

RE: SOURCE

Slutrapport för projekt

Pyrolys och dehalogenering av plastbaserat WEEE i skruvreaktor

Projektperiod: Sept 2016 till June 2018

Projektnummer: 36880-2

Med stöd från:



FORMAS



STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM

Pyrolysis and dehalogenation of plastic-based WEEE in screw reactor

Titel på projektet – svenska Pyrolysis and dehalogenation of plastic-based WEEE in screw reactor
Titel på projektet – engelska Pyrolysis and dehalogenation of WEEE plastics in screw reactor
Universitet/högskola/företag Royal institute of Technology (KTH)
Adress Brinellvägen 23, 11428
Namn på projektledare Weihong Yang
Namn på ev övriga projektdeltagare Panagiotis Evangelopoulos
Nyckelord: 5-7 st WEEE, brominated plastics, e-waste, Pyrolysis, dehalogenation

Med stöd från:



STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM

Förord

Projektet har delvis finansierats av Energimyndigheten - RE: source och företaget Shen Wu, beläget i Kina.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning och bakgrund	5
Genomförande	5
Resultat och diskussion.....	6
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg	6
Publikationslista.....	6
Projektkommunikation.....	7
Referenser	7
Bilagor	8

Sammanfattning

Avfall från elektrisk och elektronisk utrustning (WEEE) är en avfallskategori som växer med 3-5% per år. Denna fraktion innehåller flera farliga ämnen som kan vara skadliga för miljön och de personer som är involverade i återvinningsanläggningarna. En av de allvarigaste föroreningarna är brom som härrör från bromerade flamskyddsmedel som används vid tillverkning av elektronik och elektrisk utrustning. Denna studie innehåller en experimentell undersökning av broms reaktionsväg i en semi-industriell pilotanläggning, en skruvreaktor. Användningen av en sådan reaktor var avgörande för att undersöka flera parametrar som påverkar bromsens öde.

En skruvreaktor har designats efter kraven för pyrolys av WEEE. Därefter tillverkad av företaget Shen Wu och transporterad till Stockholm där experimenten utförts i ett av KTHs laboratorium. Resultaten av denna studie indikerar att brom kan överföras fullständigt till gas- och vätskefasen. Den återstående solida pyrolysisprodukten från WEEE är rik på ooxidiserade metaller som kan renas efter metallurgiska processer. Höga mängder brom detekterades i oljan som producerades vid låga pyrolystemperaturer. Andelen brom i gasfasen (som HBr) ökade både med ökad pyrolystemperatur och längre uppehållstid. Oljan som produceras kan användas för material- eller energiåtervinning.

Nästa steg i detta projekt kan vara fortsatt experimentell undersökning för att avslöja andra mekanismer som kan påverka nedbrytningen av dessa material. Dessutom bör genomförbarheten av processen utvärderas som ett mellansteg till kommersialisering. Vidare kan reaktorn användas för andra råmaterial för att undersöka deras nedbrytningsparametrar.



Figur 1: Panagiotis Evangelopoulos i centrum med skruvreaktor till höger i bildoch kontrollsystem till vänster.

Summary.

Waste electrical and electronic equipment (WEEE) is a fraction of waste that keeps growing with 3-5% rate annually. This fraction contains several hazardous substances that can be harmful for the environment and the people involved on the recycling plants. One of the major pollutant is the bromine derived from brominated flame retardants used during the manufacturing of electronics and electrical equipment. This study includes an experimental investigation of the fate of bromine in a semi industrial pilot plant, a screw reactor. The use of such a reactor was vital for investigating several parameters that influence the fate of bromine.

A screw reactor has been designed from scratch in order to fulfil the requirements for pyrolysing WEEE materials. Then the company Shen Wu manufacture it based on the design and shipped to Stockholm. The experiments were performed in the lab facilities of KTH. The results of this study indicates that the bromine can be fully transferred to the gas and liquid phase. The remaining char from WEEE is rich with unoxidized metals that can be purified following metallurgical processes. High amounts of bromine were detected at the oil produced at low temperatures, since the higher the temperature or the longer the residence time, the more bromine was found in the gas phase as HBr. Finally, the oil produced could be used for feedstock recycling or energy recovery.

The next step of this project could be the continuation of the experimental investigation in order to reveal other mechanism that can influence the decomposition of those materials. Moreover, the feasibility of the process could be evaluated as an intermediate step from commercialization. Furthermore, the reactor can be used for other feedstocks that their decomposition parameters should be investigated accordingly.

Inledning och bakgrund

Avfall från elektrisk och elektronisk utrustning (WEEE) är en av de mest komplicerade fraktionerna av avfall i det moderna samhället. Avfallsvolymen har under de senaste decennierna kontinuerligt ökat i en konstant takt i enlighet med befolkningsökningen (Baldé et al., 2015). Flera tekniker har föreslagits och tillämpats för att maximera materialet som återvinns från WEEE, huvudsakligen genom sortering av fysiska komponenter (Bizzo et al., 2014). För de icke återvinnbara delarna i avfallet återstår enbart energiåtervinning genom förbränning, vilket visat sig problematiskt då flera giftiga föreningar bildas såvida inte hög temperatur appliceras (Wang and Xu, 2014)

Auger eller skruvreaktorer har tidigare använts i litteraturen för pyrolys av biomassa och andra organiska fraktioner, både för produktion av bioolja och biokol, eftersom villkoren som uppehållstid och temperatur lätt kan styras (Brassard et al., 2017; Tomasi Morgano et al., 2017; Yu et al., 2016). Baserat på tidigare studier kan resultaten från liknande process användas för att förstärka pyrolyseprocessen, liksom deras repeterbarhet är relativt hög. Dessutom har experiment som tidigare utförts i liknande system använts för att utföra en konceptuell design (Martínez et al., 2013).

Denna studie syftar till att undersöka de viktigaste parametrarna i augerreaktorn, vilka påverkar produkterna både när det gäller energi och materialåtervinning. Vidare övervakades ödet av brom, eftersom det utgör en av de största nackdelarna vid återvinning av råmaterial.

Genomförande

Projektet är uppdelat i fyra arbetspaket (WP1-4). Enligt tidsplanen och det arbete som hittills har gjorts har de tre första arbetspaketen (WP1-3) slutförts. Reaktorns utformning har genomförts enligt kraven i projektförslaget. Allt material som valts och de tekniska detaljerna är baserade på de resultat som har genererats i projektnummer 36880-1.

Reaktorns konstruktion har genomförts enligt de inledande tidsbestämmerlserna i förhållande till projektmålen. Dessutom var de experiment som genomfördes på företagets lokaler framgångsrika enligt den rapport som vi har reviderat och bearbetat. Provisionstestet visade att reaktorn utformades strikt enligt den ursprungliga konstruktionen och mindre förändringar har gjorts för att den ska fungera korrekt. Tester vid uppstart av systemet avslöjade smärre brister i programvara och konstruktion, som har lösts. Inmataren har ersatts med en ny som kan fungera med bulkmaterial och mjukvaran som är kopplad till reaktorn har uppdaterats med fler funktioner. Dessutom har uppdateringarna möjliggjort högre flexibilitet och den nya versionen av systemet har minskat tiden för nedkyllning.

Resultat och diskussion

Reaktorns konceptuella utformning har redan lämnats in i den föregående delen av projektet 36880-1 (Bilaga 1). WP2 innehåller prestandatester som har utförts på Shen Wu-anläggningen och rapporten finns med i bilagorna (Bilaga 2). Dessutom ingår en teknisk rapport som bygger på driftsättningstester som har utförts på KTHs anläggningar (Bilaga 3). Slutligen har kompletterande arbete utförts för att ytterligare undersöka var halogenerade flamskyddsmedel tar vägen i systemet. En litteraturstudie om olika flamskyddsmedel (Bilaga 4) har utförts, ett manuskript för en studie om ett material som också kommer att användas vid dehalogeneringsstudien och kommer att presenteras vid den 14:e Clearwater-energikonferensen i juni 2017 "(Bilaga 5). En rapport baserad på lösningsmedelsuttagsteknik för avlägsnande av flamskyddsmedel (Bilaga 6) och den presentation som Henry Persson presenterade på "Avfall I nytt fokus - från teknik till styrmedel" i Malmö 2017 (Bilaga 7). Experimentell undersökning av WEEE i skruvreaktorn har utförts av en masterstudent, Ioannis Asvestas (8). Resultaten från dehalogenering genom förbehandling har framgångsrikt publicerats i Waste management journal (Bilaga 9). Konferensaffischen har presenterats på internationell konferens (Bilaga 10). Samarbetet med företaget Shen wu förstärktes med gemensamma experimentella tester, presenterade på presentationen (Bilaga 11). Resultaten från experimenten som utförs på skruvreaktorn kommer att skickas in i en journal och utkastet till manuskriptet bifogas (Bilaga 12). Projektet presenterades på ReSource Recyclingdagen 2017 (Bilaga 13). Eleverna undersökte genomförbarheten av en sådan process baserat på resultaten erhållna av skruvreaktorn (Bilaga 14). En utkastsversion om materialåtervinningen genom pyrolyseprocess med låg temperatur är också fritt (bilaga 15).

Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Reaktorn finansierades inom de ekonomiska medel detta projekt medgav och kan användas för framtida experimentella undersökningar av plastavfall och biomassafraktioner för att producera högvärda förnybara råvaror. Broms öde undersöktes experimentellt och avslöjade temperatur- och uppehållstidsparametrarna för renare oljeproduktion. Nästa steg är att ytterligare undersöka genomförbarheten av denna process och kombinera resultaten med andra pyrolyse-experiment för andra WEEE-fraktioner för att verifiera de erhållna resultaten. Resultaten kan användas för att skala upp processen för kommersialisering. Flera företag från återvinningsindustrin är intresserade av att använda denna teknik för ytterligare återvinning av råvaror.

Publikationslista

- Panagiotis Evangelopoulos, Stylianos Arvelakis, Efthymios Kantarelis, Weihong Yang, "Experimental investigation of low temperature pyrolysis of printed circuit boards (PCBs) and printed circuit board components (PCB sockets)" Manuscript

- Panagiotis Evangelopoulos,1, Henry Persson , Efthymios Kantarelis, Weihong Yang "Pyrolysis of waste electrical and electronic equipment (WEEE) on a single screw reactor for bromine free oil production" Manuscript
- P Evangelopoulos, S Arato, H Persson, E Kantarelis, W Yang "Reduction of brominated flame retardants (BFRs) in plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by solvent extraction and the influence on their thermal decomposition. Waste Management 2018
- P Evangelopoulos, N Sophonrat, H Jilvero, W Yang Investigation on the low-temperature pyrolysis of automotive shredder residue (ASR) for energy recovery and metal recycling Waste Management 76, 507-515
- Evangelopoulos P, Arato S, Persson H, Kantarelis E, Yang W. "Brominated flame retardants (BFRs) reduction in plastics from electronic and electric equipment waste (WEEE) and their influence on their decomposition" Sardinia 2017 / Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium / 2 - 6 October 2017
- Panagiotis Evangelopoulos, Nanta Sophonrat1, Henrik Jilvero2, Weihong Yang1 "Low temperature pyrolysis of the Automotive Shredder Residues (ASR) for energy recovery and metal recycling" 42nd Clearwater clean energy conference 2017

Projektkommunikation

Resultaten från detta projekt har presenterats i forskarkretsar för både nationell och internationell publik. Kommuner från återvinningsindustrin har visat sitt intresse både när det gäller samarbete och samarbete med framtida projekt. Detta projekt undersöker i allt väsentligt viktiga parametrar för återvinning av WEEE som ligger i fokus globalt.

Referenser

Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J., 2015. The Global E-Waste Monitor 2014, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany.
doi:9789280845556

Bizzo, W.A., Figueiredo, R.A., de Andrade, V.F., 2014. Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation. Materials (Basel). 7, 4555–4566. doi:10.3390/ma7064555

Brassard, P., Godbout, S., Raghavan, V., 2017. Pyrolysis in auger reactors for biochar and bio-oil production: A review. Biosyst. Eng. 161, 80–92.
doi:10.1016/j.biosystemseng.2017.06.020

Martínez, J.D., Murillo, R., García, T., Veses, A., 2013. Demonstration of the waste tire pyrolysis process on pilot scale in a continuous auger reactor. *J. Hazard. Mater.* 261, 637–645. doi:10.1016/j.jhazmat.2013.07.077

Tomasi Morgano, M., Leibold, H., Richter, F., Stapf, D., Seifert, H., 2017. Screw pyrolysis technology for sewage sludge treatment. *Waste Manag.* doi:10.1016/j.wasman.2017.05.049

Wang, R., Xu, Z., 2014. Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review. *Waste Manag.* doi:10.1016/j.wasman.2014.03.004

Yu, Y., Yang, Y., Cheng, Z., Blanco, P.H., Liu, R., Bridgwater, A. V., Cai, J., 2016. Pyrolysis of Rice Husk and Corn Stalk in Auger Reactor. 1. Characterization of Char and Gas at Various Temperatures. *Energy and Fuels* 30, 10568–10574. doi:10.1021/acs.energyfuels.6b02276

Bilagor

- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 1 Conceptual design of WEEE reactor
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 2 Technical Performance Report of WEEE reactor
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 3 Technical report of the screw reactor v1
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 4 Literature review on flame retardants in WEEE
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 5 Panagiotis Evangelopoulos Manuscript 35
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 6 Dehalogenation of WEEE
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 7 Presentation of Resource
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 8 Master thesis draft EJ SPRIDNING
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 9 Waste management paper
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 10 Conference poster
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 11 Shen Wu presentation
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 12 Screw reactor manuscript draft EJ SPRIDNING
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 13 Mall projektpresentation RESource Recyclingdagen 2017
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 14 Student thesis EJ SPRIDNING
- Lägesrapport (36880-2)- Bilaga 15 Manuscript for metal recovery draft EJ SPRIDNING