

ЮПҚА ҚАТЛАМЛИ ПОЛИМЕР МАТЕРИАЛЛАРНИНГ ДЕФОРМАЦИОН ВА АНИЗОТРОПИК ХОССАЛАРИ

Махмудова Д.М.

Ходжаева Н.К.

Тошкент вилояти Чирчиқ давлат педагогика институти

Матякубов Б.М.

Ўзбекистон Миллий университети мустақил изланувчиси

АННОТАЦИЯ

Ушбу ишда юпқа қатламли ламелляр ва фибрилляр тузилишга эга полиэтилен пленкаси ва ипк фиброини пилласининг деформацион ўзгаришларини оптик анизотропиясига боғланиш қонуниятлари тадқиқот қилинган. Тадқиқот ўтказиш учун махсус “Механооптик” қурилма йилган ва амалий қўлланган. Тадқиқотлар юпқа қатламли материалларнинг таркиби ва тузилишига боғлиқ тарзда турли деформацион ва анизотропик хоссаларни намоён қилиши кўрсатиб берган. Деформацион узайиш ва ориентация факторини, оптик анизотропияни ташқи кучланиш таъсирига боғланиш графиклари тузилган ҳамда физик ҳолатларни ўзгаришининг критик параметрлари аниқланган.

Калит сўзлар. Полиэтилен, фиброин, пленка, юпқа қатлам, деформация, оптик анизотропия.

DEFORMATION AND ANISOTROPIC PROPERTIES OF THICK LAYER POLYMER MATERIALS

Makhmudova D.M.

Khodjaeva N.K.

Chirchik State Pedagogical Institute of Tashkent region

Matyakubov B.M.

Independent researcher at the National University of Uzbekistan

ABSTRACT

In this study, the laws governing the relation of deformation changes of a polyethylene film with a thin-layer lamellar and fibrillar structure to the optical anisotropy of a silk fibroin cocoon were investigated. A special "Mechanooptic" device was used for the study. Studies have shown that thin-layer materials exhibit different deformation and anisotropic properties depending on their composition and structure. Graphs of correlation of deformation elongation and orientation factor, optical

anisotropy under the influence of external voltage are made and critical parameters of change of physical conditions are defined.

Keywords. Polyethylene, fibroin, film, thin layer, deformation, optical anisotropy.

КИРИШ

Полимер материалларни амалий қўлланишида турли даражаларда қайтар ва қайтмас деформацион ўзгаришлар, деструкцион парчаланишлар кузатилади [1]. Бу жараёнлар кўп жиҳатдан полимерларнинг материалларда изотроп (тартибсиз, аморф) ва анизотроп (тартибли, кристалланган, ламелляр, фибрилляр) ҳолатларда бўлишига, материалларнинг шакли, юпка ва қалинлигига боғлиқ бўлиб, уларни тадқиқот қилиш ва мақсадли бошқариш усуллари яратиш муҳим амалий аҳамият касб этади [2, 3]. Бундай тадқиқотларни амалга оширишда материалларнинг юпка қатламли бўлиши муҳимдир. Чунки бундай юпка материалларда рўй берадиган деформацион ўзгаришларни макромолекулаларнинг ёки макромолекуляр фибриллалар ва толаларни изотроп-анизотроп ҳолатларга алмашишини ёки механик чўзишда узилишини оптик анизотропияси бўйича поляризацион-оптик усуллардан фойдаланиб тадқиқот қилиш имкониятлари вужудга келади [4]. Буни амалга ошириш учун юпка қатламли материалларни механик тарзда деформацион чўзишни ва рўй бераётган жараёнларни поляризацион-оптик тадқиқот қилиш имкониятини берадиган “Механооптик” қурилмани йиғиш ва амалий қўллашни тақозо этади [5].

Мазкур иш шу йўналишда бажарилган бўлиб, унда деформацион ўзгаришларни поляризацион-оптик назорат қилиш учун “Механооптик” қурилма йиғилган. Ушбу қурилма воситасида таркиби ламелляр ва фибрилляр устмолекуляр тузилишга эга юпка қатламли полимер материаллар тадқиқот қилинган.

АДАБИЁТЛАР ТАҲЛИЛИ ВА МЕТОДОЛОГИЯ

Асосий тадқиқот объектлари сифатида ламелляр устмолекуляр тузилишга эга полиэтилен (ПЭ) пленкаси ва фибрилляр устмолекуляр тузилишли ипак фиброини (ФБ) пилласи асосидаги юпка қатламли нотўқима материаллар танланган (1-расм). Пленка олинадиган полиэтилен (ПЭ) молекуласининг ўртача нисбий массаси $M_n = 200000 - 400000$ диапазонида бўлиб, мономер звенолари – $[-CH_2 - CH_2]_n$ – орасида кўш боғлар бўлмаганлиги туфайли улар бир бирига нисбатан жуда осн буралади ва термодинамик сегментининг узуплиги 1,6 нм ни ташкил этади [6]. Шу боис полиэтилен молекуласи ўта эгилувчанликка эга ва молекулалари қатланиб тартибли тахланиб қалинлигин (L) бир неча нанометрдан

микронларда бўлган ламеллалар ҳосил қилади ҳамда бир биридан “ўтиш занжирлари” билан ажратилган (ясси, пластинкасимон) қатламли устмолекуляр структуралар ҳосил қилади (2-расм).



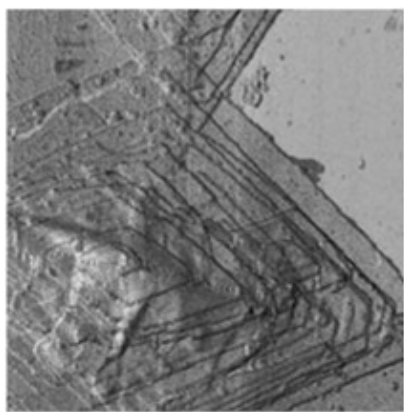
а



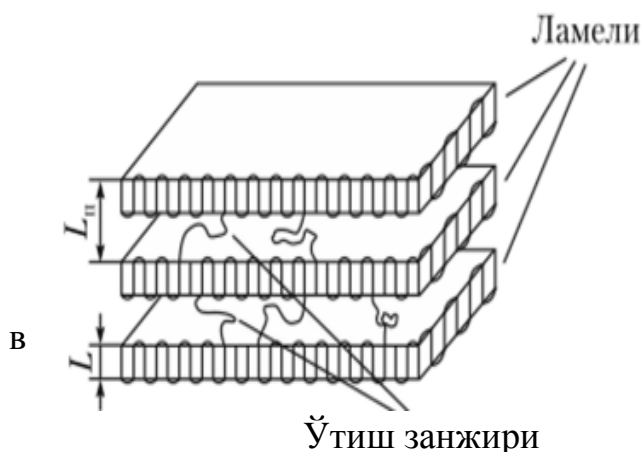
б

1-расм. Полиэтилен пленкаси (а) ва ипак пилласи (б) фотосуратлари

Агар пленка механик тарзда чўзилса, унда ламелляр қатламлар физик ҳолати ўзгариб, чўзиш йўналиши бўйлаб ориентирланиб тахланиши (3, а –расм) ёки ламелляр қатламлар парчаланиб ориентацион ҳолатга ўтиши (3,б-расм) ҳатто “фибрилляр” кристаллар ҳосил қилиши мумкин.



а



Ўтиш занжири

2 –расм. Полиэтилен монокристаллининг микротографиси (а) ва унинг ламелляр тузилишининг схематик кўриниши (в)

Бундай “ламелляр – фибрилляр” ўтишларни берилаётган механик чўзиш кучини, муҳит иссиқлик таъсири бошқариш мумкин. Ламелляр ҳолатда пленка шаффоф ва оптик изотроп бўлса, фибрилляр ҳолатда шаффофлиги қисман, баъзида тўлиқлигича юқотилган ва оптик анизотроп ҳолатга ўтади [7]. Ипак пилласи асосини фиброин толалари юпқа нотўқима материал сифатида ташкил этади, унинг сирти серицин ва мум-ёғ қатламлари қоплаган бўлади. Пилла қалинлиги 1

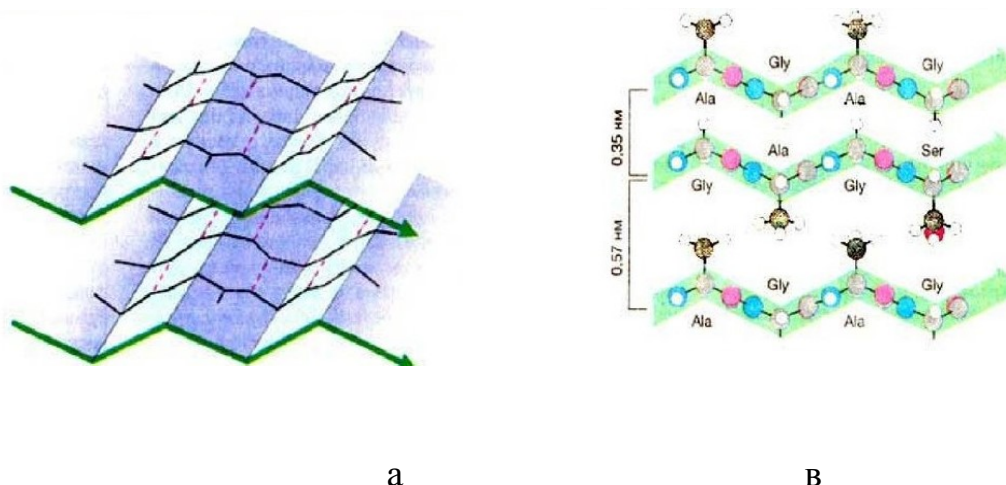
мм атрофида бўлган кўп қатламди материал, уни механик тарзда турли микро қалинликларга эга ясси қатламларга ажратиш мумкин. Бундан фарқли, ипак пилласи думолоқ шаклда бўлсада, аслида у ясси юпқа материал ва қалинлиги 1 мм дан ошмайди. Таркибида фибрилляр оқсил - фиброин асосидаги микротолалар (қалинлиги 7-10 мкм) узлуксиз тарзда “саккизсимон” кўринишда тахланиб ясси нотўқима ҳосил қилган бўлади ва улар пилланинг 70 – 75 % ни ташкил этади. Фиброин толаларининг сирти глобуляр оқсил - серицин билан қопланган бўлади ва серициннинг миқдори 25-30 % ташкил қилади.



3-расм. Пленка механик чўзишда ламелляр қатламларни йўналишини ўзгартириб ориентирланиши (а) ва парчаланиб ориентацион ҳолатга (в) ўтиши

Шунингдек, сиртда 3 -5 % гача мум-ёғ ҳамда минераллар бўлиши мумкин. Серицин ва мум-ёғ ҳамда минералларни сув - содали эритувчиларда юқори ҳароратларда (<100 °C) ювиб фиброин толалари ажратиб олинади. Фиброин молекуласи аминокислота қолдиқларининг кетма-кетлигидан иборат бўлиб, улар пептид боғлар орқали ҳолда бириккан бўлади. Унинг кимёвий формуласи $C_{13}H_{23}N_5O_6$ элементар звеносининг шртача молекуляр масси $M_o = 345$ га тенг ҳамда α -спиралли сегментининг узунлиги 100 -150 нм атрофида бўлади [8].

Ипак толада фиброин молекулаларининг устмолекуляр тузилиши фибрилляр β -шаклдаги аморф-кристалл ҳолатда бўлади (5-расм). Бунда β -шакл, яъни кристалл қисмининг улиши – кристалланиш даражаси 40 – 70 % гача бўлиб, толанинг мустаҳкамлигини таъминласа, кристалланмаган - аморф қисми толанинг юқори эластиклик хоссасини беради.



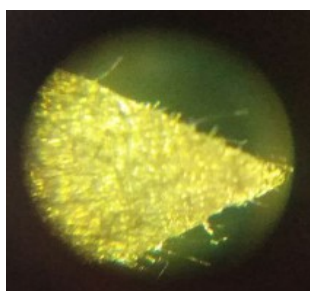
5-расм. Фиброин молекуласининг қатламли тузилиши (а) ва β -шакли (в))

Табиий ипак пилласини қайта ишлашда тахминан 30 % тола чиқиндига чиқади ва бу чиқиндиларнинг асосини қимматли фиброин биополимери ташкил этиши, уларни қайта ишлаб турли хом ашё материаллар ва маҳсулотлар олишни долзарб вазифа сифатида тақозо этади. Қайта ишлашда, аввалом бор, чиқиндилардан фиброин толаларининг натив ҳолатини сақлаб қолган ҳолда ажратиб олиш, толаларнинг деструкциясиз эритиб фиброин эритмаларини тайёрлаш ва улардан турли структура ва хоссали материаллар шакллантириш амалга ошириш зарур бўлади. Ҳозирда фиброин эритмаларидан кукунлар, сорбентлар, пленкалар, толалалар, нанотолалар, композитлар, нанокомпозитлар, қопламалар каби материаллар, шунингдек, юпқа қатламли материаллар олиш борасида бир қатор илмий тадқиқот ишлари амалга оширилган бўлсада, ҳали бу борада жуда кўплаб илмий изланишларни олиб бориш, қайта ишлашнинг комплекс усулларини ва технологияларни яратиш вазифалари долзарб илмий тадқиқот вазифалардан бўлиб қолмоқда.

Бир томонлама деформацион чўзишдаги анизотропия. Тадқиқотлар ўтказиш учун ясси қалинликлари ~ 50 мкм бўлган бир қатламли полиэтилен пленкаси ва нотўқима ипак пилласи танланди. Ушбу юпқа пилла намунаси қаланлиги 1 мм бўлган кўп қатламли ипак пилласидан ажратиб олинди. Унинг таркибини 70 % фиброин толалари (толани қалинлиги 7 - 10 мкм) ва 30 % серицин оксили биоелим сифатида ташкил этади. Намуналар узунлиги 5 см ва эни 1 см ҳамда қалинлиги 50 мкм ташкил этган. Полиэтилен пленка шаффоф бўлиб, ўлчашлар унинг қалинлигини 50 мкм (ўлчаш хатолиги ± 2 мкм) ва ундан ўтган поляризация-оптик нурлар, яъни оддий (φ_0) ва ғайри оддий (φ_1) фарқи $\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi_1 = 2^\circ$ (ўлчаш хатолиги $\pm 0,01^\circ$) ни ташкил этишини кўрсатди. Бундан қўш нурни синдириш кўрсаткичи миқдори $\Delta n = \lambda \Delta\varphi / 180d = 0,56 \cdot 10^{-4} \cdot 2^\circ / 180^\circ \cdot 50 \cdot 10^{-4} =$

$1,25 \cdot 10^{-4}$ эканлигини кўрсатди. Ушбу пленканинг кристалланиш даражаси $C_{кр} = 40 - 50 \%$ эканлиги рентгеноструктуровий таҳлиллар усулида қайд этилган. Кристалланиш шакли ламинар типда (қалинлиги 20 - 25 нм) ва полиэтилен оптик анизотропияси кичик бўлганлиги туфайли $\Delta\varphi$ фарқ ҳам кичик бўлди [9].

Юпқа ипак пилласи қалинлиги ҳам 50 мкм (± 3 мкм) бўлиб, ундан ўтаётган поляризацион-оптик нур фиброин толасида макромолекулаларнинг юқори даражада ориентацион тартибли кристалланган бўлганлиги туфайли юпқа қатламли материал ёрқин оптик анизотропия намоён қилади (6-расм).



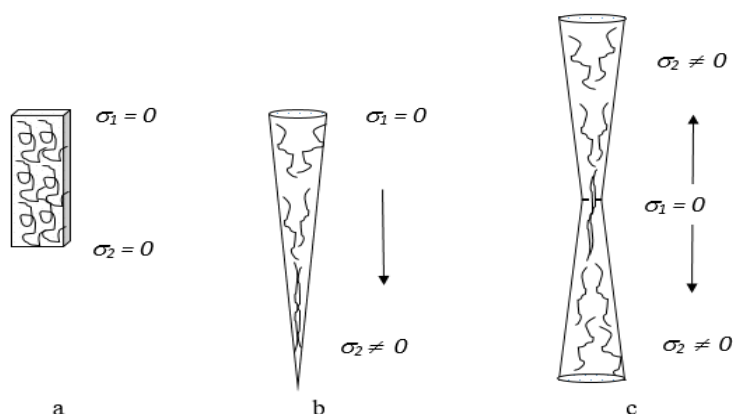
6-расм. Фиброин толали юпқа қатламли материалнинг микрофотографияси

Бундай ипак материалда икки хил, яъни фиброин микротолаларининг хусусий оптик анизотропияси туфайли вужудга келган қўш нур синиши эффекти ($\Delta n_{\phi\delta}$) ва юпқа ипак нотўқима материалда анизотроп фиброин микротолаларнинг тартибсиз изотроп ҳолатда жойлашганлиги туфайли намоён қиладиган қўш нурни синиш эффекти (Δn_m) кузатилади. Алоҳида олинган фиброин толаси учун $\Delta n_{\phi\delta} = \lambda \Delta\varphi / 180d = 0,56 \cdot 10^{-4} \cdot 65^\circ / 180^\circ \cdot 50 \cdot 10^{-4} = 40,11 \cdot 10^{-4}$ га тенг ҳамда юпқа ипак материал учун $\Delta n_m = \lambda \Delta\varphi / 180d = 0,56 \cdot 10^{-4} \cdot 10^\circ / 180^\circ \cdot 50 \cdot 10^{-4} = 3,6 \cdot 10^{-4}$ га тенг эканлиги аниқланди. Бунда $\Delta\varphi$ нинг ўлчаш хатолиги $\pm 0,01^\circ$.

“Механооптик” қурилманинг механик қисмда намуна тасма учидан пастга вертикал йўналишда бир томонлама чўзиш орқали ва симметрик, яъни икки томонлама чўзиш орқали тадқиқотлар ўтказилди. Оптик қисмда поляризацион кутбланган нур намуна тасмани перпендикуляр, яъни горизонтал йўналишда кесиб ўтади ва поляризацион микроскоп воситасида тасмада бўлаётган оптик анизотропик эффектлар визуаль кузатилади ва қўш нурни синиши кўрсаткичи ўлчанади.

Механик қисмда амалга ошириладиган жараён 7-расмдаги чизма орқали тушунтирилади. Дастлабки А ҳолатда параллеллопепидсимон тасмани учларида механиш кучланиш ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0$) бўлмайди ҳамда унинг узунлиги (l_1), эни (l_2) ва қалинлиги (d), умуман тавсифли $S_t = l_2 \times d$ юзаси, ҳажми V_t ва массаси m_t ўзгармайди (8,а - расм). Сўнг Б ҳолатда, бир хил 1 см/мин тезлик да чўзилади ва тасма учун $\sigma_1 < \sigma_2 \neq 0$ шарт бажарилади.

Тасма узунлиги бўйлаб бир томондан деформацион чўзила бошлайди ва параллеллопепидсимон (а) шакли конусимон (в) шаклга айланиб узлуксиз узайиб, ингичкалашиб боради ва маълум бир критик миқдорга етганда узилади (8,в-расм). Конуссимон тасманинг узунлиги (l_1) маълум бир критик миқдорга $l_1 = l_{kr}$ етганда $l_2 \rightarrow 0$ ва $d \rightarrow 0$ шарт бажарилади ва тасма узилади. Тавсифли S_t тўртбурчак юза деформацион ўзгариш туфайли $S_a = \pi(d/2)^{0.5}$ думалок юзага айланади. Деформацион чўзишда тасманинг массаси m_t ўзгармайди, аммо таркибий элементлар деформацион-ориентацион тартибланиб, зичлашади ва намунанинг ҳажми V_t кичрайиши кузатилади.



8-расм. Параллеллопепидсимон тасмани (а) деформацион чўзиш чизмаси: бир томонлама чўзиш (в) ва симметрик чўзиш (с)

Симметрик чўзишда тасма икки томонлама қарама қарши томонга чўзилади ва чўзиш ўқи йўналишида бўйлама майдони вужудга келади (8,с-расм). Бўйлама майдонда макромолекулалар ёки фибриллар кучли механик оқим бўйлаб чўзилади ва юқори ориентацион тарзда тартибланиб жипслашади.

Оптик қисмда намуна тасма (а) поляризатор (φ_0) ва анализатор (φ_l) оралиғида поляризацион (қутбланган) монохроматик нурга перпендикуляр ўрнатилади (9,а-расм). Нурнинг тўлқин узунлиги $\lambda = 0,56 \cdot 10^{-4}$ см бўлиб, ЖЗ-6 филтр воситасида ажратиб олинади ва линзалар ёрдамида параллел нур дастасига айлантирилган тарзда бир чизиқда поляроид, намуна, объектив, анализатор ва окуляр орқали ўтади. Нур поляриодда қутбланади, яъни оддий ва ғайри оддий нурларга ажралади. Оддий нур намунанинг деформацион чўзилиши, яъни шакли ва таркибий элементларини жойлашиш тартибини ўзгартириши туфайли маълум φ_l бурчакка бурилади ва бу оптик анизотропик эффект сифатида окуляр орқали визуаль кузатилади (9,в-расм).

а

б



9-расм.

Пленка тасманинг деформацион чўзишда оптик анизотропиясини намоён бўлишининг принципиал чизмаси (а) ва унинг микрофотографияси (б)

Анализатор ўрнатилган махсус нанонусли лимб воситасида оддий ва ғайри оддий нурлар ўртасидаги фарқлар, яъни оптик “қора” фон (ϕ_0) ва оптик анизотропиянинг марказидаги “ёрқин” соҳа (ϕ_1) ўртасидаги фарқлар ($\Delta\phi$) ҳамда окулярдаги микрошкала ёрдамида тасманинг қалинлиги (d) ўлчанди.

Механик ва оптик анизотропиялар узвийлиги. Юқорида қўлланилган $\Delta n_m = \lambda \Delta\phi / 180d$ кўш нурни синиш кўрсатигини аниқлаш формуласидан фойдаланиб, намуна тасманинг дастлабки ҳолатдаги кўш нурни синиш кўрсаткичини $\Delta n_o = \lambda \Delta\phi_o / 180d_o$ ва деформацион ўзгаришлар пайтидаги миқдорини $\Delta n_i = \lambda \Delta\phi_i / 180d_i$ деб олиб ҳисоблаб, уларнинг нисбати бўйича ориентация фактори (β), яъни анизотропик тавсифлари аниқланди

$$\beta = [(\Delta n_i - \Delta n_o) / \Delta n_i]^{0.5} \quad (1)$$

Махсус йиғилган “механооптик” қурилмадан ва унинг ўлчаш методикасидан фойдаланилган ҳолда Шуртан газ кимё мажмуаси завод лабораторияси термопласт автомат қурилмада турли режимда шакллантирилган полиэтилен пленкалар анизотропик хоссалари тадқиқот қилинди. Юпқа пленка намуналар олишда термопласт автоматнинг эни 20 см ва баландлиги 1 мм бўлган ясси тирқичли фильераси орқали 200 °C ҳароратда суюлтирилган полиэтиленни сиқиб чиқариш асосида шакллантирилаётган пленкани турли тезликда ($v_{\text{бм}}$) барабан-мотовилога ўраб олиш принциpidан фойдаланилган. Тажриба синовлар ўтказиш учун олинган пленканинг “эни” ва “бўйи” йўналишида кенглиги $l_2 = 1$ см ва узунлиги 7 см этиб тасма намуналар қирқиб олинди. Ушбу намуналарнинг учларининг 1 см жойидан “механооптик” қурилма тутқичларига қистирилди ва намуна тасманинг деформацион чўзиладиган ишчи қисми $l_1 = 5$ см ни ташкил этиши таъминланди.

Бир жиҳатдан ушбу “механооптик” қурилма стандарт “узиш машина” лари ва уларнинг умумий ишлаш принципи асосида йиғилган. Шу боис “механооптик”

курилма ўлчаш кўрсаткичлари стандарт узиш машишаридан олинган натижалар билан калибровка қилинди.

Намуналарни “бўйи” ва “эни” бўйича деформацион чўзишда “узилиш мустаҳкамлиги” миқдорлари (σ_b , МПа ва σ_k , МПа) ва нисбий узайиш кўрсаткичлари (ε_b , % ва ε_k , %) ва аниқланди. Бунинг учун ГОСТ 14236-81 асосида қуйидаги формулалардан фойдаланилди:

$$\sigma_r = F_r/A_o \quad (2)$$

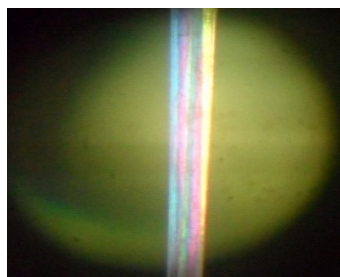
$$\varepsilon_r = (\Delta l_{or}/l_o)100 \quad (3)$$

бу ерда F_r – узилиш пайтида чўзиш кучланиши, Н; A_o – намунанинг бошланғич кўндаланг кесими, мм²; Δl_{or} – намунанинг узилиш пайтидаги узунлигини ўзгариши, мм; l_o – намунанинг бошланғич узунлиги, мм. Мустаҳкамлик бирлиги Н/мм² бўлиб, СИ тизими учун МПа деб олинди.

Тажрибалар Шўртан газ-кимё мажмуаси экструдерида уч хил (v_{bm}) режимда олинган ва турли қалинликга (d) эга бўлган юпка пленка тасмаларда, уларни бўйлама ва кўндаланг йўналишларда “механооптик” қурилманинг барабан-мотовилосини айланиш частотаси $w = 1$ см/с деформацион чўзиш принципида ўтказилди. Дастлаб, $v_{bm} = 2$ айл/мин режимда шакллантирилган ва қалинлиги $d = 50$ мкм бўлган пленка рулоннинг бўйи (а) ва эни (б) йўналишида қирқиб тайёрланган намуналар билан тадқиқотлар ўтказилганда, оптик анизотропик эффектларни ҳар иккала йўналишда деярли бир хил намоён бўлиши кузатилди (10-расм).



а



б

10-расм. Пленка тасманинг бўйи (а) ва эни (б) бўйича деформацион чўзишда кузатиладиган оптик анизотропиянинг микрофотографияси

Тасма чўзилганда динамометр воситасида масса (m , кг) ўлчанди ва уни Ньютон қонунига биноан ($g = 9,81$ м/с²) кўпайтириб, тасмага берилаётган куч (F) аниқланди. Ушбу кучни тасма кесими юзасига (s) бўлиб, тасмани бўйлама ва кўндаланг йўналишларига берилаётган кучланишлар (σ_b , σ_k) топилди. Шу каби

тасмани бўйлама ва кўндаланг деформацион чўзиб, узулгунча нисбий узайиши (ε_o , ε_k) аниқланди. Шунингдек, намуналарнинг механик анизотропияси $A_m = \sigma_o/\sigma_k$ ва оптик анизотропияси $A_o = \beta_o/\beta_k$ аниқланди. Натижалар 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал. Юпқа тасмаларнинг деформацион чўзишдаги кўрсаткичлари

$v_{\bar{o}m}$, айл/ мин	d , мкм	Тасманинг узилишидаги кўрсатгичлари						$A_m =$ $\sigma_{\bar{o}}/\sigma_k$	$A_o =$ $\beta_{\bar{o}}/\beta_k$
		Бўйлама чўзишда			Кўндаланг чўзишда				
		$\sigma_{\bar{o}}$, МПа	$\varepsilon_{\bar{o}}$, %	$\beta_{\bar{o}}$	σ_k , МПа	ε_k , %	β_k		
2,0	50	68	539	0,91	64	530	0,82	1,10	1,12
3,5	41	76	390	0,94	42	294	0,55	1,81	1,72
4,5	36	81	335	0,96	35	214	0,43	2,31	2,24

Натижаларни қиёсий таҳлил қилиш, $v_{o,m} = 2$ айл/мин тезлигида шакллантирилган пленка намуналари “бўйи” ва “эни” бўйича чўзилганда “узилиш мустаҳкамлиги” миқдорлари ва нисбий узайиш кўрсаткичлари бир бирига яқин механик ва оптик анизотроплари 1,10 - 1,12 атрофидадир. Бу ҳол $v_{o,m} = 2$ айл/мин режимда олинган пленкада макромолекулаларни тартибсиз изотроп ҳолатда шаклланганлигини кўрсатади. Намуналар деформацион чўзилганда, уларнинг параллелопипид шаклидан конуссимон (призмасимон) шаклга ўтиши, унда макромолекулаларнинг деформацион-ориентацион тартибланиши туфайли анизотроп эффектлар намоён қилиши кўзатилди. Бу анизотропик эффектлар кўрсаткичларнинг намунани “бўйи” ва “эни” бўйича чўзилганда деярли бир хиллиги ушбу пленкани изотроп эканлигини кўрсатди. Кейинги $v_{o,m} = 3,5$ айл/мин ва $v_{o,m} = 4,5$ айл/мин режимларда олинган пленка намуналар “бўйи” ва “эни” бўйича чўзилганда, “эни” бўйича кўрсаткичларни “бўйи” бўйича кўрсаткичларга нисбатан анча кичик бўлиши аниқланди. Бу ҳол ушбу пленкаларни анизотроп, яъни улар шаклланаётганда макромолекулалар деформацион-ориентацион тартибланган ҳолатга устмолекуляр структура ҳосил қилганлигини кўрсатади. Демак, пленканинг анизотроп ҳолатда бўлиши, уни олиниш пайтида ҳам, шунингдек, уни деформацион чўзишда ҳам намоён бўлиши аниқланди.

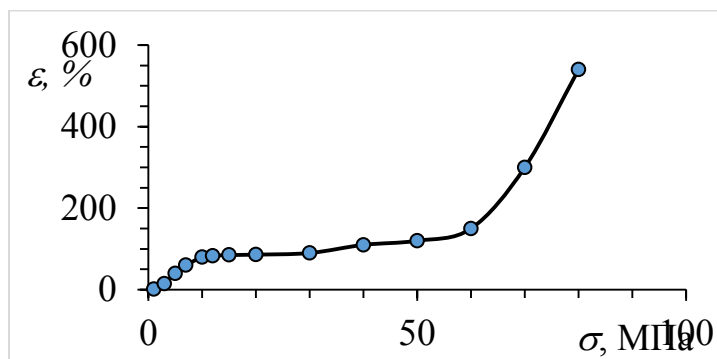
Юпқа полимер материаллар, яъни пленка ва тасмалар бир томонлама деформацион чўзилганда, уларда рўй берадиган жараёнларни шартли тарзда икки типга ажратиш мумкин, яъни:

- биринчиси, материалнинг параллеллопепидсимон шаклини конуссимон шаклга айланиши бўлиб, бундай шакл ўзгариши анизотропик ўзгариш эмас.

- иккинчиси, материал таркибий элементлари – макромолекулалар, улар асосидаги аморф-кристалл устмолекуляр тузилишли ламеллалар, микро- ва нанофибриллалар, шунингдек, нанотолаларни деформацион-ориентацион тартибланиб, изотроп ҳолатдан анизотроп ҳолатга ўтишидир. Бунда макромолекулаларнинг физик ҳолати ва устмолекуляр тузилишини ўзгартириши туфайли анизотроп эффектларни намоён қилиши материалнинг асосий хоссаларидан ҳисобланади. Буни тадқиқот қилиш ўта муҳим бўлиб, молекуляр ва устмолекуляр даражада тадқиқотлар олиб бориш ва анизотроп хоссаларни намоён бўлиши принципларини аниқлаш учун “механооптик” қурилмани такомиллаштириш зарур. Бунда параллеллопепидсимон пленка тасманинг ўртасидан поляризацион нурни перпендикуляр тарзда ўтиши ва икки учидан симметрик тарзда деформацион чўзилиши муҳимдир. Бундай ёндашиш амалга оширилганда, макромолекуляр ва устмакромолекуляр тузилишларни деформацион-ориентацион тартибланиши, анизотроп ҳолатга ўтиши ва парчаланиши поляризацион оптик нурни пленка тасмага тушиб турган соҳасида амалга ошади.

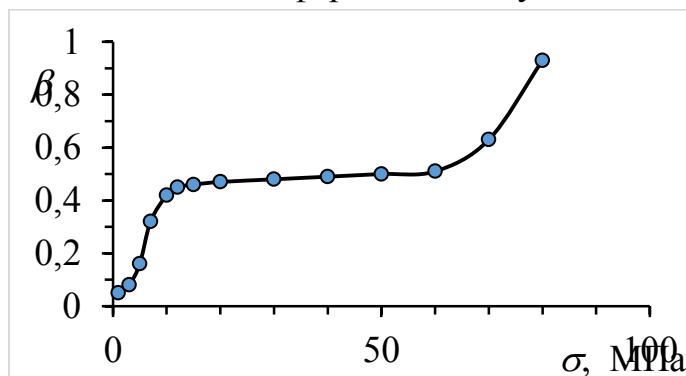
Симметрик чўзишда деформацион анизотропия. Пленкада симметрик чўзишда рўй берадиган кучли деформацион ўзгаришлар оптик кузатиш соҳасисидан чиқиб кетмаган ҳолда бўйлама ўқ бўйича тортилади. Бунда тасмадаги жараён визуаль тарзда кузатилади ва оптик анизотропик кўрсаткичлар юқори аниқликда ўлчанади.

Пленка шакллантириш экструдерида $v_{\text{б.м}} = 2$ айл/мин режимда олинган, қалинлиги $d = 50$ мкм бўлган изотроп полиэтилен пленка тасмани симметрик тарзда $w = 1$ см/с режимда барқарор чўзилган. Нисбий узайишни (ε_0) чўзиш кучланиши (σ_0) боғланиши график тарзда таҳлил этилганда 3 та тавсифли деформацион ўзгариш соҳа намоён бўлиши аниқланди (11-расм). 1- ва 3-соҳадаги эффектлар тасманинг ҳажмий деформацион чўзилиши амалга ошишганлиги билан изоҳланади. 2 – соҳада тасманинг ички молекуляр сегментал ўзгаришлари, яъни аморф макромолекулаларнинг деформацион-ориентацион тартибланиши чўзиш кучланишининг нисбатан камроқ сарфланиши ҳисобига анизотроп ҳолатга ўтиши амалга ошганлиги билан эътироф этилади.



11-расм. Полиэтилен пленка тасмани нисбий деформацион узайишини (ε_0) чўзиш кучланишга (σ_0) боғланиш графиги

Шунингдек, ушбу тажрибаларни ўтказишда деформацион чўзиш жараёни “механооптик” қурилманинг поляризацион-оптик тизими орқали назорат қилинди ва юқорида кузатилган 3 та тавсифли соҳанинг оптик анизотропик эффектлар ўлчаниб, ориентация факторини (β) чўзиш кучланишга (σ_0) боғланиш графиги тузилди (12-расм). Бу графикда ҳам учта тавсифли соҳа мавжуд бўлиб, уларнинг бир биридан оптик анизотропиясини ва ориентация факторининг миқдорларини турлича эканлиги билан фарқланиши кузатилди.



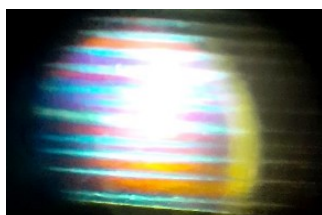
12-расм. Полиэтилен пленка тасмани ориентация факторини (β) чўзиш кучланишга (σ_0) боғланиш графиги

Бевосита кузатилган ушбу оптик анизотропик эффектларни ифодаловчи микрофотосуратлар 13-расмда келтирилган. Тадқиқотларда деформацион чўзиш йўналишига перпендикуляр тарзда пленкани қатламга ажралиши ва ажралган жойидан симметрик равишда юпқалашиб, узайиши кузатилди. Тасманинг қатламга ажралиб, юпқалашган жойи нисбатан кўпроқ шаффоф, оптик анизотропияси ёрқинроқ эканлиги аниқланди. Буни ўлчаш натижалари асосида оптик анизотропиянинг кучланишига боғлиқлиги аниқланган. Тасма деформацион чўзилиб, узилиш чегарасига яқинлашганда оптик анизотропиянинг турли рангли Ньютон дифракцион тасвирлари йўқолиб, ёрқин оқ рангли тусга

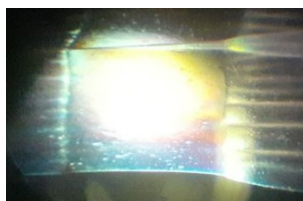
ўтади ва ориентация фактори $\beta \geq 0,9$ дан ошади. асманинг узилиш моментида $\beta \geq 0,95$ катта бўлади. Бунда тасманинг ёрқин оқ рангга ўтиши Ньютон призмасига хос дифракцион эффектни кузатишмай қолганлиги, яъни макромолекулаларнинг юқори даражада ёйилиб, ростланиб, ориентацион жипслашланганлигидир..

Бунга асосий сабаб деформацион чўзишнинг юқори босқичларида тасманинг энини торайиб бориши туфайли макромолекулалар зичлашиши ҳамдир.

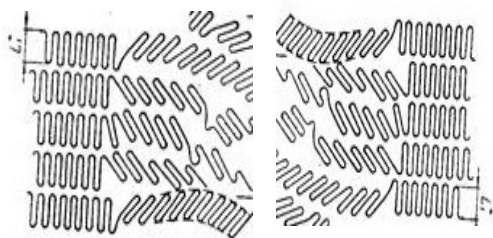
Шундай қилиб, юпқа пленка тасма симметрик тарзда деформацион чўзилганда чўзиш кучланишига боғлиқ ҳолда тасма таркибий элементлари кучли деформацион ўзгаришни намоён қилиши, қатламларга ажралиши ва парчаланиши амалга ошиши аниқланди. Жараён амалга ошиши, яъни нисбий узайишни чўзиш кучланишига боғлиқлиги синхрон тарзда, яъни параллел равишда оптик анизотропик эффектлари чўзиш кучланишига боғлиқ ўзгаришини кўрсатди. Бу ҳол оптик анизотропик эффектларни материалларда рўй берадиган деформацион ўзгаришларни бевосита назорат қилиш ва илмий тадқиқот қилиш имкониятларини кўрсатди.



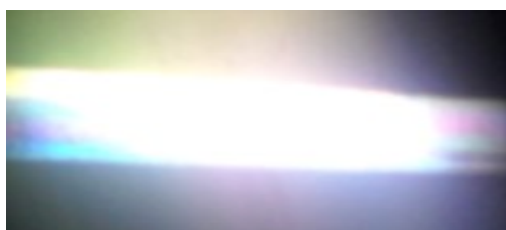
А) чўзиш кучланиши $\sigma_{\delta} = 10$ МПа
нисбий ўзайиш $\varepsilon_{\delta} = 80$ %



В) чўзиш кучланиши $\sigma_{\delta} = 20$ МПа
нисбий ўзайиш $\varepsilon_{\delta} = 100$ %



С) Деформацион чўзишда пленка тасма ламелляр кристалл структурасининг парчаланиб, деформацион-ориентацион тартибланишини чизмаси

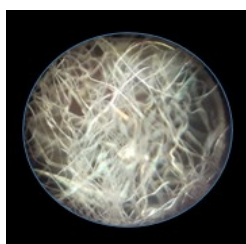


Д) Тасманинг ўзилиш моментидаги оптик анизотропияси микфотграфияси

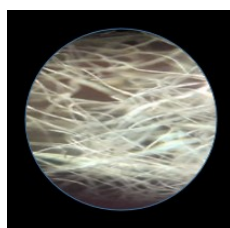
13-расм. Полиэтилен тасмани симметрик чўзишда оптик анизотропиясини намоён бўлиши (А), қатламларга ажралиши (В) ва унинг чизмаси (С) ҳамда узилиш моментидаги оптик анизотропиясининг (D) микрофотографияси

Шундай қилиб, юпка полимер пленка тасмаларни деформацион ўзгаришлар поляризацион-оптик хоссаларга боғлиқлигининг принципиал жиҳатлари кўрсатиб берилди. Бир томонлама ва симметрик тарзда тасмаларни деформацион чўзишини ва унинг боғлиқ механик ва оптик анизотропик эффектлар тадқиқот қилиш учун 2 хил вариантда ва турли режимларда ишлайдиган “механооптик” қурилмани йиғиш ва амалий қўллаш жиҳатлари кўрсатиб берилди.

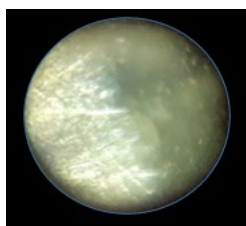
Микро- ва нанотолали материаллар анизотропияси. Тадқиқот олиб бориш учун фиброиннинг микротолали (МТ) ва нанотолали (НТ) юпка қатламли (қалинлиги 50 мкм) нотўқима материаллари танланди ва улардан узунлиги 4 см ва эни 1 см бўлган намуналар тайёрланди. Тадқиқотлар “механооптик” қурилмада намуналарнинг 1 см/мин тезликда симметрик чўзишдаги деформацион ўзгаришлари оптик анизотропиясини назорат қилиш орқали амалга оширилди. Намуналарнинг деформацион ўзгариши, яъни нисбий ўзайиши (ε) то уларни механик тарзда узилиб кетгунча қадар олиб борилди. Жараён бевосита поляризацион-оптик тизим ёрдамида кўш нурни синиши бўйича фазалар фарқини ($\Delta\varphi$) ҳар 0,5 см узайишда ўлчаш принципида олиб борилди. Намуналарнинг оптик анизотропиясини ўзгаришини ифодаловчи микрофототасвирлар 14-расмда келтирилган. Нисбий узайиш $\varepsilon > 100\%$ дан ошганда сўнг микротолали ва нанотолали юпка материалларда чўзишдаги узилиш эффекти кузатилди. Аммо $0 < \varepsilon < 100\%$ оралиқ диапазонда ўлчанган ($\Delta\varphi$) нинг миқдорлари асосида ориентация фактори (β) ҳисобланди.



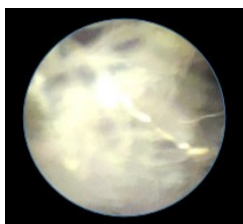
1



1*



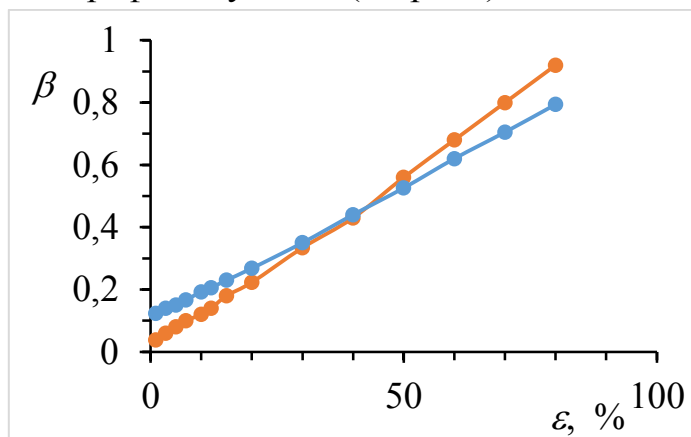
2



2*

14-расм. Фиброиннинг микро- ва нанотолали материалларини микрофотографиялари: 1 – МТМ $\varepsilon = 0\%$; 1* - МТМ $\varepsilon = 100\%$; 2 – МТМ $\varepsilon = 0\%$; 2* - МТМ $\varepsilon = 100\%$;

Натижалар асосида намуналарнинг ориентация факторини (β) нисбий узайишга (ε) боғланиш графиги тузилди (15-расм).



15-расм. Ориентация факторини (β) нисбий узайишга (ε) боғланиш графиги: а – фиброин микротолали материал; б – фиброин нанотолали материал.

Графиклар тўғри чизиqli кўринишга эга бўлиб, улар нисбий узайишни оптик ориентация фактори, яъни оптик анизотропияга пропорционал тарзда ўзгариши ифодалайди.

ХУЛОСА

Тадқиқотлар асосида юпқа қатламли материалларнинг деформацион ўзгаришларини оптик анизотропияси бўйича тадқиқот қилиш учун махсус “механооптик” қурилма йиғилган. Экструдернинг $v_{\text{бм}} = 2$ айл/мин тезлик режимида олинган пленкалар “бўйи” ва “эни” бўйича деярли бир хил 530 % нисбий узайиб, чўзиш кучланиши 68 МПа етганда механик тарзда узилган ҳамда механик ва оптик анизотропияси кўрсаткичлари 1,12 ташкил этган. Бу пленканинг изотроп эканлигини кўрсатган. $v_{\text{бм}} = 4,5$ айл/мин тезлик режимида олинган пленкалар бўйи бўйича 335 % ва эни бўйича 214% нисбий узайган ҳолда узилган ҳамда анизотропик кўрсаткичлари 2,31 ташкил этган ва пленканинг анизотроп материал эканлиги кўрсатиб берилган.

Юпқа қатламли полиэтилен тасмалар симметрик тарзда чўзилганда намуналарнинг ички аморф-кристалл структураси парчаланиб, юқори эластиклик ҳолатга ўтиши, нисбий узайиши ва узилишининг критик параметрлари оптик анизотропик эффектларини назорат қилиш орқали аниқланган. Механик кучланиш $\sigma_0 = 10$ МПа етгунга қадар намуналар нисбий узайиш, $\sigma_0 = 10 - 60$ МПа

диапазонида юқори эластиклик намоён қилиши ва $\sigma_0 \geq 80$ МПа соҳада тасман узилиб кетиши аниқланган.

Фиброин асосли микро- ва нанотолали юпқа нотўқима материалларнинг деформацион узайиши ва оптик анизотропик кўрсаткичи ўртасида чизиқли боғланиш мавжудлиги аниқланган.

REFERENCES

1. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2008. – P. 1000.
2. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
3. Сафонова Л.А., Боброва М.М., Агапова О.И., Архипова А.Ю., Гончаренко А.В., Агапов И.И. Пленки на основе фиброина шелка для заживления полнослойной раны кожи у крыс. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2016;18(3):74-84. <https://doi.org/10.15825/1995-1191-2016-3-74-84>
4. И.Е. Скалецкая, Е.К. Скалецкий, В.Т. Прокопенко, Е.М. Никущенко Поляризационно-оптические методы исследования - Санкт-Петербург: СПб: Университет ИТМО, 2015, - 142 с.
5. Грищенко А. Е. Механооптика полимеров. — Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 1996. — 193 с. — ISBN 5-288-01278-4.
6. Розова, И. С. Курындин, В. К. Лаврентьев, Г. К. Ельяшевич Структура и механические свойства пористых пленок из полиэтилена различной молекулярной массы // *Высокомолек. соед., Серия А*, 2013, том 55, № 10, с. 1255-1262.
7. Панов Ю.Т., Чижова Л.А., Ермолаева Е.В. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. пособие. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 128 с.
8. Leng-Duei Kohac, Yuan Chengb, Choon-Peng Tenga. Structures, mechanical properties and applications of silk fibroin materials // *Progress in Polymer Science*. – 2015. V. 56. P. 86-110.
9. Калиниченко Н.П. Визуальный и измерительный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 300 с.