

Factori fizici care influențează separarea tribo-electrostatică a materialelor plastice granulare provenite din deșeuri industriale

Physical factors influencing tribo-electrostatic separation of granular plastics from industrial waste.

Doctorand: **Csaba Dani**

Conducător științific: **Prof. univ. dr. habil. Mihail Lungu**

Teza de doctorat a lui **Csaba Dani**, coordonată de **Prof. Dr. Habil. Mihail Lungu**, se concentrează asupra proceselor de separare triboelectrostatică a plasticelor granulate din deșeuri industriale, având ca scop recuperarea materialelor valoroase din Deșeuri Electrice și Electronice (WEEE). Această cercetare este motivată de provocările globale legate de gestionarea deșeurilor și de necesitatea dezvoltării unor metode eficiente de reciclare. Teza subliniază importanța proceselor fizice și chimice în recuperarea materialelor din fluxurile de deșeuri, cu accent pe separarea triboelectrostatică ca metodă avansată, care utilizează forțele electrice pentru a separa materialele pe baza încărcării lor electrice.

Teza este structurată în următoarele capitole, fiecare abordând aspecte specifice ale cercetării:

Starea Actuală a Cercetării Teoretice Acest capitol examinează mecanismele fizice ale triboelectrificării, inclusiv transferul de electroni, ioni și material. Se discută factorii care influențează triboelectrificarea, cum ar fi adsorbția apei și umiditatea ambientală, care pot afecta semnificativ eficiența procesului de separare. De asemenea, se analizează diferitele moduri de încărcare prin contact: alunecare, rulare și impact, evidențiind cum fiecare mod influențează rezultatul final al separării.

Încărcarea Granulelor de Plastic Centrul acestui capitol este studiul comportamentului de încărcare triboelectrică al materialelor plastice granulate. Se discută modelele de încărcare triboelectrică și dinamica coliziunilor între particule, precum și mecanismele de electrificare prin contact între lichide și polimeri. Această analiză detaliată ajută la înțelegerea modului în care diferitele tipuri de polimeri reacționează în condiții variate de umiditate și temperatură, subliniind importanța acestor condiții în optimizarea procesului de separare electrostatică.

Separarea Tribo-Electrostatică a Amestecurilor Granulare Acest capitol oferă o revizuire a tehnologiilor contemporane utilizate în separarea triboelectrostatică, inclusiv dispozitivele de triboelectrificare și eficiența acestora. Se discută despre diferitele metode de separare, cum ar fi separatoarele electrostatice cu cădere liberă și cele cu pat fluidizat, evidențiind avantajele și limitările fiecărei tehnici. Această analiză este esențială pentru înțelegerea diversității abordărilor în practica industrială.

Materiale și Metode Capitolul detaliază cadrul experimental utilizat în cercetare, incluzând materialele studiate, proprietățile acestora și aplicațiile lor. Se subliniază importanța menținerii unor condiții ambientale specifice, în special umiditatea, și cum aceasta influențează

rezultatele experimentale. Rezultatele experimentelor de tribocharging și separare electrostatică sunt sumarizate, evidențiind metodologiile inovatoare și impactul lor practic.

Factori care Influențează Încărcarea Triboelectrică a Plasticelor Granulate Acest capitol se concentrează pe variabilele externe care influențează semnificativ încărcarea triboelectrică, în principal conținutul de umiditate și tratamentele cu descărcări de barieră dielectrice (DBD). Se analizează modul în care umiditatea afectează comportamentul de încărcare și se oferă perspective asupra condițiilor optime de operare. De asemenea, se discută despre cum tratamentele DBD pot îmbunătăți capacitățile de încărcare ale plasticelor granulate.

Influența Umidității asupra Separării Tribo-Electrostatice a Plasticelor Granulate Acest capitol examinează impactul umidității asupra proceselor de separare electrostatică, inclusiv efectele stocării la diferite niveluri de umiditate asupra separării plasticelor brominate. Se analizează cum umiditatea ambientală afectează eficiența procesului de separare, susținută de dovezi experimentale. Rezultatele sugerează că umiditatea moderată poate îmbunătăți eficiența separării, în timp ce umiditatea excesivă poate duce la o scădere a performanței.

Concluzii Generale, Contribuții Personale și Perspective În acest capitol, se sintetizează concluziile generale ale cercetării, subliniind contribuțiile personale ale autorului în domeniul separării electrostatice a plasticelor. Se discută despre importanța înțelegerii mecanismelor care influențează comportamentul triboelectric al polimerilor și se propun direcții pentru cercetări viitoare, inclusiv studii asupra efectelor umidității și tratamentelor DBD asupra performanței triboelectrice.

Teza se încheie cu o bibliografie, care include lucrări relevante și studii anterioare în domeniul separării electrostatice, reciclării deșeurilor și comportamentului triboelectric al materialelor plastice.

Echipamente utilizate:

Separator electrostatic în cădere liberă și separatorul Carpco cu cilindru rotitor;

Dispozitiv de triboîncărcare tip cilindru rotativ

Dispozitiv de triboîncărcare în pat fluidizat

Dispozitiv de triboîncărcare în pat vibrator

Electrometru pentru măsurarea sarcinii electrice (Keithley, model 6514)

Dispozitiv pentru monitorizarea umidității ambientale (Higrometru)

Cameră pentru controlul umidității și temperaturii (Cameră climatică)

Dispozitiv pentru colectarea particulelor încărcate electrostatic (Cușcă de colectare Faraday)

Locații ale experimentelor și măsurătorilor:

Institutul PPRIME, CNRS – Universitatea din Poitiers: Locația unde s-au realizat măsurătorile electrice - Institutul Universitar de Tehnologie Angoulême: Locația asociată cu echipa de cercetare "Tribo-electrostatics"

Universitatea de Vest din Timișoara: Locația principală a cercetării și a experimentelor

Concluzii și contribuții

Cercetarea prezentată în această teză subliniază rolul semnificativ al încărcării triboelectrice și al separării electrostatice în reciclarea plasticelor granulate, în special din Deșeuri Electrice și Electronice (WEEE). Descoperirile evidențiază puncte cheie care contribuie la avansarea tehnologiilor de reciclare și la gestionarea sustenabilă a deșeurilor.

Impactul condițiilor de mediu Studiul subliniază influența critică a umidității ambientale asupra încărcării triboelectrice a plasticelor granulate. Nivelurile optime de umiditate (50-60%) îmbunătățesc eficiența încărcării, conducând la rezultate mai bune în separare. Nivelurile ridicate de umiditate (peste 70%) pot duce la scurgeri de sarcină și la o eficiență redusă a separării. Această informație este vitală pentru dezvoltarea protocoalelor operaționale în facilitățile de reciclare.

Tratamentul cu descărcare de barieră dielectrică (DBD) Aplicarea tratamentului DBD poate modifica proprietățile triboelectrice ale polimerilor, având potențialul de a inversa polaritatea sarcinii în unele cazuri. Acest tratament poate îmbunătăți eficiența încărcării triboelectrice, făcându-l un instrument valoros în procesul de reciclare. Cercetările viitoare ar trebui să exploreze mecanismele din spatele acestor schimbări.

Efecte sinergice Interacțiunea dintre umiditatea ambientală și tratamentul DBD prezintă o oportunitate unică pentru optimizarea performanței triboelectrice. Înțelegerea acestor efecte sinergice ar putea conduce la abordări inovatoare în proiectarea materialelor și tehnologiile de reciclare.

Comportamentul specific al materialelor Diferenții polimeri prezintă comportamente triboelectrice variate în funcție de proprietățile lor chimice și mecanice. Această variabilitate necesită abordări personalizate pentru fiecare tip de plastic pentru a maximiza ratele de recuperare și puritate în timpul separării electrostatice. Studiile viitoare ar trebui să se concentreze pe caracterizarea acestor comportamente.

Recomandări pentru practică Rezultatele obținute sugerează că facilitățile de reciclare ar trebui să implementeze măsuri stricte de control al umidității și să ia în considerare opțiuni de pre-tratament, cum ar fi DBD, pentru a îmbunătăți încărcarea triboelectrică a plasticelor. Dezvoltarea proceselor de separare în două etape ar putea îmbunătăți ratele de recuperare și puritate, în special pentru amestecurile complexe.

Direcții pentru cercetări viitoare Există o nevoie de continuare a explorării efectelor diverselor factori de mediu asupra încărcării triboelectrice, inclusiv temperatura și dimensiunea particulelor. Tehnici spectroscopice avansate ar trebui să fie utilizate pentru a investiga modificările de suprafață induse de umiditate și tratamente DBD.

Aplicații în sens mai larg Dincolo de reciclare, principiile încărcării triboelectrice ar putea fi aplicate în alte domenii, cum ar fi generarea de energie și dispozitivele medicale. Explorarea acestor aplicații ar putea conduce la tehnologii inovatoare care să valorifice proprietățile unice ale materialelor triboelectrice.

În concluzie, în această lucrare se pune o bază pentru unele investigații viitoare în procesele de separare triboelectrice, subliniind importanța condițiilor de mediu și a proprietăților materialelor în optimizarea tehnologiilor de reciclare. Abordând provocările identificate în acest studiu, industria reciclării poate avansa spre practici mai sustenabile, contribuind în cele din urmă la o economie circulară și reducând impactul de mediu al deșeurilor plastice.

Rezultatele obținute de doctorandul **Csaba Dani** sunt confirmate de publicarea lor precum și de prezentările făcute în cadrul unor conferințe internaționale:

Articole:

1. A. Benabderrahmane, C. Dani, K. Medles, T. Zeghloul, F. Tomasella, L. Dascalescu, and A. Parenty: „Effect of storage at different levels of relative humidity of ambient air on the tribo-electrostatic separation of granular plastics containing brominated flame retardants” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 59, 4990-4997, 2023
2. I.E. Achouri, C.Dani, T. Zeghloul, M. Lungu, and L. Dascalescu: “Effect of ambient humidity on the tribo-electrostatic separation of granular plastic wastes” Particulate Science and Technology 2023.12.27 online; 2024/8/17
3. C. Dani, T. Zeghloul, M. Lungu, I.E. Achouri, D. Aouimeur, and L. Dascalescu: „Triboelectric charging and electrostatic separation of granular plastic wastes exposed to long-term action of high levels of ambient humidity” IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), 2023
4. C. Dani, I. -E. Achouri, T. Zeghloul, D. Aouimeur, M. Lungu and L. Dascalescu: „Triboelectric charging and electrostatic separation of granular plastic wastes exposed to long-term action of high levels of ambient humidity” IEEE Transactions on Industry Applications, 2024.
5. C. Dani, M. Lungu: „Physical factors influencing the process of triboelectrostatic separation of granular plastics” AIP Conf. Proc. 2843, 040013 (2023)

Conferinte:

1. Physical factors influencing the process of triboelectrostatic separation of granular plastics, C. Dani, M. Lungu: TIM20-21 Physics Conference Timisoara, 25-27.10.2021
2. Effect of ambient humidity on the triboelectrostatic separation of granular plastic mixtures, I.E. Achouri, A. Mekhalef-Benhafssa, C. Dani, M. Lungu, T. Zeghloul, and L. Dascalescu: Joint Conference on Electrostatics Charlotte, NC 2022
3. Effect of moisture content on the triboelectric charging of polymers, C. Dani, T. Zeghloul, M. Lungu, I.E. Achouri, D. Aouimeur, and L. Dascalescu: Electrostatics 2023, Institute of Physics, Brunel University, London, K, session 7 Tribo-electrostatics II 04. – 07. 09. 2023.
4. Modification of the triboelectric properties of polymers exposed to the long-term action of ambient humidity, C. Dani, T. Zeghloul, M. Lungu, I.E. Achouri, D. Aouimeur, and L. Dascalescu, IEEE/IAS Annual Meeting Nashville, TN, session EPC5. 29.10. - 02.11. 2023

5. The influence of dielectric barrier discharge on the triboelectric charge of some polymers,
C. Dani, M. Lungu: TIM24 Physics Conference Timisoara, 30.05 - 01.06. 2024.

Factori fizici care influențează separarea tribo-electrostatică a materialelor plastice granulare provenite din deșeurile industriale

Cuprins

Introducere

Scopul cercetării

Structura tezei de doctorat

Cantități și parametri caracteristici ai proceselor de separare

1. Stadiul actual al cercetării teoretice

1.1. Mecanisme fizice ale triboelectrificării

1.1.1. Transferul de electroni

1.1.2. Transferul de ioni

1.1.3. Transferul de material

1.2. Factori care influențează triboelectrificarea

1.2.1. Adsorbția apei. Izolatori electrofili și electrofobi

1.2.2. Încărcarea stratului dublu

1.2.3. Studiul încărcării triboelectrice a amestecurilor la diferite umidități ambientale

1.2.4. Descărcări în bariera dielectrică

1.3. Tipuri de contact și încărcare prin frecare

1.3.1. Încărcare triboelectrică prin alunecare

1.3.2. Încărcare triboelectrică prin rostogolire

1.3.3. Încărcare triboelectrică prin impact

1.4. Rezumat și concluzii

2. Încărcarea granulelor de plastic

2.1. Încărcarea triboelectrică a particulelor

2.1.1. Modele de încărcare triboelectrică

2.1.2. Gruparea factorilor fizici în funcție de origine, conținut și efect

2.2. Încărcarea triboelectrică prin coliziuni particulă-perete și particulă-particulă

2.2.1. Investigarea coliziunilor

2.2.2. Modelarea proceselor

2.3. Seria triboelectrică: concept, caracteristici și aplicații

2.4. Mecanismul electrificării prin contact între lichide și polimeri

2.5. Alte ipoteze privind apariția sarcinilor electrice prin frecare

2.6. Rezumat și concluzii

3. Separarea tribo-electrostatică a amestecurilor granulare. Stadiul actual

3.1. Dispozitive de triboelectrificare

3.1.1. Dispozitive de încărcare triboelectrică monofazate

3.1.2. Dispozitive de încărcare triboelectrică bifazate

3.1.3. Factori care afectează încărcarea prin contact și frecare

3.2. Separarea tribo-electrostatică

3.2.1. Separator electrostatic cu cădere liberă

3.2.2. Câmp electric de tip rolă

3.2.3. Separator triboelectrostatic cu pat fluidizat

3.3. Rezumat și concluzii

4. Materiale și metode

4.1. Prezentare generală a polimerilor studiați, proprietățile și aplicațiile lor

4.2. Monitorizarea umidității ambientale și a conținutului de umiditate al granulelor

4.3. Experimente de încărcare triboelectrică

4.3.1. Încărcarea triboelectrică vibratoare a plasticelor granulare umede

4.3.2. Încărcarea triboelectrică a plasticelor granulare pre-tratate cu DBD

4.4. Experimente de separare tribo-electrostatică

4.4.1. Separarea tribo-electrostatică a plasticelor bromurate

4.4.2. Separarea tribo-electrostatică a amestecurilor de plastic granular

4.4.3. Separarea tribo-electrostatică a amestecurilor de plastic granular umed

4.5. Rezumat și concluzii

5. Factori care influențează încărcarea triboelectrică a deșeurilor plastice granulare

5.1. Efectul conținutului de umiditate asupra încărcării triboelectrice a plasticelor granulare

5.2. Efectul tratamentului DBD asupra încărcării triboelectrice a plasticelor granulare

5.3. Rezumat și concluzii

6. Influența umidității asupra separării tribo-electrostatice a plasticelor granulare

6.1. Efectul stocării la diferite niveluri de umiditate relativă a aerului asupra separării tribo-electrostatice a plasticelor bromurate

6.2. Efectul umidității ambientale asupra separării tribo-electrostatice a plasticelor granulare

6.3. Efectul expunerii pe termen lung la niveluri ridicate de umiditate ambientală

6.4. Rezumat și concluzii

7. Concluzii generale, contribuții personale și perspective

Concluzii generale

Contribuții personale majore

Perspective

8. Bibliografie