

De code kraken: het mysterie achter plastic identificatie en classificatie onthullen

Introductie

Kunststoffen worden geclassificeerd en geïdentificeerd op basis van hun chemische structuur, polymeerruggegraat en zijketens^{[3][5]}. Het meest voorkomende classificatiesysteem voor kunststoffen is het stelsel van de Society of Plastic Industries, dat een nummer van 1 tot 7 toekent aan elk type plastic

^[1]. De zeven soorten kunststoffen zijn polyethyleentereftalaat (PET), polyethyleen met hoge dichtheid (HDPE), polyvinylchloride (PVC), polyethyleen met lage dichtheid (LDPE), polypropyleen (PP), polystyreen (PS) en andere kunststoffen^{[2][4]}. PET is een thermoplastische polymeerhars van de polyesterfamilie die wordt gebruikt in synthetische vezels, drank- en voedselcontainers, thermovormtoepassingen en technische harsen, vaak in combinatie met glasvezel^[3]. HDPE is een soort plastic met een hoge sterkte-dichtheidsverhouding en wordt gebruikt in melkkannen, wasmiddelflessen, olieflessen, speelgoed en sommige plastic zakken^{[1][4]}. PVC is een veel gebruikte kunststof die te vinden is in buizen, kozijnen, creditcards, vloermaterialen, medische slangen en draadisolatie^{[2][4]}. LDPE is een flexibele kunststof die vaak wordt gebruikt voor verpakkingsfolies en coatings^[3]. PP is een veelzijdige kunststof die te vinden is in auto-onderdelen, voedselcontainers, medische hulpmiddelen, textiel en laboratoriumapparatuur^[5]. PS is een stijve kunststof die te vinden is in wegwerpbestek en borden, evenals cd-hoesjes^{[2][4]}. Het identificeren van het type plastic dat wordt gebruikt om producten te maken, vereenvoudigt het recyclingproces omdat verschillende soorten kunststoffen verschillende recyclingmethoden vereisen. Fabrikanten moeten aangeven welk type plastic ze gebruiken om hun producten volgens de voorschriften te maken.

Beschrijving

Classificatie en identificatie van kunststoffen verwijst naar het proces van het bepalen van het type plastic waarvan een materiaal is gemaakt. Dit wordt meestal gedaan door de plastic harscode te identificeren, een nummer of symbool op het plastic product of de verpakking die het type plastic hars aangeeft dat is gebruikt om het te maken.

Er zijn zeven verschillende soorten plastic, waaronder:

- Polyethyleentereftalaat (PET of PETE)^{[1][2][3][4]}
- Polyethyleen met hoge dichtheid (HDPE)^{[5][1][2][3][4]}
- Polyvinylchloride (PVC)^{[2][3][4]}
- Polyethyleen met lage dichtheid (LDPE)^{[2][3][4]}
- Polystyreen (PS)^[3]
- Andere kunststoffen^[3]

Het is belangrijk om de verschillende soorten plastic te kennen voor recycling- en afvalbeheerdoeleinden. Naast het identificeren van de plastic harscode, omvatten andere methoden voor het identificeren van kunststoffen visuele inspectie, dichtheidstests, infraroodspectroscopie en smeltstroomindextests.















Het is belangrijk om het type kunststof te identificeren, omdat verschillende soorten kunststoffen verschillende eigenschappen hebben en op verschillende manieren worden gerecycled of verwijderd.

Hars identificatiecode

De Resin Identification Code (RIC) is een reeks symbolen die op kunststofproducten verschijnen om het type hars te identificeren dat in het product wordt gebruikt [1][2]. De RIC is in 1988 ontwikkeld door de Plastics Industry Association om werknemers in de kunststof- en recyclingindustrie te helpen kunststoffen efficiënter te sorteren en te recyclen [1]. Elke RIC komt overeen met een specifiek type hars dat in een kunststofproduct wordt gebruikt [1]. Het nummer dat op de bodem van een stijve plastic verpakking staat, wordt een Resin Identification Code (RIC) [3] genoemd. Het is belangrijk op te merken dat de RIC strikt een identificatiecode is van het type kunststof en geen betrekking heeft op gerecycleerde inhoud of recycleerbaarheid van de container [4].

Het is belangrijk op te merken dat niet alle plastic producten een harscode hebben en dat sommige items meer dan één code kunnen hebben. Het is ook vermeldenswaard dat de recycling en verwijdering van plastic afval wordt gereguleerd door lokale wet- en regelgeving en mogelijk niet altijd overeenkomt met de harscodes.

PLASTIC RESIN IDENTIFICATION CODES

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
						
Polyethylene Terephthalate	High Density Polyethylene	Polyvinyl Chloride	Low Density Polyethylene	Polypropylene	Polystyrene	Other

Plastic resin identification codes [1]

Er zijn verschillende methoden die worden gebruikt om kunststoffen te classificeren, waaronder:

Visuele inspectie: (U.S. Environmental Protection Agency, 2021)

Tijdens visuele inspectie wordt de kunststof onderzocht op verschillende kenmerken zoals:

Transparantie of ondoorzichtigheid

Glanzende of matte afwerking

Kleur

Flexibiliteit

Dichtheid

Hardheid

Elasticiteit

Brandbaarheid

Een kunststof die transparant is en een glanzende afwerking heeft, is bijvoorbeeld waarschijnlijk gemaakt van polyethyleentereftalaat (PET), terwijl een kunststof die ondoorzichtig is en een matte afwerking heeft, waarschijnlijk is gemaakt van polyethyleen met hoge dichtheid (HDPE). Evenzo

is een kunststof die flexibel is en een lage dichtheid heeft, waarschijnlijk gemaakt van polyethyleen met lage dichtheid (LDPE), terwijl een kunststof die stijf is en een hoge dichtheid heeft, waarschijnlijk is gemaakt van polypropyleen (PP).

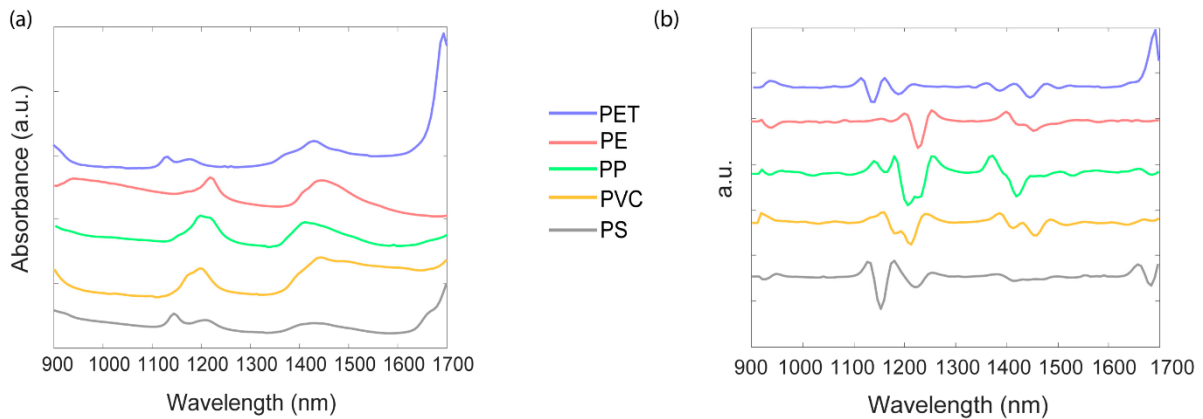
Het is belangrijk op te merken dat visuele inspectie alleen niet altijd nauwkeurig is en dat andere methoden ook moeten worden gebruikt om het type plastic te bevestigen. Bovendien kunnen sommige kunststoffen vergelijkbare kenmerken hebben, dus het is noodzakelijk om meer dan één methode te gebruiken om kunststoffen te classificeren.

Dichtheid testen:

ASTM International biedt normen voor het testen van de fysische, mechanische en chemische eigenschappen van kunststoffen^[1]. Er is echter geen specifieke testmethode genoemd voor dichtheidstests voor kunststofclassificatie. Dichtheid is een van de eigenschappen die kunnen worden gebruikt om verschillende soorten kunststoffen te classificeren^[3]. Polyethyleen met hoge dichtheid (HDPE) heeft een dichtheidsbereik van 0,940 tot 0,959 g/cm³ en polyethyleen met zeer hoge dichtheid heeft een dichtheid groter dan 0,959 g/cm³^[3]. De HDPE-kwaliteiten met een dichtheid van minder dan 0,96 worden gevormd door een tweede monomeer op lage niveaus (<1%) te gebruiken, wat de dichtheid vermindert door korte takken in de polymeerketen te introduceren^[3]. Hoewel er geen specifieke testmethode wordt genoemd voor dichtheidstests, zijn er methoden beschikbaar voor het beoordelen van de eigenschappen van kunststoffen in het algemeen. Vloeistofchromatografie kan bijvoorbeeld worden gebruikt om de aanwezigheid van bepaalde additieven in polyethyleen met hoge dichtheid en lineair polyethyleen met lage dichtheid te bepalen^[1]. Andere methoden voor het beoordelen van de eliminatie van kleine plastic deeltjes uit het milieu zijn ook gerapporteerd^[2].

Infrarood spectroscopie:

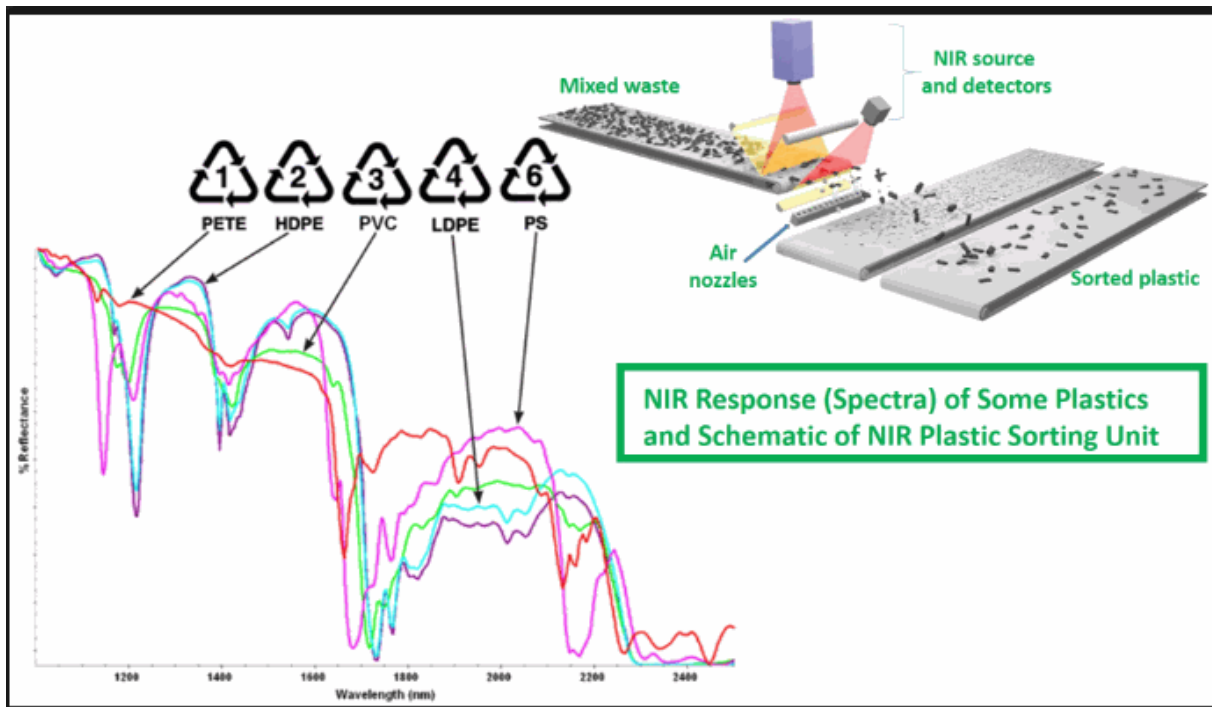
Infraroodspectroscopie is een waardevolle methode voor het identificeren en classificeren van plastic afval^{[1][2][4]}. Nabij-infrarood (NIR) spectroscopie is aangetoond als een waardevolle methode voor de identificatie van afvalplastics^[4]. De NIR-spectrometer verzamelt de spectra van het materiaal direct eronder, vervolgens worden de gegevens overgebracht naar de computer en worden herkenningsalgoritmen gebruikt om het plastic te classificeren^[1]. In één project werd een geautomatiseerd systeem ontwikkeld voor de identificatie en scheiding van kunststofsoorten op basis van nabij-infraroodreflectiespectroscopie^[2]. Infraroodspectra van afvalplastics geven meer gedetailleerde informatie over hun chemische samenstelling^[3]. De meeste gecodeerde kunststoffen hebben verschillende spectrale kenmerken in de NIR, die kunnen worden gebruikt om ze met een hoge mate van specificiteit te identificeren en te sorteren^[5]. Spectrometers kunnen worden geïntegreerd in recyclingprocessen om plastic soorten te helpen sorteren. In sommige gevallen kan FTIR-spectroscopie worden gebruikt om onbekende verbindingen te identificeren^[5]. Kunststoffen worden veel gebruikt in duizenden producten die comfort, gemak en veiligheid toevoegen aan ons dagelijks leven. Vanwege hun korte levensduur zijn ze echter verantwoordelijk voor grote hoeveelheden afval die worden gegenereerd. Dit verhoogt de urgentie en het belang van plastic recycling. Efficiënte recycling vereist een nauwkeurige identificatie en classificatie van kunststofafval. Infraroodspectroscopie biedt een niet-destructieve methode voor het identificeren en classificeren van verschillende soorten kunststoffen op basis van hun chemische samenstelling.



Abbeelding 1 [Near-infrared \(NIR\) spectra of five classes of plastics: \(a\) representative raw spectra of the five classes; \(b\) corresponding spectra after pre-treatment by second derivative and standard normal variate \(SNV\). PE: polyethylene; PET: terephthalate; PP: polypropylene; PS: poly\(styrene\); PVC: poly\(vinyl chloride\).](#)

FTIR Spectroscopy:

FTIR (Fourier transform infrared) spectroscopy is een niet-destructieve methode die wordt gebruikt voor het identificeren van verschillende soorten materialen, waaronder kunststoffen^[3]. FTIR-spectroscopie kan alle moleculaire en functionele groepen identificeren die aanwezig zijn in plastic polymeren^[5]. ATR-FTIR (attenuated total reflection-Fourier transform infrared spectroscopy) spectra kunnen worden gebruikt om verschillende soorten plastic materialen te classificeren die vaak worden aangetroffen in gemengde plastic afvalstromen^{[1][2]}. Onderzoekers hebben een convolutioneel neuraal netwerk (CNN) ontwikkeld dat experimentele ATR-FTIR spectra gebruikt om tien verschillende plastic materialen te classificeren^{[1][2]}. Het CNN-framework is in staat om plastic zakken nauwkeurig en robuust te classificeren met behulp van machine learning-algoritmen^[4]. Samenvattend kan FTIR-spectroscopie worden gebruikt om verschillende soorten kunststoffen te identificeren, en ATR-FTIR-spectra kunnen worden gebruikt met machine learning-algoritmen om plastic materialen te classificeren.



Afbeelding 2 Most coded plastics have distinct spectral features in the NIR. Spectrometers can be integrated into recycling processes to help sort plastic types.

Smeltstroomindex testen:

Melt Flow Index (MFI) testen is een maat voor het gemak van de doorstroming van de smelt van een thermoplastisch polymeer^[1]. Het wordt gedefinieerd als de massa van het polymeer, in grammen, die door een matrix met een specifieke diameter en lengte stroomt door een druk die wordt uitgeoefend door een bepaald gewicht bij een bepaalde temperatuur^[2]. De MFI-tests worden uitgevoerd volgens ASTM D 1238 en ISO 1133^[5] met behulp van een instrument genaamd Melt Flow Index Tester. De polymeerhars wordt in gesmolten toestand in cilinder gebracht en gemaakt om te stromen uit een standaardopening met een diameter van 2,0955 mm.

^[5]. De resultaten worden over het algemeen gerapporteerd in termen van grammen per 10 minuten

^[3]. MFI wordt vaak gebruikt om te bepalen hoe een polymeer zal verwerken en kan een indicatie geven van de verwerkbaarheid van de hars^[4]. Het is ook een indirecte maat voor het molecuulgewicht, met een hoge smeltstroomsnelheid die overeenkomt met een laag molecuulgewicht^[2]. Bovendien kan MFI worden gebruikt als een belangrijke parameter voor partij-tot-partij kwaliteitscertificering, omdat het omgekeerd evenredig is met viscositeit^[4]. Over het algemeen bieden MFI-tests een enorme analytische en besluitvormingswaarde voor kunststofmaterialen, waardoor fabrikanten kunnen beslissen over het juiste productieproces, met

name

voor



Afbeelding 3 Melt flow index measuring machine

Nucleaire magnetische resonantie (NMR):

Nucleaire magnetische resonantie (NMR) spectroscopie is een techniek die kan worden gebruikt om de chemische samenstelling van kunststoffen te analyseren^[1]. NMR is met name nuttig voor het analyseren van gedeeltelijk kristallijne tot amorphe materialen waarvan de structuur niet kan worden bepaald door röntgendiffractie

^[2]. NMR kan informatie geven over de dynamiek van een molecuul, waardoor het geschikt is voor het bestuderen van de effecten op de flexibiliteit van een molecuul in oplossing als functie van modificaties

[4]. Intertek heeft een breed scala en diepgaande kennis voor het identificeren van componenten van de meest gerecyclede kunststoffen die routinematig worden geanalyseerd door NMR, inclusief NIAS. Het is een analytisch instrument van onschatbare waarde om de samenstelling van gerecycleerde materialen te bepalen, hetzij als terugwinning, hetzij als eindproduct[1]. ¹³C NMR kan worden gebruikt om de aard van een onbekend polyethyleen (HDPE, LDPE en LLDPE) te bepalen en kan de aanwezige soorten vertakkingen identificeren en kwantificeren

[1]. Bruker heeft waardevolle hulpmiddelen ontwikkeld die helpen bij gemengde materiaalanalyse met behulp van NMR, inclusief hun hoge temperatuur sondes en cryogene gekoelde sondes met groot volume. Dit laatste is belangrijk omdat polymeermonsters vaak zeer viskeus zijn en moeilijk te krijgen in buizen met een kleine diameter

[4]. Hoewel NMR-spectroscopie veel wordt gebruikt voor eiwitanalyse, kan het ook worden toegepast op andere gebieden, zoals polymeerchemie. Een kenmerk dat NMR geschikt maakt voor polymeeranalyse is de zeer lineaire respons over een zeer groot dynamisch bereik[4]. Terwijl andere spectroscopietechnieken kunnen worden gebruikt om de aard van functionele groepen in een monster te bepalen, biedt alleen NMR-spectroscopie gedetailleerde informatie over moleculaire structuur en dynamica bij atomaire resolutie[5].



Afbeelding 4 Nuclear magnetic resonance spectrometer

Vlammende test:

De brandtest is een methode die wordt gebruikt om verschillende soorten kunststoffen te identificeren. Het gaat om het verbranden van een stuk plastic met een warmtebron zoals een aansteker en het zorgvuldig inspecteren van de manier waarop het brandt, de kleur van de vlam, de geur en andere kenmerken[1][2][3]. Om de test uit te voeren, heeft men een geschikt stuk plastic nodig dat relatief groot is, minstens zo groot als een kwart (zodat je vingers het kunnen

vasthouden terwijl het brandt^[1]. Voor plastic pellets of kleine vlokken kan men een kleine metalen clip meenemen om het plastic vast te houden^[1]. Afhankelijk van het type kunststof treden er verschillende effecten op wanneer de vlam in contact komt: gele vlam, blauwe vlam, roetafgifte, vlam zelfdovend, etc.^[3]. Polyurethaan produceert bijvoorbeeld gele vlammen en zwarte rook bij verbranding^[2]. Fenolharsen produceren gele vlammen en fenolgeur^[2]. Polysiloxanen of siliconen produceren zwarte rook en vervormen bij verbranding^[2]. De brandtest kan helpen bepalen of een materiaal van het type thermoplastisch (smeltbaar) of thermohardend (niet-smeltbaar) is. Om dit onderscheid in eerste instantie te bepalen, verwarmt u een metalen of glazen roerstaaf totdat deze rood of oranje gloeit (tot ongeveer 500 ° F / 260 ° C) en drukt u deze tegen het monster. Als het monster zachter wordt, is het thermoplastisch; Zo niet, dan is het thermohardend^[4]. Het is vermeldenswaard dat verbrandingstests voor kunststoffen ook worden uitgevoerd in testlaboratoria volgens vooraf geselecteerde programma's die worden gebruikt om de ontvlambaarheidskenmerken te beoordelen^[5]. Tijdens de vlamme test worden de volgende kenmerken waargenomen:

1. Kleur van de vlam: Verschillende soorten kunststoffen produceren verschillende gekleurde vlammen, polyethyleen (PE) produceert bijvoorbeeld een kleine vlam met een felgele punt, terwijl polyvinylchloride (PVC) een vlam produceert die blauwgroen lijkt te zijn.
2. Rook: Verschillende soorten kunststoffen produceren verschillende soorten rook, pvc produceert bijvoorbeeld dikke witte rook, terwijl PE dunne heldere rook produceert. De rook kan ook verschillende geuren hebben, pvc heeft bijvoorbeeld een sterke chloorgeur.
3. As: Verschillende soorten kunststoffen produceren verschillende soorten as, pvc produceert bijvoorbeeld een harde, zwarte en glanzende as, terwijl PE een witte, donzige as produceert.
4. Smeltgedrag: sommige kunststoffen kunnen bij verhitting druppelen, doorzakken of opbollen.

Het is vermeldenswaard dat de verbrandingstest geen zeer nauwkeurige methode is, omdat sommige kunststoffen vergelijkbare verbrandingseigenschappen kunnen produceren en kunnen worden beïnvloed door de kwaliteit van het monster, de omgeving waarin het is opgeslagen en de manier waarop het is gesneden. Bovendien mag het niet worden uitgevoerd in afgesloten ruimtes en moet het altijd worden gedaan met de juiste veiligheidsmaatregelen en apparatuur. Een andere beperking van deze methode is dat deze destructief is, wat betekent dat het monster na de test wordt vernietigd. Bovendien is het geen geschikte methode voor het identificeren van gemodificeerde of gemengde kunststoffen, omdat hun verbrandingseigenschappen kunnen verschillen van die van de oorspronkelijke kunststof.

Casestudy's & Voorbeelden

Op basis van de gegeven voorbeelden is het duidelijk dat er verschillende manieren zijn waarop plastic recycling in verschillende industrieën wordt geïmplementeerd. Bedrijven investeren in recyclingkringen en ontwikkelen hun eigen oplossingen om ervoor te zorgen dat plastic afval wordt hergebruikt voor verschillende toepassingen. Schwarz Produktion produceert bijvoorbeeld wegwerp-PET-flessen van 100% gerecycled plastic, terwijl Jaguar Land Rover werkt aan het recyclen van plastic afval voor gebruik in zijn modellen. Op dezelfde manier hebben Intraplás en Yoplait het gebruik van gerecycled polystyreen in yoghurtpotten getest en gebruikt Vaude gerecycled huishoudelijke verpakkingen voor de achterpanelen van zijn fietstassen. Andere bedrijven, zoals Total Corbion, produceren PLA-kwaliteiten met gerecycled inhoud met behulp van de massabalansmethode en EcoPlasteam gebruikt een proces om poly laminaten (PO-LA) te behandelen om een nieuw, drop-in materiaal (EcoAllene) te creëren voor gebruik in de bouw, meubels en non-food verpakkingen. Bovendien maken sommige bedrijven alledaagse producten, zoals schoenen, jassen en huishoudelijke artikelen, met behulp van gerecycled plastic. Bedrijven zoals Reflow en Plastic Whale hebben ook netwerken van recyclers, makers en ontwerpers gecreëerd om duurzame materialen en producten te maken. Bovendien creëren startups zoals BOXO Bag en Maneo herbruikbare verpakkingzakken en transformeren ze verschillende soorten plastic afval in nieuwe producten zoals Terrazzo plastic materiaal. Ten slotte nemen sommige

bedrijven, zoals Corplex en VIACORP, gerecyclede kunststoffen op als additief bij de productie van verschillende materialen, zoals asfaltwegen.

Bronnen

Links:

Videos:

Papers (press articles, guides, reports):

Podcasts:

Social media posts:

MOOCs (Massive Online Open Course):

Books or book chapters:

References: