

Лекція 4. Основні властивості матеріалів

До основних властивостей матеріалів належать такі фізичні властивості:

- ❖ маса матеріалів
 - ❖ механічні
 - ❖ термічні
 - ❖ оптичні
 - ❖ акустичні
 - ❖ електричні

які характеризують водо-, газо- і повітропроникність.

Показники маси і механічні властивості об'єднують у групу фізико-механічних, а водо-, газо-, повітро- і пилопроникність – у підгрупу фізико-хімічних властивостей.

Фізико-механічні властивості матеріалів

Показники маси матеріалів

Показники маси матеріалів і готових виробів широко використовуються при характеристиці й оцінці якості таких товарів, як тканини, папір, шпалери, картон, а також спортивних та будівельних товарів. Для деяких товарів ці показники нормуються ДСТУ і ТУ. За показниками маси можна визначити природу матеріалу, особливості його будови (щільність, пористість), а також такі властивості матеріалів і готових виробів, як водопоглинання, теплопровідність, міцність та ін.

Найважливіші показники маси:

- густина
- об'ємна маса
- насипна маса
 - маса 1 м^2
- маса виробу
- питома вага

ГУСТИНА

- це маса одиниці об'єму. Розраховується густина (ρ , кг/м³) за формулою

$$\rho = m / v,$$

де m – маса тіла, кг;

v – об'єм тіла, м³.

Густина є показником, що характеризує певну речовину і залежить від хімічного складу, ступеня чистоти, наявності тих або інших домішок.

Величина густини використовується також при визначенні пористості (Π) матеріалів у відсотках за формулою

$$\Pi = (1 - \rho_0 / \rho),$$

де ρ_0 – об'ємна маса, кг/м³;

ρ – істинна густина, кг/м³.

Відношення густини випробуваного матеріалу до густини води при температурі 3,98°C та нормальному атмосферному тиску (1013 Па) характеризує відносну густина. Відносна густина $\rho_{\text{відн}}$ – величина безрозмірна.

ОБ'ЄМНА МАСА (ρ_0)

- це є маса одиниці об'єму пористих тіл, яка обчислюється за формулою

$$\rho_0 = m / v.$$

Об'ємна маса (г/см^3) різних матеріалів неоднакова: деревини – 0,12–1,42; вати – 0,04–0,08; тканини бавовняної – 0,25–0,5; поролону – 0,01–0,03; порцеляни – 2,4–2,5, і вона залежить не тільки від природи й характеру будови речовини, але й від її вологості. Величина об'ємної маси впливає на пористість, міцність, теплопровідність, водопоглинання й інші показники.

У непористих матеріалів об'ємна маса дорівнює істинній густині, а в пористих – завжди менша. З підвищенням пористості об'ємна маса зменшується. За величиною об'ємної маси теплоізоляційні матеріали підрозділяються на марки.

НАСИПНА МАСА

Для сипучих матеріалів замість показника об'ємної маси використовують показник насипної маси. Цим показником користуються при дозуванні та відпуску сипучих речовин, визначенні завантаженості транспорту й заповненні об'єму сховища.

МАСА 1 М²

- застосовується для характеристики рулонних і листових матеріалів – тканин, шкіри, паперу, картону, шпалер. За цим показником відрізняють, наприклад, картон від паперу: продукція масою 1 м² до 250 г належить до паперу, а понад 250 г – до картону. Тканини залежно від маси 1 м² мають різне призначення. Так, якщо маса 1 м² тканини становить від 70 до 190 г, то така тканина є білизняною, якщо від 220 до 400 г, то це тканина костюмна.

Масу 1 м² матеріалу необхідно визначати при постійній відносній вологості й температурі повітря

МАСА ВИРОБУ

Маса виробу для деяких товарів, наприклад спортивних, є суворо нормованим показником. Так, маса гранати повинна бути 300, 500 й 750 г, диска – 500, 750, 1000, 1500 й 2000 г, списа – 500, 600 й 800 г. Масу та інші показники гігроскопічних виробів визначають із урахуванням відносної вологості й температури повітря, а також вологості самого матеріалу. Показник маси враховується при розробці конструкцій виробів й упакування, при транспортуванні й зберіганні та ін. **10**

ПИТОМА ВАГА

Питома вага – це вага одиниці об'єму тіла. Вона дорівнює відношенню ваги (сили тяжіння) тіла до його об'єму. Обчислюється питома вага (γ , Н/м³) за формулою

$$\gamma = G / v,$$

де G – вага (сила тяжіння) тіла, Н;
 v – об'єм тіла, м³.

Величина ця змінна і залежить від прискорення сили тяжіння. Застосовується для визначення, наприклад, тиску стовпа рідини на дно або стінки посудини.

Механічні властивості матеріалів

Під механічними властивостями розуміють характеристики, які визначають поведінку матеріалу під дією зовнішнього навантаження.

Міцність, тобто опір матеріалу деформації та руйнуванню є важливою характеристикою

Деформація (від лат. *deformatio* - викривлення) – змінювання положення точок твердого тіла, за якого змінюється відстань між ними в результаті зовнішніх впливів. Пружна деформація – коли вона зникає після виключення впливу і пластична – якщо повністю вона не зникає. Найбільш прості види деформації – розтягування, стискання, згинання, кручіння.

Запропоновано кілька теорій, що пояснюють процес руйнування твердих тіл (матеріалів).

- Критичний характер розриву (теорія критичного напруження). **А. Гриффіт** і його послідовники, розглядаючи міцнісні властивості, виходили з припущення, що будь-яке тверде реальне тіло на відміну від ідеального не має досконалої структури і містить значну кількість дефектів (мікротріщин), які послаблюють його міцність. Руйнування матеріалу настає тоді, коли внаслідок дії навантаження перенапруження біля вершини хоча б однієї мікротріщини досягає значення, яке відповідає теоретичній міцності, що визначається силами міжатомних зв'язків. При цьому розміри мікротріщини починають збільшуватися зі швидкістю поширення пружних хвиль та спричинюють руйнування матеріалу.

- Гіпотезу про існування дефектів (мікротріщин) експериментально підтвердив академік **А.Ф. Іоффе**, який довів, що напруження біля вершини поверхневої мікротріщини у багато разів перевищує напруження, яке визначається відношенням діючого навантаження до площі поперечного перетину ослабленого зразка. Було встановлено, що розвиток мікротріщин є наслідком дії максимального критичного напруження. У такий спосіб виявлено різницю між теоретичними та експериментальними значеннями міцності.
- Підхід до вирішення проблеми міцності, заснований на припущенні про критичний характер розриву, не розкриває суті явищ, які відбуваються у навантажених тілах під час їх руйнування у часі. З позиції цієї теорії неможливо пояснити різницю у значеннях міцності матеріалу, яка виявляється за різних швидкостей його деформування.

- Академіки **А. П. Александров** і **С. М. Журков** запропонували статичну теорію міцності, згідно з якою розрив матеріалу відбувається не одночасно по всій поверхні руйнування, а починається з найнебезпечнішої дефектної ділянки, де перенапруження досягає значення, близького до теоретичної міцності. Потім розрив відбувається на новій небезпечній ділянці мікротріщини і це означає, що матеріал руйнується внаслідок зростання кількості тріщин. Отже, статична теорія міцності розглядає руйнування як процес, що триває у часі.
- Головне твердження статичної теорії міцності полягає в тому, що ймовірність виникнення найбільш небезпечних дефектів є значно меншою, ніж найменш небезпечних, а найнебезпечніший дефект, розташований на поверхні, визначає міцність матеріалу. Практика випробування матеріалів підтверджує цей факт: зразки малих розмірів (мінімальний поперечний перетин) характеризуються підвищеною міцністю, і зі зменшенням розмірів зразків текстильних матеріалів їх відносна міцність (розривне напруження) зростає.
- Процес тимчасового руйнування матеріалу залежить не тільки від діючого навантаження, а й від температури випробування, структури матеріалу.

- За результатами фундаментальних досліджень **С. М. Журкова** щодо міцнісних властивостей сформульовано кінетичну теорію міцності твердих тіл. Згідно з цією теорією руйнування матеріалів відбувається не тільки та не стільки через діючу механічну силу, скільки через тепловий рух (флуктуації) структурних елементів (атомів). Важливу роль у міжатомних взаємодіях відіграє нерівномірність теплового руху, спричинена енергетичними флуктуаціями, які є наслідком хаотичного теплового руху. Окремі атоми при цьому набувають кінетичної енергії у багато разів більшої ніж середня. Внаслідок перевищення енергії зростають і теплові розтягувальні зусилля на міжатомних зв'язках.
- Розрив матеріалу відбувається, як правило, внаслідок флуктуацій теплової енергії, термічного розкладу міжатомних зв'язків. Діюче механічне напруження зменшує енергетичний бар'єр, активізує та спрямовує процес руйнування.

Види деструкції целюлозних матеріалів

У макромолекулі целюлози, як зазначалось вище, є такі два основних типи зв'язків: вуглець-вуглецеві (між атомами вуглецю в елементарній ланці) і вуглець-кисневі (в середині елементарної ланки C_1-O-C_5) і глікозидні між елементарними ланками.

Ці типи зв'язків відрізняються за стійкістю до різних дій і впливів. Зокрема під час дії на целюлозу деяких хімічних речовин-реагентів (кислот, води за високих температур, деяких окислювачів) глікозидний зв'язок менш стійкий, ніж вуглець-вуглецевий зв'язок. Розрив глікозидних зв'язків під дією цих реагентів призводить до зниження ступеня полімеризації целюлози, тобто до протікання процесу деструкції.

Деструкція – руйнування молекул речовин з утворенням обривків молекул, загалом вільних радикалів.

Є процеси деструкції целюлози, за яких можливий розрив як глікозидних, так і вуглець-вуглецевих зв'язків. До таких процесів відносяться термічна деструкція, радіаційно-хімічна, механохімічна і фотохімічна деструкція целюлози.

Основними *типами* деструкції, що мають найбільший науковий і практичний інтерес, є:

- гідроліз целюлози;
- термічна деструкція целюлози;
- механохімічна деструкція целюлози;
- фотохімічна деструкція целюлози;
- деструкція целюлози під дією іонізуючих опроміненень;
- ферментативне розщеплення целюлози.

- Не дивлячись на різні механізми процесів деструкції, всі зазначені процеси призводять до змінювання фізико-хімічних і механічних властивостей целюлози в одному і тому ж напрямку: відбувається в більшій або меншій мірі зниження ступеня полімеризації, механічної міцності волокон і зростання розчинності целюлози в лугах.
- Найбільш детально досліджена деструкція C під дією хімічних реагентів, що викликають гідроліз целюлози, інші типи деструкції менш досліджені, хоча і викликають значний інтерес як у науковому, так і в практичному аспектах.
- Таким чином, згідно з кінетичною теорією міцності механічна міцність визначається не суто механічною, а й кінетичною природою, зумовленою тепловими рухами атомів.

З позиції кінетичної теорії міцності головними факторами, що впливають на міцність матеріалів, є абсолютна температура (T), діюче напруження (δ) та тривалість впливу напруження τ .

Згідно з кінетичними уявленнями фундаментальною характеристикою міцнісних властивостей матеріалів є довговічність, яка у формалізованому вигляді обчислюється за формулою

$$\tau = \tau_0 \exp_1^x \frac{U_0 - V\delta}{RT}$$

де τ – коефіцієнт, який не залежить від природи та структури матеріалу і становить 10^{-12} – 10^{-13} . Цей час відповідає тривалості одного коливання атомів;

U_0 – енергія активації руйнування, тобто енергія зв'язків, яку слід подолати, щоб зруйнувати матеріал;

V – коефіцієнт, який залежить від структури матеріалу, характеризує неоднорідність напружень в об'ємі тіла та показує, у скільки разів справжнє локальне напруження, під дією якого відбувається руйнування, є вищим за середнє напруження;

δ – постійне напруження, яке діє у процесі випробування;

R – універсальна газова стала;

T – абсолютна температура випробування.

Головні положення кінетичної теорії міцності набули експериментального підтвердження під час випробування матеріалів з різною структурою та властивостями, а саме: металів; полімерних плівок; волокон тощо.

Для тканин застосовують формулу довговічності

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0 - V_{\text{пруд}}}{RT}$$

Для оцінки механічних властивостей матеріалів використовують декілька критеріїв:

- критерії, які є незалежними від конструктивних особливостей і характеру використання виробу, визначаються завдяки стандартним випробуванням гладеньких зразків на розтягування, стискання, вигин, твердість (статичні випробування);
- критерії оцінки конструкційної міцності матеріалу, який перебуває у найбільшій кореляції із навантажувальними властивостями даного виробу, характеризують міцність матеріалу в умовах експлуатації;
- критерії, які визначають надійність металевих матеріалів щодо раптових руйнувань (в'язкість руйнування – здатність матеріалу чинити опір утворенню та розвитку тріщин під час механічного та іншого впливів);
- критерії, які визначають довговічність виробів, опір утомлюваності, зносостійкість, опір корозії;
- критерії оцінки міцності конструкції в цілому (конструкційна міцність), які визначаються під час стендових, натурних і експлуатаційних випробувань.

Під час статичних випробувань визначаються такі властивості, як межа пружності $\sigma_{0,05}$, умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$, модуль пружності E , відносне подовження Q та відносне звужування φ .

Статистичними називаються випробування, при яких прикладене до зразка навантаження зростає повільно та плавно.

Напруження, яке спричиняє залишкову деформацію 0,2%, називається умовною межею текучості.

Межа пружності визначається як напруження, при якому залишкова деформація досягає 0,05% початкової довжини зразка.

Напруження, при якому зразок деформується без зростання навантаження, називається фізичною межею текучості.

Напруження, яке відповідає навантаженню, що призводить до руйнування зразка, називається часовим опором, або межею міцності.

Під час випробувань на розтягнення визначають:

- відносне подовження;
- відносне звужування.

Значення межі текучості σ_T та межі міцності σ_B наводяться у довідниках і є характеристиками міцності матеріалу. До механічних властивостей матеріалів належать міцність, а також пластичність, тобто здатність матеріалу до залишкової деформації після зняття деформуючих сил.

Деформацією називають зміну розмірів і форми тіла під дією прикладених сил. Повна деформація виявляється у матеріалі під час дії постійного навантаження. Деформація складається з пружної, еластичної, пластичної, однак виділити ці компоненти (частини) під час дії навантаження неможливо. Усі три компоненти під дією навантаження виявляються одночасно.

Пружною називають деформацію, при якій форма, структура та властивості тіла залишаються незмінними після припинення дії зовнішніх сил.

У металах під дією прикладеного навантаження відбувається незначне, повністю оборотне зміщення атомів або поворот блоків кристала. Під час розтягування монокристала зростає відстань між атомами, а під час стиснення атоми зближуються. При зміщенні атомів порушується баланс сил притягання та відштовхування, тому після зняття навантаження атоми повертаються у рівноважний стан і кристали набувають своєї початкової форми та розмірів.

У полімерах пружна частина повної деформації пояснюється появою енергії, спричиненої пружним (оборотним) зміненням зв'язків. Внаслідок незначної зміни напруження зв'язків, які до того були врівноваженими, створюється пружна частина деформації, що поширюється у матеріалі з величезною швидкістю. При цьому у перший період дії навантаження пружна частина деформації є наслідком незначних змін у зовнішніх зв'язках, які визначаються силами тертя та зчеплення матеріалу, виявленням міжмолекулярних зв'язків.

З часом під дією навантаження відбувається істотна зміна зв'язків. Зв'язки, що утворилися внаслідок незначної зміни напруження, поповнюють пружну частину. Зі збільшенням повної деформації матеріалу відбувається неперервний процес змін у зв'язках. Головний закон пружної деформації – закон Гука – визначає лінійну залежність між силою F та виникаючою деформацією Δl :

$$F = ES\Delta l / l, \text{ тобто } \delta = ES,$$

де l – довжина початкового зразка;

S – площа поперечного перетину;

δ – напруження під час розтягування;

Δl – деформація;

E – модуль пружності.

Під час подовження зразка до його розриву зменшується його товщина. Відношення відносного змінення товщини до відносного змінення довжини називають коефіцієнтом Пуассона:

$$M = \frac{BE}{2G} - 1; \quad M = \frac{(\Delta d / d)}{(\Delta l / l)}$$

Коефіцієнт Пуассона пов'язаний з модулем пружності та модулем зсуву:

$$M = \frac{BE}{2G} - 1,$$

де B – модуль пружності, Н/м^2 ; G – модуль зсуву. Модуль Юнга E (модуль пружності) та модуль зсуву G – дві постійні, визначальні властивості твердих тіл.

Еластичною деформацією є частина повної деформації, що змінюється у часі. Виникнення цієї частини деформації пояснюється тим, що зв'язки, які виявляються під час виникнення пружної деформації, в міру дії пластичного навантаження продовжують накопичувати енергію. Цей процес триває у часі та призводить до виникнення еластичної деформації. Участь зв'язків у створенні еластичної деформації триває доти, доки енергія, що накопичилася у зв'язках, не досягне певного значення, що перевищує граничне для даного зв'язку, та не відбудеться порушення цього зв'язку.

Порушення діючих зв'язків зумовлює появу нових зв'язків, які у перший момент виявлення поповнюють пружну деформацію, а потім беруть участь в утворенні еластичної.

Таким чином, під час деформації відбувається неперервне якісне змінення зв'язків, що беруть участь у створенні пружної, а потім еластичної деформації. Еластична деформація, наприклад, у текстильних матеріалах, у зв'язку з особливостями їх будови, виявляється протягом тривалого часу.

Пластична частина повної деформації у матеріалі створюється внаслідок незворотних змін (порушень) зовнішніх і внутрішніх зв'язків. Під впливом тривалого навантаження внаслідок накопичування енергії відбувається порушення зв'язку, що супроводжується перегрупуванням елементів структури матеріалу. При цьому насамперед порушуються менш стійкі та слабкі зовнішні зв'язки.

У металі деформація стає необоротною зі зростанням дотичних напружень, що вище ніж певна величина (межа пружності). При цьому пластична деформація у кристалах може здійснюватися ковзанням і двійникуванням. Ковзання (зміщення окремих частин кристала один відносно одного) відбувається під дією дотичних напружень. Чим більше у металі можливих площин і напрямів ковзання, тим вищою є його здатність до пластичної деформації.

Метали з кубічною кристалічною граткою мають високу пластичність, оскільки ковзання у них відбувається у багатьох напрямках. Ковзання у металі здійснюється внаслідок переміщення у кристалі дислокацій. Внаслідок пластичної деформації відбувається зміна структури полікристалічного металу.

До деформації зерна металу мають закруглену форму, після деформації зерна витягуються у напрямку діючих сил, утворюючи при цьому волокнисту або шарувату структуру.

При значній деформації виникає кристалографічне орієнтування зерен. Закономірне орієнтування кристалів відносно зовнішніх деформаційних сил називається текстурою (текстура деформації). Чим більшим є ступінь деформації, тим більша частина кристалічних зерен набуває переважаючого орієнтування (певної текстури). Утворення певної текстури сприяє виникненню анізотропії механічних і фізичних властивостей. Після припинення дії навантаження відбувається оборотний релаксаційний процес. Під час «відпочинку», завдяки різній швидкості виявлення пружної та еластичної деформації, можливий також поділ повної деформації на складові. При цьому фіксоване значення пружного компонента повної деформації зазвичай називають швидкооборотною деформацією, а еластичний компонент деформації, що виявляється протягом тривалого часу (відпочинку), повільнооборотною деформацією.

Повна абсолютна деформація розтягування, що спостерігалася в матеріалі до моменту розвантаження, визначається як сума компонентів:

$$l = l_{пр} + l_e + l_{пл}$$

де $l_{пр}$, l_e , $l_{пл}$ – відповідно швидкооборотна, повільнооборотна, залишкова деформація.

Значення цих компонентів визначаються за фор

$$l_{пр} = l_k - l_1; \quad l_e = l_k - l_2; \quad l_{пл} = l_2 - l_0.$$

Повну деформацію (наприклад, розтягування) та її складові часто виражають у відносних величинах, добутих діленням абсолютних значень на початкову довжину зразка матеріалу:

- відносна повна E ;
- відносна швидкооборотна $E_{пр}$;
- відносна повільнооборотна E_e ;
- відносна залишкова $E_{пл}$.

Вказані деформації визначаються за формулами:

$$\frac{l}{l_0} = E; \quad \frac{l_y}{l_0} = E_{пр}; \quad \frac{l_{\varepsilon}}{l_0} = E_e; \quad \frac{l_n}{l_0} = E_{пл}.$$

Під час вивчення релаксації деформації текстильних матеріалів та складання порівняльної характеристики компоненти повної деформації необхідно виражати у її частках:

$$\Delta E_{np} = \frac{E_{np}}{E}; \quad \Delta E_e = \frac{E_e}{E}; \quad \Delta E_{nl} = \frac{E_{nl}}{E},$$

з дотримання умови, що $\Delta E_{np} + \Delta E_e + \Delta E_{nl} = 1$.

Враховуючи умовний характер швидкооборотної та повільнооборотної деформації, їх часто об'єднують під загальною назвою «оборотна частина повної деформації»; деформація залишкова – необоротна частина.

До фізико-механічних властивостей матеріалів належить **твердість**. Під час випробувань твердості здебільшого використовують втискування у досліджуваний матеріал індентора, виготовленого зі значно твердішого матеріалу, ніж досліджуваний.

Про твердість матеріалу роблять висновок за глибиною проникнення індентора (твердість за Роквеллом – НК) або за величиною відбитка від втискування індентора при відповідному навантаженні.

В усіх наведених випадках під час втискування індентора відбувається пластична деформація досліджуваного матеріалу. Чим більший опір матеріалу пластичній деформації, тим на меншу глибину проникає індентор і тим вища твердість.

Найширше практикують дослідження твердості за *Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом*.

Визначення твердості за Брінеллем

Суть методу полягає у вдавлюванні сталеві кульки діаметром D (у мм), у зразок (виріб) під дією навантаження P (Н) і вимірювання діаметра відбитка d , мм після зняття випробувального навантаження.

Твердість за Брінеллем визначають за формулою

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} 10^{-6} \text{МПа.}$$

Під час випробувань сталі та чавуну $D = 10$ мм, $F = 2943$ (3000) Н; алюмінію, міді, нікелю та їх сплавів – $D = 10$ мм, $F = 9800$ Н, м'яких металів (Pb, Sn та їх сплавів) – $D = 10$ мм, $F = 2450$ Н. Чим менший відбиток, тим вища твердість.

Для переведення числа твердості в систему SI використовують коефіцієнт $K = 9,8 \cdot 10^6$, на який множать табличне значення твердості: $HB = HB \cdot K$, Па = $HB \cdot K \cdot 10^{-6}$ Па.

Визначення твердості за Роквеллом

Суть методу полягає у вдавлюванні індентора у вигляді алмазного конуса з кутом при вершині 120° (під час випробувань твердості дуже твердих металів) або сталевій кулі діаметром 1,588 мм (під час випробувань м'яких матеріалів). Конус та куля вдавлються під час прикладання двох послідовних навантажень: попереднього й основного і вимірювання глибини проникнення індентора після зняття основного навантаження та збереження попереднього навантаження в одиницях вимірювання 0,002 мм; твердість за Роквеллом вимірюється в умовних одиницях; за одиницю твердості приймають величину, яка відповідає переміщенню індентора на величину 0,002 мм.

Визначення твердості за Віккерсом

Вимірювання твердості за Віккерсом полягає у вдавлюванні алмазного індентора, який має форму правильної чотиригранної піраміди, у зразок під дією навантаження $P(H)$ і вимірюванні діагоналі відбитка d , який залишається після зняття навантаження.

Метод застосовують для визначення твердості виробів малої товщини й тонких поверхневих прошарків, що мають велику твердість.

Під час тертя поверхонь, які стикаються, має місце зношуваність, яку розуміють як процес відокремлення матеріалу від поверхні твердого тіла й зростання його залишкової деформації під час тертя, що виявляється у поступовій зміні розмірів до форми піра

Циклові навантаження матеріалів

Під час навантаження матеріали зазнають деформації розтягування.

Циклові навантаження можуть використовуватися як характеристики для оцінки граничних механічних можливостей матеріалів.

Розглянемо деякі з них.

Одноосьове розтягування

Під час випробування текстильних матеріалів на просте одноосьове розтягування визначають такі показники їх властивостей: розривні навантаження; подовження під час розривання; питомі (розрахункові) характеристики розривного навантаження та подовження, абсолютна робота розриву, Дж; питома (розрахункова) робота розриву, Дж/г; об'ємна робота розриву, Дж/см³.

Необхідно зазначити, що одноосьове розтягнення матеріалу може закінчуватися не тільки розтягуванням, а й розривом

Одноосьове роздирання

Під час експлуатації матеріали зазнають механічних напружень. Ці напруження концентруються на незначній ділянці, спричиняючи руйнування матеріалу.

Міцність на роздирання характеризується роздиральним навантаженням – зусиллям, необхідним для розриву спеціально розрізаного досліджуваного зразка. Існують різні методи випробування тканин на роздирання.

Методи випробувань на роздирання поділяють на *дві групи*:

Методи **1-ї групи** характеризуються тим, що під час випробування досліджуваних зразків (смуг тканин) відбувається розрив ниток, розташованих перпендикулярно до спрямування прикладеного навантаження.

Методи **2-ї групи** відрізняються тим, що під час випробування досліджуваних смуг розриваються нитки, розташовані уздовж спрямування діючого навантаження. Структура матеріалу істотно впливає на показники роздирального навантаження. Так, зі збільшенням у переплетенні довжини перекриттів і зменшенням цупкості тканини міцність під час роздирання зростає. Абсолютне значення роздирального навантаження має відповідати рівності

$$R_{розд} = \delta R_{нит},$$

де δ – напруження системи;

$R_{нит}$ – руйнівне навантаження для нитки у тканині.

Для виробництва, наприклад, тканини, якій притаманна висока міцність на роздирання, слід збільшити цупкість розривної системи (основи, утку).

Дво- та багатоосьове

розтягнення

Під час виготовлення швейних виробів, особливо під час формування деталей та експлуатації одягу, парашутів, вітрил, парасоль тощо внаслідок діючих навантажень вироби зазнають розтягування водночас у різних напрямках. При цьому напруження, що розвиваються у матеріалі, та деформації є неоднаковими у різних напрямках і залежать, головним чином, від будови та властивостей матеріалу, а також від виду та розмірів виробу, пакета одягу, характеру виконуваної роботи та інших факторів.

Ці дослідження є дуже важливими під час розробки нових матеріалів. Методи випробування поділяють на дві групи: методи двоосьового та багатоосьового розтягнення.

Двоосьове розтягнення – це одночасне деформування матеріалу у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Матеріал одержують здебільшого під час дії навантаження, прикладеного перпендикулярно до площини зразка. Такого виду навантажень матеріал зазнає під час протискування його кулькою або мембраною. Під час протискування кулькою центральна частина зразка зазнає найбільшого напруження, де здебільшого і відбувається руйнування матеріалу. Тоді насамперед руйнується та система (ниток, петель), яка характеризується меншим подовженням.

До головних напівциклових нерозривних характеристик, що виникають під час багатоосьового розтягнення текстильних матеріалів, належать:

– зусилля , що розвивається у матеріалі під час його розтягнення на задану величину E за певний час t ;

– подовження матеріалу під час дії заданого навантаження (зусилля) P упродовж певного часу t .

При цьому використовують такі показники, як: модуль початкової пружності E_1 , що відповідає напруженню у зразку матеріалу під час його розтягнення на 1% та характеризує опір матеріалу дефо

$$E_1 = \frac{\delta_p}{E_p K_1},$$

де δ_p – напруження під час розривання, Па;

E_p – подовження під час розривання, %;

K_p – показник пружності, який визначає характер діаграми навантаження – подовження і визначається за формулою:

$$K = \frac{1 - \eta}{\delta},$$

де η – коефіцієнт повноти діаграми навантаження-подовження .

- Одноциклові характеристики отримують під час одноразової дії повного циклу: навантаження – розвантаження – відпочинок.
- Релаксація деформації текстильних матеріалів як під час розтягування, так і під час відпочинку після припинення дії статичного навантаження відбувається тривалий час.
- У тканинах технічна рівновага здебільшого встановлюється через 300–400 год дії статичного навантаження та через 100–200 год після звільнення від навантаження.

У трикотажі релаксація деформації розтягування під час дії навантаження і під час відпочинку триває ще довше. Інтенсифікація релаксаційного процесу відбувається у перший період навантаження (або відпочинку). Через деякий час релаксація деформації уповільнюється і встановлюється відносно рівноважний стан. Статичне навантаження, що діє на матеріал, значно впливає на повну деформацію та істотно змінює її складові: швидкооборотну, повільнооборотну та залишкову. Це пояснюється, головним чином, особливостями будови і структури текстильних матеріалів: щільності; переплетення; характеру обробки.

Виявлення складових деформації розтягу трикотажу порівняно з тканинами має деякі особливості, зумовлені його петельною будовою **48**

Значно впливають на швидкість збільшення деформації у текстильних матеріалах *волога* та *температура*. Під час поглинання водяної пари з навколишнього середовища та ще більшою мірою, якщо безпосередньо занурювати текстильні вироби у воду, молекули останньої, проникаючи у проміжки між макромолекулами, що формують текстильні волокна, послабляють їх зв'язки.

Вологі тканини під дією розтягувальних зусиль подовжуються значно більше, ніж сухі. Збільшення вологості повітря від 65 до 90% істотно змінює характер

Для визначення одноциклових характеристик використовують прилади двох типів:

- **екстензометри**, що працюють за принципом постійного розтягування зразка матеріалу;
- **релаксометри**, що працюють за принципом постійного навантаження на зразок матеріалу.

Під час випробування матеріалів на приладах першого типу вивчають змінення напружень, що відбуваються у зразку матеріалу, який набув постійного заданого подовження. Для вивчення релаксації деформації та визначення складових повної деформації розтягування матеріалу застосовують прилади другого типу: РТ-6; Р-5 та ін.

- У дослідженні механічних властивостей полімерних матеріалів широкого застосовують модельні методи для опису залежності між напруженням, вивчення його дій та деформацій для складання диференціальних рівнянь деформації.
- Найпоширенішим, а отже, і найбільш вивченим типом деформації, є **розтягнення**. Встановлено, що деформація на основі полімерів, складається із трьох компонентів: двох оборотних – пружного (швидкооборотного), високоеластичного (повільнооборотного), і необоротного, або залишкового (пластичного).

- Серед трьох компонентів повного подовження, зважаючи на особливості їх структури, найбільш характерним є перший компонент, тобто *пружні швидкооборотні деформації*. Розвиток і виникнення пружного компонента при дії навантаження на еластомірні матеріали пов'язані зі зміною міжатомних відстаней і валентних кутів у макромолекулах полімеру і відбуваються зі швидкістю звуку.
- Переважна більшість виробів у процесі експлуатації піддається дії багаторазових змінних напружень, внаслідок чого властивості матеріалів погіршуються доти, доки не відбудеться їх руйнування. Цей процес називають *утемпечістю*.

- **Утомленість** – властивість матеріалів руйнуватися під дією багаторазових змінних напружень. Це руйнування матеріалу або погіршення його властивостей не супроводжується істотною втратою маси (поверхневої густини матеріалу).

Багатоциклове розтягування матеріалу характеризують такими показниками, як довговічність, межа витривалості та ін.

- **Витривалість** – здатність матеріалів витримувати дію багаторазових змінних напружень без руйнування під час певної деформації (навантаження) у кожному циклі.
- **Межа витривалості** – максимальне напруження (деформація), за якого зразок може витримувати необмежену кількість циклів змінних напружень.
- **Довговічність** – це час від початку прикладання сили до руйнування під час певної деформації (навантаження) у кожному циклі.

- **Цикл** – це одноразове змінення навантаження.
- **Міцність під час втомленості** – це максимальне напруження, яке зразок витримує без руйнування.
- **Залишкова циклічна деформація** – це деформація, що накопичилася протягом певної кількості циклів:

$$Ez.ц.д. = \frac{l}{l_0} \cdot 100\%.$$

- Багаторазові розтягувальні навантаження у матеріалах через велику кількість циклів призводять до поступового розхитування їх структури, зменшення міжмолекулярних зв'язків, зміщення, навіть розриву ланцюгових молекул.
- Накопичуються пластичні та зменшуються пружні та високоеластичні деформації. Виникає явище втомленості. Таким чином, механічні характеристики від впливу багаторазових навантажень погіршуються.
- Поступове накопичення деформацій призводить до того, що навантаження, менше ніж критичне, може спричинити розрив матеріалу та його руйнування.

Характеристики властивостей згину

Усі характеристики згину поділяють на:

- напівциклові;
- одноциклові;
- багатоциклові.

Характеристики згину, як правило, нерозривні. Напів- та одноциклові – *нерозривні*, а багатоциклові бувають як *нерозривними*, так і *розривними*.

До напівциклових характеристик належать:

- ✓ жорсткість на згин;
- ✓ драпірувальність;
- ✓ закручувальність трикотажу.

Жорсткість на згин

Під **жорсткістю** тіла розуміють його здатність чинити опір зміненню форми під впливом зовнішньої сили. Стосовно текстильних матеріалів під жорсткістю розуміють їх опір умовній пружній деформації (що складається з пружної та еластичної частин зі швидким періодом релаксації), спричиненій дією прикладених сил, тобто здатність матеріалу зберігати форму під час дії зовнішньої згинальної сили.

Згідно з теорією пружності за законом Гука, жорсткість на згин (B) визначається як добуток модуля поздовжньої пружності (E) на момент інерції перетину тіла відносно нейтральної осі I :

$$B = EI,$$

де I – момент інерції, що характеризує здатність тіла чинити опір згину залежно від розмірів і форми поперечного перетину;

E – модуль поздовжньої пружності, що характеризує здатність тіла згинатися, але вже залежно від матеріалу тіла.

Модуль пружності $E = \delta/\varepsilon$, характеризуючи пружні властивості твердих тіл, прямо залежить від напруження δ і деформації ε .

Однак текстильні матеріали, деформуючись, не підпорядковуються закону Гука, а пружні деформації є лише складовою повної деформації, що виникає через дане напруження. Тому наведена формула може бути підтвердженням лише для малих, короткочасних навантажень, за яких частка умовно-пружної деформації становить більшу частину.

Якщо розглядати згин консольно закріпленого зразка тканини, можна розрахувати жорсткість під час згину як довжину згину, яка є мірою взаємозв'язку маси (поверхневої), цупкості тканини та її жорсткості.

Чим жорсткішою є тканина, тим більшою буде довжина (l) її частини, що звисає

Показник умовної жорсткості ($\text{мкН}\cdot\text{см}^3$) розраховують за формулою

$$B_y = \frac{m_n l^3}{A},$$

де m_n – маса 1 см смуги тканини, мг;

l – довжина частини смуги, що звисає, см;

A – коефіцієнт, який визначається як функція відносного прогину кінця смуги, що звисає.

$$A = f(h_0),$$

де $h_0 = \frac{h}{l}$ – показник жорсткості текстильних матеріалів який залежить від: волокнистого складу текстильного матеріалу; структури волокна; властивостей волокон і ниток; структури та обробки текстильного матеріалу.

- Чим більше розпрямлені та орієнтовані ланцюгові молекули полімеру, тим більшим є внутрішнє тертя, що обмежує переміщення ланцюгів молекул, тим меншою є гнучкість волокон і більшим модуль пружності.
- Наприклад: більша жорсткість лляної тканини пояснюється високим модулем пружності лляних волокон. Через низький модуль пружності вовняних волокон жорсткість вовняної тканини є незначною.
- Закруглена форма перетину волокон чинить більший опір згинальним зусиллям, ніж плоска форма.

Жорсткість волокон зростає зі збільшенням їх товщини. Оскільки жорсткість на згин характеризується моментом інерції перетину матеріалу, то зі збільшенням товщини матеріалу, формуючих його ниток або волокон жорсткість зростає. Крім того, жорсткість зростає зі збільшенням скручування ниток, тобто підвищується щільність ниток. Тип переплетення тканин є головним фактором, що впливає на жорсткість. Зі збільшенням довжини перекриттів і зменшенням кількості зв'язків між системами ниток жорсткість тканини зменшується.

На жорсткість тканин впливають також оброблювальні операції, особливо апретування (наприклад, обробка вовняних камвольних тканин карбомолом збільшує їх жорсткість у 1,5 раза), атмосферні умови (під впливом температури і вологості жорсткість тканин змінюється, причому у менш цупких тканинах ці зміни пов'язані з властивостями волокон, у більш цупких – зі структурою самої тканини). У процесах швейного виробництва матеріали, які набули певної жорсткості, менше зминаються, не мають перекосів і зминань, завдяки чому забезпечується більша точність викроювання деталей.

Прилади для визначення жорсткості матеріалів на згин можуть бути поділені на два типи:

- прилади, на яких жорсткість визначається під дією розподіленого навантаження (власної маси зразка, поверхневої цупкості матеріалу);
- прилади, на яких жорсткість визначається під дією зосередженого навантаження.

До **першого типу** належать прилади, на яких жорсткість визначається методом консолі (прилад ПТ-2). На приладах першого типу умовна жорсткість визначається під час згинання зразка (смуги) перпендикулярно до його площини (осі). Зразок розташовують на опорі та притискають до неї вантажем, який забезпечує контакт із площиною опірною майданчика.

Під час випробування бокові сторони опірною майданчика опускаються, а разом із ними прогинається і зразок. Залежно від жорсткості прогин зразка може бути більшим або меншим.

Жорсткість зразка B визначають у
поздовжньому та поперечному напрямках за
формулою

$$B = 42046 \frac{m}{A},$$

де m – маса п'яти досліджуваних смужок;

A – коефіцієнт, який визначають як функція
відносного прогину

$$A = \frac{f}{l},$$

де f – остаточний прогин досліджуваного
зразка;

l – довжина кінців досліджуваного зразка, які
звисають, що дорівнює 6 см.

На приладах другого типу випробовуються матеріали зі значною жорсткістю; штучна шкіра, дублені матеріали, пакети одягу. До приладів другого типу належить прилад ПЖУ-12М, на якому жорсткість визначається за навантаженням, необхідним для прогину, зігнутого у кільце зразка на $1/3$ його первинного діаметра.

Усі текстильні матеріали, призначені для одягу, мають бути гнучкими; одяг із них не повинен заважати рухам людини. Гнучкість є величиною, оберненою жорсткості, та характеризується здатністю матеріалу деформуватися під дією згинальних зусиль.

Драпірування

Драпірування – це здатність текстильних матеріалів у підвішеному стані утворювати м'які округлі складки.

Цей показник залежить від гнучкості матеріалу та його маси. Чим більше зусиль потребується для згину матеріалу, тим гіршим є драпірування. Чим більшою є маса матеріалу, тим кращою є його драпірування. Особливо добре драпіруються важкі гнучкі матеріали. Вони утворюють дрібні симетрично спадаючі м'які складки з невеликим радіусом закруглення. Для вільного одягу драпірування матеріалу повинно бути більшим, ніж для прилягаючого.

Драпірування характеризується коефіцієнтом драпірування D , який визначається за емпіричною формулою залежно від показників жорсткості

$$D = 100\sqrt{\alpha a + v + c},$$

де a, v, c – сталі величини, які залежать від значення a :

$$\alpha = \frac{A}{l^3},$$

де A – коефіцієнт, який визначається як функція відносного прогину.

При $a > 0,23$; $a = 0,595$; $v = 0,041$; $c = 0,203$. 68

Уявлення про драпірування матеріалу в різних напрямках дає дисковий метод, що базується на визначенні двох величин:

- співвідношення розмірів осьових ліній, проведених крізь центр площини проекції (у тканині – у напрямку основи та утку; у трикотажі – уздовж петельних рядів і петельних стовпчиків);
- коефіцієнта драпірування, який обчислюється за формулою

$$K_{др} = \frac{S_0 - S_n}{S_0},$$

де S_0 – площа поверхні зразка, мм²;

S_n – площа проекції зразка

Закручування трикотажу

Трикотаж складається із системи ниток, зігнутих у петлі, розташування та зв'язки яких визначаються переплетенням. Зв'язок петель між собою забезпечується неперервністю нитки (пряжі), яка переходить із однієї петлі в іншу, та тертям між петлями у точках їх контакту.

Зв'язки, що забезпечуються неперервністю нитки (пряжі), є жорсткими, а зв'язки, що забезпечуються тертям, – рухливими.

Рухливі зв'язки допускають змінення розмірів петель по висоті та ширині внаслідок перетягування нитки з петельних дуг і протяжок у петельні палички.

Нитки (пряжа) у процесі плетіння зазнають деформації згину та розтягу, внаслідок чого вони набувають зігнутої форми.

Тертя між нитками, волокнами та всередині волокон сприяє збереженню зігнутої форми у нитці. При цьому в нитці розвиваються не тільки пластичні деформації, що сприяють збереженню нитки такою, якою вона є, а й пружні, що надають нитці внутрішнього напруження, поки вона зв'язана із сусідніми петлями, і зникають під час розрізування трикотажного полотна.

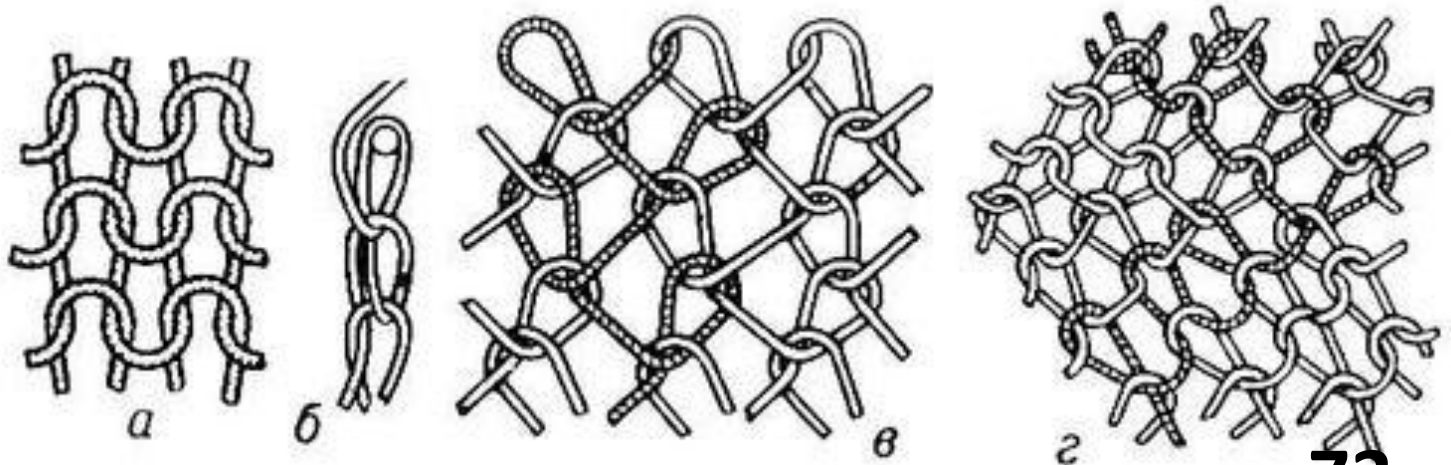
Напружений стан нитки обумовлений спрямованістю одинарних трикотажних переплетень, що обумовлює закручування (кулірна гладь, покривний одинарний трикотаж, платирований трикотаж).

Якщо з трикотажного полотна таких видів переплетень вирізати зразок і залишити його у вільному стані, то він одразу ж почне закручуватися з виворотного на лицьовий бік лінії петельних стовпчиків і з лицьового боку на виворотний – по лінії петельних рядів.

Здатність трикотажу до закручування пояснюється тим, що внаслідок пружності нитка, зігнута у процесі петлеутворення, знову випрямляється.

Ступінь закручування трикотажу залежить від: властивостей волокон; структури (нитки) пряжі; товщини нитки; виду переплетення; щільності плетіння.

Подвійно переплетені як *поперечноплетені* (ластик, інтерлок, фанг, напівфанг), так і *основоплетені* (трико, сукно, атлас та їх похідні) не закручуються, оскільки спрямованість ниток у петлях на одному боці до закручування нейтралізується спрямованістю ниток на іншого боці.



Під час розкроювання деталей виробів із трикотажних полотен одинарних переплетень закручування негативно впливає на процеси розкрійного та швейного виробництва.

Для зменшення закручування готового полотна його каландрують. Каландрування (прокатування під дією навантаження) закріплює петлі у трикотажі, втискуючи їх одна в одну та розплющуючи нитки (пряжу), утворюючи петлі. При цьому збільшуються сили зчеплення між нитками та зменшується здатність ниток розпрямлятися під час розрізування трикотажних полотен.

У деяких оброблених основоплетених полотнах спостерігається закручування пружка, що спричинює додаткові відходи під час розкроювання.

У процесі експлуатації одягу рухи людини спричинюють деформації згину матеріалу. У місцях постійного згину, наприклад, на рукавах, матеріал утворює з часом глибокі зморшки. Внаслідок довгочасної експлуатації одягу змінення структури та погіршення властивостей матеріалу відбувається через прикладання багаторазових згинальних зусиль, що призводить до втомленості матеріалу.

Зминальність – властивість текстильних матеріалів під дією деформацій згину та стискання утворювати незникаючі зморшки. Зминальність є наслідком виявлення матеріалом пластичних та еластичних деформацій з повільним періодом релаксації.

Показник, протилежний зминалності, – незминалність.

Незминалність – властивість матеріалу чинити опір та відновлювати первинний стан після зняття зусилля, яке спричинило згин. Здатність матеріалу чинити опір згинанню залежить від його жорсткості, а здатність розгладжуватися, відновлюючи первинний стан, – від пружних властивостей та еластичних деформацій зі швидким періодом релаксації. Між часткою умовно-пружної деформації та незминалністю існує пряма залежність, яка характеризується коефіцієнтом кореляції порядку 0,8–0,9. Якщо матеріалу властива значна частка швидкозникаючої деформації, вироби з нього матимуть хорошу незминалність. Якщо ж у матеріалі переважає частка пластичної деформації або зворотний релаксаційний процес відбувається дуже повільно, одяг, що зім'явся у процесі носіння, не відновлює своєї первинної форми.

Співвідношення складових частин деформації під час згину текстильних матеріалів залежить від структури волокон, що його утворюють, структури матеріалу, його цупкості, вологості.

Залежно від характеру створених на матеріалі складок прилади для визначення незминальності (зминальності) матеріалів поділяють на два типи:

- ❖ прилади, що виконують орієнтоване зминання зразків;
- ❖ прилади, що виконують неорієнтоване зминання зразків.

Під час орієнтованого зминання зразок складається під кутом 180° , після чого протягом деякого часу (зазвичай 15–20 хв) на нього кладуть вантаж.

Незминальність характеризується відношенням кута відновлення до кута повного згину та визначається у поздовжньому і поперечному напрямках за формулою (ГОСТ

$$X_0 = \frac{\alpha_{cp}}{180} \cdot 100,$$

де – середнє арифметичне вимірів кутів відновлення п'яти досліджуваних зразків у поздовжньому напрямку (до основи).

Незминальність визначається за утком тканини.

На вимірювачі зминальності ВНДІПХВ, що береться як стандартний для визначення зібгання здебільшого шовкових тканин, зразок, складений під кутом 180° , стискається спеціальним затискачем. Після розвантаження зразок переносять на вимірювальний пристрій.

Прилад СМТ ЦНДБІ використовують для випробування бавовняних тканин, яке полягає у тому, що закріплення, навантаження та вимірювання зразка після відпочинку здійснюється безпосередньо на приладі.

На приладі ЦНДІШП незминальність вовни оцінюється висотою складок, які зберігаються на матеріалі після його зібгання, розвантаження та відпочинку.

Неорієнтована незминальність визначається на приладі СТП-4 та характеризується коефіцієнтом незминальності K :

$$K = \frac{h_k}{h_0},$$

де h_k – кінцева висота після зминання та відпочинку зразка;

h_0 – початкова висота зразка.

Характеристика сил тертя у матеріалах

Важливими характеристиками властивостей текстильних матеріалів є:

- опір стиранню;
- стійкість до розсування ниток у швах;
- обсипальність ниток зі зрізів тканин;
 - міцність і розтяжність;
- розпускальність трикотажу та ін.

Ці властивості значною мірою визначаються силами тертя (зовнішнього) матеріалу та силами тертя ниток і волокон, що формують цей матеріал. Тертя текстильних матеріалів відіграє важливу роль у технології швейного виробництва.

Тертя T (зовнішнє) розуміють як силу, що протидіє відносному переміщенню стичних тіл у площині стикання.

Розрізняють:

- ❖ *тертя спокою* (або статичне тертя T_c), коли сила тертя $T = T_c$ і здатна перешкоджати руху тіла по поверхні $T_c > P$;
- ❖ *тертя ковзання* (кінетичне тертя T_k), коли сила тертя $T = T_k$ і здатна перешкоджати дії зовнішньої сили, тобто

Для переміщення стичних тіл важливою характеристикою є *тертя ковзання*.

Згідно із **Законом Амонтона** відношення сили тертя до сили нормального тиску для двох стичних тіл є величиною постійною і має назву коефіцієнт тертя :

$$\mu = \frac{T}{w}; \quad T = \mu w.$$

Природа тертя є складною і полягає в тому, що виявлення сил тертя є результатом механічної та молекулярної взаємодії стичних поверхонь. Під час зіткнення матеріалів, що мають мікронерівності, виникають фрикційні зв'язки, зумовлені взаємним зчепленням нерівностей, молекулярною взаємодією на ділянках збіжних мікроскопічних виступів або поверхневою взаємодією. Природа цих зв'язків залежить від виду матеріалу та має в'язко-пружний характер.

Сумарні сили тертя визначаються двома головними факторами:

- силами міжатомної взаємодії;
- силами механічного зчеплення матеріалів, діючими не по всій поверхні стикання матеріалів, а тільки у площині їх фактичних контактів.

Зв'язки, що діють у зоні контакту, характеризують елементарну силу тангенціального опору, яка визначається за формулою

$$\tau = \alpha + \beta n,$$

де α – коефіцієнти, що залежать від природи стичних тіл;

n – елементарна нормальна сила.

Основним показником, який характеризує тангенціальний опір, є коефіцієнт тангенціального опору:

$$f_{\text{т.оп}} = \frac{T_0}{N} = \frac{\text{сила тертя}}{\text{сила норм. тиску}}$$

Сили тангенціального опору утримують нитки у тканинах та перешкоджають їх зміщенню.

Будова ниток і характер їх поверхні визначають коефіцієнт тангенціального опору і залежать від:

- зчеплення волокон;
- ступеня їх зігнутості;
- характеру розташування волокон у нитці;
- наявності коротких волокнинок у нитці, які роблять нитки пухнастими;
- компактності та жорсткості нитки, зумовлених скручуванням.

Стійкість до стирання є властивістю матеріалу, яка визначає його здатність сприймати зовнішнє тертя не руйнуючись.

Сила, що обумовлює переміщення тіл, між якими відбувається тертя, витрачається на подолання опорів, що виникають внаслідок нерівностей поверхонь.

Зношування відбувається внаслідок механічного, корозійно-механічного, ерозійного впливу або від утомленості матеріалу. До механічного зношування належить абразивне, гідроабразивне, газоабразивне зношування. Увесь процес *стирання* поділяють на тричотири стадії зношування (залежно від структури):

- ✓ період притирання (у текстильних матеріалів це – пілеутворення та руйнування пілей);
- ✓ період усталеного стирання (звалюваність);
- ✓ період зростання інтенсивності стирання – стирання до дірок

Усі прилади для визначення зношування працюють за принципом стирання зразка абразивом.

Як абразив для текстильних товарів використовують сірошинельне сукно. Зносостійкість цих матеріалів визначається кількістю циклів стиральних впливів приладу (P_3).

На зносостійкість впливають:

- умови випробування;
- температура повітря, °С;
- вологість повітря, %;
- тиск повітря, кПа (мм рт. ст.);
- частота обертання абразиву, хв-1,
 - абразив.

З метою визначення зносостійкості проводиться дослідження таких показників, як:

- змінення повітропроникності (залежно від терміну та прикладеного навантаження);
- вплив кількості циклів стирання зразка на втрату маси текстильного матеріалу.

Ступінь закріпленості ниток у тканині оцінюється розсувністю та обсипальністю.

Розсувність ниток у тканині – це зміщення ниток однієї системи відносно іншої (основа, уток) під впливом зовнішніх сил.

- **Обсипальність** – випадіння ниток із відкритих зрізів тканини. Оскільки у тканині нитки утримуються силами тертя та зчеплення, то, чим гладкішою є поверхня нитки, тобто чим меншим є коефіцієнт її тертя, тим легше нитка вислизає зі зрізу та легше зміщується у тканині. Чим більшою є площа поверхні контакту основних ниток з утоковими, тим більшою є поверхня, на якій розвивається тертя. Зі збільшенням цупкості та зменшенням довжини перекриттів зростає коефіцієнт зв'язаності тканини і зменшується можливість зміщення та обсипання ниток.

На обсіпальність і розсувність тканини впливають:

- товщина основних та утокових ниток (обсіпальність і розсувність властиві тканинам із дуже відмітними товщинами основних та утокових ниток);
- обробні операції (обпалювання, стриження, розширення) підвищують можливість розсування та обсіпання ниток.

І навпаки, апретування та валяння закріплюють нитки та зменшують розсувність та обсіпальність тканин.

Менш інтенсивно обсіпаються тканини, розрізані під кутом 45° , тому для зменшення обсіпальності тканин зубці по краю шва висікаються під кутом 45° .

- Розсувність ниток у тканині визначається на розривальних машинах за допомогою спеціального пристрою. Зусилля, які необхідно докласти, щоб спричинити зміщення ниток тканини, є показником розсувності.
- Тканини за цим показником поділяються на легкорозсувні, тканини із середньою розсувністю та нерозсувні тканини.

- Розпускальність трикотажу – здатність нитки петлі у разі її обриву переміщуватися та вислизати з інших петель трикотажу.
- Головна причина розпускальності трикотажного полотна у разі обриву нитки – це порушення його рівноважного стану. Рівноважним вважають такий стан трикотажу, за якого він не виявляє здатності до подальшого змінення розмірів та характеризується найбільшою їх стабільністю.
- Розпускальність трикотажу значною мірою визначається силами тангенціального опору ниток, їх пружністю і залежить від: волокнистого складу і товщини ниток (меншою є розпускальність у полотен з вовняної та бавовняної пряжі, текстурованих ниток, ниток фасонного крутіння); форми та довжини петлі (відкриті або закриті петлі); виду переплетення (кулірні трикотажні полотна характеризуються найбільшою розпускальністю) і уздовж петельних рядів, і уздовж петельних стовпчиків; основов'язальні розпускаються тільки уздовж петельних стовпчиків

Теплофізичні властивості матеріалів

До теплофізичних властивостей матеріалів належать:

- характер теплового руху в кристалах твердого тіла і теплопередача в полімерних матеріалах;
- здатність матеріалів проводити тепло під час дії теплової енергії;
- здатність матеріалів поглинати тепло при дії теплової енергії;
- здатність матеріалів змінювати або зберігати свої властивості під час дії теплової енергії.

- У кристалах тепловий рух може розглядатися як коливання частинок, що розміщуються у вузлах кристалічної ґратки, навколо своїх рівноважних станів з амплітудою коливань, що становить до 7% рівноважної відстані між сусідніми частинками.
- Коливання передаються від частинки до частинки і поширюються у формі хвиль. Механізм поширення теплових хвиль у кристалах аналогічний механізму поширення звукових хвиль, тому їх часто називають акустичними хвилями. Подібно до енергії електромагнітних коливань енергія акустичних хвиль квантується. Квант цієї енергії називають **фононом**.

Фотони – це елементарні носії руху у системі частинок, що складають кристалічну ґратку та належать до категорії квазічастинок.

Вони можуть виникати та існувати лише в матеріальному середовищі, а не у вакуумі. Сума динамічних властивостей квазічастинок у кристалі й характер їх руху визначають електричний спектр твердого тіла.

Енергія фотона визначається за формулою

$$E = h\nu,$$

де h – стала Планка (квант дії) – $h=6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$;
часто зустрічається величина $\hbar = h/2\pi = 1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

ν – частота коливань.

Полімерні текстильні матеріали являють собою складну пористу структуру, що складається з волокон і заповнених повітрям пор, форма і розміри яких різноманітні (мікро- і макрокапіляри, наскрізні й замкнуті пори). Теплопередача у матеріалах неоднорідної структури здійснюється завдяки теплопровідності полімерних волокон; теплопровідності повітря, що міститься в порах матеріалу; конвекцією через пори, тобто передачею тепла з поверхні повітрям, що рухається; тепловим випромінюванням стінками пор.

Теплозахисні властивості текстильних матеріалів визначаються, головним чином, тепловим опором повітря, що в них міститься.

Збільшення повітропроникності, підвищення швидкості повітряного потоку, а також підвищення вологості зумовлює зменшення теплозахисних властивостей **97**

Теплопровідність – здатність матеріалів проводити тепло за умови різниці температур з обох боків матеріалу. Теплопровідність оцінюється коефіцієнтом теплопровідності λ і показує, яка кількість тепла проходить за годину крізь 1 м^2 матеріалу, товщиною 1 м при різниці температур 1° С :

$$\lambda = \frac{Q\delta}{ST(t_1 - t_2)},$$

де Q – тепловий потік або кількість тепла, що проходить крізь стінку площею S , протягом часу T ;
 t_1 і t_2 – відповідно температура внутрішнього і зовнішнього боків матеріалу (пластинка), $^\circ \text{ С}$;

δ – товщина шару матеріалу, м

Коефіцієнт теплопередачі K , Вт/(м²·с) характеризує теплопровідність матеріалу при його фактичній товщині:

$$K = \frac{Q}{ST(t_1 - t_2)}$$

Питомий тепловий опір – це величина, обернена до коефіцієнта теплопровідності:

$$\rho = \frac{1}{\lambda}$$

Тепловий опір – величина, обернена до коефіцієнта теплопередачі:

$$R = \frac{1}{K}$$

Питомий тепловий опір ρ і тепловий опір R характеризують здатність текстильних матеріалів запобігати проходженню крізь них тепла, тобто характеризують теплозахисні властивості. Чим вищі значення мають ці величини, тим вищі теплозахисні властивості текстильних матеріалів.

Найчастіше для характеристики теплозахисних властивостей текстильних матеріалів, з яких виготовляється одяг в умовах, наближених до експлуатаційних, визначають сумарний тепловий опір.

$$R_{\text{сум}} = R_{\text{в}} + R_{\text{м}} + R_{\text{п}},$$

де $R_{\text{в}}$ – опір теплосприймання;

$R_{\text{м}}$ – тепловий опір матеріалу при переході від внутрішньої поверхні матеріалу до зовнішньої;

$R_{\text{п}}$ – опір теплопереходу тепла від зовнішньої поверхні матеріалу у зовнішнє середовище.

- На теплозахисні властивості виробів суттєво впливає кількість шарів матеріалу в пакеті одягу. Зі збільшенням кількості шарів матеріалу сумарний тепловий опір пакета зростає, що пов'язано як із додаванням теплового опору окремих шарів, так і з наявністю повітряних прошарків між ними. $R_{\text{сум}}$ варіює в інтервалі значень 0,781–0,1080 м²·°С/Вт: ватилін – 0,327, хутро штучне – 0,246, ватин бавовняний (у два шари) – 0,237, шинельне сукно – 0,172, байка – 0,149, молескін – 0,156, діагональ вовняна – 0,129, бязь – 0,112.

Теплоємність – це кількість тепла, яка необхідна для підвищення температури тіла (матеріалу) на 1°C у певному інтервалі температур, Дж/С:

$$c = \frac{Q}{t_2 - t_1}.$$

де Q – кількість тепла, Дж;

$t_2 - t_1$ – різниця тепла.

При зниженні температури кінетична енергія руху атомів і молекул зменшується, тобто тіло (матеріал) у певних умовах здатне віддавати тепло.

- Характеристиками теплоємності матеріалу є *питома та об'ємна теплоємність*.

Питома теплоємність – це кількість тепла, яку необхідно надати матеріалу масою (поверхневою щільністю) 1 кг, щоб підвищити його температуру на 1°C. Дж/(кг·°C):

$$c = \frac{Q}{m(T_1 - T_2)},$$

де Q – кількість тепла, Дж;

m – маса матеріалу, кг (поверхнева щільність матеріалу);

$T_1 - T_2$ – різниця термодинамічних температур, °C.

Питома теплоємність повітря – 0,24 Дж/(кг · °C);

Об'ємна теплоємність C , Дж/(м³·°С) показує, яку кількість тепла необхідно витратити для нагрівання одиниці матеріалу. Об'ємна теплоємність завжди дорівнює теплоємності об'ємної маси матеріалу. Питома теплоємність матеріалів для одягу коливається від $1,09 \cdot 10^3$ до $2,18 \cdot 10^3$ Дж/(кг·С°). Об'ємна теплоємність повітряно-сухих матеріалів становить $231,60 \cdot 10^3$ – $1103,40 \cdot 10^3$ Дж/(м²·С°). Найбільшу теплоємність мають волокна тваринного походження (вовна, натуральний шовк) і синтетичні волокна (капрон); у бавовни, льону, віскози, лавсану теплоємність менша.

Матеріали з великою об'ємною теплоємністю мають кращі теплозахисні властивості. Якщо процес перенесення тепла в матеріалі при стандартному (усталеному) теплообміні характеризується коефіцієнтом теплопровідності (λ), а на межі матеріалу з навколишнім середовищем – коефіцієнтом K , то при нестандартному (регулярному), неусталеному теплообміні процес перенесення тепла пов'язаний зі зменшенням або збільшенням загальної теплоємності матеріалу.

Коефіцієнт теплопровідності характеризує здатність матеріалів вирівнювати температуру в різних точках, а також передавати тепло від більш нагрітих ділянок до менш нагрітих, тобто теплоінерційні властивості матеріалів. Коефіцієнт теплопровідності залежить від теплоємності матеріалу:

$$a = \frac{\lambda}{C_v}$$

де C_v – теплоємність матеріалу;

ν – об'ємна маса матеріалу, кг/м³.

Значення коефіцієнта теплопровідності (a) матеріалів коливається від 7,17 до 17,33 м²/с і залежить від об'ємної маси матеріалу, температури і виду волокон (якщо це текстильний матеріал)

- З натуральних волокон найбільший коефіцієнт теплопровідності має бавовна, найменший – вовна. Теплопровідність значною мірою впливає на теплозахисні властивості матеріалів. Матеріали для зимового одягу повинні мати мінімальний коефіцієнт теплопровідності. З іншого боку, теплопровідність відіграє велику роль у процесах волого-теплової обробки швейних виробів, оскільки вона визначає швидкість прогрівання матеріалів, що обробляються. Наявність вологи в матеріалі значно підвищує його теплопровідність як за рахунок більш високої теплопровідності води, так і завдяки переміщенню вологи від більш нагрітих ділянок до менш нагрітих згідно з теорією тепломасообміну в дисперсних системах.

- При нагріванні матеріалів теплова енергія, яка ними поглинається, перетворюється на кінетичну енергію руху молекул і атомів, що призводить до послаблення міжмолекулярних зв'язків, збільшення рухливості макромолекул. Внаслідок цього спостерігається зміна фізико-механічних властивостей матеріалів: підвищення їх деформацій, зниження міцності, стійкості та ін. При значному підвищенні температури енергія руху атомів і молекул може перевищити енергію внутрішньомолекулярних зв'язків, тоді відбуватиметься процес хімічної деструкції полімеру, що призведе до незворотних змін у структурі й властивостях матеріалів.
- Витривалість матеріалів до високих температур характеризують тепло- і термостійкість. Теплостійкість матеріалу оцінюють максимальною температурою, вище якої починається термічний розпад матеріалу. Тому при виробництві текстильних, силікатних, металевих товарів дуже важливо встановити оптимальне співвідношення таких параметрів, як температура, час обробки виробів, оснащення.
- При підвищенні температури в металах збільшується відстань між вузлами кристалічної ґратки, тобто відбувається термічне розширення, яке характеризує здатність матеріалу змінювати розміри при зміні температури.

Термічне розширення характеризується такими коефіцієнтами:

а) коефіцієнтом лінійного розширення

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_1 \Delta t},$$

де Δl – зміна довжини тіла, мм;

l_1 – довжина зразка при початковій температурі, мм;

Δt – зміна температури, °С;

б) коефіцієнтом об'ємного розширення:

$$\rho = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta t},$$

де ΔV – зміна об'єму тіла, см³,

V_1 – об'єм тіла при початковій температурі, см³;

Δt – зміна температури, °С.

- Термічне розширення має велике значення для скла. Можливість поєднання шарів скла різного хімічного складу між собою визначаються тепловим розширенням кожного з них.
- Що ж до різких коливань температури, то якщо матеріал має велике термічне розширення, виріб може зруйнуватися.
- Для виміру коефіцієнта розширення в широкому інтервалі температур застосовують прилад, який називають **дилатометром**.
- Термостійкість матеріалу визначається кількістю теплосмін у певному інтервалі температур, які вироби витримують без руйнування і погіршення властивостей.

- За **термостійкістю** матеріали поділяються на термо- і жаростійкі.
- **Жаростійкі** матеріали (наприклад, волокна) зберігають свої експлуатаційні властивості при 2000–2500°C. До таких волокон належать вуглецеві, борні, поліформальдегідні та ін.
- **Вогнестійкість** визначає стійкість матеріалів щодо дії полум'я. До негорючих матеріалів належать скляні волокна, хлоринове волокно.
- **Морозостійкість** визначає стійкість матеріалів до впливу дії низьких температур. Згідно з класичними основами фізики зі зниженням температури тіла зменшується кінетична енергія макромолекул та їх ланок, значно збільшується міжмолекулярна взаємодія. Так само, як і дія високих температур охолодження матеріалів може призвести до змін фізичної структури полімеру, які, як правило, мають оборотний характер, або до його деструкції, внаслідок якої необоротно змінюються фізико-механічні та хімічні властивості матеріалів.

- Зміна властивостей матеріалів у діапазоні низьких температур від 0 до 50 °С зумовлена зміною лише фізичної структури полімеру. Зменшення кінетичної енергії макромолекул полімеру в умовах низьких температур зумовлює, зазвичай, збільшення міцності та зниження подовження натуральних і хімічних волокон і матеріалів з них.
- Вплив низьких і знакозмінних температур на властивості текстильних матеріалів обумовлює найбільші зміни деформації розтягу в початковому періоді знаходження текстильних матеріалів (тканин) в умовах холоду, в подальшому деформація стабілізується. Але характер повної деформації, співвідношення її складових змінюється у міру витримування тканини при низькій температурі: зменшується пружна деформація і збільшується пластична. Крім того, при тривалому витримуванні текстильних матеріалів в умовах холоду з'являється негативна деформація, тобто зменшуються поздовжні перетини текстильних матеріалів (тканин) порівняно з початковими, що зумовлено релаксаційними процесами, що відбуваються у структурі текстильного матеріалу (тканини) і полімеру волокна.

- Негативна деформація за часом прояву належить до еластичної і пластичної складових повної деформації, тому вона умовно названа квазіеластичною і квазіпластичною.
- Суттєво впливає на властивості текстильних матеріалів наявність вологи в їх структурі, оскільки перетворення води на лід пов'язане зі збільшенням питомого об'єму і розвитком у структурі полімеру механічних напружень. Утворення кристалів льоду у структурі матеріалу супроводжується двома процесами, що протилежно діють на структуру полімеру; з одного боку, відбувається зневоднення, що сприяє зміцненню структури, з іншого – зростання кристалів, збільшення об'єму води призводить до розпушення структури, що спричиняє втрату міцності. У різних полімерах дія кожного процесу виявляється більшою або меншою мірою залежно від гідрофільності та впорядкованості молекулярної структури. Чим вища щільність упакування макромолекул у структурі волокна, тим більшою мірою виявляється розпушувальна дія

- Виникнення механічних напружень, що розвиваються внаслідок появи і зростання кристалів льоду в полімерній сітці, створює умови для хімічних змін (деструкція макромолекул), інтенсивність яких залежить від температури середовища і міцності хімічних зв'язків. Саме наявність вологи сприяє зниженню міцності бавовняних і льняних тканин. При заморожуванні тканин з целюлозних волокон, що мають крихку структуру, більшою мірою виявляється процес зневоднювання і меншою – вплив зростання кристалів.

Усі методи, що застосовуються для визначення теплофізичних властивостей матеріалів, можна поділити на дві групи:

- методи, що ґрунтуються на усталеному стаціонарному теплообміні, коли в різні відрізки часу через матеріал або систему матеріалів проходить однакова кількість тепла. До цієї групи належать калориметричний і порівняльний методи. При дослідженні у стаціонарному тепловому режимі зразок матеріалу поміщують у прилад, в якому джерелом тепла постійної потужності створюється стаціонарне за часом температурне поле. Методи цієї групи дають змогу визначити лише коефіцієнт теплопровідності;
- методи, що ґрунтуються на неусталеному, нестаціонарному теплообміні, коли через матеріал у рівні проміжки часу проходить різна кількість тепла. У цій групі найбільш поширений метод плоского бікалориметра.

Методи нестаціонарного теплового режиму передбачають можливість визначення теплозахисних властивостей

Калориметричний метод

- У калориметричному методі враховується кількість тепла, що проходить через зразок матеріалу. Найчастіше прилади для даного методу мають нагрівачі з охоронною системою. При цьому кількість тепла визначається за витратами електроенергії у нагрівачі за певний відрізок часу; температура з обох боків зразка матеріалу визначається термометрами або термопарами.

Порівняльний метод

- Ґрунтується на обмінному розподілі температур при проходженні певного теплового потоку від нагрівача через еталон і досліджуваний зразок при стаціонарному теплообміні. Коефіцієнт теплопровідності еталона заздалегідь відомий.

Метод бікалориметра

- Ґрунтується на регулярному тепловому режимі. Відомо, що процес охолодження або нагрівання тіла в середовищі з постійними температурою і коефіцієнтом тепловіддачі з часом вступає у фазу з одноманітно змінюваним полем температур, яке підпорядковується експоненціальному закону. Даний стан тіла отримав назву регулярного теплового режиму.

Виходячи з того, що процес теплообміну підпорядковується закону Ньютона, і коефіцієнти, що характеризують теплові властивості, не залежать від температури, а тіло охолоджується в регулярному тепловому режимі, закономірність зміни температурного натиску між тілом і середовищем описується формулою

$$v = A_0 B_0 e^{-m\tau},$$

де v – температурний натиск між певною точкою охолоджуваного тіла і зовнішнім середовищем, °С;

A_0 – функція, що залежить від початкових умов дослідів;

B_0 – функція, що враховує зміну температури залежно від координат розглядуваної точки, геометричних розмірів і форми тіла;

e – основа натуральних логарифмів;

m – темп регулярного охолодження системи (одна година);

τ – час, год.

У даному випадку функції A_0 і B_0 характеризують умови дослідів, а m – інтенсивність охолодження тіла. Якщо об'єм тіла і його форма під час дослідів залишаються сталими і температура тіла не залежатиме від координат вибраної точки виміру (тобто температура в усіх точках тіла однакова, що характерно для ядра з матеріалу з високою теплопровідністю або заповненого добре змішаною рідиною), то функція B_0 не впливатиме на перебіг змін температур. Це можливо лише тоді, коли функція B дорівнює сталій величині – одиниці. У цьому випадку з початкових умов можна встановити, що функція A_0 чисельно дорівнює