MELAMINLANGAN QOG‘OZ CHIQINDILARINING TERMIK TAHLILI VA USHBU XOMASHYODAN UGLERODLI ADSORBENTLAR OLISH IMKONIYATLARI.

Xamzaxo‘jayev Asrorxo‘ja Axrorxo‘ja o‘g‘li
Qo‘qon davlat universiteti tayanch doktoranti
Email: xamzaxujayevasrorxuja@gmail.com
Payg‘amova Mahliyo Ilxomjonovna
Qo‘qon davlat universiteti tayanch doktoranti
Email: mpaygamova87@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada melamin formaldegid smolasi bilan ishlov berilgan qog‘oz chiqindilarining termik xususiyatlari TG–DTA (termogravimetrik va differensial termik analiz) usullari asosida o‘rganildi. TG–DTA tahlillari natijalari asosida namuna tarkibidagi asosiy parchalanish jarayonlari 250–400 °C oralig‘ida yuz berishi aniqlandi. 600–700 °C oralig‘ida azotli funksional guruhlarning ma’lum darajada saqlanib qolishi kuzatildi, bu esa tayyorlanadigan uglerodli materiallarning adsorbsion va elektrokimyoviy faolligini oshirish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari sanoat chiqindilarini qayta ishlash, atrof-muhitni muhofaza qilish va energiyatejamkor adsorbentlar yaratishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: melamin formaldegid smolasi, qog‘oz chiqindilari, termik tahlil, TG–DTA, karbonizatsiya, azotli funksional guruhlar, uglerodli adsorbent, piroliz, ekologik xavfsizlik.

Аннотация. В данной статье исследованы термические свойства бумажных отходов, обработанных меламиноформальдегидной смолой, с использованием методов TG–DTA (термогравиметрического и дифференциального термического анализа). На основании результатов TG–DTA-анализа установлено, что основные процессы термического разложения образца происходят в интервале температур 250–400 °C. В диапазоне 600–700 °C наблюдается частичное сохранение азотсодержащих функциональных групп, что способствует повышению адсорбционной и электрохимической активности получаемых углеродных материалов. Результаты исследования представляют практическую значимость для переработки промышленных отходов, охраны окружающей среды и разработки энергоэффективных адсорбентов.

Ключевые слова: меламиноформальдегидная смола, бумажные отходы, термический анализ, TG–DTA, карбонизация, азотсодержащие функциональные группы, углеродный адсорбент, пиролиз, экологическая безопасность

ISSN 3030-3907

Abstract. This study investigates the thermal properties of paper waste treated with melamine-formaldehyde resin using TG–DTA methods (thermogravimetric and differential thermal analysis). Based on the TG–DTA analysis results, the main thermal decomposition processes of the sample occur within the temperature range of 250–400 °C. In the range of 600–700 °C, partial preservation of nitrogen-containing functional groups is observed, which contributes to the enhancement of the adsorption and electrochemical activity of the resulting carbon materials. The findings of this research are of practical significance for industrial waste recycling, environmental protection, and the development of energy-efficient adsorbents.

Keywords: melamine-formaldehyde resin, paper waste, thermal analysis, TG–DTA, carbonization, nitrogen-containing functional groups, carbon adsorbent, pyrolysis, environmental safety.

Kirish.

Atrof-muhit muhofazasi va chiqindilarni qayta ishlash masalalari hozirgi kunda dolzarb ilmiy-amaliy tadqiqotlarning markaziy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, biologik parchalanmaydigan va toksik moddalarga boy bo‘lgan melamin formaldegid qatronlari bilan ishlov berilgan qog‘oz chiqindilari ekologik xavf darajasining yuqoriligi bilan ajralib turadi [1]. Bunday chiqindilar yog‘ochga asoslangan plitalar (MDF, HDF), mebel panellari, va qurilishda ishlatiladigan laminat qoplamalari ishlab chiqarish jarayonlarida ma’lum miqorda hosil bo‘ladi [2].

Melamin formaldegid qatronlari yuqori issiqlikka barqarorligi, kimyoviy inertligi va yuqori azot tarkibiga ega bo‘lishi bilan ajralib turadi. Ularni fizik va kimyoviy usullarlar yordamida qayta ishlash orqali azot bilan boyitilgan uglerodli materiallar olish imkonini beradi [3,4]. Ushbu materiallar elektrokimyoviy superkondensatorlar, katalizatorlar va adsorbentlar sifatida sanoat tarmoqlarida keng miqyosida qo‘llanilishi mumkin. Adsorbent sifatida melaminlangan chiqindilardan olingan ko‘mirlar yuqori sirt yuzasi, g‘ovak hajmi va sirt faol funksional guruhlarga ega bo‘lishi ularning og‘ir metall ionlari, organik ifloslantiruvchilar va bo‘yoqlarga nisbatan adsorbsion faolligini oshiradi [5,6].

Qayta ishlangan melaminlangan qog‘oz chiqindilari asosida olingan uglerodli materiallari, ayniqsa, azot kiritilgan uglerodli adsorbentlari sifatida katta ahamiyat kasb etadi. Hosil bo‘lgan materialning sirt yuzasida azotli guruhlar (–NH_2, –C=N, –N–(C)) sirtning qutblanish darajasini oshirib, ionlar bilan kuchli elektrostatik va koordinatsion o‘zaro ta’sirlarni ta’minlaydi [7]. Bu esa chiqindi suvlarni tozalash, sanoat oqava suvlarini zararsizlantirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlashda samarali yechim sifatida baholanishi mumkin.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

ISSN 3030-3907

Ikkilamchi xomashyolardan uglerodli adsorbentlar olishda ularning termik barqarorligi va piroliz jarayonida dastlabki mahsulot tarkibida bo‘ladigan kimyoviy reaksiyalarining xarakterini aniqlash muhim omil hisoblanadi. Shu bois, termogravimetrik (TG) va differensial termik tahlil (DTA) metodlari bunday materiallar ustida olib borilayotgan tadqiqotlarda keng qo‘llanilmoqda. TG tahlili materialning harorat oshishi bilan massasi qanday o‘zgarishini ko‘rsatsa, DTA esa haroratga nisbatan issiqlik yutilishi yoki ajralishi jarayonlarini aniqlaydi. Ushbu metodlar yordamida ko‘mirlanish jarayonida yuz beruvchi kompleks termokimyoviy o‘zgarishlar fazoviy va vaqt bo‘yicha o‘rganiladi, bu esa piroliz mexanizmini chuqur tushunishga imkon yaratadi. Bunday yondashuv bir vaqtning o‘zida ikki xil termik reaksiyani (massaviy va energiya o‘zgarishini) baholash imkonini beradi.

Melaminlangan qog‘oz chiqindilarning asosiy komponentlari – melamin formaldegid smolasi, sellyuloza va fenol birikmalar bo‘lib, ular yuqori azot miqdoriga ega.

Olib borilgan izlanishlarda melamin formaldegid qatroni chiqindilarining TG–DTA tahlili o‘tkazilgan. Tadqiqot natijalari ko‘ra namunada uchta asosiy parchalanish bosqichi aniqlangan bo‘lib, asosiy massa yo‘qotish 200–400 °C oralig‘ida yuz bergani qayd etilgan. Bu esa ko‘mirlanish jarayoni uchun eng muhim harorat oralig‘i ekanligini ko‘rsatadi. Bundan materialga kimyoviy ishlov berishdan oldin aynan shu haroratlarda piroliz qilish maqsadga muvofiq ekanligini ko‘rsatadi [8].

Bundan tashqari, bir guruh boshqa hizlanuvchilar o‘z ishlarida melamin-formaldegidli chiqindilarning piroliz jarayoni hususiyatlarini TG va DTA usullari yordamida o‘rgangan bo‘lib, 400 °C dan yuqori haroratda azot funksional guruhlarining saqlanishi mumkinligini aniqlashgan. Bu esa adsorbent materiallarda qo‘shimcha adsorbsion markazlar hosil bo‘lishi ehtimolini oshiradi [9].

Shuningdek, olib borilgan yana bir tadqiqot ishlarida TG–DTA tahlil natijalariga asoslanib, azotli uglerodli materiallarning elektrokimyoviy va adsorbsiyaviy faolligini tadqiq etilgan. Ularning ishida ko‘mirlanish uchun optimal harorat sifatida 600 °C belgilangan bo‘lib, bu haroratda melamin formaldegid strukturasining qoldiq azot markazlari bilan birga saqlanib qolishi kuzatilgan [10] TG–DTA tahlillari shuningdek chiqindi materiallar asosida tayyorlangan uglerodli materiallarning energetik tejamkorligini, ularning strukturaviy o‘zgarishlar kinetikasini va adsorbsiya nuqtai nazaridan foydali funksional guruhlar tarkibini aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi [11].

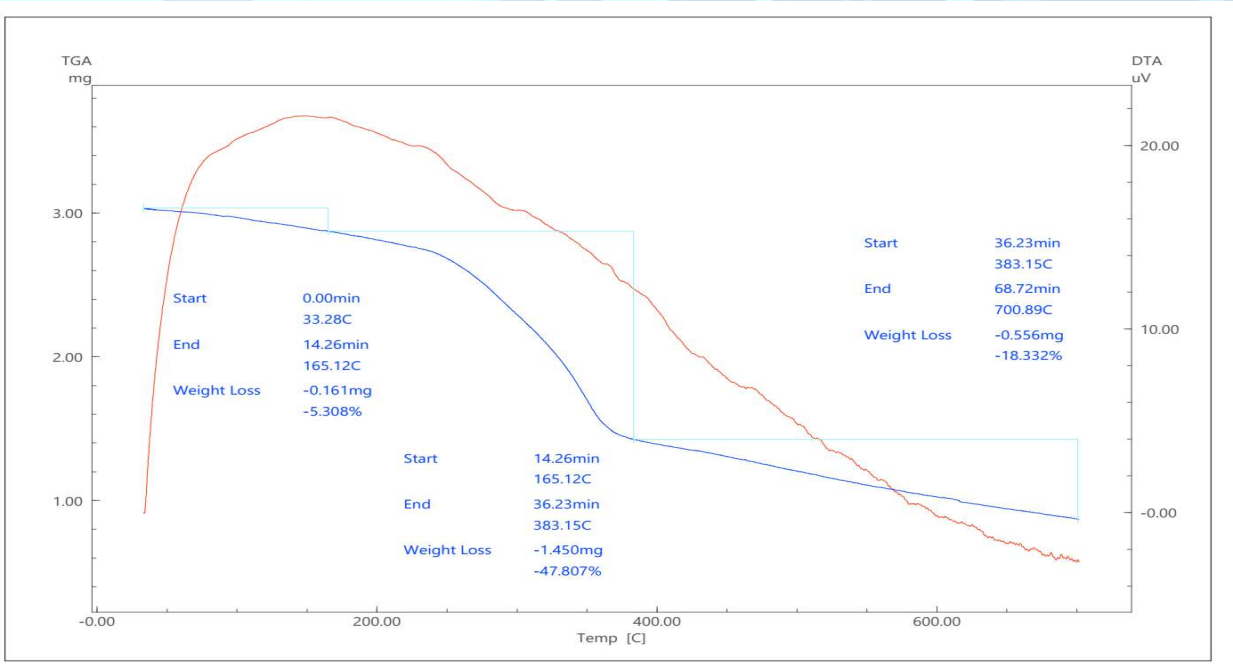
TADQIQOT METODOLOGIYASI.

ISSN 3030-3907

Termik tahlil–“KHATDECOR” MCHJ da ishlab chiqariladigan melaminlangan qog‘oz chiqindilari termik turg‘unligi differentsial-termik va termogravimetrik usullarda Fransiyaning LABSYS EVO STA qurilmasida, tahlil qilindi. LABSYS EVO STA (bir vaqtning o‘zida issiqlik tahlili) TGA va shu bilan birga TGA-DTA, TGA-DSC analiz usullari tahlili, foydalanish uchun qulay, ishonchli va yuqori samarali termik tahlil platformasidir. Derivatografda 10 grad/min tezlikda, T-900, TG-200, DTA – 1/10, DTG – 1/10 galvanometr sezgirligida, derivatogrammani fotoqog‘ozga avtomatik yozib olish yo‘li bilan o‘rganildi. 35-46 mg massadagi o‘rganiladigan pigmentlar namunasi diametri 10 mm bo‘lgan qorqoqsiz 1650 °C haroratga chidamli alyuminiy oksidi va platinadan tayyorgangan tigelga joylashtirildi. Qizdirishning dinamik rejimi atmosfera sharoitida o‘tkazildi. Tahlil davomida namuna 33 – 700 °C haroratgacha termik tahlil qilindi. Bundan tashqari namunaning endotermik va ekzotermik nuqtalari isbotlab berildi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Melaminlangan qog‘oz chiqindilarining termik xususiyatlari TG–DTA (termogravimetrik analiz va differensial termik analiz) usullari yordamida o‘rganildi. Tahlil 25°C dan 800°C gacha bo‘lgan harorat oralig‘ida, 10°C/min tezlikda, inert azot atmosferasida olib borildi. Termogravimetrik tahlil (TG) va differensial termik tahlil (DTA) namunadagi harorat oshishi bilan yuz beruvchi massa o‘zgarishlari hamda endotermik/ekzotermik reaksiyalarni aniqlashda muhim ahamiyatga ega. 1-rasmda melaminlangan qog‘oz chiqindilaridan olingan namunaga oid TG (ko‘k chiziq) va DTA (qizil chiziq) egri chiziqlari keltirilgan.



1-rasm. Melaminlangan qog‘oz chiqindilarining termik tahlili.

ISSN 3030-3907

Birinchi termik bosqich 33,28 °C da boshlanib, 165,12 °C da yakunlangan bo‘lib, umumiy massa yo‘qotish 0,161 mg ni tashkil etdi, massa yo‘qotish boshlang‘ich massasiga nisbatan 5,31% kamaydi va jarayonlar vaqti 14,26 min. tashkil etdi. Ushbu bosqich asosan namunaga fizikaviy adsorbsiyalangan namlik va past molekulali uchuvchan organic moddalar parchalanishi bilan izohlanadi. DTA chizig‘ida bu jarayon endotermik hodisa sifatida qayd etilgan.

Ikkinchi bosqichda namunada sezilarli darajada massa yo‘qotish kuzatildi. Bu bosqich 165,12 °C da boshlanib, 383,15 °C oralig‘ida da 21,97 min davom etdi. Bu oraliqda 1,450 mg massa yo‘qotilgan bo‘lib, bu umumiy yo‘qotishning 47,81% ini tashkil etdi. Ushbu bosqichda melamin formaldegid qatronining asosiy pirolitik parchalanishi sodir bo‘ladi. DTA egri chizig‘ida ekzotermik reaksiyalar kuzatildi, bu esa molekulyar bog‘lanishlarning uzilishi va yangi uglerodli tuzilmalar hosil bo‘lishi bilan bog‘liq. Ushbu harorat diapazoni karbonlashtirish uchun eng muhim interval hisoblanadi.

Uchinchi bosqich 383,15 °C da boshlanib, 700,89 °C da tugagan. Bu bosqichda 0,556 mg (18,33%) miqdorida massa yo‘qotish qayd etilgan. Mazkur bosqichda termik barqaror aromatik tuzilmalar va qolgan melamin strukturalari asta-sekin parchalanadi. Shuningdek, bu bosqichda azotli funksional guruhlarning ma’lum darajada saqlanib qolishi ehtimoli mavjud bo‘lib, ular tayyorlanadigan uglerodli materiallarda adsorbsiya nuqtai nazaridan faol markazlar sifatida xizmat qilishi mumkin.

TG–DTA natijalari melaminli qog‘oz chiqindilarida ko‘p bosqichli termik parchalanish sodir bo‘lishini ko‘rsatmoqda. TG–DTA tahlillari asosida melaminlangan qog‘oz chiqindilarining ko‘mirlanish jarayoni uchun optimal harorat 400°C atrofida ekanligi aniqlandi. Aynan shu haroratda maksimal massa yo‘qotish va struktura o‘zgarishlari sodir bo‘ladi. 600–700°C oralig‘ida esa azotli guruhlar qoldiqlarining saqlanib qolishi kuzatiladi, bu esa elektrokimyoviy va adsorbsion jihatdan faollikni oshirish imkonini beradi. Ushbu xususiyatlar chiqindi asosida olinadigan uglerodli adsorbentlar ishlab chiqarishda melaminli materiallarning istiqbolli xomashyo ekanligini tasdiqlaydi.

TG–DTA tahlili, melaminlangan chiqindilar asosida uglerod adsorbentlari sintezida harorat va kinetik parametrlarning aniq tanlanishini ta’minlaydi. Ayniqsa, 200–400 °C oralig‘idagi kuchli ekzotermik reaksiyalar bu materialning pirolizga juda sezgir ekanini ko‘rsatadi. Bu shuningdek, karbonizatsiya uchun minimal energiya sarfi bilan yuqori samaradorlikka erishish imkonini beradi.

DTA ma’lumotlari esa, uglerodli yuqori sorbsion g‘ovaklik strukturasining shakllanish bosqichida yuzaga keladigan energetik barqarorlashuv jarayonlarini ifodalaydi. Bu xususiyatlar yakuniy mahsulotning adsorbsiyalovchi xossalarini,

ISSN 3030-3907

ya’ni sirt funksional guruhlarining faolligi, kislotali/asosiy markazlar soni, metall ionlar bilan kompleks hosil qilish qobiliyati kabi parametrlarni belgilab beradi.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Ushbu tadqiqotda melamin formaldegid qatronlari bilan ishlov berilgan qog‘oz chiqindilarining termik xususiyatlari TG–DTA usullari yordamida o‘rganish natijalari asosida karbonizatsiya uchun optimal haroratlar aniqlandi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, namunada uchta asosiy termik parchalanish bosqichi mavjud bo‘lib, ulardan asosiy moddalar parchalanish va qayta uglerodli strukturalarni hosil bo‘lishi 250–400°C harorat oralig‘ida sodir bo‘ladi.

TG–DTA tahlil natijalari asosida melaminlangan chiqindilar tarkibida yuqori azotli funksional guruhlarning mavjudligi va ularning 600–700°C gacha bo‘lgan haroratda saqlanib qolish imkoniyati aniqlandi. Bu holat sintez qilinadigan uglerodli materiallarning sorbsion va elektrokimyoviy faolligini oshirishda muhim omil bo‘lib xizmat qiladi. Shuningdek, TG–DTA egri chiziqlarida qayd etilgan endotermik va ekzotermik reaksiyalar karbonizatsiya jarayonining bosqichma-bosqich borishini va energiyaga bo‘lgan ehtiyoj darajasini aniqlash imkonini berdi. Tadqiqot natijalari chiqindi materiallardan yuqori funksional xossalarga ega bo‘lgan azot bilan boyitilgan uglerodli adsorbentlar olish imkonini ilmiy jihatdan asoslab beradi. Ayniqsa, ekologik xavfi yuqori bo‘lgan melamin formaldegidli chiqindilarni qayta ishlash orqali ularni yuqori sorbsion uglerodli materialga aylantirish atrof-muhit muhofazasi va chiqindilarni resursga aylantirish borasidagi muhim yondashuv hisoblanadi.

Shu bois, melaminlangan qog‘oz chiqindilarining termik tahliliga asoslangan ushbu tadqiqot natijalari ularni sanoat miqyosida qayta ishlash, adsorbent materiallar olish texnologiyalarini optimallashtirish va ekologik xavfsiz texnologiyalarni joriy etishda amaliy ahamiyatga ega bo‘lishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI.

1. Gao, Y., et al. (2019). Recycling of melamine-formaldehyde resin-based wastes: Opportunities and challenges. Journal of Cleaner Production, 235, 862–873. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.011

2. Jin, H., et al. (2021). Waste laminates as precursor for nitrogen-doped activated carbons for environmental applications. Waste Management, 119, 125–134. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.013

3. Tang, J., et al. (2012). Synthesis of nitrogen-doped porous carbon from melamine formaldehyde resin for CO_2 capture. Carbon, 50(12), 4563–4570. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.05.003

ISSN 3030-3907

4. Zhang, L., et al. (2017). Activated carbon derived from melamine-based polymers for high-performance supercapacitors. Electrochimica Acta, 236, 219–227. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.03.170
5. Sun, Y., et al. (2020). Preparation of N-doped porous carbon from melamine for dye adsorption and wastewater treatment. Environmental Research, 182, 109028. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109028
6. Zhou, Y., et al. (2018). Facile synthesis of melamine-derived activated carbon for efficient removal of heavy metals from water. Journal of Environmental Chemical Engineering, 6(2), 2385–2393. https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.030
7. Liu, C., et al. (2021). Nitrogen-functionalized biochars from melamine for efficient metal ion adsorption. Chemical Engineering Journal, 406, 127098. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127098
8. Moore, W. & Donnelly, E.. (2007). Thermal degradation of melamine-formaldehyde resins. Journal of Applied Chemistry. 13. 537-543. https://doi.org/10.1002/jctb.5010131202
9. Zhuo, Z.; Li, Y.; Liu, P.; Sun, T.; Lei, T. Study on Nitrogen Migration during Co-Pyrolysis of Melamine-Impregnated Paper Waste and Camellia Oleifera Shell. Sustainability 2024, 16, 1197. https://doi.org/10.3390/su16031197
10. Ouyang L, Xiao J, Jiang H, Yuan S. Nitrogen-Doped Porous Carbon Materials Derived from Graphene Oxide/Melamine Resin Composites for CO2 Adsorption. Molecules. 2021; 26(17):5293. https://doi.org/10.3390/molecules26175293
11. Vyazovkin, S., Burnham, A. K., Criado, J. M., Pérez-Maqueda, L. A., Popescu, C., & Sbirrazzuoli, N. (2011). ICTAC Kinetics Committee recommendations for performing kinetic computations on thermal analysis data. Thermochimica Acta, 520, 1–19. https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.03.034

ISSN 3030-3907