INNOVATIVE PUBLICATION
Journal of Effective Learning and Sustainable Innovation
Vol.4 №5 (2026). MAY
innovativepublication.uz

Yuqori haroratli termoplastlar: xususiyatlari va qo'llanilishi sohalari, istiqbollari

Maxammadiyeva Mohinur Nazaraliyevna [1]
Usanova Farzona Beknazar qizi [2]
mohinurmaxammadiyeva47@gmail.com[1]
farzonausanova911@gmail.com[2]
la*Termiz davlat universiteti talabalari*
ORCID: 0009-0005-8683-6585[2]

Annotatsiya: Yuqori haroratli termopstlar (YHTP) zamonaviy materialshunoslikning eng muhim va tez rivojlanayotgan yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu polimerlar yuqori harorat, mexanik yuklama, agressiv kimyoviy muhit hamda radiatsiya ta’siriga nisbatan yuqori barqarorligi bilan ajralib turadi. Mazkur ilmiy maqolada yuqori haroratli termoplastlarning kimyoviy tuzilishi, fizik-mexanik xossalari, issiqlikka chidamliligi, qayta ishlanish imkoniyatlari, sanoat va texnologiyadagi qo‘llanilishi, shuningdek, ularning rivojlanish istiqbollari ilmiy asosda tahlil qilinadi.
Kalit so‘zlar: yuqori haroratli termoplastlar, polimerlar, issiqlikka chidamlilik, PEEK, PPS, PI, aerokosmik materiallar, muhandislik plastmassalari.

Kirish: Zamonaviy texnologik taraqqiyot sharoitida yuqori harorat, bosim va agressiv muhitlarda ishlay oladigan materiallarga bo‘lgan ehtiyoj tobora ortib bormoqda. Metall va keramik materiallar bunday sharoitlarda yuqori mustahkamlikka ega bo‘lsa-da, ularning og‘irligi, korroziyaga moyilligi va qayta ishlash murakkabligi muayyan cheklovlarni yuzaga keltiradi. Shu sababli yuqori haroratli termoplastlar yengil vazni, yuqori mustahkamligi, korroziyaga chidamliligi va qayta ishlanish imkoniyati tufayli muqobil material sifatida keng tadqiq etilmoqda. Yuqori haroratli termoplastlar aerokosmik texnika, avtomobilsozlik, energetika, elektrotexnika, kimyo sanoati va tibbiyot sohalarida muhim konstruksion material sifatida e’tirof etilgan.

1.1. Yuqori haroratli termoplastlarning tasnifi va molekulyar tuzilishi

Yuqori haroratli termoplastlarning yuqori issiqlikka chidamliligi ularning molekulyar tuzilish xususiyatlari bilan bevosita bog‘liq. Ushbu polimerlar asosan aromatik va geterosiklik fragmentlardan tashkil topgan bo‘lib, molekulyar zanjirlararo o‘zaro ta’sir kuchlari yuqori qiymatga ega.

Yuqori haroratli termoplastlar quyidagi asosiy guruhlarga bo‘linadi:

1. Poliefireterketonlar (PEEK, PEKK) – yuqori kristallanish darajasi va a’lo mexanik xossalarga ega;
2. Polifenilensulfidlar (PPS) – yuqori kimyoviy va termik barqarorligi bilan ajralib turadi;
3. Polieterimidlar (PEI) – yuqori shisha o‘tish harorati va dielektrik xossalarga ega;
4. Poliamidimidlar (PAI) – yuqori mexanik mustahkamlik va aşınishga chidamlilik ko‘rsatkichlari bilan tavsiflanadi;
5. Polimidlar (PI) – ekstremal harorat sharoitlarida ishlash imkoniyatiga ega bo‘lgan polimerlar.

1. Poliefireterketonlar (PEEK, PEKK)

Poliefireterketonlar (PEEK – Polyether ether ketone, PEKK – Polyether ketone ketone) yuqori samarali yarim kristall termoplastlar sinfiga kiradi va zamonaviy muhandislik materiallari orasida alohida o‘rin egallaydi. Ushbu polimerlarning molekulyar tuzilishi aromatik halqalar, efir (-O-) va keton (>C=O) guruhlaridan tashkil topgan bo‘lib, bu holat ularning yuqori termik va mexanik barqarorligini ta’minlaydi. PEEK va PEKK polimerlarining kristallanish darajasi 30–40 % atrofida bo‘lib, bu ularga yuqori elastiklik moduli, tortilish va egilish mustahkamligini beradi.

PEEK materialining shisha o‘tish harorati taxminan 143 °C, erish harorati esa 343 °C ni tashkil etadi, bu esa uni 250 °C gacha bo‘lgan doimiy ish haroratida ishlatish imkonini beradi. PEKK esa izomerik tuzilishi tufayli kristallanish tezligini boshqarish imkoniyatiga ega bo‘lib, yuqori issiqlik barqarorligi va yaxshilangan mexanik xossalar bilan ajralib turadi. Ushbu polimerlar kimyoviy inertligi, past suv yutishi va aşınishga yuqori chidamliligi sababli aerokosmik texnika, tibbiy implantlar, avtomobil va neft-gaz sanoatida keng qo‘llaniladi.

2. Polifenilensulfidlar (PPS)

Polifenilensulfidlar (PPS) aromatik halqalar va sulfid (-S-) bog‘lari asosida tuzilgan yuqori haroratli yarim kristall termoplastlardir. Ushbu polimerlarning asosiy xususiyati ularning favqulodda yuqori kimyoviy va termik barqarorligidir. PPS materiallari ko‘plab kislotalar, ishqorlar, tuz eritmalari va organik erituvchilarga deyarli ta’sirlanmaydi, bu esa ularni agressiv muhitda ishlatish uchun juda qulay qiladi.

PPS ning erish harorati taxminan 280–290 °C bo‘lib, u 200–220 °C haroratda uzoq muddat ekspluatatsiya qilinishi mumkin. Ushbu polimerlar past suv yutish xususiyatiga ega bo‘lib, yuqori o‘lcham barqarorligini namoyon etadi. Bundan tashqari, PPS elektr izolyatsion xossalari bilan ham ajralib turadi. Shu sababli u avtomobilsozlikda, elektrotexnika va elektronika sanoatida, shuningdek, kimyo apparatlari va quvur tizimlari ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi.

3. Polieterimidlar (PEI)

Polieterimidlar (PEI) amorf tuzilishga ega bo‘lgan yuqori haroratli termoplastlar bo‘lib, ularning molekulyar zanjiri aromatik halqalar, efir va imid guruhlaridan tashkil topgan. PEI polimerlarining asosiy afzalligi ularning juda yuqori shisha o‘tish haroratiga (Tg ≈ 215–220 °C) ega ekanligidir. Bu xususiyat ularni yuqori haroratli sharoitlarda mexanik barqaror material sifatida ishlatish imkonini beradi.

PEI materiallari yuqori dielektrik mustahkamlikka, past dielektrik yo‘qotishlarga va a’lo elektr izolyatsion xossalarga ega. Shu bilan birga, ular mexanik mustahkamlik va zarbaga chidamlilik bo‘yicha ham yuqori ko‘rsatkichlarni namoyon etadi. Polieterimidlar aviatsiya sanoati, elektrotexnika, tibbiy asboblar va yuqori aniqlik talab qilinadigan mexanik qismlar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi.

4. Poliamidimidlar (PAI)

Poliamidimidlar (PAI) yuqori haroratli termoplastlar orasida eng yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo‘lgan materiallar qatoriga kiradi. Ularning molekulyar tuzilishida amid va imid funksional guruhlarining mavjudligi kuchli zanjirlararo o‘zaro ta’sirlarni yuzaga keltiradi, bu esa yuqori aşınishga chidamlilik va mexanik barqarorlikni ta’minlaydi.

PAI materiallari 250–275 °C gacha bo‘lgan haroratlarda o‘z xossalarini saqlab qoladi, yuqori bosim va ishqalanish sharoitida samarali ishlaydi. Ular past ishqalanish koeffitsienti va yuqori charchoqqa chidamliligi bilan ajralib turadi. Shu sababli poliamidimidlar podshipniklar, muhrlovchi elementlar, tishli g‘ildiraklar va mexanik uzellar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi.

5. Polimidlar (PI)

Polimidlar (PI) yuqori haroratli polimerlar orasida eng ekstremal sharoitlarda ishlashga mo‘ljallangan materiallar hisoblanadi. Ularning molekulyar tuzilishida imid halqalarining mavjudligi ularga juda yuqori termik barqarorlik beradi. Ko‘plab polimidlar 300–400 °C va undan yuqori haroratlarda ham mexanik va elektr xossalarini saqlab qoladi.

Polimidlar yuqori radiatsion barqarorlikka, past gaz o‘tkazuvchanlikka va a’lo dielektrik xossalarga ega. Ushbu materiallar kosmik texnika, mikroelektronika, izolyatsion plyonkalar, moslashuvchan bosma platalar va yuqori haroratli izolyatorlar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi. Polimidlar ko‘pincha plyonka, tolalar yoki kompozit materiallar shaklida qo‘llaniladi.

Termik va fizik-mexanik xossalari: Yuqori haroratli termoplastlarning eng muhim afzalliklaridan biri ularning yuqori issiqlikka chidamliligidir. Ushbu materiallarning shisha o‘tish harorati (Tg) va erish harorati (Tm) an’anaviy termoplastlarga nisbatan

ancha yuqori bo‘lib, ular 200–350 °C harorat oralig‘ida uzoq muddat davomida ishlashi mumkin. Yuqori harorat sharoitida ham ularning elastiklik moduli va mexanik mustahkamligi sezilarli darajada pasaymaydi.

Mexanik nuqtayi nazardan, yuqori haroratli termoplastlar yuqori tortilish va egilish mustahkamligi, zarbaga chidamlilik hamda aşınishga qarshilik ko‘rsatkichlari bilan ajralib turadi. Ushbu materiallarni uglerod, shisha yoki bazalt tolalari bilan mustahkamlash orqali yuqori samarali kompozit materiallar olish mumkin.

Kimyoviy va elektr xossalari: Yuqori haroratli termoplastlar kislotalar, ishqorlar, yoqilg‘i-moylash materiallari va ko‘plab organik erituvchilarga nisbatan yuqori kimyoviy barqarorlikka ega. Bundan tashqari, ayrim yuqori haroratli termoplastlar ionlashtiruvchi nurlanish ta’siriga ham chidamli bo‘lib, yadro energetikasi va kosmik texnika sohalarida qo‘llash imkonini beradi. Elektr xossalari nuqtayi nazaridan esa, ushbu materiallar yuqori dielektrik mustahkamlik va past dielektrik yo‘qotish ko‘rsatkichlariga ega.

Fizik-kimyoviy xossalari: Yuqori haroratli termoplastlarning fizik-kimyoviy xossalari ularning molekulyar tuzilishi, kristallanish darajasi hamda zanjirlararo o‘zaro ta’sir kuchlari bilan chambarchas bog‘liqdir. Ushbu materiallar yuqori termodinamik barqarorlikka ega bo‘lib, yuqori harorat sharoitida oksidlanish va termik parchalanish jarayonlariga nisbatan sezilarli darajada chidamli hisoblanadi. Termogravimetrik tahlil (TGA) natijalariga ko‘ra, ko‘plab yuqori haroratli termoplastlar 450–600 °C gacha bo‘lgan haroratlarda sezilarli massaviy yo‘qotishsiz saqlanib qoladi.

Kimyoviy jihatdan ushbu polimerlar kislotalar, ishqorlar, tuz eritmalari, yoqilg‘i-moylash materiallari hamda ko‘plab organik erituvchilarga nisbatan yuqori inertlik ko‘rsatadi. Ayniqsa, PEEK va PPS kabi materiallar agressiv kimyoviy muhitda uzoq muddatli ekspluatatsiya uchun mosligi bilan ajralib turadi. Bundan tashqari, yuqori haroratli termoplastlar past suv yutish ko‘rsatkichiga ega bo‘lib, bu ularning o‘lcham barqarorligini ta’minlaydi.

Elektr-fizik xossalari nuqtayi nazaridan yuqori haroratli termoplastlar yuqori dielektrik mustahkamlik, past dielektrik yo‘qotishlar va elektr izolyatsion barqarorlik bilan tavsiflanadi. Ushbu xususiyatlar ularni yuqori haroratli elektrotexnika va elektronika qurilmalarida qo‘llash imkonini beradi.

Tayyorlanish va sintez jarayonlari: Yuqori haroratli termoplastlarni tayyorlash murakkab kimyoviy sintez jarayonlarini talab etadi. Asosiy sintez usullari bosqichma-bosqich polikondensatsiya va polimerlanish reaksiyalariga asoslanadi. Masalan, poliefireterketonlar aromatik diol va dihalogenidlar o‘rtasidagi nukleofil almashinish reaksiyasi orqali olinadi. Ushbu jarayon yuqori harorat va inert muhitda olib boriladi.

Polifenilensulfidlar (PPS) esa natriy sulfidi va aromatik dihalogen birikmalar o‘rtasidagi kondensatsion reaksiya natijasida sintez qilinadi. Polimidlar va poliamidimidlar esa diamin va dianhidridlar o‘rtasidagi reaksiyalar orqali olinib, keyinchalik yuqori haroratda imidlanish jarayonidan o‘tkaziladi.

Sintezdan so‘ng polimerlar granula holiga keltirilib, quritish, stabilizatsiya va modifikatsiya bosqichlaridan o‘tkaziladi. Mexanik va issiqlik xossalarini yaxshilash maqsadida ularga tolali mustahkamlovchilar, antioksidantlar va stabilizatorlar qo‘shiladi.

Qayta ishlash texnologiyalari: Yuqori haroratli termoplastlarni qayta ishlash yuqori harorat va maxsus texnologik uskunalarni talab qiladi. Inyeksion quyish, ekstruziya, presslash va avtoklav texnologiyalari asosiy qayta ishlash usullari hisoblanadi. So‘nggi yillarda esa yuqori haroratli termoplastlarni 3D-printing texnologiyalarida qo‘llash bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar kengaymoqda.

Qo‘llanilishi sohalari: Yuqori haroratli termoplastlar aerokosmik sanoatda samolyot va kosmik apparatlarning yuk ko‘taruvchi va yordamchi konstruksiyalarida, avtomobilsozlikda dvigatel va elektr tizimlari elementlarida, elektrotexnika va elektronikada yuqori kuchlanishli izolyatsiya materiallari sifatida keng qo‘llaniladi. Tibbiyot sohasida esa PEEK asosidagi biomateriallar implantlar va protezlar tayyorlashda muhim ahamiyatga ega.

Rivojlanish istiqbollari: Kelajakda yuqori haroratli termoplastlar asosida nanokompozitlar yaratish, ekologik barqaror va qayta ishlanadigan polimer tizimlarini ishlab chiqish hamda ekstremal sharoitlar uchun mo‘ljallangan yangi polimer sinflarini yaratish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar jadal rivojlanishi kutilmoqda.

Xulosa

Mazkur ilmiy maqolada yuqori haroratli termoplastlar — poliefireterketonlar (PEEK, PEKK), polifenilensulfidlar (PPS), polieterimidlar (PEI), poliamidimidlar (PAI) va polimidlarning (PI) strukturaviy xususiyatlari, fizik-kimyoviy va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari hamda sanoatdagi amaliy qo‘llanilishi tizimli ravishda tahlil qilindi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, ushbu polimerlarning molekulyar tuzilishida aromatik va geterosiklik fragmentlarning mavjudligi ularning yuqori termik, mexanik va kimyoviy barqarorligini ta’minlovchi asosiy omil hisoblanadi.

Yuqori haroratli termoplastlar 200–350 °C va undan yuqori harorat sharoitida uzoq muddat ishlash qobiliyatiga ega bo‘lib, yuqori mexanik mustahkamlik, past suv yutish, aşınishga chidamlilik hamda a’lo dielektrik xossalar bilan tavsiflanadi. Ushbu afzalliklar ularni aerokosmik texnika, avtomobilsozlik, elektrotexnika, kimyo sanoati, energetika va tibbiyot sohalarida metall va an’anaviy polimer materiallarga samarali

muqobil sifatida qo‘llash imkonini bermoqda.

Xulosa qilib aytganda, yuqori haroratli termoplastlar asosida yangi avlod kompozit materiallarini yaratish, ularning texnologik qayta ishlanishini takomillashtirish hamda ekologik barqaror polimer tizimlarini ishlab chiqish zamonaviy materialshunoslikning ustuvor ilmiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Kelajakda ushbu materiallarning funksional imkoniyatlari yanada kengayib, ularning yuqori texnologiyali sanoat tarmoqlaridagi ahamiyati sezilarli darajada ortishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yhati

1) Mark, J. E. Polymer Data Handbook. Oxford University Press, Oxford, 2009.
2) Brydson, J. A. Plastics Materials. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2016.
3) Harper, C. A. High Performance Polymers and Engineering Plastics. McGraw-Hill, New York, 2004.
4) Biron, M. Thermoplastics and Thermoplastic Composites. Elsevier, Amsterdam, 2018.
5) Pascault, J. P., Williams, R. J. J. Polymer Synthesis and Processing. Wiley-VCH, Weinheim, 2010.
6) ·Gupta, V. B., Kothari, V. K. Manufactured Fibre Technology. Springer, Dordrecht, 1997.
7) Fried, J. R. Polymer Science and Technology. Prentice Hall, New Jersey, 2014.
8) Callister, W. D., Rethwisch, D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Wiley, New York, 2020.
9) ·Maier, C., Calafut, T. Polypropylene: The Definitive User’s Guide and Databook. William Andrew Publishing, 1998.