

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт з дисципліни
«Неметалеві композиційні матеріали»
для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство за освітньо-
професійною програмою (спеціалізацією) Композиційні та порошкові
матеріали, покриття» денної форми навчання

2020

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Неметалеві композиційні матеріали» для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство” за освітньою програмою «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» усіх форм навчання /Укл.: Н.І.Пономаренко - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. - 47 с.

Укладачі: Н.І.Пономаренко, доцент, к.ф.н.
О.С. Петрашов, старший викладач
Т.В. Сохрякова, завідувача лабораторією

Рецензент: В.О.Савченко, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: Н.І.Пономаренко, доцент, к.ф.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
“КМХТ”
Протокол № 4
від “25” листопада 2020.

Рекомендовано до
видання
НМК факультету БАД
Протокол № 4
від “30” листопада 2020.

ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	4
<i>1 Практична робота №1</i> Здобування та властивості синтетичних високомолекулярних сполук і полімерних матеріалів на їх основі	5
<i>2 Практична робота № 2</i> Розпізнавання пластмас та волокон	11
<i>3 Практична робота №3</i> Вивчення будови та властивостей термопластичних та термореактивних пластмас	14
<i>4 Практична робота № 4</i> Дослідження механічних властивостей гум різних марок	21
<i>5 Практична робота № 5</i> Вивчення клеїв, клейових з'єднань і герметиків	27
<i>6 Література</i>	32
<i>7 Додаток А</i> Характеристика пластмас	33
<i>8 Додаток Б</i> Характеристика волокон	37
<i>9 Додаток В</i> Найважливіші каучуки	42
<i>10 Додаток Г</i> Забарвлення полімерів внаслідок проведення реакції Лібермана – Шторха – Моравського	43
<i>11 Додаток Д</i> Основні характеристики термопластів та реактопластів	44

ВСТУП

Практичні роботи з дисципліни «Неметалеві композиційні матеріали» призначені для закріплення знань студентами спеціальності «Композиційні та порошкові матеріали, покриття», що отримані під час лекційного курсу. Виконання практичних робіт сприяють засвоєнню лекційного матеріалу і служать сполучною ланкою між теоретичною підготовкою майбутнього фахівця та його практичною діяльністю. Головна мета практичних робіт полягає у набутті студентами практичних навичок з вибору найбільш раціональних у заданих умовах виробництва неметалевих композиційних матеріалів для деталей машин та механізмів.

Під час виконання практичних робіт студенти на практиці вивчають структуру та властивості різних марок неметалевих матеріалів, їх використання у отриманні композиційних матеріалів. А також вивчають обладнання, устаткування, інструмент, що застосовуються для виготовлення виробів з неметалевих матеріалів. Самостійно (або під керівництвом викладача, або навчального майстра) проводять експерименти, реєструють результати, роблять висновки та оформляють звіт.

1 Практична робота № 1

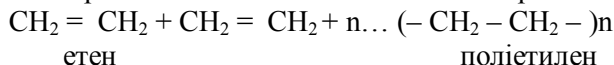
ЗДОБУВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ СИНТЕТИЧНИХ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК І ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ ОСНОВІ

Мета: вивчення реакцій полімеризації та поліконденсації; проведення фізико-хімічних досліджень властивостей термопластичних полімерів.

Загальні відомості

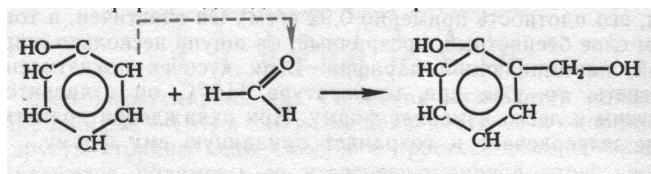
Синтетичні високомолекулярні сполуки здобувають шляхом реакцій полімеризації та поліконденсації із мономерів – низькомолекулярних сполук.

Полімеризація – процес синтезу полімерів, за якого об'єднання мономерів відбувається за рахунок одного з подвійних або потрійних зв'язків і без змін елементарного складу:

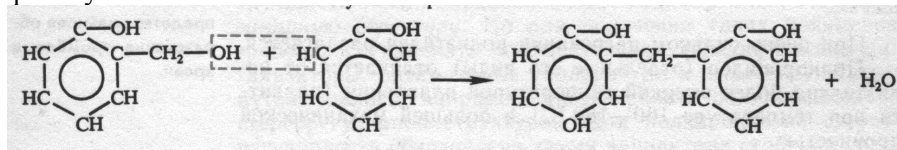


Поліконденсація – реакції утворення полімерів шляхом взаємодії між собою поліфункціональних сполук, що супроводжується зміною елементарного складу та виділенням низькомолекулярних сполук. Наприклад, води, спирту, карбон (IV) оксиду, амоніаку. Функціональні групи мономерів – COOH, –OH, –NH₂ та інші.

Наприклад, утворення фенол-формальдегідної смоли:



Ця проміжна сполука потім реагує з другими молекулами фенолу:



Залежно від природи полімеру і характеру його переходу зі стану високої текучості у склоподібний при формуванні виробів, пластмаси (органічні матеріали, основою яких є синтетичні або природні полімери) поділяють на термо- і реактопласти.

Термопласти – полімери, які при нагріванні розм'якшуються, переходять у пластичний стан, а при охолодженні знову тверднуть, зберігаючи свої властивості: розчинність, здатність розм'якшуватися (поліетилен, полівінілхлорид, полістирол та ін.) (Додаток А).

Реактопласти - полімери, які при нагріванні спочатку стають пластичними, здатними до формування, але потім під дією температури тверднуть, тому, що набувають просторової тривимірної структури (внаслідок поєднання окремих макромолекул між собою). Після затвердіння такі пластмаси стають неплавкими, нерозчинними (фенол-формальдегідні смоли та ін.) (Додаток А).

Властивості високомолекулярних сполук: мала густина (0,8 – 0,85 г/см³), низька електро- та теплопровідність, незначна механічна міцність, при нагріванні розм'якшуються, розкладаються, вологостійкі, хімічно неактивні. До органічних розчинників мають різну стійкість, залежно від природи полімеру (Додаток А).

Пластмаси (пластичні маси) – тверді полімерні матеріали, які внаслідок своєї пластичності здатні набувати наданої їм форми під дією тепла і тиску, і стійко зберігати її після припинення дії. Пластичність характерна для багатьох високомолекулярних сполук (ВМС), тому їх використовують для виготовлення пластмас. Такі ВМС називають смолами. У більшості випадків пластмаси являють собою композиційні матеріали, основу яких складають ВМС, а також наповнювачі, пластифікатори, змашувальні речовини, каталізатори, антистатика, антипірени, барвники, газоутворювачі.

Важливе значення в народному господарстві мають каучуки. Натуральний (ізопреновий) одержують із молочного соку (латексу) дерева гевеї. Для цього латекс коагулюють, додаючи мурашину або оцтову кислоту, промивають водою, прокатують у листи які потім закопчують (вудять). Молекулярна маса натурального каучуку складає 150000-500000, чистий каучук

легший від води, $\rho = 0,90-0,93 \text{ г/см}^3$. Він добре розчиняється в бензині, сірковуглеці, бензолі, дихлоретані і не розчинний у воді. Розчини каучуку в органічних розчинниках мають велику клейку властивість (адгезію), тому їх використовують для виготовлення композитів. Каучук – це еластична речовина, яка не проводить електричний струм, він водо-, газонепроникний. Промислове виробництво синтетичних канчуків почалося з 1932 року. Характерною особливістю каучуку є здатність до вулканізації, тобто перетворюватися в гуму.

Синтетичні каучуки відрізняються від натурального каучуку більшою пружністю, морозостійкістю, механічною міцністю, не поступаються еластичністю. Кремнійорганічні каучуки (наприклад силіконовий) за морозостійкістю та електроізоляційними властивостями перевищують всі синтетичні каучуки. Вони фізіологічно інертні, застосовуються в медицині (Додаток В).

Основні способи формування виробів із пластмас: пресування, лиття під тиском, екструзія (видавлювання), обробка тиском, продавлювання полімеру через отвори наданого профілю, обробка різанням, штамповка.

Контрольні запитання та завдання для самопідготовки

1. Що таке полімеризація? Скласти рівняння полімеризації стиролу, хлорвінілу, пропілену, тетрафторетилену, метилметакрилату.
2. Що таке поліконденсація? Скласти рівняння здобування лавсану, капрону, фенол-формальдегідної смоли (новолачної та резольної).
3. Де використовують названі полімери?
4. Які властивості мають полімерні матеріали?

Обладнання та матеріали

Нагрівальний прилад, стальна та мідна пластинки, скляна паличка, пробірки, хімічні стакани (100 мл), тигельні щипці, газовідвідна трубка; розчини: сульфатної кислоти (H_2SO_4), натрій гідроксиду (NaOH, 0,5 М), калій перманганату (KMnO_4 , 0,005%), аргентум нітрату (1%) або плюмбум ацетату,

амоній гідроксиду, гранули (шматочки) поліетилену, полівінілхлориду, полістиролу, поліметилметакрилату (органічне скло), індикатор універсальний.

Вказівки до техніки безпеки

Всі досліди проводять під тягою, обережно при роботі з кислотами, лугами.

Порядок проведення роботи

Дослід 1. Полімеризація стирену.

У пробірку внести 3-4 мл стирену та декілька маленьких часточок біфенілпероксиду (пероксид бензоїла) і нагрівати на піщаній бані (не занурюючи) протягом 25-35 хв. при слабкому кипінні. Залишок стирену видалити, нагріваючи пробірку у полум'ї горілки.

Вивчити властивості отриманого полімеру: а) частку полімеру розчинити в 1-2 мл бензолу при нагріванні, розчин вилити на скло і після випаровування бензолу залити прозору плівку, що утворилася водою на 1-2 хв., після чого зняти її зі скла; б) до частки бензольного розчину смоли додати 1-2 мл спирту і з білої смоли, що утворюється, сформуванати кульку, відмічаючи еластичність смоли.

Дослід 2. Синтез пластмаси реакцією поліконденсації.

В пробірку покласти 2,5г кристалічного фенолу та додати 5 мл. 40% розчину формальдегіду. Нагріти, додати 6-10 крапель хлоридної (HCl) або сульфатної (H₂SO₄) кислоти. Суміш поставити в стакан з холодною водою. Коли рідина відстоїться, злити зверху водяний шар і швидко вилити смолу на пористий папір. Через 2 хв. смола затвердіє.

Дослід 3. Отримання мідно-аміачного шовку.

Наважку 1,5-2г (CuOH)₂CO₃ – купрумгідроксокарбонату (основна сіль), розчинити у 10-12мл 25% водного розчину амоніаку. В суміш занурити 0,5 г вати, збовтати та залишити на 24 години. Заповнити розчином шприц та видавити вміст у стакан

з 20% розчином H_2SO_4 . Захватити пінцетом видавлений клубочок та витягти знебарвлену нитку із стакану.

Дослід 4. *Вивчення властивостей високомолекулярних сполук*

Визначення густини полімерних матеріалів:

– У хімічний стакан з 50 мл води додати по 1 гранулі (або шматочку) поліетилену, полівінілхлориду, полістиролу, органічного скла. Легші чи важчі ніж вода дані полімери? За довідником знайти і записати значення густини даних полімерів.

– Зважити зразок пластмаси на терезах з точністю до 0,001 г, визначити його об'єм:

а) для зразків простої форми об'єм визначають шляхом безпосереднього вимірювання розмірів з точністю до 0,01 мм мікрометром;

б) для зразків складної форми – визначають за об'ємом витісненої води. Зразок полімеру занурюють в мірний циліндр з дистильованою водою, відмічають збільшення об'єму води;

в) за кінцевий результат приймається середнє значення трьох вимірів.

Густину ρ , г/см³ розраховують за формулою :

$$\rho = m/V$$

де m – маса зразка, г;

V - об'єм зразка, см³ (мл).

Горіння

Шматочок поліетилену внести тигельними щипцями в полум'я спиртівки. Коли зразок буде горіти дістати його з полум'я. Чи буде він горіти далі? Який колір полум'я?

Повторити експеримент з другими зразками полімерів, визначити характер полум'я.

Зробити висновки про свої спостереження та порівняти їх з даними таблиці (додаток А, таблиця А 1, таблиця А 2).

Відношення полімерів до розчинників: кислоти, луги, бензин, ацетон, вода, етанол, етанова кислота.

Для визначення розчинності полімерів 0,5 г подрібненого зразка помістити у пробірку, додати 5-10 мл розчинника,

перемішати і залишити на годину. Відмітити ступінь розчинення – повне, часткове, набухає, не розчиняється. Якщо зразок розчиняється частково, визначити його розчинність при нагріванні (в колбі зі зворотним холодильником).

Властивості органічного скла

Тонку пластинку з органічного скла – поліметилметалкрилату, тримати за край двома пінцетами, занурити у великий стакан з киплячою водою, витримати там до пом'якшення (до пластичного стану) потім зігнути. Що перекожливо свідчить про гнучкість поліметилметалкрилату.

Ця властивість пластика, широко відомого під назвою плексигласу, а також його механічна міцність, хімічна стійкість дуже важливі. З плексигласу можна виготовляти предмети будь-якої форми. Наприклад, кабіни літаків без металевої рами, що дає можливість збільшити поле зору пілота.

Відношення полімерів до окисників.

У 4 пробірки налити по 1 мл розчину калій перманганату (KMnO_4), додати в кожен пробірку по одному зразку полімеру. Через декілька хвилин визначити, як діє даний окисник на термопластичні полімери. Пояснити спостереження.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Вивчення загальних відомостей.
4. Відповіді на контрольні запитання та завдання для самопідготовки.
5. Аналіз дослідів (хід виконання, спостереження, формули, рівняння хімічних реакцій).
6. Висновки.

2 Практична робота № 2

РОЗПІЗНАВАННЯ ПЛАСТМАС ТА ВОЛОКОН

Мета: розглянути деякі методи розпізнавання полімерних матеріалів та волокон різної природи.

Загальні відомості

Розпізнавання пластмас та волокон необхідне для установлення природи полімерних матеріалів та волокон різної природи.

Розпізнавання високомолекулярних сполук необхідно починати з зовнішнього огляду зразка: зовнішній вид, колір, запах, прозорість, твердість, еластичність, розміри, якщо зразок у вигляді гранул.

Для пластмас вивчають пом'якшення при нагріванні (чи розплавляється дана пластмаса взагалі). Для цього її вносять в потік гарячого повітря або нагрівають зразок на металевій або азбестовій підставці.

Пластмасу в залежності від того, як вона себе поводить, можна віднести до термопластів або реактопластів. Якщо полімер відноситься до термопластів, то далі визначають приблизну температуру пом'якшення полімеру.

Для подальшої ідентифікації матеріалу досліджують його поведінку в полум'ї нагрівального пристрою. При цьому визначають характерні особливості горіння, обуглювання, плавлення, запах, колір полум'я, наявність кіптяви, диму, самовільно гаснути, наявність золи, її колір та ін.

Багато смол при додаванні оцтового ангідриду та сульфатної кислоти утворюють різного кольору забарвлені речовини (реакція Лібермана-Шторха-Моравського) (Додаток Г).

Додатково досліджується дія зразки кислот, лугів, окисників. Результати досліджень перевіряються з даними додатків А, Б, Г.

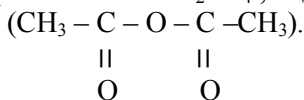
Контрольні запитання та завдання для самопідготовки

1. З якою метою проводять ідентифікацію полімерних матеріалів та в якій послідовності?

2. Які фізичні характеристики полімерних матеріалів необхідні для їх визначення?
3. Які хімічні характеристики необхідні для ідентифікації полімерних матеріалів?
4. Які вимоги постають перед полімерними матеріалами при їх використанні?

Обладнання та матеріали

Нагрівальний прилад (спиртівка), пробірки, скляна паличка, тигельні щипці, шпатель, металевий тигель, термометр. Розчинники: ксилол, бензин, пропанол, ацетон. Полімерні зразки: полістирол, поліетилен, бутадієнстирольний каучук, гума. Кварцовий пісок, металева або асбестова підставка. Реактиви: концентрована сульфатна кислота H_2SO_4 , оцтовий ангідрид



Вказівки до техніки безпеки

Всі досліди проводять під тягою, обережно при роботі з кислотами, лугами.

Порядок проведення роботи

Дослід 1. *Огляд та опис зовнішнього вигляду*

Описати зовнішній вигляд даних зразків.

Дослід 2. *Визначення розчинності полімерних матеріалів.*

Для визначення розчинності 0,5 г подрібненого зразку помістити в пробірку, додати 5-10 мл розчинника. Залишити на декілька годин, відмітити ступінь розчинності.

Розчинники: ксилол, бензин, пропанол, ацетон. Полімерні зразки: полістирол, поліетилен бутадієнстирольний каучук, гума.

Якщо полімер розчиняється частково, перевірити його розчинність при нагріванні.

Дослід 3. *Визначення температури розм'якшення полімеру.*

Проби полімерів: смужки довжиною 5 – 10 см, шириною 1 см помістити в залізний тигель, заповнений сухим піском. Тигель

повільно нагрівати, температуру контролювати термометром, зануреним у пісок. Коли смужки зігнуться (змінять форму) по показникам термометра визначають температуру розм'якшення.

Дослід 4. *Визначення характеру горіння полімерів.*

Невелику кількість полімеру внести в полум'я нагрівального приладу. Визначити характер полум'я : наявність кіптяви, колір, здатність спалахувати тощо. Винести полімер з полум'я, спостерігати, чи буде горіти далі.

Результати порівняти з даними додатку А та визначити тип полімеру (термопластичний, терморективний).

Дослід 5. *Якісна (кольорова) реакція на полімери.*

На фарфорову пластинку помістити невелику кількість досліджуваного полімеру, додати декілька крапель оцтового ангідриду, а потім краплю концентрованої сульфатної кислоти. Спостерігати за зміною кольору рідини та поверхні полімеру.

Результати спостережень порівняти з даними додатку Г

Дослід 6. *Виявлення хлору в полівінілхлориді.*

У пробірку внести шматочок полівінілхлоридної плівки, нагріти, до отвору пробірки піднести:

- індикаторний папір;
- скляну паличку, змочену в концентрованому розчині амоніаку;
- фільтрувальний папір, змочений розчином AgNO_3 або $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$. Зробити висновки.

Сильно розжарити мідну пластинку, покласти на її поверхню шматочок полівінілхлоридної плівки, внести в полум'я за допомогою тигельних щипців. Який колір полум'я? Така реакція характерна і для інших пластмас, що містить хлор.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Вивчення загальних відомостей.
4. Виконання завдання для самостійної роботи.
5. Аналіз дослідів (хід виконання, спостереження, формули, рівняння хімічних реакцій).
6. Висновки.

3 Практична робота № 3

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ТА ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ПЛАСТМАС

Мета: Аналіз структури та фізико-механічних властивостей термопластичних та термореактивних пластмас, а також технології виготовлення виробів з них.

Загальні відомості

Згідно ДСТУ 2406-94 пластична маса (пластмаса) – матеріал, основою якого є полімер, що перебуває під час формування виробу у в'язкорідкому чи високоеластичному стані, а під час експлуатації – в склоподібному чи кристалічному стані. Пластмаси (вироби з них) формують при підвищеній температурі, у той час коли вони мають високу пластичність. Сировиною для отримання полімерів є нафта, природний газ, кам'яне вугілля, сланці тощо. Пластмаси широко застосовуються в різних галузях техніки (авіації, автомобілебудуванні, суднобудуванні). На даний час визначена доцільність використання вказаних матеріалів замість кольорових і чорних металів та сплавів. Поряд із безпосередньо полімерами часто використовують їх композиції з різними інгредієнтами. За складом пластмаси підрозділяють на прості (без наповнювачів) і складні (з наповнювачами). Прості пластмаси складаються тільки із зв'язуючої речовини - одного високомолекулярного полімеру. Складні пластмаси містять декілька інгредієнтів. Інгредієнти вводять для покращення властивостей або для полегшення переробки пластмас. До основних інгредієнтів відносяться: наповнювачі, матеріали, що армують, пластифікатори, стабілізатори, антистатики, агенти, що зшивають молекули полімеру в сітку, барвники та речовини, що змащують, прискорюють твердіння, поліпшують антифрикційні або фрикційні властивості. Так, наприклад, стабілізатори підвищують стійкість пластмас до впливу різних факторів (світла, тепла), що сприяють розпаду полімеру. Пластифікатори поліпшують технологічні й експлуатаційні властивості полімерів. Наповнювачі вводять для економії пластмас та їх хімічної

стійкості, а матеріали, що армують – для підвищення міцності, твердості, ударної в'язкості та поліпшення інших властивостей полімерів.

По відношенню до температури усі пластмаси можна поділити на дві великі групи – це термопласти та реактопласти.

Термопластичні пластмаси (термопласти) – це пластмаси на основі термопластичних полімерів, що під час нагріву розм'якшуються, переходять у в'язкоплинний стан, а при охолодженні тверднуть, і цей процес повторюється при повторному нагріванні. Тобто такі пластмаси допускають повторну переробку. Вони характеризуються невеликою усадкою (1...3%), зручні в переробці, не складні у виробництві тощо. Зазвичай їхня робоча температура не перевищує 90°C. Типовими представниками термопластів є: поліетилен, поліпропілен, полістирол, поліуретан, фторопласт та ін.

Термопластичні пластмаси у порівнянні з традиційними конструкційними матеріалами мають:

- меншу густину – $(0,9...2,2) \times 10^3$, кг/м³;
- вищу хімічну стійкість;
- кращі показники фрикційних або антифрикційних властивостей;
- вищу здатність гасити динамічні коливання при знакозмінних навантаженнях.

Разом з цими істотними перевагами термопласти мають недоліки, які стримують їх застосування в промисловості. Так більшість полімерів втрачає конструкційну міцність при нагріванні вже до 100°C, мають низьку теплопровідність. При експлуатації деталей з термопластичних пластмас внаслідок розігрівання прискорюються процеси старіння, які призводять до зниження їх експлуатаційних характеристик. Деякі фізико-хімічні характеристики, механічні властивості, переваги та недоліки основних конструкційних термопластів і приклади їх застосування наведено у додатку Д(таблиця Д.1).

З вказаних табличних даних можна бачити, що границя міцності термопластів складає 10...100 МПа, модуль пружності знаходиться в межах $(1,8...3,5) \times 10^3$ МПа. Це у 10...100 разів нижче, ніж у металів і кераміки. Границя витривалості термопластів становить 0,2...0,3 від границі міцності.

Під навантаженням термопластичні полімери поведуться як в'язкопружні речовини, а їх деформація є сумою пружної деформації, високоеластичної деформації і деформації в'язкого плину. Співвідношення між вказаними складовими частинами деформації непостійні і залежать як від структури, так і від параметрів деформування: швидкості та температури, які визначають стан полімеру. Термопласти при розтягненні, як правило, сильно подовжуються. При розриві їх залишкова деформація складає десятки і навіть сотні відсотків. При нагріванні міцність термопластичних пластмас зменшується, вони стають більш в'язкими і схильними до повзучості. При тривалій дії навантаження міцність пластмас знижується і з'являється залишкова деформація. При збільшенні швидкості деформування підвищується твердість пластмас і зростає їх схильність до крихкого руйнування.

Термореактивні пластмаси (реактопласти) – полімерні матеріали, які при нагріванні розм'якшуються, але при певній температурі та під дією речовин, які прискорюють твердіння, каталізаторів чи ініціаторів хімічних реакцій зазнають полімеризації, внаслідок якої переходять у твердий стан і повторна переробка таких пластмас неможлива. Теплостійкість їхня вища і досягає 200...370°C.

Більш надійними ніж термопласти є термореактивні пластмаси. Перевагою реактопластів порівняно з термопластами є стабільність та мала залежність механічних властивостей від температури, швидкості деформування і тривалості дії навантаження, але при випробуваннях на розтяг зразки термореактивних матеріалів руйнуються без пластичного плину й утворення шийки.

При нагріванні відбувається зниження міцності і твердості реактопластів, однак у робочому інтервалі температур вони мають кращі механічні властивості ніж термопласти. Важливими перевагами термореактивних пластмас є висока питома міцність (σ_B/ρ), жорсткість (E/ρ) а також вища, ніж у термопластів, твердість. Допустимі напруження для термореактивних пластмас складають 15...40 МПа, що істотно вище, ніж для термопластів. Однак більшість термореактивних полімерів після твердіння має низьку ударну в'язкість.

До найважливіших термореактивних полімерів відносяться фенол-формальдегідні, епоксидні, поліефірні і кремнійорганічні речовини, формули деяких з них наведено на рис. 3.1 – 3.3.

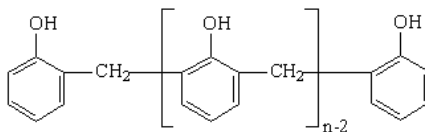


Рисунок 3.1 – Фенол-формальдегідний полімер

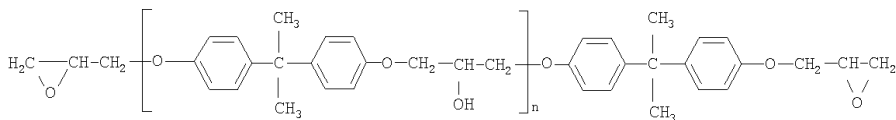


Рисунок 3.2 – Епоксидний полімер

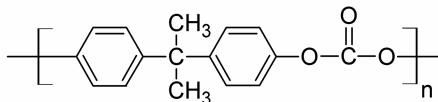


Рисунок 3.3 – Поліефірний полімер

Композиції на основі епоксидних смол застосовують у машинобудуванні для виготовлення різного інструментального оснащення, витяжних і формувальних пристосувань, ливарних моделей і іншого оснащення. Епоксидні та поліефірні смоли можуть твердіти при кімнатній температурі з малою усадкою. Основні властивості реактопластів наведено в таблиці Д.2 додатку Д.

В азбоволокнизах у якості наповнювача застосовується азбестове волокно, а у якості зв'язуючої речовини використовують, головним чином, фенол-формальдегідну смолу. Азбоволокнити мають підвищену теплостійкість (понад 200°C), високі фрикційні властивості, стійкі до дії кислот. Азбоволокнити використовують як матеріал для виготовлення деталей гальмових пристроїв. З матеріалу фаоліту (різновид азбоволокнитів) виготовляють кислототривкі ванни, труби та інші деталі.

Шаруватими пластмасами називають пластмаси, у яких листи наповнювача зв'язані полімером у монолітний матеріал.

Листові наповнювачі, покладені шарами, надають пластику і анізотропність в площині листа. Матеріали випускають у вигляді листів, плит, труб.

Гетинакс одержують на основі модифікованих фенольних, аніліно-формальдегідних, карбамідних смол і різних сортів паперу. Гетинакс можна застосовувати при температурі 120...140°C. Він стійкий до дії хімікатів. Гетинакс застосовується як електроізоляційний матеріал. Його основні фізико-механічні властивості наведено в додатку Д (таблиця Д.2).

Текстоліт складається із термореактивних смол (зв'язуючи речовини) та наповнювачів - бавовняних тканин. Серед шаруватих пластмас він має найбільшу здатність поглинати вібраційні навантаження. Його використовують для виготовлення різноманітних деталей середнього навантаження, що працюють в умовах тертя (зубчасті колеса, підшипники). Такі передачі працюють безшумно при частоті обертання до 30000 обертів за хвилину. Текстолітові вкладиші підшипників служать у 10...15 разів довше бронзових. Але використовувати текстолітові підшипники можна тільки при температурах не вище 80...90°C. Такі підшипники застосовуються в прокатних станах, відцентрових насосах, турбінах.

Деревинно-шаруваті пластмаси (ДШП) складаються з тонких листів деревного шпону, просочених феноло- або креозольноформальдегідними смолами і спресованими у вигляді листів або плит. ДШП мають високі фізико-механічні властивості, низький коефіцієнт тертя. Їх недоліком є чутливість до вологи. З ДШП виготовляють шківни, втулки, корпуси насосів, підшипники, деталі автомобілів.

Азботекстоліт містить 38...43% зв'язувача, а інше - азбестова тканина. Азботекстоліт є конструкційним фрикційним матеріалом. Найбільш високу теплостійкість (300°C) має матеріал на кремнійорганічній зв'язуючій речовині. Фенольні азбопластики мають високі характеристики міцності. З азботекстоліта виготовляють лопатки ротаційних бензонасосів, фрикційні диски, гальмові колодки.

Контрольні запитання

1. Яка різниця в будові термопластичних і термореактивних пластмас?
2. Порівняйте релаксаційні властивості термопластів і реактопластів.
3. Як впливає форма (лінійна, сітчаста) макромолекул полімерів на їх властивості?
4. Пояснити сутність технології орієнтаційного зміцнення пластмас.
5. Що таке прості і складні пластмаси? Які інгредієнти та наповнювачі і з якою метою вводять в пластмаси?
6. Назвіть переваги термореактивних пластмас порівняно з термопластами та охарактеризуйте різницю в руйнуванні зразків з термореактивних і термопластичних пластмас.
7. Поясніть різницю у впливі температури на властивості термореактивних і термопластичних пластмас.
8. Порівняйте стабільність розмірів деталей з термопластів і реактопластів.
9. Поясніть чому технологічність термопластичних пластмас краща ніж термореактивних.

Матеріали і устаткування

Набір зразків і деталей з конструкційних термопластів і реактопластів, розривна машина, обладнана піччю, штангенциркулі.

Вказівки до техніки безпеки.

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями з техніки безпеки.

Порядок виконання практичної роботи

Ознайомитися зі зразками термопластів і реактопластів та вивчити технологію виготовлення з них деталей.

Провести випробування зразків на розтягнення при температурах, вказаних в таблицях 3.1, 3.2.

Визначити характеристики механічних властивостей випробуваних матеріалів. Результати випробувань занести у вказані таблиці (3.1, 3.2).

Таблиця 3.1 - Залежність міцності термопластів від температури

Полімер	Границя міцності σ_v , МПа, при температурі, °С				
	20	40	60	80	100
Поліетилен високого тиску					
Поліпропілен					
Поліуретан					

Таблиця 3.2 - Залежність міцності реактопластів від температури

Реактопласт	Границя міцності σ_v , МПа, при температурі, °С				
	20	40	60	80	100
Гетинакс					
Текстоліт					

За даними таблиць 3.1, 3.2 побудувати графіки залежностей механічних властивостей від температури із застосуванням теоретичних відомостей про природу полімерів пояснити їх характер. Оцінити хімічну стійкість і термостійкість зразків за таблицею Б.1 додатку Б.

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Вивчення загальних відомостей.
4. Відповіді на контрольні запитання та завдання для самопідготовки.
5. Аналіз ознайомлення та випробовувань зразків.
6. Висновки.

4 Практична робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГУМ РІЗНИХ МАРОК

Мета: Ознайомитися з процесом виготовлення гуми. Дослідити вплив кількості сірки при вулканізації на властивості утворюваної гуми.

Загальні відомості

Гума – продукт вулканізації молекулярних композицій на основі каучуку. Натуральну гуму виробляють з особливої рідини – латексу, який одержують із соку каучукового дерева. Батьківщина каучукового дерева – Центральна та Південна Америка.

Головна особливість гуми – це її еластичність яка зберігається в широкому діапазоні температур. Вона може розтягуватися й гнутися, а потім приймати початкову форму. Вона здатна до дуже великих деформацій (відносно подовження досягає 100 %), які майже повністю оборотні. При цьому її модуль пружності лежить в межах 1-10 МПа, він в тисячі та десятки тисяч разів менше, ніж для інших матеріалів.

Другою особливістю гуми є її мала стисливість (для інженерних розрахунків гуму вважають нестискуваною); коефіцієнт Пуассона 0,4...0,5, тоді як для металу ця величина складає 0,25...0,30. При застосуванні гуми у машинобудівних вузлах часто використовується її релаксацийний характер деформації. При нормальній температурі час релаксації може складати 10^{-4} с і більше. При роботі гуми в умовах багатократних механічних навантажень частина енергії, що сприймається виробом, втрачається на внутрішнє тертя (у самому каучуку і між молекулами каучуку і частинками добавок); це тертя перетворюється у теплоту і є причиною гістерезисних втрат.

Окрім відмічених особливостей для гумових матеріалів характерні висока стійкість до стирання, газо- і водонепроникність, хімічна стійкість, електроізолюючі властивості і невелика щільність.

Основою всякої гуми служить каучук натуральний (НК) або синтетичний (СК), який і визначає основні властивості гумового матеріалу. Для поліпшення фізико-механічних властивостей каучуків вводяться різні добавки (інгредієнти). Таким чином, гума складається з каучуку і доданих інгредієнтів:

– Вулканізатори – речовини (агенти) беруть участь в утворенні просторово-сіткової структури вулканізату. Зазвичай в якості таких речовин застосовують сірку і селен. Для прискорення процесу вулканізації додають полісульфіди, оксиди свинцю, магнію та інші речовини, що впливають як на режим вулканізації так і на фізико-механічні властивості вулканізаторів. Прискорювачі проявляють свою найбільшу активність в присутності оксидів деяких металів (цинку та ін.), тому їх називають у складі гумової суміші активаторами.

– Речовини (антиоксиданти), які уповільнюють процес старіння гуми, який веде до погіршення її експлуатаційних властивостей. Існують антиоксиданти хімічної і фізичної дії. Дія перших полягає в тому, що вони затримують окиснення каучуку в результаті окислення їх самих чи за рахунок руйнування перекисів каучуку, що утворюються (застосовуються альдоль, неозон Д та ін.). Фізичні антистаріючі речовини (парафін, віск) утворюють поверхневі захисні плівки.

– Пом'якшувальні засоби (пластифікатори) полегшують переробку гумової суміші, збільшують еластичні властивості каучуку підвищують морозостійкість гуми. У якості таких речовин вводять парафін, вазелін, стеаринову кислоту, бітуми, дибутилфталат, рослинні олії. Кількість пом'якшувальних засобів складає 8...30 % маси каучуку.

– Наповнювачі за їх дією на каучук підрозділяють на активні і неактивні. Активні наповнювачі (вуглецева сажа і біла сажа, силікатна кислота, оксид цинку та ін.) підвищують механічні властивості гум: міцність, опір стиранню, твердість. Неактивні наповнювачі (крейда, тальк, барит) вводяться для здешевлення вартості гуми.

Часто до складу гумової суміші вводять регенерат – продукт переробки старих гумових виробів і відходів гумового виробництва. Окрім зниження вартості регенерат підвищує якість гуми, знижуючи її схильність до старіння.

– Барвники мінеральні або органічні вводять для забарвлення гум. Деякі фарбувальні речовини (білі, жовті, зелені) поглинають короткохвильову частину сонячного спектру і цим захищають гуму від світлового старіння.

Переважає більшість каучуків є неграниченими високополімерними (карбонанцієвими) сполуками з подвійним хімічним зв'язком між вуглецевими атомами в елементарних ланках макромолекули. (Деякі каучуки отримують на основі насичених лінійних полімерів.) Молекулярна маса каучуку обчислюється в $(400...450) \times 10^3$. Структура макромолекул в основному лінійна і складається з окремих ланок, які мають тенденцію згорнутися в клубок, зайняти мінімальний об'єм, але цьому перешкоджають сили міжмолекулярної взаємодії, макромолекули каучуку зигзагоподібні (рис. 4.1 а). Така форма молекул і є причиною виключно високій еластичності каучуку (під невеликим навантаженням відбувається випрямлення молекул, змінюється їх конформація). У натуральному каучуку міститься 91-96% поліізопрену (C_5H_8) $_n$, а також білки і амінокислоти, жирні кислоти, каротин, невеликі кількості солей міді, марганцю, заліза і ін. домішки. Поліізопрен натурального каучуку є стереорегулярним полімером.

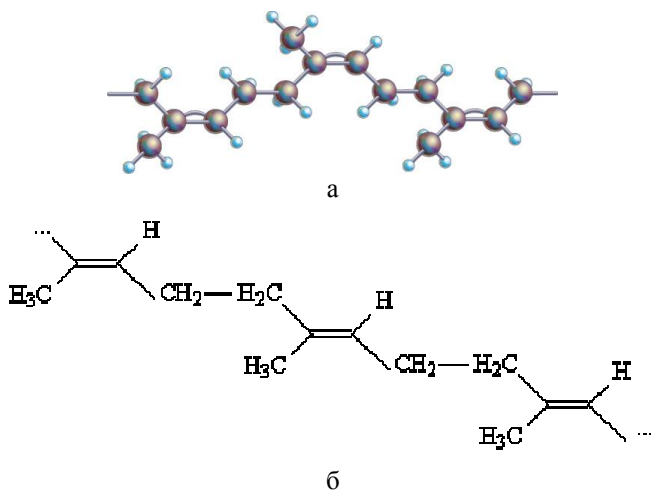


Рисунок 4.1 – Молекулярна будова каучуку: просторова модель (а); композиційна хімічна формула (б)

За властивостями каучук схожий на термопластичні полімери. Наявність в молекулах каучуку неграничних зв'язків дозволяє за певних умов переводити його в термостабільний стан. Для цього за місцем подвійного зв'язку приєднується двовалентна сірка (чи інша речовина), яка утворює у поперечному напрямі як би «містки» між ниткоподібними молекулами каучуку, внаслідок чого отримується просторово-сітчаста структура, властива гумі (вулканізату).

Процес хімічної взаємодії каучуків з сіркою в техніці називається **вулканізацією**. Залежно від кількості сірки, що вводитьься, виходить різна частота сітки полімеру. При введенні 1...5 % S утворюється рідкісна сітка і гума виходить високо еластичною – м'яка гума (рис. 4.2). Зі збільшенням відсоткового вмісту сірки сітчаста структура стає усе більш частою, гума твердішою, і при максимально можливому (приблизно 30 %) насиченні каучуку сіркою утворюється твердий матеріал, що називається ебонітом.

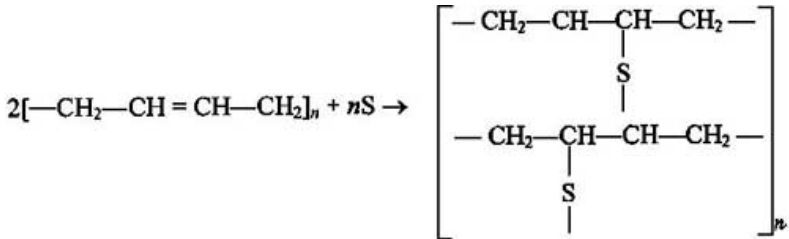


Рисунок 4.2 – Принципова схема процесу вулканізації

При вулканізації змінюється молекулярна структура полімеру (утворюється просторова сітка), що спричиняє за собою зміну його фізико-механічних властивостей: різко зростає міцність при розтягуванні і еластичність каучуку, а пластичність майже повністю зникає (наприклад, натуральний каучук має $\sigma_B = 1,0...1,5$ МПа, після вулканізації $\sigma_B = 35$ МПа); збільшуються твердість, опір зношуванню. Багато каучуків розчинні в розчинниках, гуми тільки набрякають в них і більш стійкі до хімікатів. Гуми мають більш високу теплостійкість

(каучук розм'якшується при температурі 90°C, гума працює при температурі понад 100°C).

Механічні властивості гум характеризують: границя міцності при розтягуванні (σ_z), відносне видовження при розриві (ε_z), відносне залишкове видовження (Θ_z), а також твердість (H).

Показники σ_z , ε_z та Θ_z визначають за формулами:

$$\sigma_z = \frac{P}{b_0 h_0}; \quad \varepsilon_z = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100; \quad \Theta_z = \frac{l_2 - l_0}{l_0} \cdot 100,$$

де b_0 , h_0 – ширина та товщина робочої ділянки гумового зразка до випробувань; l_0 , l_1 , l_2 – довжини робочої ділянки зразка до випробувань, в момент випробувань та через одну хвилину після випробувань.

Термін служби багатьох гумових виробів пропорційний міцності при розтягуванні. Довговічність більшості гумових силових і протиударних виробів (опор, патрубків, амортизаторів) збільшується при підвищенні їх міцності.

Твердістю називають здатність матеріалу чинити опір проникненню стороннього твердого тіла, яке вдавлюється під дією певної сили. Твердість гуми застосовується як пластифікаційний показник, а також для контролю ступеню вулканізації гуми.

Контрольні запитання

1. Дати загальну характеристику гумам (склад, класифікація, призначення, технологія отримання виробів із гум, їх застосування)
2. Яку будову мають макромолекули каучуку і гуми?
3. Які агенти додають в гуму і як вони впливають на її властивості?
4. Які властивості визначають морозостійкість гум?
5. З яких каучуків виробляють теплостійкі гуми?

Матеріали і устаткування

Набір зразків гум і деталей, розривна машина, штангенциркуль.

Вказівки до техніки безпеки.

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкцією із техніки безпеки.

Порядок виконання практичної роботи

Ознайомитися зі зразками і деталями з гум. Провести випробування на розрив зразків гуми. Результати занести в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Міцність різних гум

Тип каучуку з якого отримана гума	σ_z , МПа
Натуральний каучук	
Хлоропреновий каучук	
Силіконовий каучук СКТ	

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Вивчення загальних відомостей.
4. Відповіді на контрольні запитання та завдання для самопідготовки.
5. Аналіз результатів випробовувань зразків.
6. Висновки відносно вивчених властивостей гумових матеріалів.

5 Практична робота № 5

ВИВЧЕННЯ КЛЕЇВ, КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ І ГЕРМЕТИКІВ

Мета: Ознайомитися з використанням клейових з'єднань і герметиків у машинобудуванні та інших галузях промисловості.

Загальні відомості

Клеї це композиції, які застосовуються для з'єднання різних матеріалів за рахунок утворення міцного адгезійного зв'язку між їх поверхнями і клейовим прошарком. До складу клейової композиції входять речовини, що утворюють плівку, розчинник, пластифікатор, речовина, що прискорює твердіння чи каталізатор, наповнювач і домішки.

Клеї класифікують за видом основи, на якій він готується, наступним чином: органічні, неорганічні і металеві. Органічні клеї підрозділяють на термопластичні і термореактивні. Термореактивні смоли дозволяють одержати міцні, теплостійкі плівки, які застосовують для склеювання навантажених конструкцій з металів і неметалевих матеріалів. Клеї на основі термопластичних смол мають невисоку міцність, особливо при нагріванні, і застосовуються для невідповідальних з'єднань неметалевих матеріалів.

Гумові клеї, у яких основою є каучук, відрізняються високою еластичністю і застосовуються для склеювання гуми з гумою або гуми з металами.

До переваг клейових з'єднань відносяться висока міцність, збільшення границі витривалості завдяки усуненню концентраторів напружень, які притаманні клепавам, болтовим і зварним конструкціям.

Проте, клейові з'єднання характеризуються низкою недоліків: невисока міцність при нерівномірному відриві, необхідність у деяких випадках проведення операції склеювання з підігріванням, схильність до старіння.

Найбільш важливими експлуатаційними характеристиками клеїв є стійкість до старіння, водо- та атмосферостійкість, тривала міцність і довговічність.

У таблиці 5.1 наведено характеристики основних видів клеїв.

У якості високоміцних клеїв для металевих конструкцій, що працюють при температурах до 250°C, використовують клеї на основі епоксидних або фенол-формальдегідних смол.

Таблиця 5.1 - Характеристика та область застосування клеїв

Клей	Матеріали, що склеюють	Характеристика з'єднання		
		Границя міцності при зсуві, МПа	Термостійкість, °C	Середовище в якому можна застосовувати з'єднання
Фенол-формальдегідний	Деревина, пористі матеріали	10-15	7-100	Вода, масло, бензин, спирти
Епоксидний	Метали, неметалеві матеріали	10-13	60-250	Масло, бензин, спирти,
Кремній-органічний	Метали, пластмаси, азбоцемент	10-17	350	Масло, бензин, вуглеводні
Карбонільний	Метали, кераміка, пластмаси	10-15	50-60	Паливо, масло
Полібензи-медазольний	Метали, склопластики	15-30	350-540	Вода, мінеральне масло, розчини солей

Більш широко застосовують клеї на епоксидній основі, тому що для фенол-формальдегідних клеїв характерна недостатня стійкість до термоокиснювальної деструкції. Клеї на основі епоксидних олігомерів ЕД-24, Е-49 є стійкими до термоокислювальної деструкції. Їх теплостійкість досягає 200°C (короткочасна теплостійкість до 315°C). Наприклад, міцність з'єднань дюралюмінію при використанні клею на основі

епоксидних олігомерів при 200°C складає 148 МПа. У таблиці 5.2 наведено характеристики міцності клейових з'єднань.

В авіації і космічній техніці широко використовуються тришарові клеєні сотові конструкції з наповнювачем (панелі фюзеляжу, перегородки та ін.). Застосування сотових конструкцій забезпечує зниження маси, підвищення витривалості.

Таблиця 5.2 - Міцність клейових з'єднань при 250°C

Тип клею	Напруження руйнування при зсуві, МПа
Поліуретановий	56
Епоксиднейлоновий	42
Епоксидфенольний	21
Епоксидполіамідний	17,5
Поліароматичний	12,6

При застосуванні клеїв у машинобудуванні металосміність конструкцій знижується на 10-25%. Одним із ефективних шляхів підвищення міцності металевих конструкцій є застосування комбінованих клейово-механічних з'єднань. Клейово-заклепні з'єднання мають у 1,5...3 рази більш високу міцність і надійність при тривалій експлуатації в порівнянні з клепами з'єднаннями. Міцність клейово-зварних з'єднань на 20...50% вище, ніж зварних з'єднань.

Герметики – це пастоподібні або в'язкоплинні маси на основі полімерів і олігомерів, що використовуються для заповнення зазорів в конструкціях. Герметики застосовують для ущільнення і герметизації клепаєних, зварних і болтових з'єднань, паливних баків, різних металевих конструкцій, приладів.

В залежності від природи вихідного полімеру розрізняють герметики які вулканізуються та тверднуть: це які не висихають і які висихають. У залежності від призначення герметики класифікують за теплостійкістю (50-70°C, 100-150°C, понад 200°C), по стійкості до олій і палив.

Основними експлуатаційними характеристиками герметиків є ресурс (період часу, впродовж котрого зберігаються

їх властивості), газопроникність, адгезія, міцність на розрив, відносне видовження при розтягненні, щільність.

Найбільш широке використання одержали герметики на основі полісульфідних каучуків (тіоколів), кремнійорганічних полімерів, фторокаучуків. Застосовуються також герметики на основі бутадієнових, уретанових каучуків, на основі олігомерів епоксидних і фенол-формальдегідних смол. Властивості деяких герметиків наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Властивості вулканізованих герметиків

Властивість	Полісульфідний (тіоколовий)	Кремній-органічний	Фторкаучуковий
Щільність $\gamma \times 10^{-3}$, кг/м ³	1,2...1,8	1,0...1,8	1,6...3,2
Границя міцності на розтяг σ_b , МПа	1,5...4,0	1,5...4,5	7,0...14,0
Інтервал робочих температур, °С	-60...150	-70...300	-30...250
Робоче середовище	Паливо	Повітря	Хімічно-агресивне

Контрольні запитання

1. Склад і класифікація матеріалів - плівкоутворювачів.
2. Назвіть склад смоляних, гумових і неорганічних клеїв.
3. Якими характеристиками оцінюють якість клеїв?
4. Назвіть переваги та недоліки клейових з'єднань порівняно з іншими з'єднаннями (заклепочними, болтовими, зварними).
5. Дати характеристику герметикам (види, склад, властивості, застосування).

Матеріали і устаткування

Набір зразків із клейовими з'єднаннями. Вузли, в яких використані клеї. Деталі з ущільненнями з використанням герметиків. Розривна машина, штангенциркуль.

Вказівки до техніки безпеки.

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкцією із техніки безпеки.

Порядок виконання практичної роботи

Ознайомитися з конструкціями, у яких використані клеї і герметики.

Провести випробування зразків з клейовими з'єднаннями на розрив.

Визначити характеристики механічних властивостей випробуваних матеріалів. Результати занести в табл. 5.4

Таблиця 5.4 – Міцність при відриві клеєних з'єднань отриманих при використанні клею на епоксидній основі

Клеєні матеріали	σ_b , МПа, при температурі °С,	
	20	60
Дюралюміній		
Сталь 30ХГСА		
Дюралюміній + склотекстоліт		

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Вивчення загальних відомостей.
4. Відповіді на контрольні запитання та завдання для самопідготовки.
5. Аналіз результатів випробувань зразків.
6. Висновки відносно вивчених властивостей даних матеріалів.

6 ЛІТЕРАТУРА

1. Неметалеві матеріали [Текст] : навч. посібник / І. Г. Черниш, П. І. Лобода, С. І. Черниш ; "Київський політехнічний ін-т", нац. техн. ун-т України. - К. : Кондор, 2008. - 406 с.
2. В.В. Хільчевський, С.С. Кондратюк. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навч. посібник. - Київ: Либідь, 2002. – 382 с.
3. Попович В., Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. - Львів: Світ, 2006.- 624 с.
4. Ирмухаметова Г.С. Основы технологии полимерных материалов. Учебное пособие – Алматы, 2016.
5. Производство изделий из полимерных материалов: Учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Панيماتченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
6. Тростянской, Е.В. Термопласты конструкционного назначения [Текст] / Е.В. Тростянской. - М.: Химия, 1975. - 240 с.
7. Карпинос Д.М. Новые композиционные материалы: [Текст]: учебник для вузов / Д.М. Карпинос, Л.И. Тучинский, Л.Р. Вишняков. - Киев: Вища школа, 1977. – 312 с.
8. Григорьев Г.П. Полимерные материалы. [Текст] / Г.П. Григорьев, Г.Я. Ляндаберг, А.Г. Сирота - М.: Высшая школа, 1966. – 250с.

7 Додаток А

Таблиця А.1 – Найважливіші пластмаси

Пластмаса	Мономер	Полімер
Поліетилен	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$
Поліпропілен	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$
Полівінілхлорид	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right)_n$
Полістирол	$\begin{array}{c} \text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_n$
Полікапролактам (капрон)	$\begin{array}{c} \text{CO} \\ / \\ (\text{CH}_2)_5 \\ \backslash \\ \text{NH} \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-(\text{CH}_2)_5-\text{NH}- \end{array} \right)_n$
Поліметилмет- акрилат (плексиг- лас, органічне скло)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C}-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \backslash \\ \quad \quad \quad \quad \text{OCH}_3 \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \backslash \\ \quad \quad \quad \quad \text{OCH}_3 \end{array} \right)_n$
Фенолформальде- гідні смоли (фенопласти)	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}, \text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	$\left(\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ -\text{H}_2\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4- \end{array} \right)_n$
Політетрафторети- лен (фторопласт-4)	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$	$(-\text{CF}_2-\text{CF}_2-)_n$
Полівінілацетат	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3 \end{array} \right)_n$

Продовження таблиці А.1

Пластмаса	Мономер	Полімер
Сечовино-формальдегідні смоли (амінопласти)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{NH}_2 \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} \\ -\text{N}-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2- \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{C}=\text{O} \qquad \qquad \qquad \text{C}=\text{O} \\ \qquad \qquad \qquad \\ -\text{N}-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2- \end{array} \right)_n$
Поліуретани	$\text{OCN}-(\text{CH}_2)_6-\text{NCO},$ $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\left(\begin{array}{c} \text{O} \qquad \qquad \qquad \text{O} \\ \qquad \qquad \qquad \\ -\text{C}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{C}-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}- \end{array} \right)_n$
Целулоїд	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{C} - \text{C} \\ \quad \\ \text{C} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{C} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{ONO}_2 \\ \quad \\ \text{C} - \text{C} \\ \quad \\ \text{C} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{C} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_2\text{ONO}_2 \end{array} \right)_n$

Таблиця А.2 – Деякі властивості пластмас

Пластмаса	Зовнішній вигляд	Проба на горіння	Як змінюється від нагрівання
Поліетилен	Білий з перламутровим відтінком, жовтуватий або забарвлений у світлі кольори. Твердий, у тонких листах, еластичний. Жирний на дотик. У тонких плівках, прозорий	Горить слабким синюватим полум'ям, скапуче під час горіння, має запах розплавленого парафіну	Швидко розм'якшується і плавиться, розкладається, має запах розплавленого парафіну

Продовження таблиці А.2

Полівінілхлорид	Білий або забарвлений у різні кольори. Пластикат – еластичний, непластифікований -твердий продукт	У полум'ї горить, утворюючи кіптяву. Поза полум'ям не горить. Під час горіння поширює запах хлороводно, нижня частина полум'я зеленкувата. Якщо ввести в його полум'я мідний дріт з'являється зелене забарвлення.	Розм'якшується при 60°C. Під час сильного нагрівання розкладається з виділенням хлороводно.
Полістирол	Безбарвний або яскравих кольорів. Твердий і крихкий	Горить кіптявим полум'ям, поширюючи солодкуватий запах стиролу	Під час нагрівання розм'якшується, витягується в нитки, розкладається з виділенням стиролу
Полікапролактан	Білий або забарвлений від жовтого до жовто-коричневого. Твердий, еластичний	Під час нагрівання поширює неприємний запах	Під час нагрівання плавиться, утворюючи тверду блискучу кульку. Розкладається з виділенням амінів. Продукти сухої перегонки забарвлюють лакмусовий папірець у синій колір
Поліметилметакрилат (плексиглас, органічне скло)	Безбарвний або яскравих кольорів. Прозорий, блискучий	Горить синюватим полум'ям з характерним потріскуванням, поширюючи характерний різкий ефірний запах	Під час нагрівання не розм'якшується, деполімеризується до мономеру, який знебарвлює бромну воду і перманганат калію
Фенолформальдегідні смоли	Коричневі, чорні, бордові, під мармур. Тверді, нееластичні	Горить тільки у полум'ї пальника кіптявим полум'ям	Під час нагрівання не розм'якшується, поширює різкий запах фенолу
Політетрафторетилен (фторопласт 4)	Білий з перламутровим відтінком, жирний на дотик. Зовні нагадує поліетилен	Не горить	Під час нагрівання у полум'ї стає прозорим

Продовження таблиці А.2

Полівініла цетат	Прозорий, цупкий	Під час термічного розкладу та горіння поширює запах оцтової кислоти	Поширює запах оцтової кислоти
---------------------	------------------	---	----------------------------------

8 Додаток Б

Таблиця Б.1 – Найважливіші волокна

Волокно	Мономер	Полімер
Натуральне		
бавовна	$C_nH_{2n}O_n$	Целюлоза
вовна	$\begin{array}{c} H_2N-CH-COOH \\ \\ R \end{array}$	Білок
шовк	»	Білок
Штучне		
віскоза	$C_6H_9O_4-O-\overset{\overset{S}{ }}{C}-SNa$	Целюлоза
ацетатне	$C_6H_7O_5(COCH_3)_3$	Ацетилцелюлоза
Синтетичне		
поліамідне		
капрон	$(CH_2)_5 \begin{array}{l} \diagup CO \\ \\ NH \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} O \qquad H \\ \qquad \\ -C-(CH_2)_5-N- \end{array} \right)_n$

Продовження таблиці Б.1

Волокно	Мономер	Полімер
анід (нейлон)	$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$	$\left(\begin{array}{c} \text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}-\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N} \\ \parallel \quad \quad \quad \parallel \quad \quad \quad \quad \\ \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \quad \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array} \right)_n$
енант	$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$	$\left(\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{C} \\ \quad \quad \quad \parallel \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{O} \end{array} \right)_n$
<i>поліефірне</i> лавсан	$\text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH}$ $\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{OH}$	$\left(\begin{array}{c} \text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O} \\ \parallel \quad \quad \quad \parallel \\ \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \end{array} \right)_n$
<i>поліакрило-</i> <i>нітрильне</i> нітрон	$\text{CH}_2=\text{CH}$ $\quad $ $\quad \text{CN}$	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{CN} \end{array} \right)_n$
<i>полівініл-</i> <i>хлоридне</i> хлорин	$\text{CH}_2=\text{CH}$ $\quad $ $\quad \text{Cl}$	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right)_n$
<i>поліолефі-</i> <i>нове</i> поліетиле- нове	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$
поліпропіле- нове	$\text{CH}_2=\text{CH}$ $\quad $ $\quad \text{CH}_3$	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$
<i>фторлонове</i> фторлон	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$	$(-\text{CF}_2-\text{CF}_2-)_n$

Таблиця Б.2 – Деякі властивості волокон

Волокно	Зовнішній вигляд	Як змінюється від нагрівання	Проба на горіння	Вплив на волокно лугу і кислоти			
				Розбавлений розчин NaOH	Концентрований розчин NaOH	Розбавлений розчин H ₂ SO ₄	Концентрований розчин H ₂ SO ₄
Бавовна	Волокна прямі, однакові завтовшки	Не плавиться	Горить яскравим полум'ям з утворенням ажурного попелу, поширюючи запах паленого паперу	Втрачає міцність під час кип'ятіння	Набухає, іноді руйнується	Руйнується	Руйнується
Вовна	Хвилясті волокна з незначним блиском	Внаслідок сильного нагрівання спікається	Горить погано, поширюючи запах паленого волосся або рогу	Розчиняється під час кип'ятіння	Руйнується	Помітних змін не відбувається	«
Натуральний шовк	Волокна однакові завтовшки, гладенькі	Те саме	Те саме	Те саме	«	Те саме	«

Продовження таблиці Б.2

Віскоза	Волокна однакові завтовшки, гладенькі, зі скляним блиском або матові	Не плавиться	Горить яскравим полум'ям, поширюючи запах паленого паперу	За кімнатної температури змін не відбувається	Сильно набухає і втрачає міцність	Руйнується	«
Ацетатне волокно	Волокна однакові завтовшки, гладенькі, м'які, шовковисті	Плавиться, утворюючи маленьку блискучу світлу кульку	Горить, утворюючи маленьку липку кульку Запах продуктів горіння кислий	Повільно руйнується	Розчиняється	Руйнується	Руйнується
Капрон	Волокна однакові завтовшки, гладенькі, зі скляним блиском, сухі, пружні	Плавиться, утворюючи тверду блискучу темну кульку	Горить погано навіть у полум'ї, поширюючи неприємний запах	Не діє	Не діє	Не діє	Розчиняється протягом 5-10 хв.
Нейлон	Волокна однакові завтовшки, гладенькі, зі скляним блиском	Плавиться, скручуючись	Горить голубуватим полум'ям, поширюючи характерний запах прілих горіхів	«	«	«	Те саме

Продовження таблиці Б.2

Лавсан	Волокна однакові завтовшки, округлі, матові	Плавиться, утворюючи тверду смолу	Горить спалахами кіптявим полум'ям, поширюючи різкий запах	Діє тільки під час кип'ятіння	Розчиняється під час кип'ятіння	Обвуглюється	Руйнується під час кип'ятіння
Нітрон	Волокна однакові завтовшки, скручені, матові	Плавиться, утворюючи кульку неправильної форми	Горить кіптявим полум'ям, поширюючи різкий запах	Не діє	Те саме	Не діє	Не діє

9 Додаток В

Найважливіші каучуки

Каучук	Мономер	Полімер
Ізопреновий (натуральний)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$
Полівініловий	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	$(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-)n$
Полібутадієнстирольний	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2, \\ \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2 \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_n$
Полібутадієннітрильний	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2, \\ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN} \end{array}$	$\left(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}}- \right)_n$
Поліхлоропреновий	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2, \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right)_n$
Поліізобутиленовий	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}=\text{CH}_2, \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{C}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$
Силіконовий	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{Cl} \\ \diagdown \quad / \\ \text{Si} \\ / \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{Cl} \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{Si}-\text{O}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$
Бутиловий	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2, \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{CH}_2 \\ / \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \qquad \qquad \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$

10 Додаток Г

Забарвлення полімерів внаслідок проведення реакції

Лібермана – Шторха – Моравського

Полімери	Забарвлення
Поліетилен, поліпропілен	Забарвлення не змінюється
Полікарбонати, поліформальдегід, поліаміди, полістирол, амінопласти, фторопласт-4, ацетилцелюлоза, поліметилметакрилат	Забарвлення не змінюється
Полівінілхлорид	Поволі синіє, потім зеленіє
Співполімери вінілхлориду з вінілацетатом	Поволі зеленіє, синіє і буріє
Полівінілацетат	Оранжеве переходить у червоне, потім у коричнєве
Полієфіри	Здебільшого забарвлення не змінюється, іноді коричнєве
Поліметилакрилати	Поволі стає світло-коричнєвим
Епоксидні	Рожеве, що поступово переходить у червоне
Фенолформальдегідні (фенопласти)	Слабко-рожеве
Бутадієн-стирольний каучук	Ясно-блакитне, сіро-зелене
Метилцелюлоза з різним з'єднанням метоксильних груп	Жовте, оливково-зелене

11 Додаток Д

Основні характеристики термопластів та реактопластів

Таблиця Д.1 – Фазовий склад, переваги, недоліки і призначення конструкційних термопластів

Назва термопласту	Фізико-хімічні характеристики	Основні властивості	Недоліки	Призначення
1	2	3	4	5
Поліетилен високого тиску (ПЕВТ)	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ Ступень кристалічності 55...65 %, густина $0,9...0,9 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$	Нерозчинний у воді, ацетоні, спирті, хімічностійкий, морозостійкий до мінус 70°C	Схильний до старіння	Несилові деталі, деталі хімічної апаратури
Поліетилен низького тиску (ПЕНТ)	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ Ступень кристалічності 74...95%, густина $0,9 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$	Має більш високі показники міцності та теплостійкості ніж ПЕВТ		Конструкційні деталі насосів, труби
Поліпропілен	$(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$ густина $0,9 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$	Порівняно з поліетиленом має більш високі показники, міцності та теплостійкості (до 150°C). Не розчиняється у воді, у органічних розчинниках, стійкий до дії киплячої води і лугів	Низькі термостійкість, світлостійкість, морозостійкість (до мінус 20°C)	Конструкційні деталі автомобілів, корпуси насосів, труби
Полістирол	$(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-)_n$ аморфний полімер, густина $1,1 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$	Стійкий у лугах і кислотах (в тому числі і плавиковій), із розглянутих полімерів найбільш стійкий до дії іонізаційних випромінювань	Схильний до утворення тріщин, невисокі міцність і теплостійкість	Ручки, корпуси, ємності для хімікатів

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5
АБС-пластики	Сополімери полістиролу	Відрізняються високою міцністю та світлостійкістю		Деталі автомобілів, човнів, труби
Поліаміди (капрон, нейлон, амід)	До складу макромолекул входять (-NH-CO-) (-CH ₂ -), Може кристалізуватись, густина 1,1×10 ³ кг/м ³	Має низький коефіцієнт тертя ($f < 0,05$), тривалий час може працювати на стирання, удароміцний, здатний поглинати вібрації, стійкий до лугів	Схильний до водопоглинання і старіння	Шестерні, втулки, підшипники, болти, гайки, шківни
Поліуретан	(-NH-COO-), густина 1,1×10 ³ кг/м ³	Має високу гнучкість, еластичність, атмосферостійкість, морозостійкість (до мінус 70°C)	Невисока стійкість до термічної і термоокислювальної деструкції	Волокна, плівки, герметики
Фторопласт-4 (політетрафторетилен)	(-CF ₂ -CF ₂) _n аморфно-полікристалічний полімер, густина 2,0×10 ³ кг/м ³	Висока хімічна стійкість в кислотах, лугах, окислювачах, високі антифрикційні властивості	Холодотекучий	Труби, прокладки, мембрани, манжети
Органічне скло (поліметал-метакрилат)	Аморфний полімер, густина 2,0×10 ³ кг/м ³	Стійкий до дії кислот, лугів, вуглеводних палив та мастильних матеріалів	Невисока твердість	Кришки, резервуари, труби, деталі арматури

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5
Поліхлорвініл (ПВХ)	$(-\text{CH}_2-\text{CHCl})_n$ аморфний полімер, густина $1,4 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$	Хімічно стійкий, не підтримує горіння, атмосферостійкий	Низька тривала міцність, великий коефіцієнт термічного розширення, крихкий при низьких температурах	Труби, теплообмінники, деталі вентиляційних установок
Поліформальдегід	$(-\text{CH}_2-\text{O}-)_n$ Ступінь кристалічності 75%, густина $1,4 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$	Має високу твердість, жорсткість, пружність. Стійкий в мінеральних маслах та бензині		Шестерні, підшипники, клапани, деталі автомобілів

Таблиця Д.2 – Фізико-механічні властивості конструкційних реактопластів

Назва пластмаси	ρ кг/м ³ , $\times 10^3$	t_{\max} експлуатації, °С	Границя міцності, МПа			δ , %	Ударна в'язкість, кДж/м ²	E, МПа $\times 10^3$	НВ, МПа
			при розтягненні	При стисканні	при згинанні				
Порошкові	1,4... 1,5	110	30	50...150	60	0,3...0,7	4...6	6,3...8	300...400
Волокнит	1,3...1,4	110	30...60	80...150	50...80	1...3	9...10	8,5	250...270
Асбоволокнит	1,9...2,1	200	-	110	70	4...3	20	18	300
Скловолокнит	1,7...1,9	280	80-500	130	120...250	1...3	25...150	-	-
Гетинакс	1,3...1,4	150	80...100	160-290	80...100	1...3	12...25	10	-
Текстоліт	1,4... 1,5	125	65...100	120...150	120...160	1...3	30	1...5	-
Азботекстоліт	1,6... 1,7	190	55	-	-	-	20...25	20	185...300