiden sulamispiste.
- Ovat nestemäisessä tilassa ennen prosessointia.
- Kiinteässä tilassa niiden rakenne koostuu hartsista, johon on sekoitettu lujitekuitua.

Lyhyet kysymykset:

- Termoplastiset materiaalit, joita tavallisesti esiintyy monissa pakkausratkaisuissa, ovat yleensä joustavampia, helpompia käsitellä ja helpommin kierrätettäviä kuin kertamuovimateriaalit. Oikein vai väärin? (O/V)

- Luokittele seuraavat materiaalit niiden luonteen mukaan (kestomuovit tai kertamuovit): 1) korkeatiheyksinen polyeteeni; 2) polyeteenitereftalaatti; 3) nylon 66; 4) epoksiliima; 5) paisutettu polyuretaani. (1) kestomuovi – polyolefiini; 2) kestomuovi – polyesteri; 3) kestomuovi – polyamidi; 4) kertamuovi – hartsi; 5) kertamuovi - vaahto)

1.1.2. Kierrätysmuovien prosessointi

Tällä oppitunnilla opitaan tärkeimmät näkökohdat, jotka on otettava huomioon muovimateriaalien uudelleen käsittelyssä.

Käsittelytekniikoiden valinta

Kierrätysmateriaalien käsittelytekniikoita valittaessa on tärkeää erottaa, minkä tyyppistä jätettä halutaan käsitellä.

Homogeeninen jätevirta voidaan käsitellä uudelleen samoilla koneilla, joilla neitseellisiä materiaaleja käsitellään.

Heterogeeninen sekamuovijätevirta voidaan joissakin tapauksissa myös käsitellä näillä koneilla, mutta siihen voidaan soveltaa useita erityisiä jälleenkäsittelytekniikoita. Tällä oppitunnilla esitetään lyhyt johdatus näihin prosesseihin sekä esimerkkejä niiden käytöstä.

Ekstruusio

Ekstruusio eli suulakepuristus on jatkuvatoiminen prosessi komponenttien, kuten putkien tai levyjen, valmistamiseksi. Moduulin 2 oppisisällöstä voit kerrata suulakepuristuksen muovin käsittelytekniikkana.

Ekstruudereita on kahta tyyppiä: yksiruuvi- tai kaksiruuvikoneita. Nämä kaksi laitetyyppiä suorittavat hieman erilaisia tehtäviä, vaikka peruseriaatteet pätevät molempiin. Aloitamme keskustelulla ekstruusion seostuksesta, joka on erityisen tärkeää mekaanisessa kierrätyksessä.

Termi *seostus* (compounding) kattaa useita vaiheita polymeerin synteesin ja sen lopullisen muodostuksen välillä prosessikoneessa. Se voi sisältää materiaalin syöttämisen tai kuljettamisen koneeseen, oikean määrän annostelemisen ja polymeerin sekoittamisen muihin materiaaleihin, kuten lisäaineisiin. Lopuksi tarvitaan vielä valmiin muovimateriaalin pelletointi, jotta se soveltuu käytettäväksi esimerkiksi ruiskuvalu- tai puhallusmuovauskoneiden raaka-aineena. Seostusprosessi on esitetty seuraavassa kuvassa.



Yleensä **annostelussa ja syötössä** käytetään mekaanisia kuljettimia, kuten syöttöruuveja, kuljetinhihoja tai tärysulkuja. Suuremmissa operaatioissa voidaan käyttää paine- tai tyhjiökäyttöisiä silloja materiaalin kuljetukseen suulakepuristimeen tai sekoitusasemille. Monissa tapauksissa vaaditaan tarkkaa mittausta, mihin soveltuvat gravimetriset tai volumetriset syöttölaitteet. Näistä gravimetrisillä järjestelmillä on suurempi tarkkuus, mutta korkeampi hinta. Annostelun jälkeen yhdistettävät aineosat on sekoitettava.

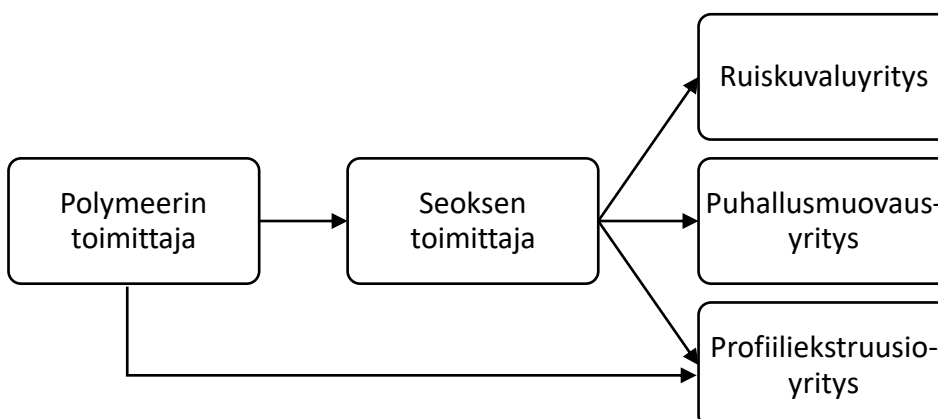
Sekoituksen tarkoituksena on hajottaa ainesosat homogeeniseksi seokseksi. Tämä voidaan tehdä huoneenlämmössä yksinkertaisesti rumpusekoituksella, jolloin saadaan kuiva seos. Vaihtoehtoisesti ainekset voidaan sekoittaa kuumana. Yleensä kuumasekoittimet sijaitsevat suoraan suulakepuristimen yläpuolella, jotta sulanut seos voidaan valuttaa suoraan ekstruuderiin.

Plastisointi on välttämätöntä materiaalin sekoittamiseksi ja sulattamiseksi, jotta saadaan seos, joka on sekä homogeeninen että muovautuva. Tämä työ tehdään ekstruuderin ruuvilla.

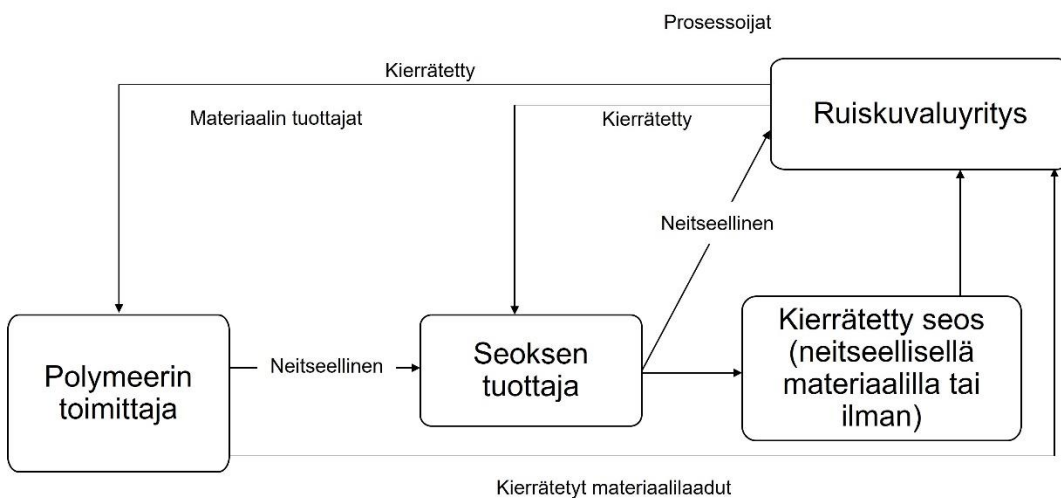
Käytetty **leikkauslaite** riippuu tuotteesta. Putket, levyt ja profiilit on leikattava tiettyihin pituuksiin sahalla. Pellettien valmistukseen käytetään pyöriä pelletointilaitteita, jotka tunnetaan myös nauhaleikkureina.

Usein muovimateriaalien toimittajat vastaavat seostuksesta. He saavat polymeerin valmistajalta neutraalista peruspolymeeriä, esimerkiksi polypropeenaa, ja luovat siitä useita erilaisia koostumuksia ja laatuja myytäväksi asiakkailleen, jotka tarvitsevat materiaaleja loppukäyttösovellustensa erityistarpeisiin. Esimerkiksi erilaisia värejä saadaan yksinkertaisesti lisäämällä pigmenttejä. Joissakin tapauksissa prosessi voi olla jatkuva: pelletoinnin sijaan tuloksena voi olla ekstrudoitu tuote, kuten putki.

Muoveilla on lämpöhistoria; suurin osa materiaalista on jo käynyt läpi jonkinlaisen prosessointisyklin ennen kuin se edes menee lopulliselle valmistajalle ja siitä tehdään myyntikelpoisia tuotantokomponentteja. Esimerkkejä mahdollisista toimitusketjuista on esitetty alla olevassa kuviossa.



Näitä materiaaleja kierrätettäessä voi toteutua samanlainen toimitusketju. Polymeerin tai seoksen toimittaja voi käyttää kierrätysmateriaaleja tuottaakseen laatuja, jotka sisältävät joko täysin kierrätysmateriaaleja, kierrätysmateriaalin ja lisäaineiden seosta tai kierrätysmateriaalin ja neitseellisen materiaalin seosta. Kierrätystuotteiden mahdollinen toimitusketju on esitetty seuraavassa kuviossa.



Ruiskuvalu

Ruiskuvalu on yksi yleisimmistä nykyään käytössä olevista valmistusprosesseista. Se soveltuu monimutkaisten ja tarkkojen osien suurten tuotantomäärien valmistukseen erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tarkista moduulin 2 oppitunnilta yksityiskohtainen kuvaus tästä tekniikasta.

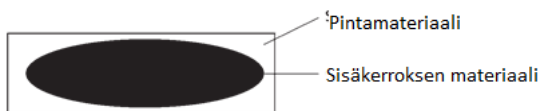
Hylkyyn menneiden ruiskuvalutuotteiden lisäksi jätettä syntyy myös kanavissa, joilla sulaa muovia syötetään ruiskutusyksiköstä muottiin. Jätteen minimoimiseksi nämä materiaalivirrat voidaan käyttää uudelleen valulaitteen syöttönä.

Ruiskuvalu on monimutkainen prosessi, jota ohjataan useilla parametreilla. Siinä voidaan käyttää useita materiaaleja ja materiaalien viskositeetteja, mutta epähomogeeniset muoviseokset voivat aiheuttaa prosessiin vaihteluita ja vaikeuttaa tasalaatuisten muotojen saavuttamista.

Jos käytetään materiaalien seoksia, joilla on eri sulamispisteet, voi esiintyä ongelmia, ellei korkeimman sulamisosuuden lämpötilaa saavuteta. Sulamaton materiaali näkyy valoksessa ja vaikuttaa sen mekaaniseen eheyteen. Myös epäpuhtaudet, kuten lika, puu ja muut jäämät, näkyvät valoksessa.

Sulasuodattimilla voidaan poistaa suhteellisen pieniä sulamattomia epäpuhtauksia ja estää niiden pääsy valokseen. Yksi tapa estää tämän tyyppinen näkyvä kontaminaatio on käyttää yhteisruiskuvalua.

Ruiskuvaluprosessista on useita muunnelmia. Niistä **yhteisruiskuvalu** soveltuu erityisesti kierrätysmateriaaleihin. Yhteisruiskuvalu tuottaa kerroksellisen rakenteen, jota voidaan käyttää kierrätysmateriaalien kapseloimiseen peittämällä ne kerroksella neitseellistä materiaalia (katso seuraava kuva).



Puhallusmuovaus

Puhallusmuovaus on kaupallisesti kolmanneksi tärkein muovituotannon prosessi suulakepuristuksen ja ruiskupuristuksen jälkeen. Sitä käytetään useiden onttojen esineiden, kuten pullojen, polttoainesäiliöiden ja muiden suurten säiliöiden valmistukseen. Yksityiskohtainen kuvaus puhallusmuovaustekniikoista on moduulissa 2.

Muista jätevirroista tulevaa kierrätystä on vaikeampi käsitellä puhallusmuovauksella johtuen kontaminaatio-ongelmista ja sulaneiden kierrätysmateriaalien mekaanisten ominaisuuksien muutoksista. Muista, että puhallusmuovausmateriaalin kriteerit ovat melko tarkkoja:

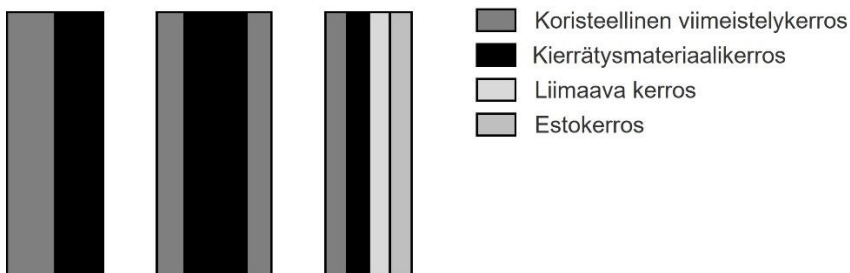
- Sen viskositeetin on oltava sopiva.
- Sillä on oltava hyvä lujuus sulana.
- Sen on pystyttävä laajenemaan täytettäessä. (Tämä ilmoitetaan usein materiaalin täyttösuhteena).
- Sen on kyettävä saumautumaan muotin pohjassa.

Tämä ei tee kierrätysmateriaalien puhallusmuovauksesta täysin mahdotonta, mutta hankalaa ja erityisjärjestelyjä vaativaa.

Epäpuhtaudet voivat vaikuttaa haitallisesti viskositeettiin. Lisäksi ne voivat aiheuttaa ongelmia puhallusprosessissa. Täyttämisen aikana materiaali laajenee tasaisella nopeudella, jolloin seinämän paksuus pysyy vakiona koko kappaleen alalla. Epäpuhtaudet voivat aiheuttaa halkeamia, repeytymistä tai vaikuttaa aihion kykyyn saumautua pohjasta. Kierrätysmateriaalien värjäntyvyydessä on myös rajoitteita, erityisesti väriseosten osalta. Tavallisesti yhtenäisen värin saamiseksi lisätään musta perusseos peittämään kierrätysmateriaalien taustavärit. Tämä voi rajoittaa tuotteiden mahdollisia käyttökohteita. Yksi ratkaisu tähän on käyttää useampaa kuin yhtä suulakepuristinta ja valmistaa monikerroksinen aihio. Tätä prosessia kutsutaan **monikerrosekstruusiopuhallusmuovaukseksi**.

Monikerroksinen rakenne tarjoavaa keinoa sisällyttää tuotteeseen kierrätysmateriaalia ja peittää kierrätysmateriaalin luontainen väri. Ajatellaan esimerkkinä kaksikerroksista pullorakennetta, jossa ulkokerroksena on käytetty sinistä neutraalista materiaalia ja sisäkerroksena mustaa kierrätysmateriaalia. Jos katsoisit pulloon, näkisit mustan kierrätysmateriaalin, mutta koko ulkopinta olisi sininen.

Mahdolliset kerrokskoonpanot on esitetty oheisessa kuviossa. 3-kerroksinen kokoonpano kierrätetyille aineille voi olla parempi kuin 2-kerroksinen, koska sisäkerros vaikuttaa ensisijaisesti kappaleen pohjassa olevan sauman lujuuteen. Tämä sauma voi heikentyä kierrätysmateriaalin vaikutuksesta. 2-kerroksisessa kokoonpanossa on toinenkin mahdollinen ongelma: kierrätysmateriaali ei ole välttämättä yhteensopiva säiliön sisällön kanssa. Tämä voi johtua joko kemiallisista yhteensopivuusongelmista tai yksinkertaisesti siitä, että kierrätysmateriaalin pintakäsittely ei ole tarpeeksi korkealaatuinen halutulle tuotteelle. 3-kerroksinen kokoonpano ratkaisee tämän ongelman. Puhallusmuovauskoneet mahdollistavat yksittäisten kerrosten paksuuden tarkan hallinnan, jotta kunkin kerroksen taso voidaan optimoida. Yleensä sisä- ja ulkokerros muodostavat 10–20 % kokonaispaksuudesta ja loppuosa on kierrätettyä materiaalia.



Kuvio. Musta – kierrätysmateriaalikerros, tumma harmaa – koristeellinen viimeistelykerros, keskiharmaa – estokerros, vaalea harmaa – liimaava kerros

Jotkin sovellukset voivat vaatia lisäksi estokerroksen käyttöä, esimerkiksi polttoainesäiliöt vaativat polttoainetta läpäisemättömän suojan ja ruokapakkaukset, kuten tomaattiketsuppi, voivat vaatia esteen aromien läpäisylle. Yksinkertaisin estoratkaisu, joka sisältää kierrätettyä materiaalia, on 4-kerroksinen rakenne, kuten kuvassa on esitetty. Liimakerrosta tarvitaan kerrosten liimaamiseen, koska usein tarvittavat materiaaliyhdistelmät eivät tartu toisiinsa.

Jättemateriaalin sisällyttäminen ekstruusiopuhallusmuovaukseen ei yleensä aiheuta ongelmia. Kuitenkin, kun otetaan huomioon puhallusmuovausprosessin erityisvaatimukset viskositeetin, sulalujuuden ja puhallusominaisuuksien suhteen, muista jätevirroista peräisin olevat materiaalit eivät todennäköisesti ole sopivia. Puhallusmuovausprosessi on suhteellisen herkkä epäpuhtauksille, koska epäpuhtaudet vaikuttavat aihion puhalluskykyyn ja syntyvän seinämän paksuuden tasaisuuteen. Kierrätysmateriaalia käytettäessä on kiinnitettävä erityistä huomiota sauma-alueeseen, jotta saadaan aikaan riittävä hitsauslujuus.

Kalvonpuhallus

Kalvopuhalluskoneissa ei synny suuria määriä prosessijätettä ja materiaali voidaan käsitellä uudelleen, jos se pysyy puhtaana.

Kuten puhallusmuovauksessa, suuret tukkeumat tai epäpuhtaudet prosessissa voivat aiheuttaa halkeamis- ja täyttymisongelmia. Joissakin tapauksissa agglomerointi voi olla tarpeen syötön helpottamiseksi silputun kalvomateriaalin alhaisen bulkkitiheyden vuoksi.

Kalvojätettä on saatavilla suuria määriä, koska pakkauksilla ja teollisuuskalvomateriaaleilla, kuten kantokasseilla, roskakorisuojuksilla ja muovisäkeillä, on lyhyt käyttöikä. Tämänkaltaisten tuotteiden tyyppinen käyttöikä on vain kaksi vuotta.

100-prosenttisesti kierrätettyä materiaalia voidaan käyttää heikomman laatuvaatimuksen sovelluksissa, kuten roskakoreissa. Muut tuotteet, kuten kantokassit, voivat sisältää jättemateriaalia neitseellisen materiaalin seassa kustannusten alentamiseksi.

Kuten puhallusmuovauksella, kalvopuhalluksella on erityiset materiaalivaatimukset sulalajuuden, viskositeetin ja täyttöominaisuuksien suhteen. Yleensä kalvopuhallus rajoittuu polyolefiinimateriaaleihin, joista suurin osa on LDPE:tä, LLDPE:tä ja HDPE:tä.

Puristusmuovaus

Puristusmuovausta käytetään sekä kestmuovi- että lämpökovettuvien kertamuovituotteiden valmistukseen.

Kaikissa prosesseissa on tähän mennessä käytetty materiaaleja rakeisessa muodossa. Puristusmuovauksessa käytetään kuitenkin usein raaka-aineita levymuodossa. Oikean painoiset osat, joita kutsutaan aihioiksi, esilämmitetään ja asetetaan puristusmuovaustyökaluun. Työkalu suljetaan komponentin muodostamiseksi. Koska käytetään arkkeja rakeiden sijaan, raaka-ainekustannukset ovat paljon korkeammat, sillä levyjen valmistaminen on kalliimpaa kuin rakeiden. Yksi yleinen levytyyppi tunnetaan nimellä lasimattosiirto (GMT). Se koostuu polypropeenista ja suuresta määrästä lasikuitua.

Mitä tahansa kierrätysvirtaa voidaan käyttää uusien GMT-arkkien valmistukseen. Arkin lasitasot ja virtausominaisuudet voivat kuitenkin olla erilaisia. GMT:n kierrättäminen itse puristusmuovien valmistajien toimesta ei ole yleistä, yleensä matot tulevat niiden toimittajalta.

Muoviseosten puristusmuovaus on mahdollista. Ensin materiaalit esisulatetaan sopivaksi painotetuksi "aihioksi" ja laitetaan muottiin. Muovaus suoritetaan sitten normaalisti. Tällä tavalla voidaan tehdä paksuja osia; niiden ominaisuudet eivät kuitenkaan yleensä ole kovin hyviä.

Lämpömuovaus

Kuten puristusmuovauksessa, lämpömuovauksessa käytetään levyä rakeiden sijaan. Tässä prosessissa levyt puristetaan kehukseen ja kuumennetaan sitten muovin pehmentämiseksi mutta



ei sulattamiseksi. Muotti tuodaan sitten kosketuksiin arkin kanssa samalla kun siihen imetään tyhjiö. Tämä vetää arkin muotin pinnalle ja muovaa tuotteen. Muovatuista tuotteista leikataan pois ylimääräinen levy materiaali, joka voidaan palauttaa arkintoimittajalle käytettäväksi uuden arkin valmistuksessa.

Prosessit sekamuovijätteen hyödyntämiseksi

Seuraavat kolme prosessia soveltuvat sekalaisille ja kontaminoituneemmille jätevirroille. Jokaisella näistä prosesseista on kaupallisia toimijoita, ja ne vaihtelevat käsiteltävän jätteen tyyppiin mukaan. Tässä esitetään yleiskatsaus kustakin prosessista.

- Intruusiomuovaus

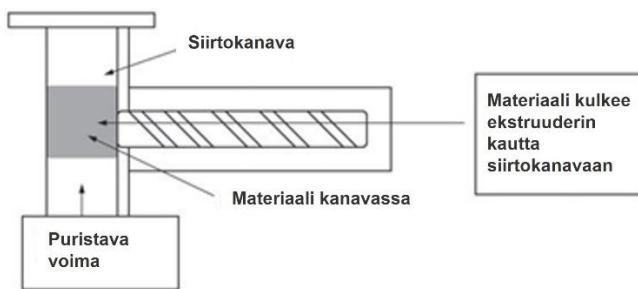
Intruusioprosessi soveltuu sekamuoveille. Yleensä ne jauhetaan hienoksi ennen käsittelyä leviämisen helpottamiseksi. Prosessissa on suulakepuristuselementtejä siten, että pehmenysyksikköä käytetään seoksen pehmentämiseen, joka sitten syötetään muottiin ja tämä jäähdytetään. Pyörittävissä järjestelmissä osaa työkaluista voidaan täyttää sillä aikaa kun toisia jäähdytetään (yleensä upottamalla ne veteen). Kun muovi on jäähtynyt, se poistetaan käytetyn muotin tyypistä riippuen esimerkiksi työntämällä. Prosessi kestää epäpuhtauksia, kuten muovisekoituksia, hiekkaa, lasia, puuta ja paperia, edellyttäen, että polyolefiinifraktio on vähintään 40 %. Muut epäpuhtaudet sulautuvat tähän alhaisen sulamispisteen fraktioon. Tätä prosessia käytetään yleensä suurten, geometrisesti yksinkertaisten muotojen, kuten profiilien ja paneelien tuottamiseen puuta korvaaviin sovelluksiin, kuten aitauksiin, pylväisiin ja rakennustelineisiin.

- Siirtomuovaus

Tämä prosessi yhdistää ruiskupuristus- ja puristusmuovauksen elementit. Se on samanlainen kuin ruiskupuristus siinä, että spesifioitu massa materiaalia siirretään muottiin. Siirtomuovaus kehitettiin alun perin puristusmuovauksesta, jotta voidaan valmistaa monimutkaisempia osia, joissa on reikiä, syvennyksiä tai inserttejä. Tuloksena oli prosessi, jossa muotti ensin suljettiin ja puristusmateriaali siirrettiin muottiin vasta sitten. Menetelmälle on olemassa muunnelmia, koska tätä menetelmää käytetään lämpökovettuvien osien valmistukseen sekä muovisekoituksiin. Ohessa kuvataan sekamuovijätteen käsittelyssä käytettävä prosessi.

Materiaali syötetään sulatussuppilosta lämmitettyyn tynnyriin, jossa se homogoidaan ja plastisoidaan. Sitten se syötetään sulavaraajaan, joka annostelee tietyn määrän materiaalia alhaisella paineella osittain avoimeen muottiin (toisin kuin korkeapaine ruiskupuristusprosessissa) (katso alla oleva kuva). Kun täyttöaste on saavutettu, puristin sulkee muotin ja materiaali puristetaan. Kun muotti on jäähtynyt ja mittapysyvyys on saavutettu, se voidaan poistaa. Tämän prosessin vaatimat pienet puristusvoimat tekevät laitekustannuksista alhaisemmat kuin perinteisessä ruiskuvalussa. Se ei kuitenkaan sovellu monimutkaisten osien valmistamiseen, ja sitä voidaan parhaiten soveltaa melko yksinkertaisiin osiin, jotka ovat

samanlaisia kuin puristusmuovausprosesseissa tuotetut. Yksi tällainen sovellus on kuormalavat. Tämä prosessi soveltuu sekä sekoitettuihin että sekoittamattomiin muoveihin. Muun prosessin sietämän kontaminaation, esimerkiksi metallin, osuus riippuu suulakepuristimen ja suulakepuristimen suuttimen rakenteesta. Prosessin pitäisi olla ongelmaton edellyttäen, että epäpuhtaudet ovat riittävän pieniä ja muovimateriaalia on riittävästi, jotta ne pääsevät virtaamaan koneen läpi ja ulos suuttimesta.



- Sintrausmuovaus

Sintrausmuovausprosessia voidaan käyttää monenlaisille muoviseoksille. Prosessi sietää kontaminaatioina esimerkiksi alumiinia ja paperia, ja sillä on valmistettu paneeleja jätepuulastuista. Koostumusta voidaan myös muunnella valmistettaessa tuotteita, joilla on eri ominaisuuksia, esim. käytettäväksi paneeleina, äänieristys- tai pakkausmateriaaleina.

Tässä prosessissa muovihiutale pehmitetään kuumennetussa muotissa ja altistetaan paineelle. Ensin materiaali kulkee metallinpaljastimen läpi suurten metallisirpaleiden poistamiseksi, minkä jälkeen se murskataan ja annostellaan muotteihin. Materiaali lämmitetään sen kulkiessa tornin läpi ylhäältä alaspäin. Puristusaine kasvaa, mitä pidemmälle muotti kulkee tornia alaspäin. Alimmat muotit jäädytetään ympäröivällä ilmalla, joka sitten patterin avulla tapahtuvan lisälämmityksen jälkeen johdetaan ylöspäin vastavirtaan muotteihin. Tämä prosessi mahdollistaa suuripintaisten, jopa 60 mm paksuisten paneelien valmistuksen luonnollisella viimeistelyllä tai laminoinnilla samassa toimenpiteessä. Tämän menetelmän etuna on, että raaka-aine voi sisältää uudelleenrakeistuslaitosten tiheyserottelusta syntyvän raskaan jakeen ja materiaalit eivät vaadi puhdistusta ennen käsittelyä.

Kierrätysmuovin lisäaineet

Kuluttajatuotteiden muovijätteen kierrätyksen kaksi merkittävintä ongelmaa ovat

1. sekä käsittelyn että käyttöön seurauksena tapahtuva muovien hajoaminen
2. sekamuovien käsittelyn osalta hyväksyttävien materiaaliominaisuuksien saavuttamiseen liittyvät vaikeudet.

Stabilointilisäaineita voidaan käyttää hidastamaan muovien hajoamista. Muita lisäaineita, kuten täyteaineita tai modifiointiaineita, voidaan lisätä parantamaan kierrätysmateriaalien ominaisuuksia. Näistä modifiointiaineista voi olla hyötyä myös muoviseosfraktioissa. Ensin käsitellään materiaalien hajoamiseen liittyviä kysymyksiä.

Suurin osa muovintuottajista uudelleenprosessoi hylkymateriaaliaan alentaakseen raaka-ainekustannuksiaan sekä jätteiden hävittämiskustannuksia. Hyvin usein tämä materiaali yksinkertaisesti syötetään takaisin järjestelmään uuden materiaalin mukana. Tämä aiheuttaa vain vähän ongelmia, kunhan puhtauteen kiinnitetään huomiota ja uudelleenkäsitelty materiaali ei ole liian, öljyn tai muun epäpuhtauden saastuttama.

Tällaisten materiaalien hajoamisaste riippuu käytetyistä prosessointiolosuhteista ja stabilointiaineiden määrästä. Uutta käyttökohdetta varten ne voidaan stabiloida uudelleen. Tätä varten tarvitaan tietoa alkuperäisen stabilointiaineen tyypistä ja määrästä. Jotkin stabilointiaineet kuluvat suojatessaan muovia, ja niiden määrä on pidettävä optimaalisella tasolla jatkuvan suojan varmistamiseksi. Lisätestejä saatetaan tarvita lämmön- ja valonkestävyyden arvioimiseksi (sekä käsittelyn että pitkäaikaisen stabiilisuuden).

- **Lämpöstabiilisuus**

Lämmön ja hapen yhdistelmä aiheuttaa polymeerissä hapettumista, mikä johtaa hajoamiseen. Mekanismi on vapaiden radikaalien muodostuminen, jotka ovat erittäin reaktiivisia kemiallisia yhdisteitä. Tämä reaktio voidaan havaita, koska tuotteilla on taipumus muuttua keltaiseksi tai ruskeaksi. Antioksidantteja voidaan käyttää tämän mekanismin katkaisemiseen. Yleisimmin käytetyt kemikaalit ovat suojattuja fenoleja, jotka toimivat peroksidiradikaalien hajottajina.

Suojattujen fenolien lisäksi voidaan käyttää myös muita lisäaineita. Fosfiiteilla yhdessä suojattujen fenolien kanssa on synerginen vaikutus. Tämä yhdistelmä on erityisen tehokas polyolefiineille, kuten PE tai PP.

Ehkä tunnetuin esimerkki lisäaineiden käytöstä lämpöhajoamisen estämiseksi on polyvinyylidikloridin lämpöstabilointi. Tässä tapauksessa syntyvät vapaat radikaalit ovat klooria, mikä johtaa suolahapon muodostumiseen. Stabilointiaineiden on pysäytettävä nämä reaktiot, jotka johtavat prosessilaitteiston happokorroosioon.

- **Valonkesto**

Valo, erityisesti ultraviolettialueella, voi aiheuttaa valohapetusta, joka aiheuttaa polymeeriketjujen hajoamista ja katkeamista. Tämän vaikutuksen estämiseksi voidaan käyttää kolmea lisäaineluokkaa. Näitä lisäaineita kutsutaan tavallisesti UV-absorbenteiksi, sammuttajiksi (scavengers) ja radikaalinsiippaajiksi.

Lisäaineyhdistelmät tiettyihin tarkoituksiin

Tietyissä muovissa käytettävät lisäaineet riippuvat hyvin paljon sen käyttökohteesta. Esimerkiksi ulkokäyttöön tarvitaan sekä valon- että lämmönkestävyyttä.

Pullolaatikoita, jotka on valmistettu yhdestä muovista, korkeatiheyspolyeteenistä (HDPE), on tutkittu laajasti. 100-prosenttinen kierrätysmateriaalin käyttö ilman lisästabiloitinta johti mekaanisten ominaisuuksien menettämiseen, halkeiluihin ja värin haalistumiseen kuuden kuukauden kuluttua. Kuitenkin kun HALS- ja UV-absorboijia yhdistettiin, kierrätysmateriaalit säilyttivät ominaisuutensa yli neljä vuotta.

Yhteenvedona voidaan todeta, että onnistuneiden sovellusten kannalta on huolehdittava siitä, että kierrätysmateriaalit suojataan riittävästi sopivilla lisäaineilla niiden tulevasta käytöstä riippuen.

Pääviestit

Siinä missä primäärinen mekaaninen kierrätys on edelleen yleistä muovinjalostajien keskuudessa, sekundääriseen kierrätykseen kohdistuu sekä käytännöllisiä että taloudellisia rajoituksia. Kannattavuus on riippuvaista ensisijaisesti siitä, onko yksittäisten polymeerimateriaalien lajittelu erilleen taloudellista, sekä siitä, tunnetaanko materiaalin alkuperä ja hajoamishistoria. On olemassa prosesseja, jotka on mukautettu perinteisistä koneista sallimaan kontaminoituneempaa raaka-ainetta, mutta niiden käyttö rajoittuu profiileihin ja paneeleihin, joilla korvataan puuta, eikä raaka-aineen koostumukseen liittyviä luontaisia rajoituksia voida jättää huomioimatta. Nämäkin prosessit edellyttävät yleensä myös, että raaka-aine on läpikäynyt jonkin verran esilajittelua.

Alla olevassa taulukossa on yleiskatsaus tällä oppitunnilla käsitellyistä prosesseista:

Prosessien vertailu					
Prosessi	Osien monimutkaisuus	Tekniikka	Muotti	Muovityypit	Toleranssi epäpuhtauksille
Ekstruusio	Melko yksinkertaiset profiilit	Ekstruusio	Ei mitään	Yksittäinen	Matala
Ruiskuvalu	Monimutkainen	Injektio	Suljettu	Yksittäinen	Matala
Yhteisruiskuvalu	Monimutkainen	Injektio	Suljettu	Yksittäisiä kerroksia	Matala
Puristusmuovaus	Yksinkertainen	Puristus	Suljettu	Yksittäinen	Keskikokoinen
Ekstruusio-puhallusmuovaus	Monimutkainen	Täyttäminen	Suljettu	Yksittäinen	Erittäin matala
Monikerros-ekstruusio-puhallusmuovaus	Monimutkainen	Täyttäminen	Suljettu	Yksittäisiä kerroksia	Erittäin matala
Ruiskupuhallusmuovaus	Yksinkertainen	Täyttäminen	Suljettu	Yksittäinen	Erittäin matala
Kalvon puhallus	Yksinkertainen	Täyttäminen	Ei mitään	Yksittäinen	Erittäin matala
Intruusiomuovaus	Yksinkertainen	Puristus	Avoim	Sekoitettu	Korkea
Sintrausvalu	Yksinkertainen	Puristus	Avoim	Sekoitettu	Erittäin korkea
Siirtomuovaus	Yksinkertainen	Puristus	Suljettu	Sekoitettu	Korkea



1.1.3. Prosessoinnin vaikutukset kestopuoviin

Tällä oppitunnilla opitaan, kuinka prosessointi vaikuttaa muovin ominaisuuksiin.

Johdanto

Tiedämme jo, mikä ero on kestopuovimateriaalilla ja kertamuovimateriaalilla niiden kierrätettävyyden suhteen. Tällä oppitunnilla keskitytään siihen, mitä tapahtuu termoplastisille materiaaleille, kun niitä käsitellään. Tarkastelemme kolmea näkökohtaa:

- muodonmuutosominaisuudet
- sulamisominaisuudet
- rakenteelliset ja kemialliset ominaisuudet.

Muodonmuutosominaisuudet

Aloitetaan muodonmuutosominaisuuksien tutkimisella. Jotta voidaan keskittyä muodonmuutokseen, on puhuttava reologiasta. Reologia tutkii nestemäisten tuotteiden muodonmuutoksia ja virtausta.

Muovit reagoivat viskoelastisesti rasitukseen. Toisin sanoen muovit ovat polymeerejä, joissa yhdistyvät sekä viskoottiset että elastisuusominaisuudet. Mitä tämä tarkoittaa?

Viskoottiset ominaisuudet viittaavat tapaan, jolla materiaali jatkaa muotoaan niin kauan kuin siihen kohdistuu jännitystä.

Elastisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan materiaalin kykyä palauttaa alkuperäinen muotonsa jännityksen poistamisen jälkeen.

Polymeerit ovat viskoottisempia kuin useimmat nesteet, mikä tarkoittaa, että niiden virtausvastus rasituksen aikana on suurempi kuin useimpien nesteiden. Lisäksi polymeerit ovat joustavampia kuin useimmat kiinteät tuotteet, mikä tarkoittaa, että niillä on taipumus saada takaisin alkuperäiseen muotoonsa jännityksen lakatessa.

Viskositeetin ja elastisuuden välinen vuorovaikutus määrää usein minkä tahansa käsittelyn tuloksen. Käsiteltyssä tulee ottaa huomioon paitsi polymeerien virtaus sulassa tilassaan myös se, miten reologiset ominaisuudet muuttuvat polymeerien sulassa ja kiinteytyessä lämpötilan noustessa tai laskiessa.

Kun polymeeri hajoaa, sen viskositeetti pienenee. Toistuvan materiaalin kierrätyksen aikana tapahtuvien muutosten kartoitus voi antaa tietoa tapahtuvista hajoamisprosesseista.

Muodonmuutosominaisuudet: esimerkki

Otetaan esimerkki siitä, mitä tapahtuu kahdelle yleiselle materiaalille: matalatiheysinen polyeteeni (LDPE) ja nailon (PA).



Puolikiteisenä materiaalina LDPE-kierteet muuttuvat kuumennettaessa kiinteästä ensin erittäin viskoosiksi nesteeksi ja sitten liikkuvaksi nesteeksi.

Amorfisena materiaalina PA muuttuu melko äkillisesti kiinteästä aineesta erittäin nestemäiseksi aineeksi.

Tämä tarkoittaa, että nämä polymeerit reagoivat eri tavalla niihin kohdistuvaan lämpöön ja rasitukseen. Menetelmät ja olosuhteet niiden käsittelemiseksi ovat siis välttämättä erilaisia.

Helppo tapa verrata sulan muovin virtausta määritellyissä olosuhteissa on määrittää se sulavirtausindeksilaitteella. Tämä laite toimii samalla tavalla kuin hammastahnan puristaminen putkesta. Mäntään kohdistetaan pystysuora kuormitus ja polymeerisula puristetaan muotin läpi. Polymeerin määrä, joka suulakepuristetaan tietyssä ajassa, antaa sulavirtausindeksin (MFI). Erittäin viskoosisilla materiaaleilla indeksi on alhainen, kun taas erittäin juoksevilla materiaaleilla korkea.

Sulamiso-minaisuudet

Kestomuovit on lämmitettävä sulamispisteensä yläpuolelle, jotta ne virtaavat.

Eri materiaalien sulamislämpötilat voivat vaihdella huomattavasti. Jopa saman materiaalin sisällä erilaiset rakenteet voivat aiheuttaa merkittäviä muutoksia sulamispisteessä.

Kun polymeeri kuumennetaan sulamispisteensä yläpuolelle, viskositeetti laskee jyrkästi. Muutosnopeus riippuu myös materiaalityypistä. Lopulta saavutetaan piste, jossa materiaalit muuttuvat termisesti epävakaiksi ja alkavat hajota. Tämä on ongelma sekoitettujen muovien käsittelyssä, koska seoksen muodostavat jakeet sulavat ja alkavat hajota eri lämpötiloissa. Siksi homogeeninen seos on erittäin tärkeää muovin kierrätyksen kannalta.



Sulamisominaisuudet: esimerkki

Ajattele useamman kuin yhden muovin seosta heterogeenisena seoksena ja saman muovin seosta homogeenisena muovina.

Tässä on joitain yleisten muovimateriaalien sulamispisteitä:

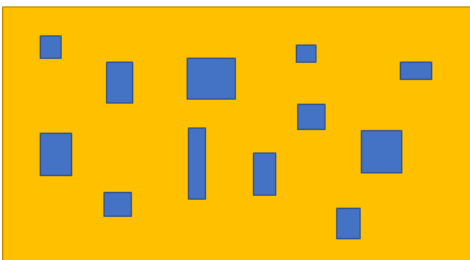
- polyeteeni (PE): 135 °C
- polypropeeni (PP): 170 °C
- polystyreeni (PS): 240 °C
- polyeteenitereftalaatti (PET): 245 °C
- polyamidi 6 (PA6): 233 °C

Mieti jätefraktiota, joka sisältää 90 % PE ja 10 % PA6.

Jos jäte käsitellään PE-jakeelle sopivassa lämpötilassa (135 °C), PA6-fraktio ei sula (233 °C) ja kulkeutuu mukana sulatevirrassa. Lopputuote olisi heterogeeninen seos, joka sisältää pellettejä sulamattomasta materiaalista. Sulamattomat pelletit olisivat mekaanisia heikkouksia muovauksessa, ikään kuin ne olisivat vain täyttämässä reikiä ilman tarkoitusta. Vain jos sulamattomat alueet ovat hyvin pieniä, ne eivät heikennä materiaalin ominaisuuksia.

Pohdi nyt samaa PA6:n ja PE:n seosta uudelleen. Mitä tapahtuisi, jos seos käsitellään hieman yli 233 °C:ssa? Tässä tapauksessa lämpötila on paljon korkeampi kuin missä PE yleensä prosessoitaisiin, ja se voi alkaa termisesti hajota, mikä todennäköisesti aiheuttaa huomattavan menetyksen muovin mekaanisissa ominaisuuksissa.

Sekamuovien prosessoinnissa tarvitaan usein kokeita parhaiden materiaalien ja optimaalisten käsittelyolosuhteiden valitsemiseksi. Mutta kuten huomaat, tämä on erittäin vaikeaa muovijätteen käsittelyssä, koska syöttömateriaalin ominaisuuksia on erittäin vaikea hallita. Asiaa on havainnollistettu alla olevassa kuvassa.



Kuvassa vasemmalla seos, jossa isoja partikkeleita sulamatonta muovia (huonot mekaaniset ominaisuudet) ja oikealla seos, jossa hienoksi dispergoituneita sulamattomia polymeeripartikkeleita (parantuneet mekaaniset ominaisuudet).

Rakenteelliset ja kemialliset muutokset

Lämmön vaikutusten lisäksi on huomioitava leikkausjännitysvoimien vaikutukset polymeeriin.

Leikkaus aiheuttaa mekaanisia vaurioita ja katkoo polymeeriketjuja. Erittäin suuret leikkausvoimat johtavat materiaalin hajoamiseen. Tästä syystä polymeerin hyvä lämmönkestävyys on edellytys useimmille prosessoinneille ja lämmön ja leikkauksen yhteisvaikutus voi aiheuttaa hajoamista. Lämmön ja leikkauksen yhteisvaikutus vähentää polymeeriketjujen pituutta. Tämä vaikuttaa

- molekyylipainoon ja viskositeettiin
- mekaanisiin ominaisuuksiin (esim. veto- ja iskunkestävyys)
- väriin.

Lisäksi on huomioitava materiaalin viipymäaika käsittelykoneessa. Tyypillinen viipymäaika voi olla 3–5 minuuttia. Pidemmät viipymäajat voivat aiheuttaa termistä heikkenemistä. Suljetussa kierrossa jätemateriaalivirtaa voidaan jauhaa ja käsitellä uudelleen useita kertoja.

Leikkausjännitys ei koske vain sulia polymeerejä, vaan sillä on merkitystä myös kiinteiden jätemateriaalien leikkaamisessa.

Vaikutukset materiaalin ominaisuuksiin riippuvat sen vasteesta jokaisessa hajoamisprosessissa ja jätevirran sekoitustavasta uuteen materiaaliin. Mekaaninen leikkaus on ensisijainen mekanismi mekaanisten ominaisuuksien, kuten vetolujuuden, heikkenemiseen. Mekaaninen hionta kiinteän muovin koon pienentämiseksi on toiseksi tärkein tekijä. Koska sekoituksella, työstöllä ja koon pienentämisellä on leikkausvaikutus polymeerimateriaaliin, on muovin vaurioiden taso arvioitava.



Tunnin päätöstehtävä

Seuraavan linkin kautta pääset lukemaan esseen muovien mekaanisesta kierrätyksestä (saattaa vaatia sisäänkirjautumisen).

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/marc.202000415>

Sinun ei välttämättä tarvitse lukea koko tekstiä. Keskity kohtaan 3 (Polyeteenitereftalaatin mekaaninen kierrätys). Säilytä artikkeli, sillä keskustelemme joistakin esitellyistä yksityiskohdista verkkoluennolla.

Osassa 3 kerrotaan hajoamisesta, että PET kärsii tietyistä hajoamisilmiöistä. Etsi tietoa ja vastaa lyhyesti ja omin sanoin seuraaviin kysymyksiin:

- a) Mitä on silloitus ja mitä seurauksia silloituksella on PET-materiaalien ominaisuuksiin?
- b) Miten PETin vetolujuus ja iskunkestävyys muuttuvat kierrätysmateriaalien määrän kasvaessa?

1.1.4. Muovin lajittelun tarve

Tällä oppitunnilla opit, miksi muovien lajittelu on tärkeää.

Miksi lajittelu on tärkeää?

Kuten on opittu, kertamuovit eivät sula uudelleen eikä niitä voida käsitellä uudelleen samalla tavalla kuin kestumuoveja. Siksi kestumuovit ja kertamuovit on eroteltava ennen kierrätystä.

Onko termoplastiset materiaalit erotettava toisistaan? Voidaanko kaikki muovit vain sekoittaa yhteen ja käsitellä ne uudelleen?



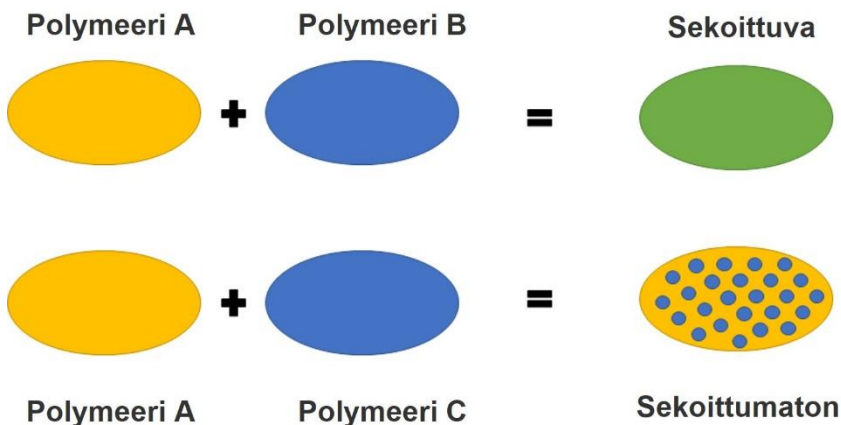
Valitettavasti ei. Jos se olisi mahdollista, muovin kierrätys olisi varmasti paljon helpompaa. Vaikka sekoittaminen ja uudelleen käsittely saattaa olla mahdollista joissakin erityistapauksissa, niin ei yleensä ole.

Näkemys muovien sekoittuvuudesta

Eri muovimateriaalit eivät useinkaan ole yhteensopivia niiden toisistaan eroavan kemiallisen koostumuksen ja rakenteen sekä lisättyjen yhdisteiden erojen vuoksi.

Jos kaksi sekoittumatonta polymeeriä yhdistetään, tapahtuu ilmiö, jota kutsutaan faasierottumiseksi. Tämän seurauksena seos sisältää eri polymeerien erilaistuneita alueita, jotka olisivat nähtävissä mikroskoopilla tai jopa paljaalla silmällä. Eri materiaalien välille ei muodostu kemiallisia sidoksia, mikä vaikuttaa niiden mekaanisiin, esto- ja optisiin ominaisuuksiin.

Tätä on havainnollistettu seuraavassa kuvassa, jossa sekoittumaton polymeeri dispergoidaan toiseen polymeeriin. Materiaalin lujuus riippuu siitä, kuinka hyvin polymeeri on dispergoitunut toiseen. On olemassa dispergoitumista ja yhteensopivuutta parantavia lisäaineita.



Kuva: Ero sekoittuvien ja sekoittumattomien polymeeriseosten välillä. Sekoittumattomat seokset sisältävät yhden polymeerin dispergoituneena toiseen.

Esimerkki polymeeriseoksesta

Seosmateriaaleista on olemassa joitain kaupallisia esimerkkejä.

Korkean iskunkestävyyden polystyreeni on polystyreenin ja polybutadieenin sekoitus. CD-kotelot on valmistettu iskunkestävästä polystyreenistä.



Polystyreeni on erittäin hauras, kun taas polybutadieeni on kumimainen materiaali, erinomainen energian absorboija ja erittäin joustava. Kun nämä kaksi materiaalia sekoitetaan, tuloksena on muovimateriaali, jolla on parempi sitkeys.

Muovien yhteensopivuus

Seuraavassa taulukossa on esimerkkejä siitä, kuinka hyvin erityyppiset polymeerit sekoittuvat. Kuten näet, on erittäin harvinaista löytää hyvä yhteensopivuus materiaalien välillä. Yleensä mitä paremmin kaksi materiaalia voidaan dispergoida, sitä paremmat ovat lopullisen seoksen ominaisuudet.

	Tärkeät synteettiset materiaalit	Lisäaine											
		PE	PVC	PS	PC	PP	PA	POM	SAN	ABS	PBT	PET	PMMA
Perusmateriaali	PE	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
	PVC	○	●	○	○	○	○	○	●	●	○	○	●
	PS	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	PC	○	○	○	●	○	○	○	●	●	●	●	●
	PP	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
	PA	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○
	POM	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○
	SAN	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	●
	ABS	○	●	○	●	○	○	○	○	●	○	○	●
	PBT	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○
	PET	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●	○
	PMMA	○	●	○	●	○	○	○	○	●	●	○	●

● Yhteensopiva
 ● Rajoitettu yhteensopivuus
 ○ Pienissä määrin yhteensopiva
 ○ Yhteensopimaton

Taulukko: Muovimateriaalien yhteensopivuus (Lähde: Kovacs, Becker & Cesconetto, 2009. Muokattu).

Riippumatta siitä, ovatko materiaalit sekoittuvia vai eivät, kierrätettyjen materiaalien uudelleenkäsittelyksi ja niiden toivottujen ominaisuuksien säilyttämiseksi uudelleenkäsittelyssä tuotteessa on paljon tehokkaampaa lajitella materiaalit kuin sekoittaa niitä.

Puhtaammasta kierrätysmateriaalista saadaan myös korkeampi hinta, koska laatu on korkeampi. Tämä edellyttää kustannustehokasta muovimateriaalien lajittelua. Tästä syystä muovien lajittelumenetelmien tulee olla mahdollisimman yksinkertaisia ja taloudellisesti kannattavia.

Lopuksi

Muista, että uudelleenkäsittely johtaa aina jossain määrin materiaalin hajoamiseen lämmön ja mekaanisen leikkauksen seurauksena.

Kierrätettyjen muoviseosten käsittelyyn liittyviä huomionarvoisia ongelmia syntyy, jos

- muoveilla on erilaiset sulamis- ja lasittumisominaisuudet
- muovien sekoittumattomuus vaarantaa niiden rakenteen ja heikentää merkittävästi niiden mekaanista suorituskykyä.

Lajittelu on olennainen osa materiaalien mekaanista kierrätystä. Kemiallinen kierrätys voi toimia silloin, kun lajittelua ei voida soveltaa.

Tunnin päätöstehtävä:

Seuraavasta linkistä löydät lyhyen artikkelin, jossa käsitellään muovien yhteensopivuutta (saattaa vaatia sisäänkirjautumisen)

<https://pmd.igdp.org.br/article/586fc520f7636eea018b45f4/pdf/pmd-7-2-141.pdf>

Tutustu artikkeliin ja kerro, onko seuraavien materiaalien yhteensopivuus saavutettavissa vai ei.

- A) Polymetyylimetakrilaatti (PMMA) ja polykarbonaatti (PC)
- B) Polyeteenitereftalaatti (PET) ja korkeatiheyspolyeteeni (HDPE)
- C) Polyvinyylidikloridi (PVC) ja polystyreeni (PS)

1.1.5. Termoplastisten kierrätysmateriaalien jälleenkäsittely

Tällä oppitunnilla opitaan, mitä kestopuovien uudelleenkäsittely vaatii ja mitä sen toteuttamiseksi on hallittava.

Johdanto.

Kuten on nähty, kestopuovien kierrättäminen ja uudelleenkäsittely on mahdollista, kun ne on lajiteltu oikein.

Tällä oppitunnilla käsitellään sitä, mitä on hallittava ennen termoplastisten kierrätysmateriaalien uudelleenkäsittelyä, sen aikana ja sen jälkeen.

Kun jätemateriaalit saapuvat kierrätystehtaalle, niiden määrää on todennäköisesti pienennettävä, niitä on puhdistettava, erotettava ja mitä todennäköisimmin yhdistettävä ja rakeistettava ennen kuin ne voidaan uudelleenprosessoida. Tällä oppitunnilla esitetään lyhyt katsaus prosessin eri vaiheisiin ja eri järjestelmiä käsitellään tarkemmin myöhemmin tässä moduulissa.

Syöttömateriaalien laadunvalvonta

Jätemateriaalit voidaan vastaanottaa eri muodoissa, kuten paaleina, valoksina tai suurina kappaleina. Korkealaatuisten kierrätysmateriaalien tuottamiseen tarvitaan korkealaatuisia jättevirtoja.

Kierrätettävän materiaalin historiasta tiedetään usein hyvin vähän:

- Kuinka monta kertaa se on käsitelty uudelleen aiemmin?
- Kuinka paljon lämpöä tai mekaanista rasitusta se on jo kokenut (esim. käsittelyn tai ulko-olosuhteiden vuoksi)?
- Mihin sitä on aiemmin käytetty?

- Onko kyseessä yksittäinen materiaali vai muovien yhdistelmä?
- Minkä määrän epäpuhtauksia se sisältää?



Sisään tulevan materiaalin puhtaus

Materiaalien puhtaus on äärimmäisen tärkeä asia. Suljetussa kierrossa kierrätyksen merkitys korostuu.

Muoviteollisuudessa yleinen käytäntö on käsitellä uudelleen normaalituotannossa syntyneet jättemateriaalit talon sisällä. Tämä ensiökierrätys mahdollistaa sekä tuotantojätteen että raaka-aineiden hyödyntämisen vähentämisen. Esimerkiksi ruiskupuristuksessa tai lämpömuovauksessa syntyvä käynnistysjäte ja hylätyt osat voidaan jauhaa uudelleen ja syöttää suoraan takaisin tuotantokoneeseen. Suljetussa kierrossa kierrätys on helppoa, koska tieto jätevirroista on tarkkaa ja luotettavaa.

Yksi esimerkki suljetusta kierrosta on nähtävissä autoteollisuudessa. Vuodesta 1991 lähtien Volkswagen on kierrättänyt romupuskurit, jotka on yhdistetty muunnetusta polypropeenista. Jättemateriaali sekoitetaan neitseelliseen materiaaliin ja palautetaan puskurin tuotantoprosessiin. Valmistettujen puskurien ominaisuudet ovat yhtä hyvät kuin pelkästään neitseellisellä materiaalilla valmistettujen puskurien ominaisuudet vähintään kahdeksan uudelleen käsittelyjakson aikana.

Tämäntyyppiset kokeet ovat osoittaneet, että lyhytaikaiset ominaisuudet eivät vaihtele liikaa, jos materiaalissa ei ole lasikuituja. Lasikuitua käytetään joidenkin muovien lujittamiseen, ja sillä on taipumus vaurioitua uudelleenprosessoitavissa.

Kuten aikaisemmin mainittiin, sekapolymeerit ja ennen kaikkea kontaminantit voivat myös nopeuttaa huononemisprosesseja. Epäpuhtauksia voivat olla maalit, etiketit, pinnoitteet, pöly, puu, metallit, liimajäämät tai painomusteet. Jos epäpuhtaudet sulavat käsittelyn aikana, niitä ei

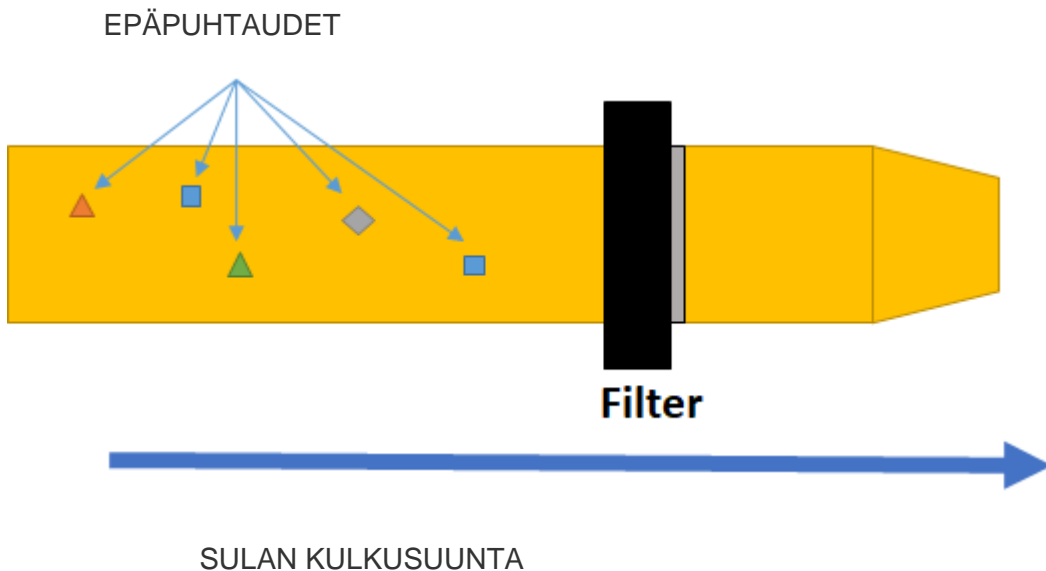
voida poistaa ja ne homogenoituvat sulatteen sisällä käsittelyvaiheessa. Nämä epäpuhtaudet voivat myöhemmin olla näkyvissä komponentissa.

Tätä varten on otettava huomioon useita tekijöitä. On selvitettävä, onko materiaali puhdasta vai sekoitettua ja onko se kontaminoitunut esimerkiksi metallilla tai puulla. Käsittelykoneisiin syöttämisen helpottamiseksi, olipa kyseessä ruiskupuristus, ekstruusio tai puhallusmuovaus, uudelleenjauhatuksen koon ja muodon (eli irtotiheyden) on oltava sopiva. Jos materiaali on hygroskooppista (vettä imevää), esimerkiksi polyamidia, se voi vaatia esikuivauksen. Lopuksi: pitäisikö kierrätysmateriaali uudelleenkäsitellä sellaisenaan, sekoittaa toiseen neitseelliseen materiaaliin tai muokata lisäaineilla?

Metallit ovat erityinen ongelma uudelleenprosessoinnissa, koska ne voivat vahingoittaa käsittelykoneiden toimintaa. Metallikontaminaation poistaminen hoidetaan yleensä sijoittamalla magneetteja syöttösuppiloihin.

Jos muun epäpuhtauden taso on alhainen eivätkä epäpuhtaudet sula polymeerin sulamisalueella, ne voidaan poistaa sulasta ilman suuria vaikeuksia suodatinseulan avulla. Suodatinverkko näyttää erittäin ohuelta seuralta ja vangitsee suurempia hiukkasia, jotka eivät pääse läpäisemään sitä. Suotimet on vaihdettava säännöllisin väliajoin, frekvenssi riippuu saastumisasteesta. Tämän tyyppisiä suodatinlaitteita voidaan käyttää ekstruusio- tai ruiskuvalukoneissa. Vain melko pienet kontaminaatiot voidaan estää tällä tavoin, yleensä alle 1 % epäpuhtauksista. On tärkeää, että käytettävissä on valvontajärjestelmät, jotka osoittavat suodattimen vaihtotarpeen, koska prosessin muutokset heijastuvat valmistettujen materiaalien laatuun.





Kuvio. Kaaviokuva järjestelmästä, jolla poistetaan sulamattomat epäpuhtaudet suodattimella (filter).

Epäpuhtaudet heikentävät komponenttien mekaanisia ominaisuuksia. Suodatus voi parantaa ominaisuuksia. Tätä voidaan kuitenkin kompensoida lisäämällä leikkausta, joka liittyy paineen muodostumiseen sulassa suodatinverkkojen takana. Lisääntynyt leikkaus voi aiheuttaa heikentymistä ja heikentää mekaanista suorituskykyä. Verkon koko on valittava näiden kahden vaikutuksen tasapainottamiseksi.

Koon pienentäminen

Materiaalihiukkasten kokoa pienennetään prosessointiin sopivaksi usein kaksivaiheisella prosessilla.

Ensimmäisessä vaiheessa käytetään silppuria, joka tuottaa suuria, noin 25–50 mm:n hiukkasia. Nämä hiutaloidaan pyörivällä leikkurilla. Pyörivä leikkuri on laite, joka koostuu roottorista ja pyörivistä veitsistä, staattisista veitsistä, hiomakammioista ja seulasta.

Muovin liikuessa kiinteän ja pyörivän terän välillä se leikkautuu sopivaan kokoon. Koko määräytyy suodattimen silmäkoon (mesh) mukaan.

Ilmanpoistolaitetta käytetään yleensä terien leikkaustoiminnasta syntyneen lämmön haihduttamiseen. Suunnittelussa on tärkeää, että veitset voidaan nopeasti asettaa uudelleen, vaihtaa tai poistaa teroitusta varten, koska ne kuluvat huomattavasti.

Pesu

Pesu vaaditaan muovijätteeseen tarttuneen lian ja jäännösten poistamiseksi.

Se lisää muovien puhtautta ja joissain tapauksissa parantaa muiden prosessien, kuten lajittelun, tehokkuutta. Pesu poistaa myös tarrat ja vesiliukoiset liimajäämät.

Kun materiaalit on pesty, ne on kuivattava. Tämä voidaan tehdä mekaanisesti yksinkertaisesti käyttämällä painovoimaa ja kuljetinta mahdollistamaan nesteen poisto. Lämpömenetelmissä käytetään kuumaa ilmaa muovihutaleiden kuivaamiseen.

Muovien tunnistaminen ja lajittelu

Yksi tapa helpottaa muovien tunnistamista on merkitä tuotteet Resin Identification System -koodeilla pakkausten kierrätystä varten.

Resin Identification Number	Resin	Resin Identification Code –Option A	Resin Identification Code –Option B
1	Poly(ethylene terephthalate)	 PETE	 PET
2	High density polyethylene	 HDPE	 PE-HD
3	Poly(vinyl chloride)	 V	 PVC
4	Low density polyethylene	 LDPE	 PE-LD
5	Polypropylene	 PP	 PP
6	Polystyrene	 PS	 PS
7	Other resins	 OTHER	 O

Kuvio. Polymeerimateriaalien koodit. Nämä merkit eivät kuitenkaan ole pakkausten kierrätysmerkintöjä.

Merkinnot mahdollistavat muovien manuaalisen lajittelun. Manuaalinen lajittelu on työvoimavaltainen prosessi, joka vaatii vähän laitteita. Puhtaus perustuu ihmisen työn

tarkkuuteen. Vaihtoehtona on käyttää koneellisia lajittelutekniikoita, jotka perustuvat materiaaliominaisuuksien eroihin.

Yksi esimerkki on tiheyden käyttö polyolefiinien erottamisessa. Kaikkien polyolefiinifraktioiden (PP, LDPE, HDPE) tiheys on alle 1 g/cm³. Tämä mahdollistaa "float-and-sink" -prosessin käyttämisen niiden erottamiseen muista polymeerifraktioista. Erotus suoritetaan flotaatiosäiliössä käyttäen vettä erotusväliaineena.

Taulukko: Esimerkkejä käytetyistä polyolefiineista ja niiden tiheydet.

Muovi	Tiheys (g/cm ³)
Polypropeeni	0,90
Pienitiheyksinen polyeteeni (LDPE)	0,90
Korkeatiheyspolyeteeni (HDPE)	0,95
Polystyreeni	1,05
Polyamidi (PA6 tai PA66)	1,15
Polyvinyylilokloridi (PVC)	1,40
Polyeteenitereftalaatti (PET)	1,40

Erotus perustuu kellumiseen ja uppoamiseen. Foat-and-sink -tiheyserotustekniikka sisältää kelluvan jakeen ja uppoavan fraktion. Kevyempi polyolefiinifraktio jää kellumaan pinnalle ja tiheimmät hiukkaset uppoavat.

Kun kahdella muovilla on sama tiheys (kuten PET ja PVC), on erotuksessa käytettävä erilaisia parametreja. Muutkin tekniikat, kuten röntgenfluoresenssi, lähi-infrapunaspektrometria (NIR) tai jopa väri- tai pintaominaisuuksien määrittely, ovat mahdollisia erilaisten muovien luokitteluksi.

Kierrätystekniikat

Muovin kierrätys voidaan toteuttaa joko mekaanisin tai kemiallisin keinoin. Nämä kaksi vaihtoehtoa esitellään yksityiskohtaisesti tämän kurssin seuraavien viikkojen aikana.

Mekaaninen kierrätys on yleisin kierrätysmenetelmä. Siinä muovit jauhetaan fyysisesti takaisin prosessointiin sopivaan kokoon.

Yksittäisen muovimateriaalien kierrätys tehdään sisällä, joka tunnetaan myös nimellä ensiökierrätys, on suhteellisen helppo suorittaa. Käytettyjen materiaalien talteenotto tehdään ulkopuolelta lisää muovin uudelleen käsittelyyn tarvittavaa vaivaa huomattavasti. Tätä kutsutaan sekundääriseksi kierrätykseksi.

Joskus näitä yksinkertaisia mekaanisia kierrätysmenetelmiä ei voida soveltaa. Tertiääriseen kierrätykseen sisältyvät kemialliset prosessit polymeerien hajottamiseksi ja monomeeristen raaka-aineiden valmistamiseksi.

Kvaternaarista kierrätystä sovelletaan muoveihin, jotka eivät sovellu mihinkään yllä olevista kierrätysvaihtoehdoista. Siinä jättemateriaaleista tuotetaan energiaa pyrolyysillä. Tämä strategia säilyttää vain vähän tuotteen arvosta ja tuottaa kasvihuonekaasuja, joten sitä pitäisi pitää viimeisenä vaihtoehtona.

Tuotteen laadunhallinta

Yksinkertaisilla kokeilla voidaan arvioida käsittelyn vaikutuksia muovin ominaisuuksiin, erityisesti materiaalien vetolujuuteen ja iskunkestävyyteen. Kappaleet tulee valmistaa samoissa olosuhteissa kuin täydessä tuotannossa käyttökelpoisten ja edustavien tulosten saamiseksi.

Seuraavilla kokeellisilla menetelmillä voidaan tutkia muovimateriaalin kierrätyksen rajoitteita. Näiden kokeiden tuloksia voidaan käyttää määrittämään neutseellisen materiaalin lisäyksen tarvetta kierrätysseokseen, mahdollisen lisäyksen vaihetta ja tuloksena olevien komponenttien todennäköisiä ominaisuuksia.

Menetelmä A: Closed loop -kierrätys uudelleenjauhamalla.

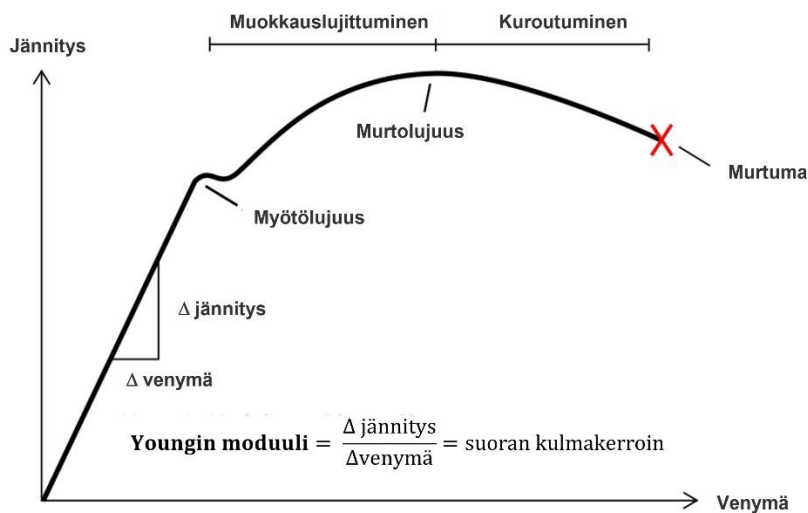
- i. Muovaa tuote, joka on 100 % neutseellistä materiaalia. Säilytä jotkin tuotteet arviointia varten.
- ii. Jauha uudelleen osa tästä "ensikierrosta".
- iii. Muovaa ja säilytä jotkin uudelleen muovatut tuotteet arviointia varten
- iv. Toista tarvittava määrä ajoja, esim. "toinen läpimeno", "kolmas ajo" jne.
- v. Suorita arvioinnit neutseellisille ja kaikille läpimenoille (tarpeen mukaan mekaaniset ja/tai reologiset).
- vi. Tutki tuloksia.

Menetelmä B: Sekoitus neutseellisen materiaalin kanssa.

- i. Muovaa tuote 50 % neutseellisen ja 50 % kolmannen läpimenon materiaalin seoksesta.
- ii. Säilytä joitakin tuotteita arviotavaksi.
- iii. Sekoita 50 % tästä ensimmäisestä sekoituksesta 50 % neutseelliseen.
- iv. Toista useita läpimenoja, esim. 5.
- v. Suorita reologinen arviointi sekoitusmuovausnäytteille 1–5.
- vi. Tutki tuloksia.

Lyhyen aikavälin ominaisuudet (esim. vetolujuus ja iskunkestävyys) ovat tärkeitä, mutta eivät suinkaan ainoita analysoitavia ominaisuuksia. Myös toistuvan käsittelyn pitkän aikavälin vaikutukset muovin ominaisuuksiin on tutkittava huolellisesti. On arvioitava, hajoavatko nämä materiaalit nopeutetusti, kun ne sekoitetaan neutseelliseen.

Toinen tärkeä korkealaatuisen valmistuksen kriteeri on materiaalin homogeenisuus. Kun kierrätysvirrat sisältävät eri viskositeetteja ja värejä, on tärkeää, että ne sekoitetaan riittävästi yhteen yhtenäisen materiaalin muodostamiseksi. Sekoitusta varten on saatavana erityisiä ruuveja. Nämä homogenisointiruuvit parantavat sekä tuotteen laatua että toistettavuutta. Itse asiassa homogeenisuuden saavuttaminen kierrätetyillä materiaaleilla, erityisesti sekoitetuilla materiaaleilla, on vaikeaa ja joskus mahdotonta. Kierrätysmateriaalin laadunvalvonta on ehdottomasti yhtä välttämätöntä kuin neitseellisen materiaalin.



Kuvio. Tyypillinen muovimateriaalin jännitys-venymäkäyrä. Se saadaan vakio-olosuhteissa suoritetuista jännitystesteistä ja se mahdollistaa materiaalin kestävyuden arvioinnin.

1.1.6. Alan nykyinen asema muovin valmistuksessa ja kierrätyksessä

Tällä oppitunnilla tarkastellaan joitain näkemyksiä muovijätteen käsittelystä teollisten jalostajien näkökulmasta.

Johdanto

Olisi vaikea kuvitella nykyaikaista yhteiskuntaa ilman muovia. Muoveille on löytynyt lukemattomia käyttökohteita niinkin erilaisilla aloilla kuin kodinkoneet, pakkaukset, rakentaminen, lääketiede, elektroniikka sekä auto- ja ilmailukomponentit. Kuten tästä luettelosta voidaan nähdä, muoviteknologiaa voidaan soveltaa menestyksekkäästi monin eri tavoin.

Mikä tekee muovista niin monipuolisen materiaalin?

Syy muovin menestykseen perinteisten materiaalien, kuten metallien, puun ja lasin, korvaamisessa monipuolisissa sovelluksissa on mahdollisuus muokata sen ominaisuuksia moniin tarpeisiin. Tämä ja muovien käsittelyn helppous tekevät niistä ihanteellisia materiaaleja erilaisten

komponenttien valmistukseen. Katso ympärillesi ja yllätyt nähdessäsi, kuinka monia eri käyttötarkoituksia muovilla on ja kuinka suuria markkinoita muoviteollisuus tukee.

Monien tuotteiden valmistukseen käytetty muovimateriaali on niin sanottua neitseellistä laatua. Kyse on materiaaleista, jotka ovat tulleet suoraan polymeerin valmistajalta tehtaalle ja joita ei ole vielä käsitelty. Jos materiaaleja myöhemmin käsitellään uudelleen, niitä kutsutaan kierrätetyiksi raaka-aineiksi. Kaikkia muovimateriaaleja ei kuitenkaan käsitellä uudelleen, vaan useimmat niistä heitetään pois, jolloin on huolehdittava asianmukaisesta hävittämisestä. Jatkuva muovin käytön lisääntyminen on johtanut siihen, että jätevirtaan päätyy yhä enemmän muovia.

Jätehuolto on yksi nyky-yhteiskunnan suurimmista ongelmista, eikä se rajoitu pelkästään muoviin. Tässä on maakohtaisia eroja. Lainsäädäntötoimenpiteiden ja hallituksen aloitteiden, kaatopaikalle sijoittamisen kustannusten nousun ja kierrätyksen tukemisen yleisen kiinnostavuuden yhdistelmä on kuitenkin johtanut siihen, että muovin kierrätystä on lisättävä. Yleensä muovit valmistetaan raakaöljystä. Muovien kierrätys auttaa siis säästämään tätä luonnonvaraa.

Jokainen jätehuoltostrategia perustuu kolmeen ohjeeseen:

- Välttäminen eli jätteen syntymisen vähentäminen ja mahdollisuuksien mukaan välttäminen. Ei jätettä = ei ongelmaa.
- Regenerointi eli materiaalien talteenotto jätevirrasta kierrätystä varten.
- Eliminointi eli ei-kierrätyskelpoisten materiaalien hävittäminen, esimerkiksi kaatopaikalle.

Toista kohtaa voidaan soveltaa muovijätteen ongelmiin ottamalla talteen kaatopaikalle tarkoitettu materiaali. Tästä syystä jätevirrasta talteen otettua muovimateriaalia kutsutaan "regeneroiduksi".

Kierrätysmuovien hyödyntäminen

On olemassa useita vaihtoehtoja, kuinka tämä voidaan tehdä: uudelleenkäyttö, mekaaninen kierrätys, raaka-aineen kierrätys ja energian talteenotto. Nämä määritellään seuraavaksi.

- **Uudelleenkäyttö:** Yleisimpiä esimerkkejä uudelleenkäytöstä ovat lasiastiat, joissa maito- ja juomapullot palautetaan puhdistettavaksi ja uudelleen käyttöön. Uudelleenkäyttöä ei toteuteta laajasti muovipakkausten suhteen - muovituotteet yleensä hävitetään ensimmäisen käytön jälkeen. Markkinoilla on kuitenkin esimerkkejä uudelleenkäytöstä. Esimerkiksi useat pesuainevalmistajat markkinoivat täyttöpusseja pullotetuille pesunesteille ja huuhteluaineille. Kuluttajat voivat täyttää ja siten käyttää uudelleen muovipullonsa kotona.
- **Mekaaninen kierrätys:** Tunnetaan myös fyysisenä kierrätyksenä. Muovi jauhetaan ja käsitellään sitten uudelleen, jotta saadaan uusi komponentti, joka voi olla tai ei ole sama kuin sen alkuperäinen käyttötarkoitus.
- **Raaka-aineen kierrätys:** Polymeeri muutetaan takaisin öljy/hiilivetykomponentiksi käytettäväksi raaka-aineena uuden polymeerin valmistukseen. Tämä tunnetaan myös kemiallisena kierrätyksenä.
- **Energian talteenotto:** Materiaalit poltetaan niiden luontaisen energian talteenottamiseksi.

Mekaaninen kierrätys on näistä menetelmistä laajimmin käytetty, ja se tulee olemaan monien myöhempien lukujen painopiste. Myös muut yllä mainitut ovat kuitenkin tärkeitä vaihtoehtoja, erityisesti materiaaleille, jotka eivät täytä mekaanisen kierrätyksen kriteerejä käytännöllisyyden tai kustannustehokkuuden vuoksi.

Muovien talteenottoon ja kierrätykseen on saatavilla useita teknologioita. Jotkut ovat tällä hetkellä teollisuuden käytössä ja pystyvät käsittelemään suuria määriä materiaalia kustannustehokkaalla tavalla, kun taas toisia on tällä hetkellä vain laboratorioissa. Muovin kierrätys on ala, joka kehittyi jatkuvasti vastatakseen usein kilpaileviin lainsäädännön, markkinavoimien ja ympäristöpaineen vaatimuksiin. Yksikään valmistaja, joka haluaa jatkaa liiketoimintaa, ei voi kierrättää materiaaleja, jos se ei ole kannattavaa. Kierrätysmuovia käytetään samoilla markkinoilla, joilta ne ovat peräisin. Ne korvaavat neitseellisiä materiaaleja ja kilpailevat niitä vastaan. Kierrätysmateriaalin hinta riippuu sekä ensimateriaalien hinnasta että kierrätysmateriaalin laadusta. Neitseellisten materiaalien hinta voi vaihdella huomattavasti, koska se on sidoksissa sekä öljyn hintaan että markkinoiden kysyntään ja tarjontaan. Tämä puolestaan tarkoittaa, että kierrätyksen hinta vaihtelee suuresti.

Ympäristöpaineet voivat lisätä kuluttajien kierrätettyihin tavaroihin kohdistamaa kysyntää. Luomalla tällaiset markkinat valmistaja näkee mahdollisuuden ansaita voittoa ja alkaa siksi valmistaa ja myydä kierrätettyjä tuotteita. Tämä liiketoiminta on myös alttiina markkinavoimien, tarjonnan ja kysynnän vaikutuksille. Ympäristöpaine voi myös johtaa lainsäädäntöön, joka pakottaa valmistajat käyttämään kierrätysmateriaaleja. Tässä tapauksessa markkinoita ei ehkä ole vielä olemassa ja tämä lainsäädäntö vaikuttaa "luonnolliseen" markkinavoimaan. Tulos voi olla vähemmän kannattava ja edellyttää tukia tällaisen toiminnan käynnistämiseksi. Pitkän aikavälin kasvua varten toiminnan tulee kuitenkin olla kannattavaa.

Kestävää muovien kierrätyksen ja talteenoton infrastruktuuria tarvitaan, jos saatavilla oleva suuri määrä muovimateriaalia halutaan ohjata pois kaatopaikalta. Tämä tapahtuu kuitenkin vasta, kun lopputuotemateriaaleille syntyy kysyntää ja niiden kierrättäminen on taloudellisesti kannattavaa. Tällä hetkellä tämä on merkinnyt sitä, että kierrätystoimintaa on tuettava, jos se ei ole kaupallisesti kannattavaa. Siksi on ensiarvoisen tärkeää, että muoviteollisuus jatkaa yleisön ja mahdollisten kierrätyskäyttäjien kouluttamista näiden materiaalien tarjonnan ja kysynnän luomiseksi ja kehittämiseksi.

Tutkimustarpeet

Uusien kierrätysteknologioiden kehittäminen edellyttää riittäviä investointeja sekä tutkimukseen ja kehitykseen (T&K) että uusiin koneisiin ja teknologiaan. Tutkimus on kohdistettava teollisuuden eniten tarvitsemille alueille, ja kun teknologiat on kehitetty, ne on siirrettävä onnistuneesti teollisuuteen. Tarvitaan parhaita käytäntöjä koskevaa ohjeistusta, jotta voidaan korostaa ja levittää ajantasaisimpia ja tehokkaimpia käsittelytapoja. Suunnittelu purkamista ja kierrätystä varten ei ala vasta tuotteen käyttöön lopussa, vaan jo uuden tuotteen suunnitteluvaiheessa. Ottamalla kierrätettävyyden huomioon suunnitteluvaiheessa voidaan vähentää jätehuollon ongelmia. Jos tuote on osa isompaa komponenttia, myös purkaminen osiin on huomioitava.



Kun materiaali päätyy kierrätykseen, sille on löydettävä sekä sovelluksia että kuluttajia. Tämä luo kysyntää ja mahdollistaa kierrätysmateriaalin taloudellisen arvon markkinoilla. Jos materiaalin arvo on riittävä, materiaalin kierrätys on sekä kustannustehokasta että kestävä. Näiden materiaalien on kilpailtava uusien materiaalien kanssa sekä kustannusten että laadun suhteen. Yksi tärkeä trendi tällä alalla on, että muovinvalmistajat itse markkinoivat kierrätysmateriaaleja sisältäviä laatuja, mikä vie suunnittelijoilta suuren osan taakasta löytää tapoja käyttää kierrätysmateriaaleja. Se lisää myös luottamusta kierrätysmateriaalien laatuun. Laadun ja ominaisuuksien johdonmukaisuutta koskevan tiedon puute, joka usein aiheuttaa vastustusta siirtyä kierrätykseen, vähenee.

Kierrätysmateriaaleja koskevien standardien avulla voidaan helpommin tunnistaa niille uusia mahdollisia käyttötapoja. Komponenttien suunnittelu purkamista ja kierrätystä varten sekä infrastruktuurin luominen, joka pystyy käsittelemään kulutuksen jälkeisiä materiaaleja, ovat asioita, joihin on keskityttävä.

Lopputehtävä

1. Minkä tyyppisten muovimateriaalien sulamislämpötila on niiden hajoamislämpötilan alapuolella, mikä mahdollistaa niiden kierrätyksen?
 - a. Elastomeerit
 - b. Mikä tahansa yllä olevista osoittaa nämä ominaisuudet
 - c. Lämpökovettuvat materiaalit
 - d. Termoplastiset materiaalit
2. Kierrätysmateriaalien yhdistäminen sisältää yleensä seuraavan toimintasarjan:
 - a. Sekoitus > pelletointi > syöttö/kuljetus > annostelu > pehmitys
 - b. Annostelu > syöttö/kuljetus > sekoitus > pehmitys > pelletointi
 - c. Syöttö/kuljetus > annostelu > pelletointi > sekoitus > pehmitys
 - d. Pehmitys > annostelu > syöttö/kuljetus > sekoitus > pelletointi
3. Mikä väite pitää paikkansa ruiskupuristuksessa ja puhallusmuovauksessa?
 - a. Sulanut materiaali ei yleensä vaadi kiinteiden sulamattomien hiukkasten suodatusta.
 - b. Kierrätettyjen muovien homogeenisuus on suhteellisen merkityksetöntä.
 - c. Kierrätettyjen muovien homogeenisuus on kriittinen näkökohta uudelleen käsittelyä harkittaessa.
 - d. Useiden kierrätettyjen ja uusien muovimateriaalien yhdistelmä ei ole toteuttamiskelpoinen vaihtoehto loppumateriaalin laadun parantamiseksi.
4. Mitä seuraavista prosesseista suosittelisit kierrätetyille materiaaleille, jotka sisältävät paperia ja metallia epäpuhtauksia?
 - a. Tunkeutumismuovaus
 - b. Siirtomuovaus
 - c. Ei mikään ylläolevista
 - d. Sintrausvalu



5. Valitse väärä väite:
- Antioksidanttien (esim. estettyjen fenolien) lisääminen on hyödyllistä, jotta voidaan viivästyttää polyolefiinien hapettumista.
 - UV-absorboijia, sammuttajia ja radikaaliloukkuja voidaan käyttää lisäämään kierrätysmateriaalien valonkestävyyttä.
 - Suunniteltu käyttökohde ei ole olennainen tekijä, kun harkitaan materiaalin lisäämistä stabilointiaineilla.
 - Polyvinyylilokloridiin vaikuttaa erityisesti lämpöhajoaminen, joten se vaatii stabilointiaineiden käyttöä.
6. Valitse oikea väite:
- Polyolefiinit, kuten PE ja PP, eivät yleensä ole yhteensopivia muiden termoplastisten materiaalien kanssa.
 - Jos kaksi materiaalia ovat sekoittumattomia, niitä ei voida yhdistää yhdeksi materiaaliksi.
 - Polyolefiinit, kuten PE ja PP, ovat yleensä yhteensopivia melkein minkä tahansa muun termoplastisen materiaalin kanssa.
 - Kaikki termoplastiset polymeerit ovat yhteensopivia, ja ne voidaan yhdistää sekapolymeeriksi.
7. Mikä ei ole olennainen näkökohta harkittaessa kulutustavaroiden tuotantoa kierrätetyistä muovista?
- Sisääntulomateriaalien puhtaus
 - Materiaalin aikaisemmat käyttötavat
 - Aiemmin koetut lämpö- ja mekaaniset rasitukset
 - Ei mikään yllä olevista. Kaikki ne ovat olennaisia näkökohtia, jotka on otettava huomioon.
8. Kelluvien ja uppoavien erottelu on...
- hyödyllinen tekniikka saman tiheyden omaavien polymeerien (esim. PET ja PVC) erottamiseen
 - menetelmä epäpuhtauksien poistamiseksi polymeeristä (kontaminantit uppoavat ja polymeeri kelluu)
 - tekniikka orgaanisen jätteen erottamiseksi romumateriaalista
 - menetelmä, jota käytetään usein eri tiheyksillä olevien polyolefiinien erottamiseen.
9. Valitse oikea väite:
- Kierrätysmateriaalien laadunvalvonta koskee vain pitkäaikaisia ominaisuuksia.
 - Kierrätysmateriaalien laadunvalvonta koskee sekä lyhyt- että pitkäaikaisia ominaisuuksia.
 - Laadunvalvontaa ei vaadita, kuten neitseellisten materiaalien osalta.
 - Kierrätysmateriaalien laadunvalvonta koskee vain lyhytaikaisia ominaisuuksia.
10. Mikä näistä vaihtoehtoista ei ole talteenottostrategia?
- Kaatopaikka
 - Uudelleenkäyttö
 - Mekaaninen kierrätys

d. Raaka-aineiden kierrätys





Tekijänoikeus: CC BY-NC-SA 4.0:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Tämä lisenssi sallii muiden levittää ja muokata teosta ja luoda sen pohjalta uusia teoksia, mutta ei kaupalliseen käyttöön.



Kuitenkin vain seuraavilla ehdoilla:

Nimeä — Sinun on asianmukaisesti mainittava alkuperäinen tekijä, annettava linkki lisenssiin ja ilmoitettava, onko muutoksia tehty. Voit tehdä sen millä tahansa kohtuullisella tavalla, mutta et millään tavalla, joka viittaa siihen, että lisenssinantaja tukee sinua tai käyttöäsi.

EiKaupallinen — Et saa käyttää materiaalia kaupallisiin tarkoituksiin.

JaaSamoin — Jos muunnat tai luot materiaalin pohjalta uutta materiaalia, sinun on jaettava tuotoksesi samalla lisenssillä kuin alkuperäinen.

Ei lisärajoituksia — Et saa soveltaa laillisia ehtoja tai teknisiä toimenpiteitä, jotka laillisesti estävät muita tekemästä mitään, mitä lisenssi sallii.

Tässä julkaisussa esitetyt tiedot ja näkemykset ovat laatijoiden omia eikä niitä välttämättä voida pitää Euroopan unionin virallisena kantana. Euroopan unionin toimielimiä tai niiden puolesta toimivia henkilöitä ei voida pitää vastuussa tämän raportin sisällöstä tai sen sisältämien tietojen käytöstä.



Yhteisrahoitettu
Euroopan unionin
Erasmus+ -ohjelmasta



Yhteisrahoitettu
Euroopan unionin
Erasmus+ -ohjelmasta