

В.В. Гончаренко, І.В. Коваленко

Технологія композиційних матеріалів

Затверджено Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками “Інженерна механіка”, “Хімічна технологія та інженерія”.

Київ-2007

Технологія композиційних матеріалів:

Навчальний посібник /Гончаренко В.В., Коваленко І.В. –К.:2007.-131 с.: іл. 46,
бібліогр.:с.47,131

ISBN.....

В посібнику розкрито зміст лекцій по дисциплінам „Технологія композиційних матеріалів” і „Полімерні композиційні матеріали. Вироби та устаткування” навчального плану бакалаврів. Подана інформація, яка має відношення до методів технологічної класифікації широкого асортименту композиційних матеріалів. Увагу акцентовано на здобутті навичок та умінь з обраної спеціальності.

Призначений для студентів інженерно-хімічних факультетів ВНЗ, які навчаються за напрямками „Інженерна механіка”, „Хімічна технологія та інженерія” денної та заочної форм навчання.

Іл.46 Табл.4 Бібліогр. назв.10

УДК 621.002.3(035)

ББК 34.43

Гриф надано Міністерством Освіти і науки України

Лист №14/18 – Г 240 від 15.06.06р.

Рецензенти:

М.В. Цебренко, д-р техн. наук,

професор Київського Національного Університету технології та дизайну

В.П. Шумський, д-р хім. наук, провідний наук. співробітник ІХВС НАН

України

В.Г.Ільїн, д-р хім. наук,професор інституту фізичної хімії

ім.. Л.В.Писаржевського НАН України

© В.В. Гончаренко, І.В. Коваленко, 2007.

Передмова

У навчальному посібнику розкривається зміст лекцій, в яких подається інформація про технологічну класифікацію широкого асортименту композиційних матеріалів по природі їх матриці, а також проводиться аналіз ще більш широкого асортименту армуючих елементів, дається загальна характеристика технології виготовлення найбільш характерних виробів із композиційних матеріалів.

Вся одержана студентами інформація використовується для визначення системи технологічних характеристик 40 характерних виробів, які застосовуються в різних галузях техніки. Розроблена схема технологічної ідентифікації композиційних матеріалів піддається кодуванню, що особливо актуально в умовах переходу вищої освіти на кредитно-модульну систему організації навчального процесу і переміщенню акценту на здобуття навичок та умінь з обраної спеціальності.

Вступ

В посібнику «Технологія композиційних матеріалів» розкривається зміст лекцій по дисциплінам „Технологія композиційних матеріалів” і „Полімерні композиційні матеріали.Вироби та устаткування” навчального плану бакалаврів, які навчаються по п’яти спеціальностям за напрямком “Інженерна механіка” та по шести спеціальностям за напрямком “Хімічна технологія та інженерія”. Після вивчення цього курсу студенти переходять до вивчення технології переробки тільки полімерних композиційних матеріалів, які є тільки одним із семи класів композиційних матеріалів. Через це технологія композиційних матеріалів розглядається у самому широкому розумінні відповідно до всіх класів композитів, які використовуються в самих різних галузях виробництва , техніки, науки.

При вивченні курсу максимально використовуються знання, уміння та навички студентів, які вони встигли придбати в процесі своєї життєдіяльності. Багато композиційних матеріалів студенти використовують у своїй повсякденній діяльності. Функціональне призначення і головні характеристики таких виробів із композитів студентам ще до вивчення цього курсу добре відомі (наприклад, автомобільні шини).

Після вивчення курсу ТКМ студенти мають змогу виконати технологічну ідентифікацію широкого переліку виробів із композиційних матеріалів по приведеній схемі. Отже, все вивчення курсу ТКМ направлено на підготовку до виконання такої технологічної ідентифікації виробу із ТКМ. Позитивний результат такої ідентифікації засвідчує те, що студенти одержали необхідні знання, навички та вміння для того, щоб визначити технологічні особливості виготовлення широкого класу різних композиційних матеріалів

Розроблена схема технологічної ідентифікації композиційних матеріалів основана на кодуванні результатів, що особливо актуально в умовах переходу вищої освіти на кредитно-модульну систему організації навчального процесу і переміщення акценту на здобуття студентами навичок та умінь з обраної спеціальності. При використанні такої схеми виникає можливість переходу до комп’ютеризації процесу вивчення цього курсу, тобто переходу на об’єктивний моніторинг знань, умінь та навичок студентів з використанням комп’ютерних програм для оцінки рівня знань та умінь студентів.

Умовні скорочення

Нижче приведені умовні скорочення термінів, які використовуються в технології композиційних матеріалів і найбільш часто зустрічаються в посібнику. Визначення термінів, які не включені у цей перелік, будуть приведені у тексті:

КМ – композиційні матеріали;

М – матриця КМ;

АЕ – армуючі елементи КМ;

АВ – армуючі волокна;

АН – армуючі наповнювачі;

ТКМ – технологія композиційних матеріалів;

ПКМ - полімерні КМ;

МКМ – металокомпозити;

ККМ – керамічні КМ;

СКМ – скляні КМ;

ВКМ – вуглекомпозити;

ЦКМ – цементні КМ;

ГКМ – гіпсові КМ;

БКМ – бітумні КМ;

ТП – термопласти;

РП – реактопласти;

ТЕП- термореактопласти.

Розділ I. Класифікація композиційних матеріалів

1.1. Характерні ознаки композиційних матеріалів

Характерними ознаками КМ є:

- 1) багатокомпонентність, оскільки до складу КМ обов'язково входять два чи більше різного роду матеріалів, в тому числі матриця (М) та армуючі елементи (АЕ);
- 2) відсутність хімічної взаємодії між компонентами, тобто між ними є тільки фізичні зв'язки (вандерваальсова взаємодія);
- 3) відсутня взаєморозчинність між компонентами у складі КМ, оскільки між ними завжди існує границя розділу фаз;
- 4) компоненти КМ підібрані таким чином, щоб було досягнуто явище синергізму, при якому якісні характеристики КМ перевершують характеристики кожного окремо взятого компонента;
- 5) матриця КМ утворює суцільне середовище, яке зв'язує всі інші компоненти КМ;
- 6) на стадії виготовлення виробів з КМ матриця часто буває у рідкому або пластичному стані, що дає можливість надавати виробам необхідної форми;
- 7) жорсткість матриці, як правило, нижча жорсткості АЕ, таким чином навантаження на вироби з КМ приходить не на М, а на АЕ;
- 8) багатфункціональність КМ дозволяє повніше задовольняти функціональні потреби, визнані призначенням КМ.

1.2. Класифікація композиційних матеріалів по природі матриці

Матеріал, який поєднує всі компоненти КМ в єдине ціле і в основному визначає технологічні особливості виготовлення виробів із КМ, називають матрицею.

КМ класифікують по природі матриці наступним чином:

- 1) полімерні КМ (ПКМ) – це всі види КМ, поєднуючим компонентом в яких є полімерний матеріал, наприклад, епоксидна смола;
- 2) металокомпозити (МКМ) – всі компоненти об'єднані між собою металевою матрицею, наприклад, КМ алюміній-вольфрам;
- 3) керамічні та скляні КМ (ККМ, СКМ), наприклад, скло або абразивний диск, армовані сталеву сіткою;

- 4) вуглецеві КМ (ВКМ), зв'язуючим компонентом в яких є одна із модифікацій вуглецю, наприклад, кокс, графіт тощо;
- 5) цементні КМ (ЦКМ) та бетонні КМ, наприклад, азбошифер, залізобетонні вироби;
- 6) гіпсові КМ (ГКМ), наприклад, гіпсокартон;
- 7) бітумні КМ (БКМ), наприклад, євроруберойд на склотканій основі.

1.3. Класифікація металевих композиційних матеріалів по природі матриці

Металеві матриці часто мають температуру плавлення нижчу, ніж армуючі елементи (АЕ). Це гарантує адгезію матриці до АЕ у розплавленому стані, а також суцільність металоконкомпозитів (МКМ).

МКМ можуть бути виготовленні із таких металів:

- 1 - міді, бронзи, латуні (електропровідні, антифрикційні МКМ);
- 2 - алюмінію та його сплавів (дюралі тощо) – легкі МКМ;
- 3 - бабіту (антифрикційні КМ);
- 4 - літію (легкі МКМ);
- 5 - магнію (легкі МКМ);
- 6 - танталу (хімічно стійкі МКМ);
- 7 - ніобію (хімічно стійкі МКМ);
- 8 - заліза (феромагнітні МКМ);
- 9 - нікелю (феромагнітні МКМ);
- 10 - титану (міцні, легкі МКМ);
- 11 - кобальту (термостійкі МКМ);
- 12 - цирконію (медичинські МКМ);
- 13 - цинку (антикорозійні МКМ);
- 14 - свинцю (пластичні МКМ);
- 15 - хрому (хімічно стійкі МКМ);

1.4. Класифікація керамічних композиційних матеріалів по природі матриці

Керамічні КМ є найбільш термостійкими матеріалами. Основним їх недоліком є крихкість та мала стійкість до динамічних навантажень. Керамічні матриці мають модуль жорсткості завжди менший модуля жорсткості АЕ.

Керамічні матриці виготовляються із окислів металів:

- 1 - оксиди алюмінію (Al_2O_3);
- 2 - оксиди берилію (BeO);
- 3 - оксиди цирконію (ZrO);
- 4 - оксиди торію (ToO);
- 5 - нітриди кремнію (Si_3N_4);
- 6 - карбіди кремнію (SiC).

1.5. Класифікація вуглецевих композиційних матеріалів (ВКМ) по методу виготовлення вуглецевої матриці

Для виготовлення вуглецевих матриць використовують такі речовини:

- 1 - поліакрилонітрил (ПАН);
- 2 - гідрат целюлози (ГЦ);
- 3 - пеки із вугілля.

При виготовленні ВКМ виконують такі ж операції, як і при виготовленні вуглецевих армуючи волокон (АВ) (в розділі 3.14):

- 1 - піроліз (окислення) при температурі 400 градусів;
- 2 - дегідрування (дегідратація та деполімеризація) з утворенням речовин розпаду, які при високій температурі приймають участь в утворенні вуглецевої структури і відокремленням водню при температурі 1000° С в середовищі нейтрального газу (аргону);
- 3 - карбонізація при $T = 1100^{\circ} \text{C}$ в середовищі аргону під високим тиском приводить до появи напівкоксу;
- 4 - графітизація напівкоксу при $T = 2700^{\circ} \text{C}$ в середовищі аргону під високим тиском приводить до появи графіту.

Вуглецева матриця буває в таких модифікаціях:

- 1 - графітизований кокс;
- 2 - піровуглець (піролітичний вуглець);
- 3 - комбінації графітизованого коксу та вуглецю;
- 4 - Модифікований вуглець з карбідо- та нітридоутворюючими елементами.

1.6. Класифікація композиційних матеріалів по складності їх матриці

1. По всій товщині КМ використовується матриця однієї і тої ж природи та складу (мономатриця), наприклад, текстоліт на основі епоксидної смоли.
2. Поліматричні КМ мають різні по природі матриці в різних шарах по товщині виробу, наприклад в автомобільній шині між протектором та армованим каркасом укладають брекер, який має більшу еластичність (меншу жорсткість) по відношенню до інших шарів.
Зауваження: автомобільна шина не тільки поліматрична, а й комбіновано поліармована, оскільки має як синтетичний, так і металевий корд (розділ 3.9)
3. До складу поліматричних КМ відносять реактопласти (РП), функцію матриці в яких виконує компаунд, наприклад, при виготовленні телескопічних вудилищ препреги отримують просочуванням склотканини розчином із суміші трьох термореактивних смол.

Розділ II. Класифікація полімерних композиційних матеріалів

2.1. Класифікація полімерних КМ по природі матриці

ПКМ по природі матриці класифікують таким чином:

- 1 - термопласти (ТП);
- 2 - реактопласти (РП);
- 3 - термoeластопласти (ТЕП);
- 4 - гуми.

2.2. Термопласти

В ТП матриця на стадії приготування перебуває в розплавленому в'язкому або пластичному стані, а на стадії експлуатації – у твердому стані. ТП збудовані з лінійних або розгалужених макромолекул, між якими виникає тільки вандерваальсова (фізична) сила тяжіння. При нагріванні ТП переходять у розплав, при охолодженні твердіють. ТП на будь-якій стадії розчиняється у відповідних розчинниках.

В якості матриці в ТП використовують такі синтетичні полімери:

- 1 - поліетилен низької, середньої та високої щільності;
- 2 - поліпропілен;
- 3 - полістирол та його сополімери;
- 4 - політетрафторетилен (фторопласт - 4);
- 5 - поліетилентерефталат (ПЕТ), вітчизняна торгова марка якого – лавсан;
- 6 - полікарбонат;
- 7 - полііміди в кевларопластах;
- 8 - поліаміди, наприклад, капрон.

2.3. Реактопласти

Реактопласти – це багатокомпонентні КМ, між молекулами матриці яких утворені поперечні хімічні зшивки. Матриця РП на стадії виготовлення є олігомером або компаундом, який після хімічної реакції зшивки утворює твердий моноліт з хімічно зшитими молекулами. При нагріванні зшиті РП не плавляться і нічим не розчиняються.

На стадії формування виробів в якості матриці в РП часто використовують у текучому стані такі термореактивні смоли (олігомери):

- 1 - епоксидні смоли;
- 2 - фенолоформальдегідні смоли, з яких одержують ПКМ – фенопласти;
- 3 - аніліноформальдегідні смоли;
- 4 - мочевиноформальдегідні смоли;
- 5 - меламіноформальдегідні смоли;
- 6 - фуранові смоли;
- 7 - кремнійорганічні смоли (поліорганосілоксани).

Після формування виробів в цих термореактивних смолах утворюються поперечні хімічні зшивки, які фіксують жорстку форму виробів.

2.4. Олігомери

Олігомери – це речовини, які займають проміжний стан між низькомолекулярними сполуками (НМС) та високомолекулярними (ВМС) сполуками. Якщо полімери ВМС мають у своєму складі більше 10^4 ланок (мономерних остатків), то олігомери мають їх більше 100 і менше 10^4 . Олігомери, як правило, мають вигляд смоли, яка при нормальній температурі знаходиться у в'язкому або твердому аморфному стані. Олігомери добре розчиняються у воді, спиртах, ацетоні тощо, оскільки їх молекули не мають між собою хімічних зв'язків, наприклад, епоксидна смола до затвердіння.

2.5. Компаунди

Компаунди – це композиції із різних олігомерів (термореактивних смол) з різними добавками. Між олігомерами, які входять до складу компаундів, завжди є спорідненість: вони добре перемішуються між собою. Границя розділу фаз між ними не існує в результаті інтенсивної дифузії. Компаунди діляться на просочені та литьові. В просочені компаунди добавляють розчинники, із яких найбільш поширені різні спирти. Чим менша динамічна в'язкість просоченого компаунда, тим швидше він дифундує в пори на поверхні АЕ, тим вища адгезія компаунда (М) до армуючого елементу АЕ.

2.6. Препреги

Препреги – це полуфабрикати, із яких виготовляють КМ. Для виготовлення препрегів використовують компаунди із термореактивних смол (для реактопластів), гумові суміші (наприклад, для виготовлення гумового корда), або ткані вироби, в яких є низькоплавкі волокна, утворюючи матрицю в термопластах (наприклад, в кевларопластах), або в ТЕПах.

Препреги для реактопластів та гумових виробів мають малий «час життя», в границях якого їх використовують для формування виробів із КМ.

При перевищенні цього часу в препрагах самовільно проходять реакції утворення хімічних поперечних звязків. При цьому препреги втрачають пластичність та адгезію.

В гумових сумішах цей процес називають піввулканізацією.

В препрегах для термопластів та ТЕПів така проблема не виникає, оскільки в тканих виробих низькоплавкі волокна утворені із лінійних або розгалужених макромолекул, які характеризуються високою стабільністю в часі.

2.7. Технологія виготовлення полімерних препрегів

1.Препреги на основі термоактивних смол використовуються для виготовлення реактопластів. Технологічний процес виготовлення таких препрегів включає слідуочі операції:

- 1) виготовлення розчинів термоактивних смол, або їх просочувальних компаундів;
- 2) просочування АЕ такими розчинами під вакуумом або під тиском: в АЕ не повинні залишатися газові включення, в яких адгезія смоли до поверхні АЕ відсутня;
- 3) дозування розчину смоли на поверхні АЕ (надлишкова кількість смоли обов’язково повинна виходити із препрегів у вигляді ґрату при пресуванні);
- 4) сушка просочених АЕ з рекуперацією розчинника ;
- 5) укладка між шарами просочених АЕ антиадгезійного шару у вигляді плівки або склотканини, яка б заважала злипанню шарів препрега при скручуванні його в рулон;
- 6) доставка препрегів в рулонах замовнику при температурі сухого льоду (-18° С).

2. Препреги на основі термопластів та термоеластоластів одержують методами плетіння тканини, в яких волокна утка утворюють матрицю, а волокна основи є АЕ. При нагріванні та пресуванні таких тканин у формі одержують тверді або еластичні вироби після охолодження.

2.8. Позначення назв різних типів композиційних матеріалів

При позначенні назв ПКМ, а точніше для ТП та РП, на першому місці вказують природу АЕ, а на другому – слово «пласт» або «пластик». Якщо АЕ є волокном, то на другому місці ставлять слово «волокніт». Наприклад, склопластик може мати в якості АЕ дискретні скляні волокна. Якщо АЕ в даному випадку – довгомірні волокна, то цей матеріал можна назвати скловолокнітом, в якому волокна мають хаотичну або одновісну орієнтацію. Якщо скляні волокна переплетені у вигляді тканини, то це буде «текстоліт» (терміном «склотекстоліт» користуватися не прийнято).

Для назв металевих КМ на першому місці вказують природу матриці, а на другому – природу АЕ, наприклад, КМ Cu-W (мідь-вольфрам): Cu є М, а W є АЕ. Для інших класів КМ термінологія ще не зформувалася.

2.9. Термоеластоласти(ТЕП)

Якщо ПКМ при кімнатній температурі перебувають у високоеластичному (гумоподібному) стані, то їх називають еластомерами. Якщо еластомери мають лінійні або розгалужені макромолекули і при нагріванні плавляться, то їх називають термоеластоластами – ТЕПами (наприклад, поліуретан).

На стадії виготовлення виробів із ТЕПів використовують олігомери, які хімічно взаємодіють з утворенням лінійних або розгалужених молекул. Із ТЕПів виготовляють взуття, шкірозамінники, привідні паски, футеровку хімічних реакторів, тощо.

2.10. Гумові суміші (ГС), гуми та ебоніт

Гумові суміші – це суміші на основі каучуків, макромолекули яких мають лінійну або розгалужену будову. На стадії виготовлення таких ПКМ матриця утворюється із пластичних ГС, які після хімічної реакції зшивки молекулами сірки (вулканізації) перетворюються в гуму. Макромолекули гуми зв'язані між собою міцними хімічними зв'язками, утвореними двовалентними атомами сірки. Гума в розчинниках каучука не розчиняється. При нагріванні гума не переходить в в'язкий або пластичний стан.

Із гуми виготовляють армовані шини, труби, взуття, паски, футеровку цистерн для зберігання агресивних хімічних речовин, тощо, матеріал яких має всі ознаки ПКМ. Гума з густою сіткою поперечних зв'язків зовсім втрачає еластичність, стає жорстким хімічно стійким матеріалом, що називається ебонітом.

Розділ III. Класифікація КМ по армуючим елементам

3.1.Класифікація армуючих наповнювачів по геометричній формі елементів

Армуючі наповнювачі (АН) по геометричній формі елементів класифікують наступним чином:

1. Дисперсні АН, наприклад, в асбоцементних трубах тощо.
2. Дискретні АН, наприклад, в деревинно-стружкових пластиках (ДСП) тощо.
3. Довгомірні (безперервні) волокна та проволоки, наприклад, в скловолонітах та в металокорді шин тощо.
4. Полімерні плівки та стрічки, металеві фольга та стрічка, наприклад, в гумових шлангах високого тиску, в п'ятишарових рукавних оболонках для упаковки м'ясних продуктів тощо.
5. Сфери (світловідбиваючі автодорожні щити)

3.2. Класифікація армуючих наповнювачів з хаотичним розміщенням в об'ємі композиційного матеріалу

1. Дисперсні АЕ, наприклад, графіт, тальк, кварцевий пісок, канальна сажа, біла сажа, аерозоль, скляні мікросфери, каолін, крейда, порошки металів тощо.
2. Дискретні АЕ із стружки, волокон целюлози, асбеста, скловолон рублених насипом у вигляді: паперу, картону тощо.
3. Безперервні волокна, наприклад, неткані матеріали, скловата, войлок, базальтовий ровінг, тощо.

3.3. Класифікація дисперсних армуючих наповнювачів по формі елементів

Дисперсні АН мають слідуєчі форми елементів.

1. Неправильну геометричну форму (кварцевий пісок тощо).
2. Правильну сферичну форму (пустотілі скляні мікро сфери на світло відбивних покриттях.
3. Плоскі пластини та мікролуска (графіт, слюда, тальк тощо) розміром до 1 мкм.
4. Ниткоподібні кристали (азбест) та віскери (вуса) насипом або у вигляді паперу, картону

3.4.Класифікація неорганічних дисперсних армуючи наповнювачів по природі

1. Металеві порошки Ni, бронзи, Cu, Al, Fe, вольфраму W, молібдену Mo, хрому Cr, феромагнітів Fe,Co,Ni.
2. Мінеральні порошки:
 - 1) Аеросилу SiO_2 (зміцнюючий ефект).
 - 2) Азбесту $\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
 - 3) Білої сажі $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.
 - 4) Бентоніту $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (пластинчата форма 0,2-2 мкм).
 - 5) Каоліну $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
 - 6) Кварцевий пісок SiO_2 .
 - 7) Слюди $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (пластинчаста форма 5 мкм).
 - 8) Талька $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (форма луски 5мкм).
 - 9) Крейди CaCO_3 .
 - 10) Магнітного залізняка $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.
 - 11) Складні рублені волокна, мікросфери (SiO_2 , Na_2O , CaO , MgO , K_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3).
 - 12) Базальтові рублені волокна $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Na}_2\text{O}_3$.
 - 13) Цемент $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.
 - 14) «Вуса» (віскери) із нітриду кремнію Si_3N_4 .
 - 15) Дисульфід молібдена MoS_2 (антифрикційні властивості).
 - 16) Сульфід барію BaSO_4 (зносостійкість).
 - 17) Оксиду цинку ZnO (пігмент).
 - 18) Вспінений перліт.
 - 19) Оксиду титану TiO_2 (пігмент).

3.5. Класифікація по природі дисперсних та дискретних органічних АН

1. Деревинна мука, стружка тощо.
2. Рослинні волокна.
3. Відходи бавовняного виробництва.
4. Відходи целюлозного виробництва.
5. Пробкова мука (для зменшення ваги КМ).
6. Лузга соняшників, горіхів.
7. Кукурудзяні качани.
8. Відходи переробки льону.
9. Полімерні наповнювачі: сфери полістиролу, порошки поліетилену, політетрафторетилену, крихти із відходів поліетилентерефталату тощо.
10. Солома, очерет (відомі з давнини природні АН)

3.6. Класифікація дискретних АН по формі елементів

Термін „дискретні елементи” використовують для часток, розміри яких перевищують 100 мкм і досягають до 100 мм (наприклад, щебень у бетоні).

1. Рублені волокна, проволоки, ровінги тощо, довжиною більше 0,5мм.
2. Ниткоподібні кристали довжиною більше 0,5мм, (наприклад азбест), насипом або у вигляді паперу, картону, матів тощо.
3. Луска та пластини розміром більше 0,5мм, наприклад слюди тощо.
4. Частинки неправильної геометричної форми розміром більше 0,5мм, наприклад, крихти або стружка із дерева для виготовлення ДСП (деревостружкових пластиків) тощо.

3.7. Класифікація шарових КМ по розміщенню АЕ у просторі

1. Одновісно армовані КМ з плоским розміщенням арматури в моношарі, наприклад, шпон: це анізотропні КМ.
2. Двухосно армовані КМ з плоским розміщенням арматури (АН) в моношарі, наприклад сітки, тканини, папери тощо: в площині укладки моношару АН ці КМ псевдоізотропні; якщо це багат шарові КМ, набрані із пакетів, то вони ортотропні.
3. Трьохосно армовані КМ з просторовим розміщенням арматури (АН), наприклад, теплові екрани антиабляційного захисту носових частин ракет та космічних кораблів при входженні в щільні шари атмосфери. Ці КМ є трансверсально ізотропними.

3.8. Класифікація шарових КМ по системах укладки анізотропного шпона

В плоско армованому анізотропному моношарі шпону міцність σ_1 вздовж укладки волокон значно перевищує міцність σ_2 в поперечному напрямі. В монолітному блоці із КМ відношення між σ_1 та σ_2 залежить від кількості N шарів, укладених вздовж, та M шарів, укладених поперек КМ. Якщо $N=M$, то в такому блоці із КМ $\sigma_1 = \sigma_2$, тобто в площині укладки КМ буде псевдоізотропним матеріалом. Система укладки шарів в такому КМ визначається як 1:1.

Якщо в поперечному напрямку укладено по одному шару, а в повздовжньому – наприклад, 5 шарів, то така система буде визначатися як 1:5. Міцність такого КМ у повздовжньому напрямі $\sigma_1 = 5\sigma_2$, тобто такий КМ буде анізотропний в площині укладки.

Якщо трансверсальна його міцність $\sigma_3 < \sigma_1$, то він є ортотропним в цілому монолітному блоці.

Наприклад, міцність фанери σ_1 та σ_2 в ортогональних осях в площині укладки анізотропних моношарів шпона залежить від кількості шарів, укладених в повздовжньому N , та поперечному M напрямках. Такі КМ називаються ортогонально армованими.

3.9. Класифікація упорядковано армованих КМ по складності АЕ

1. Армовані КМ з АЕ одної і тої ж природи та геометричної форми, тобто моноармовані КМ, наприклад, гетінакс, в якому у всіх моношарах використовується один і той же папір.
2. Прості поліармовані КМ, в яких використовуються АЕ одної і тої ж форми, але різної природи в різних моношарах, наприклад, лінолеум з тканинним теплоізоляційним шаром із синтетичних волокон.
3. Комбіновані поліармовані КМ, в яких використовується АЕ різної природи та форми в різних шарах, наприклад, еластичні гумові шланги високого тиску, армовані кордними синтетичними нитками, сталевую тонкою проволокою та стрічкою в різних шарах циліндричної форми.

3.10. Типи просторового армування КМ в зв'язку з формою виробів

1. Плоске просторове армування КМ, наприклад, в листах, плитах тощо. Осі симетрії розташовані таким чином: вісь 1-вздовж основи тканини; вісь 2-вздовж утка тканини; вісь 3-в трансверсальному напрямі.
2. Циліндричне просторове армування КМ, наприклад, в трубах тощо. Осі координат розташовані таким чином: вісь 1-в тангенціальному напрямі, оскільки $\sigma_1=2\sigma_2$, якщо труба працює під тиском; вісь 2- в аксіальному напрямі; вісь 3- в радіальному напрямі, тобто трансверсально до стінки труби.
3. Полярне просторове армування, наприклад в супермаховиках або велосипедних колесах, виконується методом плетіння по схемах 3D і 4D. Технологія полярного плетіння трьома взаємноортогональними нитками виробів з полярним армуванням розроблена порівняно недавно. При такому плетінні радіальні нитки вплітаються в оправку - металічну (сталеву або титанову) втулку, від якої вони відходять в радіальному напрямі.

Оскільки в супермаховиках найбільші напруження виникають в радіальному напрямі, то вісь 1 розміщують радіально, вісь 2 – тангенціально, вісь 3 – в аксіальному напрямі, тобто трансверсально по товщині диска маховика. При такому розташуванні осей координат $\sigma_3 < \sigma_1$ і $\sigma_3 < \sigma_2$.

4. Тороїдне просторове армування, наприклад, в шинах.

3.11. Способи плетіння довгомірних АВ

Довгі («безперервні») волокна із неметалів та металічні проволочки по способам плетіння розділяють на:

- 1) Ровінги(моноволокна та проволочки не переплетені).
- 2) Кордні нитки та троси (моноволокна та проволочки переплетені у заданому порядку без поперечних зв'язків).
- 3) Плоскі моношари шпона (препреги із неметалів) та гумованого металокорда (проволочки).
- 4) Ткані шарові матеріали та металічні сітки (волокна та проволочки переплетені по схемам двох-, трьох-, чотирьох ниток).
- 5) Неткані шарові матеріали типу бумаги, войлока (волокна та проволочки хаотично переплетені між собою).

3.12. Методи посилення міжшарових зв'язків в КМ

Міжшарові зв'язки в шарових КМ визначають величину міжшарової зсувної (тангенціальної) міцності та міцності на відрив σ_z в трансверсальному напрямі. Для підсилення міжшарових зв'язків використовують такі методи:

1. Апретують поверхню АЕ, тобто обробляють її апретами - речовинами, які модифікують поверхню АЕ і збільшують адгезію М до АЕ.
2. Вводять апрети в середовище М; в такому стані апрети постійно діють на поверхню АЕ і збільшують адгезію.
3. Озонуєть поверхню АЕ або обробляють її коронним розрядом (плазменна обробка). На поверхні АЕ з'являються хімічно приєднані атоми кисню, які збільшують адгезію.
4. Проводять віскерізацію волокон (впершу чергу вуглецевих і борних). Віскери («вуса») у вигляді ниткоподібних кристалів, наприклад нітрида кремнія Si_3N_4 , нарощуються або закріплюються в ортогональному напрямку до поверхні волокон. Міжшарові зв'язки між віскерізованими волокнами посилюються за рахунок з'єднуючої їх матриці.
5. Використовують нові ткацькі технології в системах плетіння по схемах 2-х, 3-х та 4-х ниток для одержання просторово-армованих КМ.

3.13. Методи віскерізації вуглецевих ВАВ (ВAB)

1. Вирощування ниткоподібних кристалів-віскерів («вусів») на поверхні вуглецевих арміруючих волокон(ВAB) із нітриду кремнія Si_3N_4 методом осадження із газової фази.
2. Вирощування віскерів із двоокисі титану TiO_2 на поверхні ВAB методом осадження із аерозоля.
3. Вирощування віскерів із нітриду алюмінія AlN методом осадження із суспензії при її фільтрації через тканину із ВAB.

Всі методи дають хаотичне розміщення віскерів на поверхні ВAB. При подальшій переробці (пресуванні) віскерізованих ВAB «вуса» обламуються і у вигляді дисперсії розподіляться в КМ. Для зменшення частини обломаних віскерів готують препреги таким чином, щоб максимально зберегти віскери при пересуванні.

3.14. Класифікація ВАВ за методами виробництва

ВАВ за методами виробництва класифікують таки самим чином як і вуглецеві М.

1. ПАН-волокна: препрегами для виготовлення цього типу ВАВ є волокна із поліакрилонітрилу.
2. ГЦ-волокна: препрегами є волокна із гідратцелюлози.
3. Пекові волокна: препрегами є волокна із вугільних пеків.

При виготовленні ВАВ виконують такі ж самі операції, як і при виготовленні вуглецевих М з деякими особливостями:

- 1) Піроліз (окислення) при температурі 400°C супроводжується інтенсивною орієнтаційною витяжкою волокон, що веде до утворення в волокнах фібрильних кристалічних структур.
- 2) Дегідратація (відокремлення гідрогену) при температурі 1000°C в середовищі нейтрального газу (аргону) також супроводжується другою стадією орієнтаційної витяжки ВАВ.
- 3) Карбонізація ВАВ при температурі 1200°C в середовищі Аг під високим тиском веде до зміцнення вуглецевих фібрилярних структур (кристалічних і мезофазних).
- 4) Графітізація ВАВ при 2800°C в середовищі Аг під високим тиском дозволяє підняти міцність ВАВ до 5000 МПа ($5\text{ ГПа}=5\cdot 10^9\text{ Па}$) при модулі пружності $E=600\text{ ГПа}$ ($6\cdot 10^{11}\text{ Па}$).

3.15. Класифікація просторово армованих волокнистих КМ за системою плетіння

1. Шарові просторово армовані волокнисті КМ з системою плетіння 2D (системою двох ниток) складаються з шарів тканини, в якій нитки основи виходять із свого шару, проходять два шари, на прямолінійних волокнах утка третього шару роблять петлю і вертаються в свій шар. В такому КМ продольна міцність σ_1 вздовж основи і поперечна міцність σ_2 вздовж утка близькі на величині. Трансверсальна міцність σ_3 , яка визначає зв'язки між шарами, залежить від кількості таких петель, розміщених у трансверсальному напрямку. Якщо $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$, то такий КМ є трансверсально ізотропним матеріалом.
2. Шарові просторово армовані волокнисті КМ з системою плетіння 3D (системою трьох ниток) складаються з моношарів тканини або шпона, які прошиті в трансверсальному напрямі по всій товщині третьою ниткою. Якщо міцність КМ у трансверсальному напрямі σ_3 досягає міцності σ_1 вздовж основи і σ_2 - вздовж утка, то такий КМ є трансверсально ізотропним матеріалом.
3. Просторово армовані волокнисті КМ сплетені по системі 4D (по системі 4-х ниток) фактично утворюють один шар, в якому нитки заплетені таким чином, що їх напрями співпадають з 4-ма діагоналями куба. В таких КМ досягають більшої відповідності рівнянню $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$, тобто вони являються трансверсально ізотропними. Тільки такі КМ можуть задовольняти потреби в абляційній стійкості теплових екранів в носовій частині космічних кораблів, при вході яких в щільні шари атмосфери нагрівається і обгорає обшивка при інтенсивному обтіканні її газами іоносфери. Високошвидкісне температурне напруження веде до розшарування КМ в першу чергу в зонах мікродефектів. Зміцнення КМ в трансверсальному напрямі заважає поширенню макротріщин в зонах мікродефектів.

3.16. Класифікація за природою неорганічних АВ

До класу неорганічних АВ відносять:

1. Скло. АВ.
2. Базальтові АВ.
3. Боромістки АВ.
4. Волокна із карбідів кремнію SiC.
5. Волокна борнік (боросіліційовані вуглецеві АВ).
6. Керамічні АВ із Al_2O_3 .
7. Азбестові волокна.

3.17. Класифікація за природою органічних АВ та плівок

Органічні АВ та плівки діляться на класи:

1. Природні АВ.
2. Хімічні АВ та плівки.
3. Синтетичні АВ та плівки.

До природніх АЕ відносять:

- 1 - бавовняні АВ;
- 2 - льяні АВ тощо.

До хімічних АЕ відносять АЕ, одержані методом хімічної модифікації природних речовин:

- 1 - целюлозні плівки (целофан);
- 2 - віскозні АВ тощо.

До синтетичних АВ та плівок відносять всі волокна та плівки, одержані із синтетичних ТП (поліетилену, поліпропілену тощо).

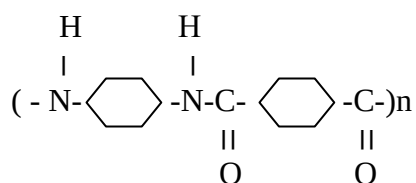
3.18. Класифікація по природі металевих армуючих проволоок та фольг

До металевих АЕ відносять:

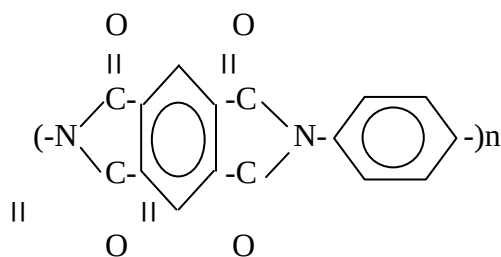
- 1 - сталева проволока та стрічка (в еластичних шлангах високого тиску);
- 2 - вольфрамова проволока та фольга (в деталях носової частини ракет);
- 3 - молибденова проволока та фольга (в деталях арматури для агресивних середовищ);
- 4 - берилієва проволока та фольга (в токозйомниках під високою напругою);
- 5 - титанова проволока та стрічка (в самих навантажених вузлах ракет);
- 6 - біметалеві проволоки та стрічки (в елементах регулювання температури).

3.19. Кевларопласти та вуглекевларопласти

АВ під торговою маркою «кевлар» виготовляють із ароматичного поліаміду (так звані арамідні волокна):



Матрицю кевларопластів виготовляється із полііміду, який плавиться при 350° С:



Оскільки 1кг волокон «кевлар» коштує \$1800, то частину їх заміняють вуглецевими АВ і таким чином одержують поліармовані вуглекевларопласти, які також видержують високі динамічні напруження, наприклад, в пулезахисних бронежилетах.

С-1. АЛГОРИТМ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИРОБІВ ІЗ КМ

З урахуванням дуже широкого асортименту виробів із КМ визначення особливостей технології їх виготовлення може бути проведено тільки після ідентифікації таких виробів за наступним алгоритмом:

1. Класифікація КМ за природою матриці.
2. Встановлення назви КМ (тільки для ПКМ).
3. Визначення типу матриці (тільки для ПКМ).
4. Правильність геометричної форми АЕ.
5. Класифікація за крупністю АЕ.
6. Геометрія АЕ (тільки для правильної форми АЕ).
7. Класифікація за кількістю шарів.
8. Упорядкованість укладки АЕ у моношарі (або у моноліті).
9. Характеристика анізотропії у моношарі (тільки для багатошарових).
10. Характеристика анізотропії у виробі (або у монолітному блоці).
11. Характеристика структури укладки АЕ (тільки для упорядкованої укладки АЕ)
12. Тип армування у просторі у зв'язку з формою виробів.
13. Походження АЕ.
14. Природа АЕ.
15. Складність АЕ.
16. Системи плетіння (тільки тканих АЕ).
17. Характеристика технології виготовлення.

С-2. КОДИ МОЖЛИВИХ ВІДПОВІДЕЙ ЗА СХЕМОЮ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

- | | |
|--|---|
| 1. 1.1.ПКМ
1.2.МКМ
1.3.ККМ
1.4.СКМ
1.5.БКМ
1.6.ЦКМ
1.7.ВКМ
1.8.ГКМ

2. 2.1.Склопластики
2.2.Скловолокніти
2.3.Текстоліти
2.4.Паперові пластики
2.5.Деревопластики
2.6.Боропластики
2.7.Еластомери
2.8.Металопластики
2.9.Волокніти
2.10.Кевларопласти
2.11.Вуглекевларопласти
2.12.Шарові пластики
2.13.Вспінені пластики
2.14.Поропластики

3. 3.1.ТП
3.2.РП
3.3.ТЕП
3.4.Г
3.5.ГС

4. 4.1.Неправильна форма
4.2.Правильна форма

5. 5.1.Дисперсні
5.2.Дискретні
5.3.Безперервні | 6. 6.1.Волокна та проволока
6.2.Плівка, фольга, листи, п
ласти-ни
6.3.Стрічки
6.4.Сфери

7. 7.1.Шарові
7.2.Монолітні

8. 8.1.Хаотична
8.2.Одномірною
упорядкована
8.3.Двомірною
упорядкована
8.4.Просторово
упорядкована

9. 9.1.Ізотропні
9.2.Анізотропні
9.3.Мезоізотропні

10. 10.1.Анізотропні
10.2.Трансверсально
ізотропні
10.3.Ортотропні з
ортогональною
укладкою
анізотропних шарів
10.4.Ортотропні з
паралельною
укладкою
анізотропних шарів
10.5.Ортотропні з
діагональною
укладкою
анізотропних шарів |
|--|---|

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 10.6.Ортотропні з ізотропними шарами | 15. 15.1.Моноармовані |
| 11. 11.1.Ровінги | 15.2.Поліармовані |
| 11.2.Нитки, корд, троси | 15.3.Комбіновано поліармовані |
| 11.3.Шпон | 16. 16.1. 1Д |
| 11.4.Тканини та сітки | 16.2. 2Д |
| 11.5.Папір, картон | 16.3. 3Д |
| 11.6.Нетканні шарові матеріали | 16.4. 4Д |
| 11.7.Плівка, листи | 17. 17.1.ЕКС |
| 12. 12.1.Плоске | 17.2.ЛПТ |
| 12.2.Циліндричне | 17.3.ТПр |
| 12.3.Полярне | 17.4.КПр |
| 12.4.Тороїдальне | 17.5.КЛНД |
| 13. 13.1.Природні | 17.6.ЕКЛНД |
| 13.2.Штучні | 17.7.ВЦЛТ |
| 13.3.Синтетичні | 17.8.НМОТ |
| 13.4.Метали | 17.9.ПСЧ |
| 13.5.Скло | 17.10.РОТФ |
| 14. 14.1.Органічні | 17.11.РУЧВ |
| 14.2.Неорганічні | 17.12.ФОРМ |
| 14.3.Металеві | 17.13.ВУЛК |
| 14.4.Вуглецеві | 17.14.КОЕКС |
| | 17.15.СПК |
| | 17.16.МЕТ |
| | 17.17.ВСПН |

С-3. ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. КМ - композиційні матеріали | 9. ВКМ – вуглецеві КМ |
| 2. М – матриця КМ | 10. ГКМ – гіпсові КМ |
| 3. ПКМ – полімерні КМ | 11. ТП – термопласти |
| 4. МКМ – металокомпозити | 12. ТЕП – термоеластоласти |
| 5. ККМ – керамічні КМ | 13. РП – реактопласти |
| 6. СКМ – склокомпозити | 14. Г – гума |
| 7. БКМ – бітумні КМ | 15. ГС – гумова суміш |
| 8. ЦКМ – цементні КМ | 16. АЕ – армуючі елементи |

- 17.АВ** – армуючі волокна
- 18.АН** – армуючі наповнювачі
- 19.1Д, 2Д, 3Д, 4Д** – схеми плетіння
- 20.ЕКС** – екструзія
- 21.ЛПТ** – лиття під тиском
- 22.ТПр** – трансферне пресування
- 23.КПР** – компресійне пресування
- 24.КЛНД** – каландрування
- 25.ЕКЛНД** – екструзійно-каландровий метод
- 26.ВЦЛТ** – відцентрове лиття
- 27.НМОТ** – намотка
- 28.РОТФ** – ротаційне формування
- 29.ПСЧ** – просочування
- 30.РУЧВ** – ручна викладка листів
- 31.ФОРМ** – формування контактне
- 32.ВУЛК** – вулканізація
- 33.КОЕКС** – коекструзія
- 34.СПК** – спікання
- 35.МЕТ** – металізація
- 36.ВСПІН** – вспінання

Додаток 2

Завдання для першого експрес-контролю знань студентів

ЗАВДАННЯ №1

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3 ,провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

ФАНЕРА

Відповідь: 1.1; 2.5; 3.2; 4.2; 5.3; 6.1; 7.1;
8.2; 9.1; 10.3; 11.3; 12.1;
13.1; 14.1; 15.1; 17.4

ЗАВДАННЯ №2

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3 , провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

ДЕРЕВИННО – СТРУЖКОВІ ПЛИТИ (ДСП)

Відповідь: 1.1; 2.5; 3.2; 4.1; 5.2;7.2; 8.1;
9.3; 10.2; 12.1;13.1; 14.1;
15.1; 17.4

ЗАВДАННЯ №3

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3 ,провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

ПОРУЧЕНЬ ЕСКАЛАТОРУ

Відповідь:1.1; 2.7; 3.4; 4.2; 5.3; 6.1; 7.1;
8.2; 9.2; 10.4; 11.2; 12.4; 13.3
+ 13.4; 14.1 + 14.3; 15.3; 16.1
+ 16.2; 17.12 + 17.13

ЗАВДАННЯ №4

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3 ,провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

АВТОМОБІЛЬНІ ДІАГОНАЛЬНІ ШИНИ

Відповідь:1.1; 2.7; 3.4; 4.2; 5.3; 6.1; 7.1;
8.2; 9.2; 10.5; 11.2; 12.4; 13.3
+ 13.4; 15.3; 17.12 + 17.3

ЗАВДАННЯ №5

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Декоративний паперово – шаровий пластик

Відповідь: 1.1; 2.4; 3.2; 4.2; 5.1; 6.1; 7.1;
8.1; 9.3; 10.6; 11.5; 12.1;
13.2; 14.1; 15.1; 17.4

ЗАВДАННЯ №6

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3 , провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Паперові труби

Відповідь:1.1; 2.4; 3.2; 4.2; 5.1; 6.1; 7.1;
8.1; 9.3; 10.6; 11.5; 12.2;13.2;
14.1; 15.1; 17.8 + 17.9

ЗАВДАННЯ №7

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Міканіт

Відповідь:1.3; 4.2; 5.3; 6.2; 7.1; 8.3; 9.1;
10.6; 12.1; 13.1; 14.2; 15.1;
17.4

ЗАВДАННЯ №8

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди

Склопластикові труби великого діаметру

Відповідь: 1.1; 2.1; 3.2; 4.2; 5.2; 6.1; 7.2;
8.1; 9.3; 10.2; 12.2; 13.5;
14.2; 15.1; 17.7

ЗАВДАННЯ №9

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Азбошифер

Відповідь: 1.6; 4.2; 5.2; 6.1; 7.2; 8.1; 9.3;
10.2; 12.1; 13.1; 14.2; 15.1;
17.12

ЗАВДАННЯ №10

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Руберойд

Відповідь: 1.5; 4.1; 5.1; 6.1; 7.1; 8.1; 9.3;
10.6; 12.1; 13.2; 14.1; 15.1; 17.4

ЗАВДАННЯ №11

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Гіпсокартон

Відповідь: 1.8; 4.2; 5.1; 6.1; 7.1; 8.1; 9.3;
10.6; 12.1; 13.2; 14.1; 15.1;
17.4

ЗАВДАННЯ №12

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Шків з пральної машини із ПКМ

Відповідь: 1.1; 2.1; 3.2; 4.2; 5.3; 6.1; 7.2;
8.1; 9.3; 10.2; 12.3; 13.5; 14.2;
15.1; 17.4 + 17.9

ЗАВДАННЯ №13

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Гнучкий шланг високого тиску

Відповідь: 1.1; 2.7; 3.4; 4.2; 5.3; 6.1 +
6.3; 7.1; 8.2 + 8.3; 9.2 + 9.3;
10.5; 12.2; 13.3 + 13.4; 14.1 +
14.3; 15.3; 16.2; 17.12 + 17.13

ЗАВДАННЯ №14

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Клинові ремені

Відповідь: 1.1; 2.7; 3.4; 4.2; 5.3; 6.1; 7.1;
8.2; 9.2; 10.1; 11.4; 12.4;
13.3; 14.1; 15.1; 16.1 + 16.2;
17.12 + 17.13

ЗАВДАННЯ №15

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Лінолеум на тканий основі

Відповідь: 1.1; 2.3; 3.3; 4.1; 5.3; 6.1; 7.1;
8.3; 9.3; 10.6; 11.4; 12.1; 13.3;
14.1; 15.1; 16.2; 17.6

ЗАВДАННЯ №16

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Плити антиабляційного захисту космічних апаратів

Відповідь: 1.7; 4.2; 5.3; 6.1; 7.2; 8.4; 9.3;
10.2; 11.4; 12.1; 13.3; 14.4;
15.1; 16.4; 17..9

ЗАВДАННЯ №17

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Лопатки авіаційних турбокомпресорів

Відповідь: 1.1; 2.6; 3.2; 4.2; 5.3; 6.1; 7.2;
8.2; 9.2; 10.1; 11.1; 12.3;13.3;
14.2; 15.1; 17.4 + 17.9

ЗАВДАННЯ №18

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Супермаховики

Відповідь: 1.1; 2.3; 3.1; 4.2; 5.3; 6.1; 7.2;
8.4; 9.3; 10.2; 11.12.3; 13.5;
14.2;15.1; 16.3; 17.4 + 17.9

ЗАВДАННЯ №19

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Залізобетонні сваї

Відповідь: 1.6; 4.2; 5.3; 6.1; 7.2; 8.2; 9.2;
10.1; 12.2; 13.1 + 13.4; 14.2 +
14.3; 15.3; 17.

ЗАВДАННЯ №20

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3 , провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Кулезахистні бронезилети

Відповідь: 1.1; 2.10; 3.1; 4.2; 5.3; 6.1;
7.1; 8.3; 9.1; 10.6; 11.4; 12.1;
13.3; 14.1; 15.1; 16.3; 17.9

ЗАВДАННЯ №21

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Полімерна багатошарова оболонка для шинки

Відповідь: 1.1; 2.12; 3.1; 4.2; 5.3; 6.2;
7.1; 8.3; 9.3; 10.6; 12.2; 13.3;
14.1; 15.1; 17.14

ЗАВДАННЯ №22

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Керамічні блоки двигунів з високим ККД

Відповідь: 1.3; 4.2; 5.2; 6.1; 7.2; 8.1; 9.3;
10.2; 12.2; 13.3; 14.2; 15.1;
17.15

ЗАВДАННЯ №23

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Тормозні диски

Відповідь: 1.2; 4.2; 5.2; 6.1; 7.2; 8.1;
10.2; 12.3; 13.1 + 13.4; 14.2 +
14.3; 15.2; 17.15

ЗАВДАННЯ №24

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Міжконтинентальний оптико – волоконний кабель

Відповідь: 1.1; 2.1; 3.1; 4.2; 5.3; 6.1; 7.1;
8.2; 9.2; 10.1; 12.2; 13.4 +
13.5; 14.2 + 14.3; 15.2; 17.14

ЗАВДАННЯ №25

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Лобове автоскло

Відповідь: 1.4; 4.2; 5.3; 6.2; 7.1; 8.3;
9.1; 10.6; 12.1; 13.3; 14.1;
15.1; 17.4

ЗАВДАННЯ №26

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Панель електрошита

Відповідь: 1.1; 2.9; 3.2; 4.2; 5.1; 7.2; 8.1;
9.3; 10.2; 12.1; 13.1; 14.1;
15.1; 17.3

ЗАВДАННЯ №27

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Сантехнічні азбоцементні труби

Відповідь: 1.6; 4.2; 5.1; 6.1; 7.2; 8.1;
10.2; 12.2; 13.1; 14.1; 15.1;
17.12

ЗАВДАННЯ №28

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Алмазні круги

Відповідь: 1.2; 4.1; 5.2; 7.2; 8.1; 9.1;
10.2; 12.3; 13.2; 14.4; 15.1;
17.17

ЗАВДАННЯ №29

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Абразивні круги

Відповідь: 1.3; 4.1 + 4.2; 5.1 + 5.3; 6.1;
7.2; 8.1 + 8.3; 9.2; 10.1; 11.4;
12.3; 13.2 + 13.5; 14.2; 15.3;
17.15

ЗАВДАННЯ №30

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Автомобільні металопластикові дзеркала

Відповідь: 1.1; 2.8; 3.1; 4.2; 5.3; 6.2;
7.1; 8.3; 9.1; 10.6; 11.7;
12.1; 13.4; 15.1; 17.16

ЗАВДАННЯ №31

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Енергозберігаюче віконне скло

Відповідь: 1.4; 4.2; 5.3; 6.2; 7.1; 8.3; 9.1;
10.6; 11.7; 12.1; 13.4; 14.2;
17.16

ЗАВДАННЯ № 32

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Корпуса яхт

Відповідь: 1.1; 2.1; 3.2; 4.2; 5.3; 6.1;
7.1; 8.3; 9.1; 10.6; 11.4; 12.1;
13.5; 14.2; 15.1; 16.2; 17.11
+ 17.9

ЗАВДАННЯ №33

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Жорсткі контейнери об'ємом до 10 м³

Відповідь: 1.1; 2.12; 3.1; 4.2; 5.3; 6.1;
7.1; 8.3; 9.1; 10.6; 11.4; 12.1;
13.4; 14.3; 15.1; 16.2; 17.10

ЗАВДАННЯ № 34

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Коврики для туристів

Відповідь: 1.1; 2.13; 3.1; 4.1; 5.2; 7.2;
8.1; 9.3; 10.2; 12.1; 13.1;
14.2; 15.1; 17.17

ЗАВДАННЯ № 35

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Взуттєва підошва з пробковим наповнювачем

Відповідь: 1.1; 2.5; 3.2; 4.1.2; 5.1; 7.2;
8.1; 9.3; 10.2; 13.1; 14.1;
15.1; 17.2

ЗАВДАННЯ №36

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Штучна шкіра

Відповідь: 1.1; 2.3 + 2.7; 3.3; 4.2; 5.3;
6.1; 7.1; 8.3; 9.1; 10.6; 11.4;
12.2; 13.3; 14.1; 15.1; 16.2;
17.5

ЗАВДАННЯ №37

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Еластичні контейнери для сипучих матеріалів

Відповідь: 1.1; 2.3 + 2.7; 3.3; 4.2; 5.3.1;
6.1; 7.1; 8.3; 9.1; 10.6; 11.4;
12.1; 13.3; 14.1; 15.1; 16.2;
17.5 + 17.9

ЗАВДАННЯ №38

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Євроруберойд

Відповідь: 1.5; 4.1; 5.3; 6.1; 7.1; 8.3 ; 9.3;
10.6; 11.4; 12.1; 13.5; 14.2;
15.1; 16.2; 17.9

ЗАВДАННЯ №39

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Захисні каски

Відповідь: 1.1; 2.2; 3.1; 4.2; 5.2; 6.1;
7.2; 8.1; 9.3; 10.2; 12.1; 13.5;
14.2; 15.1; 17.

ЗАВДАННЯ №40

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Лопаті гвинтів гвинтокрила

<u>Відповідь:</u> 1.1; 2.6; 3.2; 4.2; 5.3; 6.1; 7.2; 8.2; 9.2; 10.1; 11.2; 12.3; 13.3; 14.4; 15.1; 17.4
--

ЗАВДАННЯ №41

Користуючись схемами С – 1, С – 2 та С – 3, провести класифікацію нижче названого виробу: із переліку можливих відповідей вибрати відповідні характеристики та записати їх коди.

Листові полімерні мікрофільтри

<u>Відповідь:</u> 1.1; 2.14; 3.1; 4.2; 5.3; 6.1; 7.1; 8.1; 9.1; 10.6; 11.6; 12.1; 13.3; 14.1; 15.1; 16.1; 17.1

ДОДАТОК 3.

ДРУГИЙ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ

Завдання № 1

Яке місце в класифікації композиційних матеріалів по природі матриці займають деревинностружкові плити (ДСП)? (полімерні, бітумні, цементні чи керамічні КМ?)

Відповідь:

полімерні КМ.

Завдання № 2

Захисні каски виготовлені методом трансферного пресування: дати характеристику орієнтації армуючих елементів у просторі? (хаотична, одномірно чи двумірноупорядкована?)

Відповідь:

хаотична.

Завдання № 3

Яке місце в класифікації композиційних матеріалів по природі матриці займає руберойд? (полімерні, бітумні, цементні чи керамічні КМ?)

Відповідь:

бітумний КМ.

Завдання № 4

Яке місце в класифікації композиційних матеріалів по природі матриці займає міканіт? (полімерні, бітумні, цементні чи керамічні КМ?)

Відповідь:

керамічний КМ.

Завдання № 5

Яке місце в класифікації композитів по природі матриці займає азбошифер? (полімерний, бітумний, цементний чи керамічний КМ?)

Відповідь:

цементні КМ.

Завдання № 6

Яке місце в класифікації композитів по природі матриці займають автомобільні тормозні диски, які можуть перегріватися до високих температур? (полімерні, керамічні чи металеві КМ?)

Відповідь:

металеві КМ.

Завдання № 7

Яке місце в класифікації композитів по природі матриці займають тонкі високообертові абразивні круги для шліфувальних машин? (полімерні, керамічні чи металеві КМ?)

Відповідь:

керамічні КМ.

Завдання №8

До якого класу полімерних композитів відносяться деревинностружкові плити (ДСП)? (термопластів, реактопластів чи термоеластопластів?)

Відповідь:

до реактопластів.

Завдання № 9

До якого класу полімерних композитів відносити литі подошви для взуття? (термопластів, реактопластів чи термоеластопластів?)

Відповідь:

до термоеластопластів.

Завдання № 10

До якого класу полімерних композитів відносять багатошарову полімерну оболонку для ковбас? (термопластів, реактопластів чи термоеластопластів?)

Відповідь:

до термопластів.

Завдання № 11

До якого класу полімерних композитів відносять кевларові пулезахисні бронежелети?
(термопластів, реактопластів чи термоеластопластів?)

Відповідь:

до термопластів.

Завдання № 12

До якого класу полімерних композитів відносять армовані гнучкі полімерні шланги?
(термопластів, реактопластів чи термоеластопластів?)

Відповідь:

до термоеластопластів.

Завдання № 13

Яка геометрична форма армуючих елементів у поручні ескалатора?
(волокна, проволока, плівка, фольга, стрічка чи шпон?)

Відповідь:

проволока.

Завдання №14

Яка геометрична форма армуючих елементів у лінолеумі?
(волокна, плівка, тканина чи шпон?)

Відповідь:

тканина.

Завдання №15

Яка геометрична форма армуючих елементів у фанері?
(волокна, тканина чи шпон?)

Відповідь:

шпон.

Завдання № 16

Яка природа армуючих елементів у пулезахисних бронезелетів?

(базальтові, вуглецелові чи кевларові волокна?)

Відповідь:

кевлар.

Завдання № 17

Формову деталь-панель електроцита з дисперсним армуючим наповнювачем яким методом пресують: компресійним чи трансферним?

Відповідь:

трансферним

Завдання № 18

Паперовий шаровий пластик яким методом пресують: компресійним чи трансферним?

Відповідь:

компресійним.

Завдання № 19

Поручні ескалатора виконані з ізотропного чи анізотропного композита?

Відповідь:

анізотропного КМ.

Завдання № 20

Багатошарова полімерна оболонка для ковбас, яким методом виконана?

(Каландрування, екструзія, коекструзія, лиття під тиском?)

Відповідь:

коекструзія.

Завдання № 21

Лопатки авіаційних турбокомпресорів: ізотропні чи анізотропні?

Відповідь:

анізотропні.

Завдання № 22

Лінолеум на тканий основі є композиційним матеріалом ортотропним з анізотропією у моношарі, ортотропним з ізотропією у моношарі чи трансверсально ізотропним?

Відповідь:

ортотропний з ізотропією у моношарі.

Завдання № 23

Плити антиабляційного захисту космічних апаратів просторово армовані і трансверсально ізотропні: яку мають схему плетіння – 1Д, 2Д, 3Д чи 4Д?

Відповідь:

4Д.

Завдання № 24

Просторово армований трансверсально ізотропний текстоліт: яку має систему плетіння – 1Д, 2Д, 3Д чи 4Д?

Відповідь:

4Д.

Завдання № 25

Автомобільні шини: дати характеристику складності армуючих елементів? (моно-, поліармовані чи комбіновано поліармовані?)

Відповідь:

комбіновано поліармовані.

Завдання № 26

Автомобільні шини: який тип армування у просторі в зв'язку з формою виробу? (плоске, циліндричне, полярне чи тороїдальне армування?)

Відповідь:

тороїдальне армування.

Завдання № 27

Супермаховик: який тип армування у просторі в зв'язку з формою виробу? (плоске, циліндричне, полярне чи тороїдальне армування?)

Відповідь:

полярне.

Завдання № 28

Азбошифер: дати характеристику геометрії армуючих елементів? (дисперсні, дискретні чи безперервні; волокна, пластинки чи луска?)

Відповідь:

дисперсні волокна.

Завдання № 29

Міканіт: дати характеристику геометрії армуючих елементів? (дисперсні, дискретні чи безперервні; волокна, пластинки чи луска?)

Відповідь:

безперервні пластини.

Завдання №30

Гетінакс: дати характеристику геометрії армуючих елементів? (дисперсні, дискретні чи безперервні; волокна, пластинки чи луска?)

Відповідь:.

дисперсні волокна

Завдання № 31

Автодорожні світловідбиваючі знаки: дати характеристику геометрії армуючих елементів? (дисперсні, дискретні чи безперервні; волокна, сфери чи пластинки?)

Відповідь:

дисперсні сфери.

Завдання № 32

Міканіт: дати характеристику анізотропії у монолітному блоці? (ортотропний чи трансверсально ізотропний; ізотропія чи анізотропія у моношарі?)

Відповідь:.

ортотропний КМ при ізотропії у моношарі

Завдання № 33

Склопластикові труби великого діаметру: який метод виготовлення – екструзія, коекструзія, лиття під тиском чи відцентровий метод?

Відповідь:

відцентровий метод.

Завдання № 34

Склопластикові труби великого діаметру: дати характеристику геометрії армуючих елементів? (правильної чи неправильної форми; дисперсні, дискретні чи безперервні; волокна, сфери чи пластинки?)

Відповідь:

правильної форми, дискретні волокна.

Завдання № 35

Гетінакс: яка орієнтація у просторі армуючих елементів? (хаотична одномірно- чи двомірноупорядкована?)

Відповідь:

хаотична.

Завдання №36

Лопатка авіаційного турбокомпресора: яка орієнтація у просторі армуючих елементів? (хаотична одномірно- чи двомірноупорядкована?)

Відповідь:

одномірноупорядкована.

Завдання №37

Деревинностружкові плити: яка орієнтація у просторі армуючих елементів? (хаотична одномірно- чи двомірноупорядкована?)

Відповідь:

хаотична.

Завдання № 38

Гнучкий шлан високого тиску: дати характеристику складності арміруючих елементів? (моно-, поліармований чи комбіновано поліармований?)

Відповідь:

комбіновано поліармований.

Завдання № 39

Лінолеум на тканевій основі: дати характеристику орієнтації армуючих елементів у просторі? (хаотична, одномірно чи двумірноупорядкована?)

Відповідь:

двумірноупорядкована.

Завдання № 40

Багатошарова полімерна оболонка для ковбас: дати характеристику орієнтації армуючих елементів у просторі? (хаотична, одномірно чи двумірноупорядкована?)

Відповідь:

двумірноупорядкована.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулик В.И. Композиционные материалы: классификация, армирующие волокна и реактопластичные связующие. – С.-Петербург, Балтийский Гос. тех. университет. 2000. – 160 с.
2. Композиционные материалы. Справочник. Васильев В.В. и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
3. Портной К.И. и др. Структура и свойства композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
4. Композиционные материалы. Справочник под ред. Д.М. Карпиноса. – Киев, Наукова думка, 1985. – 592 с.
5. Вишняков Л.Р. и др. Композиционные материалы. Справочник. – Киев, Наукова думка, 1985. – 589 с.

Зміст

Передмова.....	3
Вступ.....	4
Розділ I. Класифікація композиційних матеріалів.....	6
1.1. Характерні ознаки композиційних матеріалів.....	6
1.2. Класифікація КМ по природі матеріалів.....	6
1.3. Класифікація металевих КМ по природі матриці.....	7
1.4. Класифікація керамічних матеріалів по природі матриці	8
1.5. Класифікація вуглецевих КМ (ВКМ) по методу виготовлення вуглецевої матриці.....	8
1.6. Класифікація КМ по складності їх матриці.....	9
Розділ II. Класифікація полімерних КМ.....	10
2.1. Класифікація полімерних КМ по природі матриці	10
2.2. Термопласти.....	10
2.3. Реактопласти	10
2.4. Олігомери.....	11
2.5. Компаунди.....	11
2.6. Препреги.....	12
2.7. Технологія полімерних препрегів.....	12
2.8. Оформлення назв різних типів КМ.....	13
2.9. Термоеластоласти (ТЕП).....	13
2.10. Гумові суміші (ГС), гуми та ебоніт.....	13
Розділ III. Класифікація КМ по армуючим елементам.....	14
3.1. Класифікація армуючих наповнювачів по геометричній формі елементів.....	14
3.2. Класифікація армуючих наповнювачів с хаотичним розміщенням у просторі.....	14
3.3. Класифікація дисперсних армуючих наповнювачів по формі елементів.....	14
3.4. Класифікація неорганічних армуючих наповнювачів (АН) по природі	15
3.5. Класифікація по природі дисперсних та дискретних АН...	16
3.6. Класифікація дискретних АН по формі елементів.....	16
3.7. Класифікація шарових КМ по розміщенню АЕ у просторі	16
3.8. Класифікація шарових КМ по системам по системам укладки анізотропного шпона	17
3.9. Класифікація упорядковано армованих КМ по складності АЕ.....	17
3.10. Типи просторового армування КМ в зв'язку з формою виробів.....	18
3.11. Способи плетіння довгомірних АВ.....	19
3.12. Методи посилення міжшарових зв'язків в КМ.....	19
3.13. Методи віскерізації вуглецевих АВ (ВAB).....	20
3.14. Класифікація ВAB по методам виробництва.....	21
3.15. Класифікація просторово армованих волокнистих КМ по системах плетіння.....	22
3.16. Класифікація по природі неорганічних АВ.....	22

3.17. Класифікація по природі органічних АВ та плівок.....	23
3.18. Класифікація по природі металевих армуючих проволок та фольг.....	23
3.19. Кевларопласти та вуглекевларопласти.....	24
ДОДАТОК 1.....	25
С-1. Схема технологічної ідентифікації виробів із КМ.....	25
С-2. Коды можливих відповідей по схемі технологічної Ідентифікації.....	26
С-3. Перелік скорочень.....	26
ДОДАТОК 2.ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПЕРШОГО ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ.....	28
Завдання № 1. Фанера.....	28
Завдання № 2. Деревинно-стружкові плити.....	28
Завдання № 3. Поручень ескалатору.....	28
Завдання № 4. Автомобільні діаганальні шини.....	29
Завдання № 5. Декоративний паперово-шаровий пластик.....	29
Завдання № 6. Паперові труби.....	29
Завдання № 7. Міканіт.....	29
Завдання № 8. Склопластикові труби великого діаметру.....	30
Завдання № 9. Азбошифер.....	30
Завдання № 10. Рубероїд.....	30
Завдання № 11. Гіпсокартон.....	30
Завдання № 12. Шків пральної машини із ПКМ.....	31
Завдання № 13. Гнучкий шланг високого тиску.....	31
Завдання № 14. Клинові ремені.....	31
Завдання № 15. Лінолеум на тканий основі.....	31
Завдання № 16. Плити антиабляційного захисту космічних апаратів.....	32
Завдання № 17. Лопатки авіаційних турбокомпресорів.....	32
Завдання № 18. Супермаховики.....	32
Завдання № 19. Залізобетонні сваї.....	32
Завдання № 20. Кулезахісні бронешилети.....	33
Завдання № 21. Полімерна багатошарова оболонка для шинки.....	33
Завдання № 22. Керамічні блоки двигунів з високим ККД.....	33
Завдання № 23. Тормозні диски.....	33
Завдання № 24. Міжконтинентальний оптико-волоконний кабель.....	34
Завдання № 25. Лобове автоскло.....	34
Завдання № 26. Панель електрощита.....	34
Завдання № 27. Сантехнічні азбоцементні труби.....	34
Завдання № 28. Алмазні круги.....	35
Завдання № 29. Абразивні круги.....	35
Завдання № 30. Автодорожні металопластикові дзеркала.....	35
Завдання № 31. Енергозберігаюче віконне скло.....	35
Завдання № 32. Корпуса суден.....	36
Завдання № 33. Жорсткі контейнери об'ємом до 10 м ³	36
Завдання № 34. Коврики для туристів.....	36
Завдання № 35. Взуттєва підошва з пробковим наповнювачем.....	36

Завдання № 36. Штучна шкіра.....	37
Завдання № 37. Еластичні контейнери для сипучих матеріалів	37
Завдання № 38. Єврорубероїд.....	37
Завдання № 39. Захисні каски.....	37
Завдання № 40. Лопаті гвинтів гвинтокрила.....	38
Завдання № 41. Листові полімерні мікрофільтри.....	38
 ДОДАТОК 3	39
ДРУГИЙ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ.....	39
ЛІТЕРАТУРА.....	47

Розділ IV Конструювання з композиційних матеріалів

ЗМІСТ

ГЛАВА 1 Основи конструювання технологічних деталей з пластмас

1. Принципи конструювання
2. Елементи конструкцій

ГЛАВА 2 Корпусні деталі машин

1. Загальні положення
2. Малогабаритні корпусні деталі
3. Крупногабаритні корпусні деталі з склопластиків
4. Корпусні елементи складеного перетину
5. Ємності

ГЛАВА 3 Опори ковзання і кочення

1. Розрахунок немащених підшипників ковзання
2. Розрахунок змащуваних пластмасових підшипників ковзання,
які працюють у режимі рідинного тертя
3. Розрахунок підшипників, які змащують водою
4. Підшипники кочення

ГЛАВА 4 Ущільнення та амортизатори

1. Загальні відомості
2. Прокладки для герметичності стиків
3. Радіальні ущільнення

4. Сальникові набивки

5. Торцеві ущільнення валів, що обертаються

6. Амортизатори

ГЛАВА 1.

ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ПЛАСТМАС.

1. ПРИНЦИПИ КОНСТРУЮВАННЯ.

Процес проектування повинен забезпечувати максимальну технологічність конструкції. Це передбачає досягнення мінімальної вартості, економії матеріалу, спрощення конструкції формуючого інструменту, підвищення надійності та довговічності деталі. Для деталей з пластмас це означає ще і повний облік властивостей матеріалу і особливостей технології переробки (наприклад, при переробці враховувати характер заповнення форми розплавом полімеру; при експлуатації – високий коефіцієнт лінійного розширення, невелику теплопровідність, властивості повзучості, релаксації).

Загальна послідовність проектування деталей представлена на рис. 1.1. Спочатку треба встановити призначення деталі, визначити умови її експлуатації, вибрати відповідний матеріал і технологічний метод виготовлення, потім – розробити конструкцію деталі, провести необхідні розрахунки на технологічність, конструктивність та міцність, остаточно відпрацювати техніко-економічні розрахунки ефективності застосування пластмаси в даній конструкції.



Рис. 1.1. Послідовність проектування деталі.

При проектуванні деталей з пластмаси, які формуються у металевих формах, необхідно враховувати ряд основних рекомендацій.

Конфігурація деталі повинна бути такою, щоб деталь легко оформлювалась і легко витягувалась з форми; форма деталі повинна бути простою у виготовленні і зручною в експлуатації. Інколи доцільне виготовлення замість однієї складно двох або більше простих деталей з наступним збиранням їх у вузол. До спрощення конструкції завжди необхідно прагнути з технологічних, експлуатаційних та економічних міркувань. Чим простіша деталь, тим дешевша оснастка, вища продуктивність роботи, точність і якість деталей і нижча собівартість. З іншого боку деякі ускладнення конфігурації деталі, наприклад, завдяки введенню ребер жорсткості, забезпечують більшу міцність деталі при мінімальній масі. Введення у конструкцію деталі з великими плоскими поверхнями ребер жорсткості дозволяють уникнути короблення деталі.

Для визначення найбільшої допустимої поверхні деталі, яка пресується можливо користуватись формулою.

$$F = \frac{P}{P_0}, \quad (1.1)$$

де F – поверхня пресування, м²; P - зусилля пресування, Н; P_0 - питомий тиск пресування, Па.

При литті під тиском величина поверхні відливки та маса деталі регламентується паспортними даними машини. В більшості випадків поверхня проєкції деталі на площину роз'єму литтєвої форми розташована не горизонтально, а вертикально.

Конструктивно – технологічне відпрацювання креслярської документації повинно будуватись, як правило, з точки зору технологічної доцільності основних параметрів деталі: форми, розмірів, допусків, шорсткості поверхні та матеріалу, які розглядаються як окремо, так і в їх взаємозв'язку. Необхідно виявити таке співвідношення цих параметрів, при якому собівартість заданої партії деталей є меншою, а експлуатаційні якості деталей забезпечені найбільш повно.

Головні технологічні особливості, які повинні враховуватись в конструкції кожної пластмасової деталі, визначаються в основному її конфігурацією (формою) і розмірами. Під формою деталі розуміють співвідношення елементів її конструкції: товщині стінок та дна, отвору, уклонів, арматури і т.п., а під розмірами – рекомендовані співвідношення цих елементів в залежності від різних вихідних факторів: матеріалу, способу переробки, габаритів деталі та ін.

Для забезпечення підгонки однієї сполученої деталі з іншою використовують різні конструктивні рішення. Наприклад, на рис. 1.2, а – контури сполучених деталей виконані під кутом, на рис. 1.2, б – сполучення виконане у вигляді відбортки, на рис. 1.2 в – у вигляді напливних пасків.

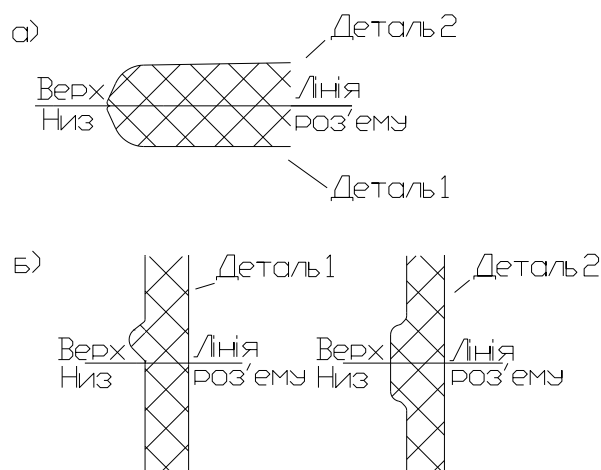


Рис.1.2. Варіанти сполучень деталей з пластмас.

При конструюванні деталей, виготовлених штамповкою, слід прямувати до створення таких геометричних форм, при яких можливості утворення тріщин, ореолів і розшарувань були би мінімальними. Найбільш технологічними формами плоских деталей з пластмас є кругла, овальна або будь-яка інша, але з плавними контурами.

Одним з найважливіших принципів, які повинні обов'язково виконуватись на практиці – конструювання деталей з пластмаси з врахуванням оптимального вибору характеру та довжини шляху розплаву при формуванні. Це особливо важливо для лиття під тиском.

На рис. 1.3, а – г приведені можливі варіанти розташування литників при виготовленні стандартних брусків для випробувань фізико-механічних властивостей пластмас і показано, як орієнтується матеріал при заповненні форм. Очевидно, якщо деталь при експлуатації сприймає стискаючі навантаження, то її слід виготовляти за варіантом а, якщо згинаючі – то за варіантом г.

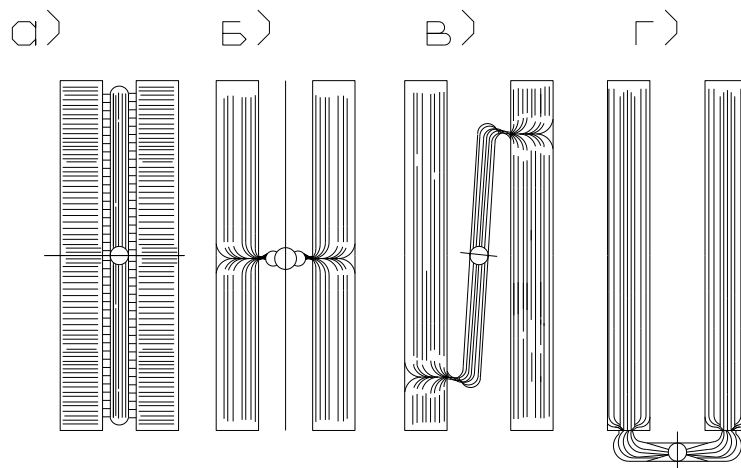


Рис. 1.3. Варіанти розташування литників при виготовленні стандартних брусків для дослідження властивостей пластмас

На вибір форми деталі перш за все впливає величина текучості матеріалу. Особливо цей вплив виявляється у малотекучих термореактивних прес-матеріалах (наприклад, КМК-218, ВЕІ-12, волокниста та ін.). Деталі з пластмас повинні бути невисокі, без тонких стінок, ребер та наскрізної арматури.

Вплив умов течії маси на характер та величину виникаючих внутрішніх напружень, на усадку та орієнтацію матеріалу відображатись в анізотропії міцністих та точних характеристик деталі та її точності

2. ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЙ.

А. Товщина стінок та дна деталей з пластмас виявляє великий вплив на виникнення внутрішніх напружень в тілі деталі, на точність виготовлення і час витримки під тиском при формуванні, а саме на експлуатаційні та техніко-економічні показники. Різновтовщинність деталей викликає нерівномірну усадку, яка є причиною утворення здіймань, тріщин та короблення. Значна товщина стінки викликає більшу по величині усадку, яка також призводить до короблення. Все це пояснюється головним чином нерівномірністю протікання процесів отвердіння пластмаси у формі та охолодження деталей після їх витягування з форми.

Товщину стінок деталей з пластмаси назначають, як правило, в залежності від їх габаритних розмірів, враховуючи необхідну механічну міцність деталі та текучість даної пластмаси. В останньому випадку значення мінімальної товщини стінок вибирають за допомогою графіків (рис. 1.4). На графіку для деталей з термоактивних порошкоподібних пластмас (фенопластів) товщина стінки визначається в залежності від висоти деталі, яка пресується. На графіку для деталей з термопластів товщина деталі визначається в залежності від довжини шляху потоку маси у формі.

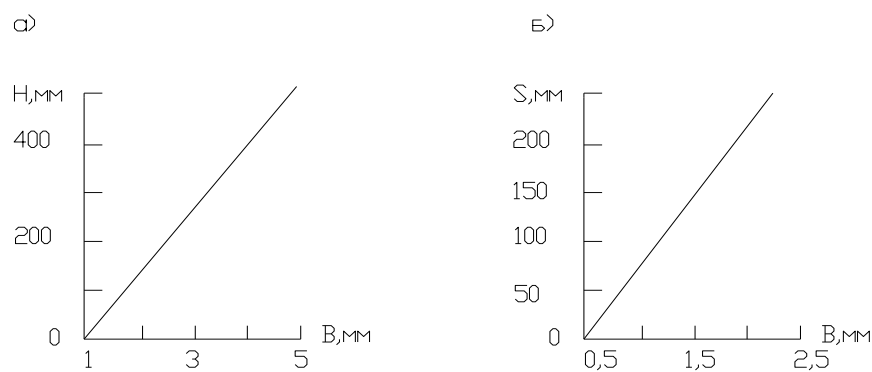


Рис. 1.4. Визначення мінімальної товщини стінок деталей з пластмас:

а) – термореактивних, б) – термопластичних.

H – висота деталі, B – товщина деталі, S – довжина шляху

маси.

Б. Рейбра жорсткості на поверхні деталей з пластмас в багатьох випадках сприяють забезпеченню необхідної міцності деталі, запобіганню її від короблення. Інколи віддають перевагу конструюванню тонкостінних деталей, але з ребрами жорсткості. Самі ж ребра повинні мати рівномірну

товщину, конусність в напрямку змикання форми і закруглені внутрішні та зовнішні кінці.

Найбільше на практиці зустрічається форма ребра жорсткості у вигляді зрізаного конусу з кутом 10° , закругленою верхівкою та плавним переходом від стінки ребра до плоскості деталі. Якщо виштовхування деталі з форми відбуваються по ребру жорсткості, для чого особливо часто використовують ребра по внутрішній поверхні, то слід мати в точках виштовхування місцеві невеликі ущільнення з пласкою верхівкою. Висота ребер визначається їх кількістю та конструкцією деталі. У плоских деталей висота ребра зазвичай дорівнює подвійній товщині його у основі. Висота внутрішніх ребер повинна бути на менша ніж на 0,5 мм меншою спільної висоти деталі. Це робиться для спрощення наступної механічної обробки поверхні, а також для того, щоб полегшити монтаж або збирання деталей.

При конструюванні деталей з ребрами жорсткості слід або взагалі уникати замкнених контурів, або прагнути до того, щоб периметр замкнених контурів ребер жорсткості був по можливості мінімальним, так як пластмаса, яка знаходиться усередині контуру, не має можливості вільно усаджуватись, що призводить, особливо при малій товщині стінок, до виникнення тріщин.

В. Радіуси закруглень на зовнішніх та внутрішніх поверхнях деталей з пластмас дозволяють полегшати течю маси у формі, спростити виготовлення металевої форми та зменшити її знос, спростити витягнення деталі після формування, покращити зовнішній вигляд. Завдяки закругленням усуваються або помітно знижуються внутрішні напруження, зменшуються величини та коливання усадки деталі, а отже, підвищується точність.

Особливо важливі закруглення на поверхні деталей з термопластів, так як при їх виготовленні напір маси достатньо великий і плавні переходи між поверхнями необхідні для забезпечення максимального та швидкого заповнення форми.

Радіуси закруглень не передбачають, як правило, тільки у поверхонь, які знаходяться у площинах роз'єму форм (при пресуванні), так як закруглення або фаски величиною 0,2 – 0,3 мм на цих поверхнях утворюються після зняття облою механічним шляхом.

Вибір значень радіусів закруглень залежить від глибин деталей (рис. 1.5), а також товщини стінки та матеріалу деталі.

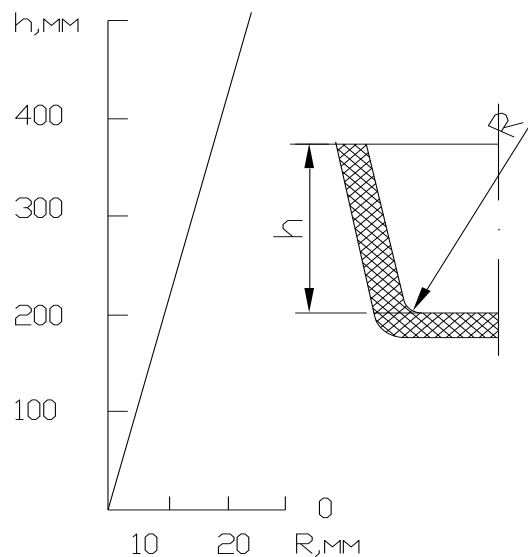


Рис. 1.5 Рекомендовані радіуси закруглення K в залежності від глибини h деталі, яка пресується.

Г. Торці зовнішніх поверхонь деталей з пластмас не повинні бути дуже ущільнені, щоб полегшити формування та витягнення деталі, спростити конструкцію металевої форми. Особливо важливим є правильне оформлення тих торців деталі, по яким відбувається виштовхування її з форми. При виштовхуванні може відбуватися згин або злам дна деталі, особливо тонкостінних. Тому слід зміцнювати деталь у відповідних точках виштовхування.

Д. Опорні поверхні слугують для монтажу деталей з пластмас. Ці поверхні повинні бути такими, щоб запобігати коробленню після витягування деталі з форми у процесі її експлуатації, витримувати необхідні навантаження і т.п. Суцільні опорні поверхні, які не забезпечують стійкості деталі, замінюють виступами, буртиками, ніжками, бобишками (особливо у деталей, які мають значну протяжність або площину). Ці конструктивні елементи повинні виступати над поверхнею деталі не більше ніж на 0,3 – 0,5 мм. Краще за все застосовувати трьох точкові опори. Кріпильні проушини та виступи повинні бути достатньо міцними та жорсткими, щоб витримувати зусилля, яке докладається до деталі при збиранні болтами. Як правило, кріпильні проушини укріплюють ребрами жорсткості.

Нераціональні конструкції опорних поверхонь є однією з причин виникнення похибок форми пластмасових деталей, величини яких залежать від конфігурації та габаритів деталі, а також від температурних та часових параметрів процесу виготовлення та характеру витягування деталі з форми.

Відхилення від правильної геометричної форми плоских поверхонь – непрямолінійність, не площинність – знаходяться в прямій залежності від величини стріли прогину деталі. Значення максимально допустимих величин

стріли прогину (в мм) в залежності від найбільшого розміру деталей з пластмас визначаються за наступною емпіричною залежністю:

$$f_{\max} = kL_{\max} + 0,1, \quad (1.2)$$

де $L_{\max}$ - найбільший розмір (в мм), виміряний на даній площині – діаметр, будь-яка сторона, діагональ; k – коефіцієнт, який дорівнює 0,01 для деталей з реактопластів та 0,016 для деталей з термопластів.

Е. Розташування та число отворів на поверхні деталей з пластмас, а також тип отвору (наскрізні, глухі, ступінчасті і т.п.) необхідно враховувати при оцінці величини усадки та точності розмірів самих отворів та міжосьових відстаней.

Конструктор повинен враховувати технологічні можливості оформлення отворів в деталях з пластмас, які можуть бути виконані трьома способами: повністю під час формування, частково у формі з наступним свердлуванням, свердлуванням після формування.

Для визначення найбільшої довжини глухих отворів, які розташовані у напрямку, перпендикулярному напрямку пресування, можна керуватися наступною формулою:

$$l = d^4 \sqrt{\frac{E \pi f_{\max}}{8 p_0}},$$

(1.3)

Де l – довжина отвору, см; d – діаметр отвору, см; E – модуль пружності, який дорівнює $0,2 \times 10^6$ МПа (при сталених формуючих стрижнів); $f_{\max}$ – величина допустимого прогину в см; P_0 – питомий тиск на пресматеріал у процесі пресування, МПа.

Приведена формула придатна для визначення довжини тільки циліндричних отворів при величині одностороннього уклону, не більше 1: 50.

Для визначення допустимої довжини наскрізних отворів, також розташованих перпендикулярно напрямку пресування, можна керуватися формулою наступного виду:

$$l = d^4 \sqrt{\frac{6E \pi f_{\max}}{5 p_0}},$$

(1.4)

Останніми двома формулами, але з врахуванням відповідної величини питомого тиску пресування можливо користуватись і при відповідній допустимій висоті циліндричних отворів, формуючі елементи яких у процесі виготовлення деталі знаходяться паралельно напрямку пресування. Номограма на рис. 1.6 побудована по приведеним формулам при $E = 0,2 \times 10^6$ МПа; $f_{\max} = 0,005$ см. Похил ліній 1 – 7 пов'язан з заданим питомим тиском P_0 : 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 МПа

Ж. Технологічні похили деталей з пластмас полегшують виштовхування деталей з форм після закінчення циклу виготовлення. Технологічні похили можуть мати одночасно і конструктивні призначення. Похили не призначаються, якщо:

1. Конфігурація деталі сама сприяє простому витягуванню її (наприклад, конусний стакан);

2. Внутрішня порожнина деталі має складну форму, сприяє тому, щоб деталь при розкритті залишалась на пуансоні, а формувати цю порожнину у матриці не бажано через сліди виштовхування;

3. Якщо висота буртів або заглиблень не перевищує 1 – 5 мм;

4. Якщо деталі тонкостінні висотою 10 – 15 мм. Інколи передбачають зворотній конус. На рис. 1.7 приведені приклади оформлення деталей без конусів.

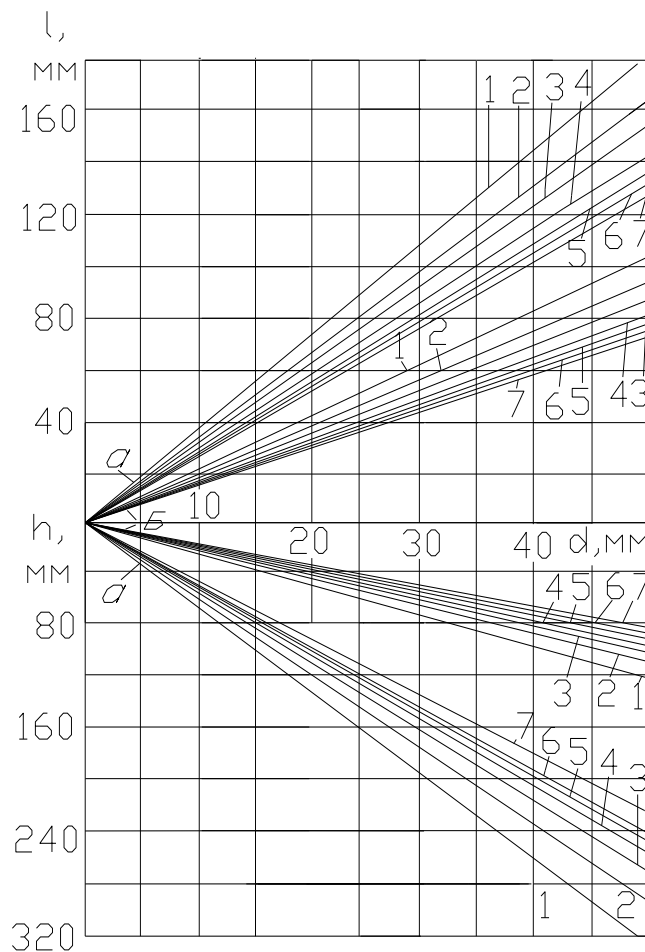


Рис. 1.6. Номограма для визначення максимально допустимих довжини l та h висоти отворів:
 I – прохідних ; II – глухих.

Технологічні похили необхідні на вертикальних поверхнях, які паралельні напрямку зусилля змикання форми, а також на тих поверхнях деталі, які паралельні напрямку переміщення складальних частин складної форми.

Рекомендовані для різних поверхонь деталей з пластмас значення кутів похилу:

Поверхні	Кути похилу
Поверхневі.....	15'; 30'; 1°
Внутрішні.....	30'; 1°; 2°
Внутрішні отвори глибиною до 1,5d.....	15'; 30'; 45'
Ребра жорсткості, виступи і т. п.....	10°; 15°

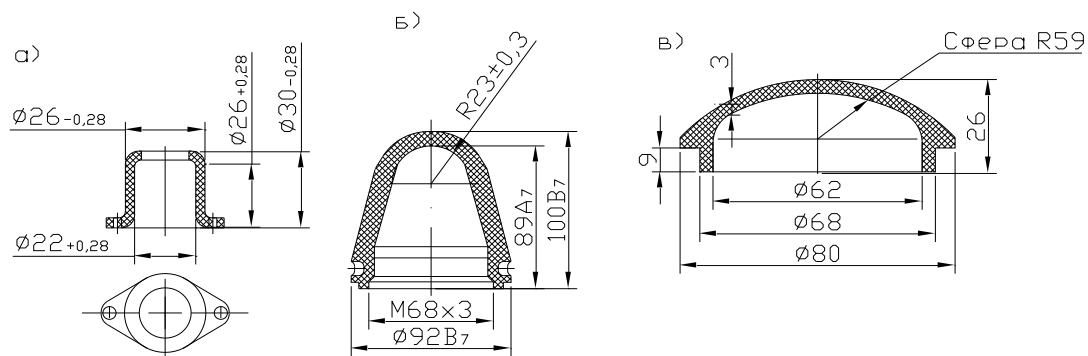


Рис. 1.7 Пластмасові деталі без уклонів: а) стакан (АГ-4В); б) ковпачок (К-214- 2); в) заглушка (К-18-2)

3. Різьбу деталей з пластмас одержують безпосередньо у процесі формування. Вона має суттєві особливості, так як при виготовленні таких деталей необхідно враховувати усадку матеріалу та специфіку виготовлення формуючих знаків і кілець. Пресуванням або литтям під тиском можуть бути отримані різьби на внутрішніх та зовнішній поверхнях діаметром 2,6 – 3,0 мм і вище та з шагом не менше 0,3 мм. Профіль різьби може бути любым, але надають перевагу метричній різьбі по ГОСТ 11709 – 66, якщо за умовою експлуатації для утворення різьбових з'єднань не треба іншої різьби (круглої, кріпильної, трапецеїдальної).

Приклади оформлення різьб на деталях з пластмас приведені на рис. 1.8. Якщо різьба на поверхні деталі є в двох або більше різних місцях, вона повинна мати однаковий шаг.

Співвідношення діаметрів та довжин робочої частини різьбових знаків (тобто глибина формування) можуть бути прийняті такими ж, як для гладких стрижнів, які оформляють отвір. Зазвичай в більшості випадків не має необхідності в глибоких різьбових отворах, і глибина формування позначається рівною 1,5 – 2 діаметра різьбового знаку.

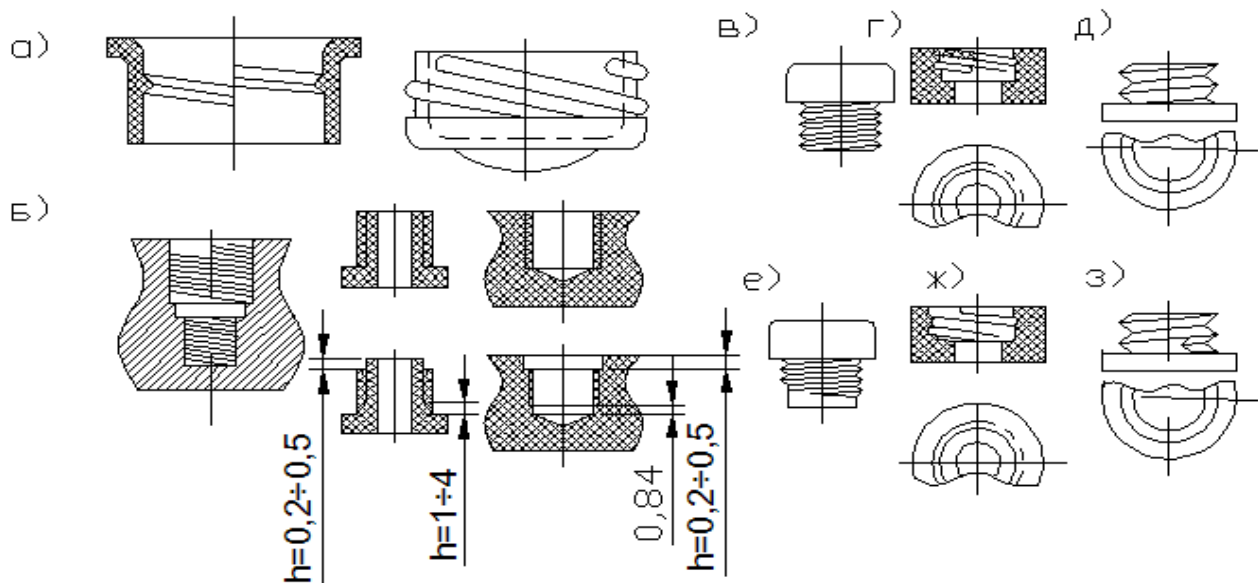


Рис. 1.8. Оформлення різьб на поверхнях деталей з пластмас: а – одно і багатозахідна різьба; б – різьба однакового шагу на двох послідовно розташованих ділянках; в, г, д – неправильні; е, ж, з – правильні конструкції різьбових деталей

І. Конструкції с арматурою являють собою, як правило, нероз'ємні з'єднання пластмасової деталі та відповідної вставки.

Конструкції деталей з запресованою арматурою забезпечують відносно високу точність кріплення арматури у пластмасі (при правильно вибраній формі і конструкції арматури) та високу міцність координації арматури у деталі (по 4 – 5, а інколи і 3-му класі точності ОСТ). Однак такі конструкції мають і ряд існуючих недоліків:

- 1) можливість виникнення значних тріщин в матеріалі деталі через різні коефіцієнти лінійного розширення пластмаси і металевої арматури;
- 2) виникнення вірогідності виходу з ладу деталей з запресованою арматурою під час експлуатації, особливо в умовах різкої перебіни температур та в тропічних умовах через наявність мікротріщин у пластмасі навколо арматури;
- 3) збільшення тривалості збирання гарячої форми, особливо при великих партіях деталей і малих розмірах запресованої арматури, подовжується цикл виготовлення таких деталей;

- 4) підвищується процент вірогідності браку через невдало встановленої (як правило, вручну) арматури (відбувається затікання маси на арматуру при формуванні);
- 5) підвищується процент вірогідності браку готових складних деталей з арматурою через ушкодження арматури при встановленні деталей у прилад і під час експлуатації (зриву різьби, пошкодження шару гальванічного покриття і т.п.)
- 6) виникають додаткові джерела нерівномірного охолодження деталі після формоутворення і, як слідство, внутрішні напруження, які призводять до утворення тріщин;
- 7) відсутність можливостей забезпечення більш високої, чим 3-й клас, точності координації арматури;
- 8) значно збільшується вартість та складність виготовлення форм для деталей з металевою арматурою;
- 9) ускладнюється здійснення автоматизації процесу виготовлення деталей;

Металічна арматура значно впливає на точність виготовлення деталей з пластмас, так як вона ускладнює, затримує процес усадки після її вилучення з форми, що у рівній мірі відноситься як до гладких елементів деталі, так і до міжосьових розмірів. Від раціонального розташування арматури в більшості залежить правильна геометрична форма деталей.

1. Мінімальні величини товщини слою пластмаси навколо металевої арматури (від 0,5 до 5 мм) вибирають з врахуванням розміру арматури, яка опресовується та фізико-механічних властивостей пластмас таким чином, щоб запобігти появленню тріщин від усадочних напружень.

2. Для утворення тонких шарів пластмаси на металевих деталях повинна застосовуватися матеріали, які мають можливість меншої усадки і найбільш низьким коефіцієнтом лінійного розширення.

3. Для запобігання роздувань пластмаси над арматурою відстань b від її краю до поверхні деталі повинно бути не меншою за 1,5 – 2 мм. Ця рекомендація придатна для арматури з зовнішнім діаметром до 5 мм. Якщо діаметр арматури d є більшим за 5 мм, то відстань збільшується в відповідності

зі збільшенням співвідношення $\frac{d}{b}$.

Переріз металевої арматури (включаючи і отвір у арматурі) повинен бути меншим перерізу пластмаси. Арматуру слід закріплювати у формі, як правило, в одній половині, по можливості у нижній її частині. Варіанти закріплення арматури у пластмасових деталях приведені на рис. 1.9.

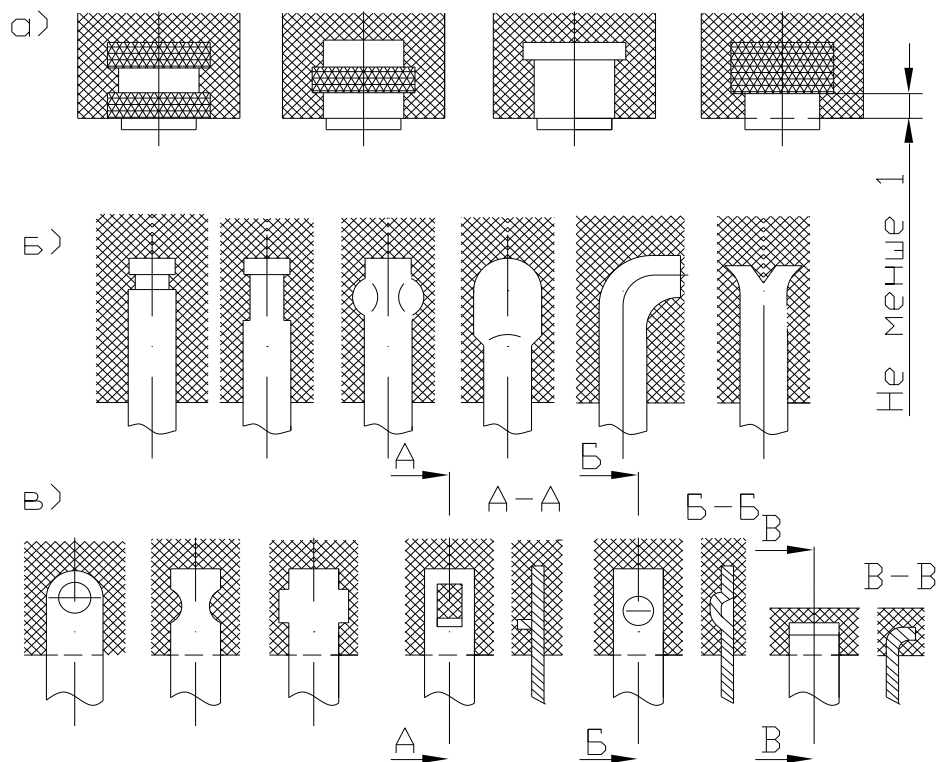


Рис. 1.9. Варіанти закріплення арматури у пластмасових деталях: а – круглої; б – дротяної; в – пелюсткової.

При конструюванні таких деталей визначення розмірів отворів під запресування арматури слід робити з урахуванням усадки пластмаси, розмірів вставок та необхідного натягу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Співвідношення діаметрів арматури та отворів у деталях з пластмас(при усадці 0,8%).

Діаметр d арматури в мм	Діаметр отворів в деталях d_1 мм	
	товстостінні	тонкостінні
До 10	$d_1 = d - 0,03$	$d_1 = d + 10\%$ усадки
Вище 10 до 30	$d_1 = d$	$d_1 = d + 30\%$ «
« 30 « 60	$d_1 = d + 15\%$ усадки	$d_1 = d + 40\%$ «
« 60 « 100	$d_1 = d + 25\%$ усадки	$d_1 = d + 50\%$ «

К. Постановка розмірів на кресленні пластмасової деталі є важливим етапом проектування.

1. Характерні приклади правильної постановки приведені на рис. 1.10. Наприклад, для випадку механічної обробки деталі, коли до точності розташування її отворів відносно осі симетрії не пред'являють особливих вимог, доцільно позначать розміри l і A з максимально необхідними допусками (рис. 1.10, а).

2. При формуванні симетричної деталі, особливо в тому випадку, коли контур деталі оформляють у матриці, а отвір – знаками пуансона, розмір l (як на рис. 1.10, а) зазвичай не проставляють, так як його важко технологічно забезпечити та проконтролювати (рис. 1.10, б).

3. У тих випадках, коли одні розміри деталі оформляють пуансоном, а інші матрицею, доцільно відступити від принципу єдності баз і наносити розміри з різних сторін. Це повністю відповідає правилам постановки розмірів на кресленнях деталей пресформи. Коливання товщини облою $S_{обл}$ при пресуванні спотворює тільки один розмір H висоти деталі (рис. 1.10, в). Цей розмір рекомендується контролювати на всіх деталях.

4. При конструюванні деталей типу кожухів, які отримують пресуванням, не рекомендується вказувати товщину стінки. Це не відноситься до тих розмірів, які оформлюються однією частиною форми, наприклад ребрами жорсткості (рис. 1.10, г). Але нанесення розмірів товщини стінки s допустимо при конструюванні порожнистих деталей складної конфігурації, коли координування всіх переходів контуру по внутрішнім та зовнішнім розмірам може привести до великих коливань товщини стінки (рис. 1.10, д).

Габаритні розміри деталі не повинні включати у себе розміри місцевих виступів, бобишок, ребер, тощо. Припускається також відсутність на кресленні габаритного розміру, якщо його постановка не вимагається за конструктивними міркуваннями.

На кресленні виробів з арматурою не слід повторювати розміри, задані на кресленнях арматури.

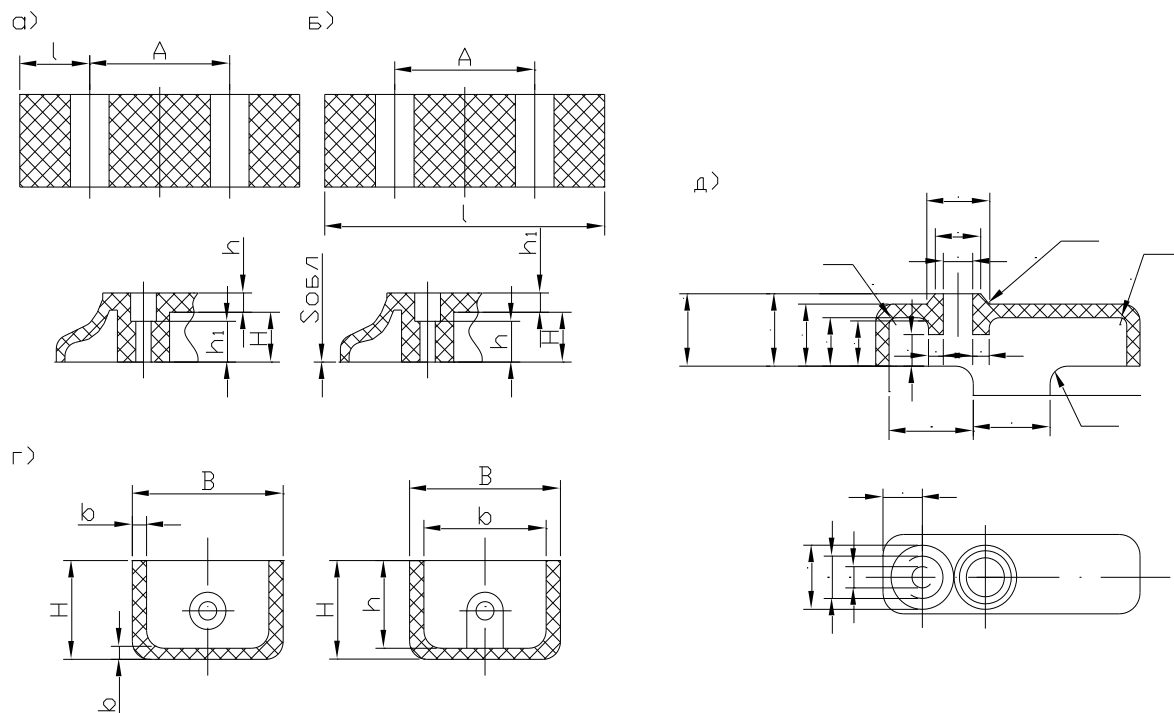


Рис. 1.10 Приклади правильної простановки розмірів на кресленнях пластмасових деталей.

ГЛАВА 2

КОРПУСНІ ДЕТАЛІ МАШИН.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.

Застосування пластмас у якості матеріалу корпусних деталей — один з найбільш перспективних напрямків застосування пластмаси у машинобудуванні.

Вибір основних параметрів та форм корпусних деталей визначається їх призначенням і зводиться до розрахунків на жорсткість та температурні деформації.

Розрахунки на міцність корпусних деталей мають приблизний характер, що обумовлено їх досить складною формою і дією на них ряду просторових навантажень. Так, силові фактори, які діють на корпусні деталі, розглядаються як зосередженні, прикладені в одному перерізі, а деформації корпусних деталей визначаються в залежності від співвідношення габаритних розмірів цих деталей.

1. Деформації деталей, у яких один з габаритних розмірів значно більше двох інших, розглядаються, як деформації брусків;
2. Деформації деталей, у яких два габаритних розміру значно більше третього, розглядаються як деформації пластини;

3. Деформації деталей, у яких всі три габаритних розміри одного порядку, розглядаються як деформації коробок, які складаються з пластин деякої постійної приведеної жорсткості.

2. МАЛОГАБАРИТНІ КОРПУСНІ ДЕТАЛІ.

Основні конструкційні параметри корпусної коробчастої деталі можливо визначати виходячи з умов забезпечення жорсткості її стінок при дії заданих навантажень, для чого цілком достатньо дотримання наступних співвідношень:

$$\varepsilon = k_0 k_1 k_2 k_3 \frac{Pa^2(1-\mu^2)}{Eh^3} \leq \frac{[\sigma]}{E}, \quad (2.1)$$

де ε – деформація стінки корпусу під дією зосередженого навантаження P ; $[\sigma]_{\text{дон}}$, E , μ – відповідно допустиме навантаження на згин, модуль пружності і коефіцієнт Пуансона матеріалу корпусу; a – половина більшого розміру зовнішньої грані корпусу; h – розрахункова товщина стінки корпусу; k_0, k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти, які враховують відповідно, k_0 – вплив жорсткості окремих граней, k_1 – зацімлення сторін, k_2 – вплив навантажених і ненавантажених отворів та бобишок на жорсткість стінок корпусу, k_3 – вплив приливних до стінки ребер на їх жорсткість.

Чисельні значення коефіцієнтів k_0 приведені у таблиці, значення коефіцієнтів k_1 та k_2 визначаються за графіками.

Чисельні значення коефіцієнта k_3 вибирають з урахуванням наступних рекомендацій:

- 1) для ребер під бобишками, через які подається основне навантаження, в тому числі, якщо ребро прилите до сусідньої стінки, яке має товщину того ж порядку, що і навантажена стінка, $k_3 = 0,8 \div 0,9$;
- 2) для ребер, які призначені для збільшення загальної жорсткості стінок, $k_3 = 0,75 \div 0,85$ (менші значення для систем ребер, що перетинаються, більші – для зв'язаних між собою ребер).

При проектуванні пластмасових ребер необхідно враховувати їх нагрів у результаті виділення теплоти при терті механізмів (зубчастих передач, муфт,

підшипників). Інтенсивне нагрівання знижує міцність, жорсткість та твердість пластмасових корпусів, що призводить до втрати їх працездатності.

Нагрівання можливо зменшити відповідним збільшенням тепловідводних площин, як правило, зовнішніх поверхонь пластмасових корпусів (наприклад, ребренням). Для вирішення питання, в якій мірі необхідно збільшити площину поверхонь, необхідно розглянути наступне співвідношення:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{Q}{\sum_1^n \frac{F_{1i}}{F_{2i} \alpha_{2i}} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{1i}}} \leq [\Delta t]_{don},$$

(2.2)

де Q – кількість теплоти, яка виділяється механізмом в одиницю часу, $кВт$, F_{1i}, F_{2i} – площини зовнішньої і внутрішньої поверхонь i -й стінки, $м^2$; α_{1i}, α_{2i} – коефіцієнти тепловіддачі i -й стінки для зовнішньої та внутрішньої сторін її, $Вт/м^2 \text{ } ^\circ C$; δ_i – товщина i -й стінки у $м$; λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу корпусу у $Вт/м^\circ C$; t_1, t_2 – температури навколишнього середовища та внутрішньої сторони коробки, $^\circ C$; Δt – надлишкова різниця температур усередині коробки та середовища, $град$.

3. КРУПНОГАБАРИТНІ КОРПУСНІ ДЕТАЛІ З СТЕКЛОПЛАСТИКІВ.

Розрахунок корпусних деталей з склопластиків дещо специфічний. Для спрощення розрахунків можливо використовувати приведені нижче співвідношення.

а) Розтягнуті елементи розраховують, як правило, тільки на міцність за формулою

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq [\sigma_p], \quad (2.3)$$

де N – розрахункове значення сили (нормативне значення, помножене на коефіцієнт перенавантаження); $F_{нт}$ – площа перетину елемента нетто в найбільш послабленому місці; σ_p – розрахунковий опір на розтяг.

б) Розтягнуті згинні елементи на міцність розраховують за формулою

$$\frac{N}{F_{нт}} + \frac{M\sigma_p}{W_{нт}\sigma_3} \leq [\sigma_p], \quad (2.4)$$

де σ_3 – розрахунковий опір на згин; $W_{нт}$ – момент опору.

Прогини вираховують, як у згинних елементів.

в) Стислі стрижневі елементи розраховують на міцність за формулою:

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq \sigma_c, \quad (2.5)$$

На стійкість за формулою:

$$\frac{N}{\varphi F_{рас}} \leq [\sigma_c] \quad \varphi = \frac{\pi^2 \frac{E}{\sigma_c}}{\lambda^2}, \quad (2.5a)$$

де λ – гнучкість, рівна відношенню вільної довжини елемента до радіусу інерції; σ_c – розрахунковий опір на стиск.

У конкретних випадках береться та формула, яка дає найбільш несприятливі результати.

У випадку трубчастої форми елемента додатково перевіряється товщина δ стінки труби. Для запобігання опущення витріщання повинна дотримуватися умова.

$$\frac{D}{\delta} \leq 2,2 \sqrt{\frac{El_0^2}{(1-\mu^2)\pi N}}, \quad (2.56)$$

де D – діаметр, l_0 – довжина вздовж осьової лінії стінки труби; μ – коефіцієнт Пуансона; $\frac{E}{1-\mu^2} = E_{np}$ – зведений модуль пружності; N – розрахункове значення сили.

У випадку, коли елемент має вигляд прямокутної пластини (наприклад, обшивки стін та панелей), перевірка її стійкості проводиться порівнянням діючого зусилля T_x з критичною силою $T_{кр}$. Воно повинно бути меншим за критичну силу у крайньому випадку у 1,5 рази.

Критична сила, яка припадає на 1 м ширини пластини, визначається за формулою

$$T_{кр} = k \frac{\pi^2 D}{b^2} > k_{зан} T_x, \quad (2.6)$$

де $D = \frac{E_{np} \delta^3}{12}$ – циліндрична жорсткість пластини (δ – товщина пластини);

b – ширина пластини; k – коефіцієнт, який залежить від крайових умов і співвідношення довжини a пластини, виміряної вздовж зусилля, до її ширини; $k_{зан}$ – коефіцієнт запасу.

Значення коефіцієнта k для прямокутної пластини з шарнірно опертими сторонами у місцях прикладання сил і защемленням по двом іншим сторонам наведені нижче.

a/b	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1 і більше
k	9,44	7,69	7,05	7,00	7,29	7,83	7,69

Наприклад, до стислої при згині обшивки (панелі) діюче зусилля дорівнює $T_x = \sigma \delta$, де σ – найбільша напружка стиску від згину.

г) Згинні елементи розраховують на міцність і за прогинами. Розрахунок на міцність ведеться за нормальним напруженням:

$$\frac{M}{W_{нт}} \leq [\sigma_3], \quad (2.7)$$

і за сколюючими напружками

$$\frac{QS_{nt}}{J_{nt}b} \leq [\sigma_{ск}], \quad (2.8)$$

де Q – поперечна сила; S_{nt} – статичний момент зсувної частини перетину; J_{nt} – момент інерції всього перетину відносно нейтральної вісі; b – ширина площини зсуву.

Прогин від згинаючого моменту визначається за формулами опору матеріалів при нормативних значеннях навантаження.

1. Наприклад, для вільно лежачої на двох опорах балки, яка несе рівномірно розподілене навантаження Q_n , перевірка прогину поводять за формулою

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{385} \frac{q_n l^3}{EJ} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (2.9)$$

де f – прогин; l – довжина балки між опорами; Q_n – навантаження; E – модуль пружності

В багатьох випадках прогин пластмасових балок вираховується з урахуванням зсуву. Так як напруження зсуву збільшує прогин пропорційно квадрату співвідношення висоти балки до прольоту, то в цьому випадку дійсний прогин визначається з виразу

$$f_0 = f \left(1 + A \frac{E}{G} \frac{h^2}{l^2} \right), \quad (2.10)$$

де f – прогин від згинаючого моменту; A – коефіцієнт, який залежить від способу навантаження та спирання балки, а також від форми перетину, G – модуль зсуву.

При прямокутному перетині балки рекомендують наступні значення коефіцієнта A :

а) для защемлення балки на двох опорах (прогин у середині прольоту):

рівномірне розподілене навантаження.....0,96
зосереджена сила прольоту всередині.....1,2

б) для консолі (прогин кінця консолі):

рівномірне розподілене навантаження.....0,4
зосереджена сила на кінці.....0,3

2. Наприклад, для прогину у середині прольоту вільно опертої на дві опори балки 2 прямокутного перетину, навантаженої розподіленим навантаженням, формула (2.10) приймає вигляд, враховуючи (2.9)

$$f_0 = \frac{5}{384} \frac{q_n l^4}{EJ} \left(1 + 0,96 \frac{E}{G} \frac{h^2}{l^2} \right), \quad (2.10a)$$

При цьому необхідно мати на увазі, що для однорідних матеріалів

$$\frac{E}{G} = 2(1 + \mu),$$

При малому значенні модуля зсуву G . Невеликих прольотах та високих балках другий член у скобках правої частини рівняння (2.10a). Може мати суттєву величину.

д) Стисло-згинні елементи розраховують з урахуванням площин нетто $F_{нт}$ і брутто $F_{бр}$ по формулах

$$\frac{N}{F_{нт}} + \frac{M \sigma_c}{\xi W_{нт} \sigma_z} \leq [\sigma_c], \quad (2.11)$$

де
$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi \sigma_c F_{бр}},$$

де φ - за (2.5a)

Коли згинаючий момент малий та другий доданок лівої частини формули (2.11) дає менше 10% загальної суми, необхідно робити перевірку також на стійкість, нехтуючи згинаючим моментом. Така перевірка може дати менш сприятливі результати.

Прогини стисло-згинних елементів, обчислюють виходячи з формул для згинних елементів, але з урахуванням збільшення їх від спільної дії стиску зі

згином:
$$f_0 = \frac{f}{\xi},$$

4. КОРПУСНІ ЕЛЕМЕНТИ СКЛАДЕНОГО ПЕРЕТИНУ

З елементів складового перетину для пластмас найбільш практичне значення мають стінові панелі і плити покриттів, що складаються зазвичай з різних матеріалів.

а) Розтягнуті елементи розраховують принципово так само, як і суцільні, тобто по формулі (2.3), але при підрахунку площі поперечного перетину нетто виконується відповідне приведення. Так, якщо елемент складений з двох матеріалів, причому кожен займає частину перетину F_1 і F_2 , приведенне, значення загальної площі перетину $F_{пр}$ дорівнює

$$F_{пр} = F_1 + F_2 \frac{E_1}{E_2}, \quad (2.12)$$

де E_1 і E_2 — модулі пружності відповідних матеріалів.

б) Стиснуті елементи перетину, який складається з різних матеріалів, розраховують на міцність так само, як і розтягнуті елементи, але за формулою (2.5).

Найбільш несприятливі результати дає розрахунок стиснутих елементів на стійкість. Можна застосувати до конструкції трьохшарових панелей та плит з обшивками із високоміцних матеріалів і робочим середнім шаром (заповнювачем) з пінопласту або іншого легкого матеріалу, що має модуль зсуву до 50 МПа (рис.2.1), розрахунок на стійкість при дії рівномірно розподіленого навантаження виконують за наступними формулами.

Критичне навантаження $T_{кр}$, віднесене до одиниці ширини однієї обшивки, обчислюють за виразом

$$T_{кр} = m_t \frac{\pi^3 B \left(h + \frac{\delta}{2} \right)^2}{a^2}, \quad (2.13)$$

Коефіцієнтом m_t оцінюють спосіб закріплення обшивки по периметру; значення цього коефіцієнту залежить також від відношення розміру a обшивки в напрямку діючого зусилля до поперечного розміру b і її товщини δ . Для трьохшарових плит і панелей приймається найбільш несприятлива схема нескінченно широкої пластини, яка дає мінімальне значення коефіцієнта m_t , яка дорівнює:

$$m_t = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 B h}{G a^2}}, \quad (2.14)$$

де G – модуль зсуву матеріалу середнього шару; h – половина його товщини;

$$B = E_{np} \delta,$$

величина B характеризує (у Н/м) жорсткість обшивки.

Поділивши критичну силу на товщину обшивки, отримують критичне напруження в наступному вигляді:

$$\sigma_{кр} = \frac{T_{кр}}{\delta} = m_t \frac{\frac{\pi^2 E_{np}}{a^2}}{\left(h + \frac{\delta}{2} \right)^2} = m_t \frac{\pi^2 E_{np}}{\lambda^2}, \quad (2.15)$$

Величина

$$\lambda_{np} = \frac{\lambda}{\sqrt{m_t}} = k_\lambda \lambda,$$

Називається зведеною гнучкістю складеного тришарового елемента з легким заповнювачем, причому коефіцієнт гнучкості K_λ з урахуванням виразів для m_t , B і $\sigma_{кр}$ дорівнює

$$k_\lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{m_t}} = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E h \delta}{G a^2 (1 - \mu^2)}}, \quad (2.16)$$

Підрахований аналогічним чином коефіцієнт гнучкості тришарового елемента циліндричної форми (наприклад, у склепінні) дорівнює

$$k_\lambda = \sqrt{\frac{1 + \frac{\pi^2 E_{np} h \delta}{G a^2}}{\frac{3,2 E_{np} h \delta^3}{G (2h + \delta)^2 a^2}}}, \quad (2.17)$$

він трохи менший, ніж у плаского елемента.

Обчислена критична сила (або критичне напруження) порівнюють з діючою силою, яка відноситься тільки до обшивок в нехтуванні заповнювачем. Позначимо загальне зусилля, діюче на панель уздовж її вертикального розміру,

через N , тоді
$$\frac{N}{2b} \leq \frac{T_{кр}}{k_{зан}}.$$

Коефіцієнт запасу $K_{зан}$ приймають 1,5-2 в залежності від капітальності споруди.

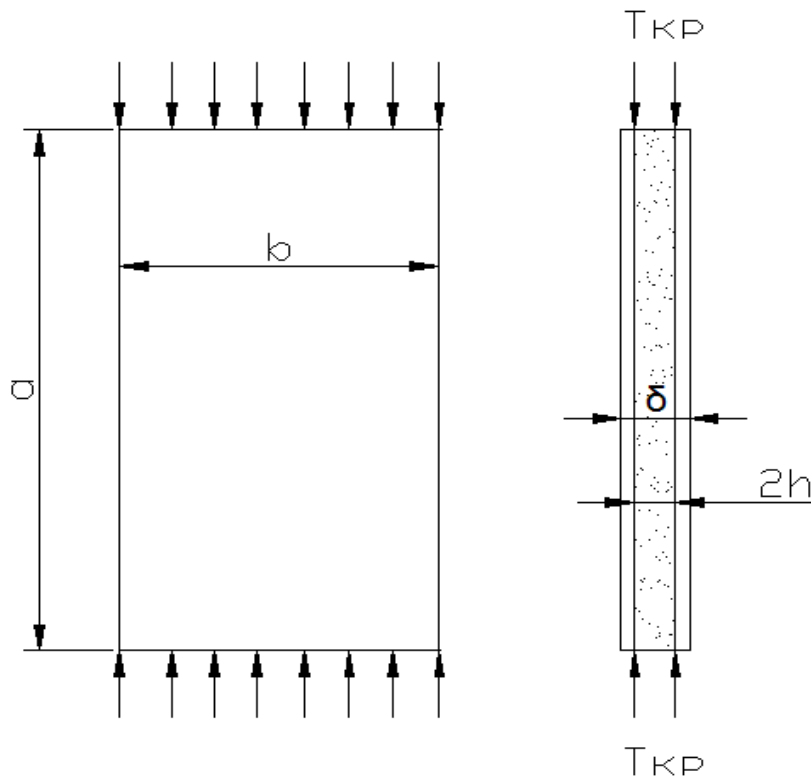


Рис. 2.1 Розрахункова схема трьохшарової панелі при центральному стисненні.

в) Згинаючі елементи складеного перетину у вигляді ребристих плит і панелей розраховуються, виходячи із зведеної ширини смуги $b_{пр} = kb$, де b – дійсна відстань між поздовжніми ребрами, які розташовані вздовж прольоту; k – коефіцієнт нерівномірності розподілу нормального напруження по ширині смуги; береться з графіку (рис.2.2) в залежності від відношення прольоту до відстані між ребрами.

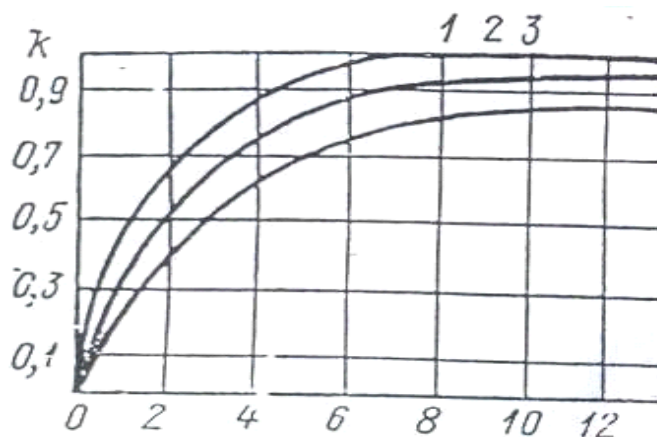


Рис. 2.2. Графік коефіцієнта нерівномірності для розрахунку ребристих плит:

1 – для поліефірних склопластиків; 2 – для композицій з вмістом 40% епоксидної смоли; 3 – теж саме з містом 60%

Розрахунок на міцність за нормальними напруженнями виконують за формулою

$$\sigma_x = \frac{M}{\frac{J_{np}}{h + \delta}} \leq \sigma_z, \quad (2.18)$$

де M – розрахункове значення згинаючого моменту від навантаження, яке діє у смугі шириною b ; h – половина висоти середнього шару; δ – товщина обшивки; J_{np} – момент інерції, розрахований по зведеній ширині смуги, яка включає одне ребро.

Розрахунок на міцність за напруженням сколювання виконують за формулою:

$$\sigma_{ск} = \frac{QS}{J\delta_1} \leq [\sigma_{ск}], \quad (2.19)$$

де δ_1 – товщина ребра або ширина клейового шва між ребром та обшивкою; $\sigma_{ск}$ – розрахунковий опір на сколювання матеріалу ребра або на зсув клейового шва; S – статичний момент зсувної частини перетину.

Якщо до нижньої поверхні обшивки підклеєно шар пінопласту товщиною d , то його міцність при місцевому згині перевіряється за формулою

$$\sigma_p = \frac{M_1}{bd \left(d + \frac{\delta}{2} \right)} \leq [\sigma_p], \quad (2.20)$$

де M – максимальне значення місцевого згинаючого моменту; $[\delta_p]$ – допустимий опір пінопласту на розтяг.

Стискаюча напруга у обшивці, яка утворюється від місцевого згину при наявності підтримуючого шару пінопласту, порівнюється з розрахунковим опором матеріалу обшивки на розтяг за формулою

$$\sigma_c = \frac{M_1}{bd\left(d + \frac{\delta}{2}\right)} \leq [\sigma_c], \quad (2.21)$$

г) Суцільні тришарові плити і панелі складеного перетину розраховують виходячи з припущень, що всі нормальні напруження сприймаються обшивками, а середній шар з легкого заповнювача бере участь у роботі тільки на зсув (рис.2.3). При підрахунку геометричних характеристик перетину ширину пінопласту, приведену до матеріалу обшивок і незначну по величині (за умови великої різниці між модулями деформації матеріалів заповнювача і обшивок), приймають рівною нулю.

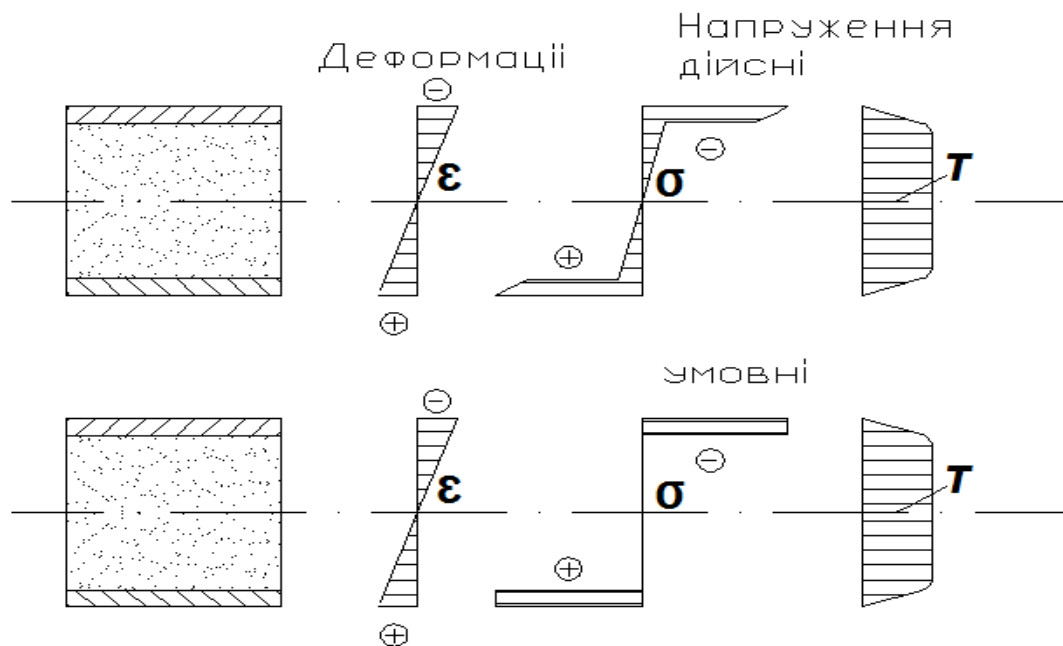


Рис. 2.3 Фактичний і розрахунковий розподіл деформацій і напруг по висоті перетину тришарового вигинаю чого елемента.

У випадку рівномірно розподіленого навантаження і вільного спирання плити міцність обчислюють:

за нормальними напруженнями

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{ql^2}{8\delta(2h + \delta)} \leq [\sigma_3], \quad (2.22)$$

за напругами зсуву

$$\sigma_{ск} = \frac{QS}{Jb} = \frac{\frac{ql}{2}}{2\left(h + \frac{\delta}{2}\right)} \leq [\sigma_{ск}], \quad (2.23)$$

де $[\sigma_3]$ – допустимий опір на згин обшивок; $[\sigma_{ск}]$ – допустимий опір на зсув наповнювача або клейового шва між наповнювачем і обшивками.

З достатньою для інженерних розрахунків точністю прогини з урахуванням опору зсуву можна визначити наступним чином:

$$\frac{f}{l} = 0,026 \frac{q_n l^3}{E_{np} \delta (2h + \delta)^2} \left(1 + \pi^2 \frac{E_{np} \delta h}{G l^2} \right), \quad (2.24)$$

При розрахунку тришарових плит і панелей з легким заповнювачем на міцність за нормальними напруженнями так само використовують формулу (2.11), але коефіцієнт ξ визначають по відношенню діючої сили N до критичної $T_{кр}$:

$$\xi = 1 - \frac{N}{T_{кр}}, \quad (2.25)$$

Критичне значення навантаження $T_{кр}$ розраховують виходячи із формул (2.15) і (2.17):

$$T_{кр} = \frac{\pi^2 E_{np} \delta}{\lambda_{np}^2}, \quad (2.26)$$

При цьому всі геометричні характеристики $F_{нт}$, $W_{нт}$, λ розраховують без урахування заповнювача для смуги шириною $b = 1 \text{ см}$:

$$F_{нт} = 2\delta; \quad W_{нт} = \delta(2h + \delta); \quad \lambda = \frac{a}{h + \frac{\delta}{2}};$$

При перевірці міцності за дотичним напруженням τ вони визначаються без урахування нормальної сили. Прогини визначають виходячи зі співвідношення

$$f_0 = \frac{f}{\xi} \text{ та формули (2.24).}$$

5. ЄМНОСТІ.

Хімічно інертні пластмаси знаходять широке застосування в якості матеріалу для виготовлення різноманітного роду ємкостей. Основні конструктивні параметри ємностей можна визначити, користуючись пропорціями, які приведені в табл.2.1, для різних схем навантаження (рис.2.4).

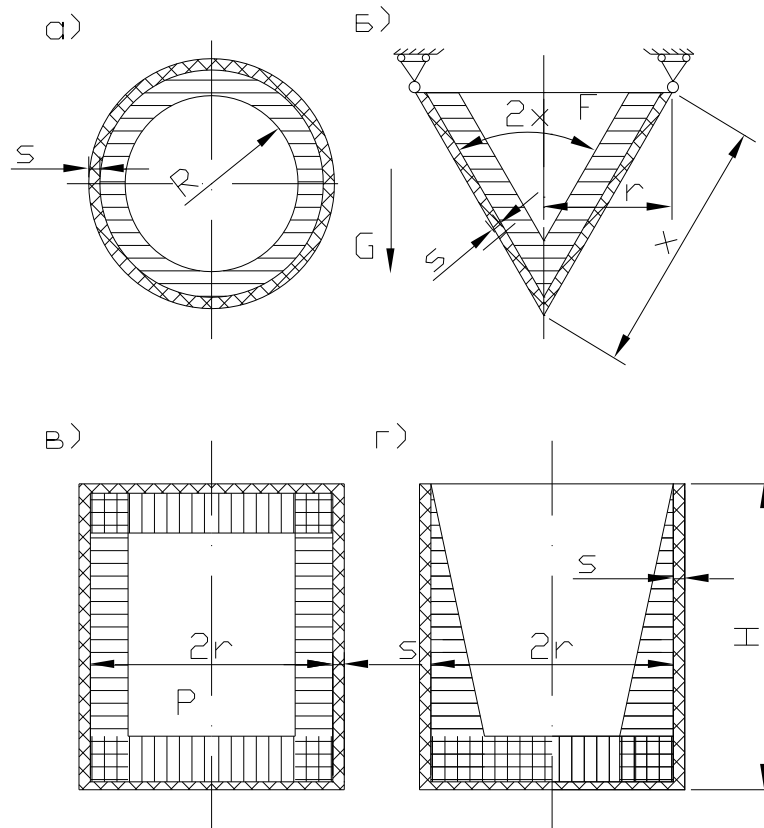


Рис. 2.4. Схема пластмасових ємностей, які витримують внутрішній тиск P :
 а – сфера; б – конус; в – циліндр; г – циліндр, якій знаходиться під
 гідростатичним тиском.

Якщо передбачається зварювання стінок сосуду, то необхідно при визначенні конструктивних параметрів ємностей вводити коефіцієнт міцності шва $\phi = 1,3$. Так, наприклад, формула для товщини стінки матиме вигляд

$$S \geq \frac{pD}{2,3[\sigma]\phi}; \quad (2.27)$$

Розрахунок сферичних кришок і днищ ємностей при орієнтовних розрахунках можна виконувати також за наведеною вище формулою. Для більш точних розрахунків рекомендують користуватися наступними формулами:

– для глухих днищ і покриток (без отворів або з отворами, послаблююча дія яких компенсовано деякими конструктивними елементами)

$$S \geq \frac{pD_{\text{вн}}^2}{8[\sigma]\varphi H}; \quad (2.28)$$

– для днищ і кришок, послаблених отворами,

$$S \geq \frac{pD_{\text{вн}}^2}{8z[\sigma]\varphi H};$$
$$0,2 \leq \frac{H}{D_{\text{вн}}} \leq \frac{0,3}{z} \leq 0,5;$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр днища або кришки; H – висота днища або кришки, z – кількість отворів.

Таблиця 2.1

Розрахункові пропорції для визначення основних конструктивних параметрів ємності

Розрахункова схема	Розрахункові параметри					
	$U, \text{Н/м}$	$T, \text{Н/м}$	$\sigma_u, \text{Н/м}^3$	$\sigma_T, \text{Н/м}^3$	Δ	$\Psi, 1/\text{с}^2$
Рис.2.4,а	$\frac{pR}{2}$	$\frac{pR}{2}$	$\frac{pR}{2S}$	$\frac{pR}{2S}$	$\frac{pr^2}{2SE}(1-\mu)\sin\phi$	0
Рис.2.4, б	$\frac{pxtg\alpha}{2}$	$pxtg\alpha$	$\frac{pxtg\alpha}{2S}$	$\frac{pxtg\alpha}{S}$	$\frac{px^2tg\alpha\sin\alpha}{2SE}$	-
Рис.2.4, в	$\frac{pr}{2}$	pr	$\frac{pr}{2S}$	$\frac{pr}{S}$	$\frac{pr^2}{2SE}(2-\mu)$	0
Рис.2.4, г	δ	γHrg	0	$\frac{\gamma Hrg}{S}$	$\frac{\gamma Hr^2g}{S}$	$\frac{\gamma r^2g}{ES}$

U , T – меридіальна і кільцева сили, які діють на одиницю довжини прикладання; σ_u і σ_T – меридіанне і кільцеве напруження в стінках сосууду; E і μ – модуль пружності і коефіцієнт Пуансона матеріалу стінок ємності; R , S , α , x – параметри, які відповідають позначенням на рис. 2.4, γ – густина рідини, радіальні Δ і Ψ – по головному радіусу і кутові переміщення стінок судини.

Основні конструктивні параметри інших типів покриттів і днищ визначаються за наступними співвідношеннями

– для круглої пласкої кришки або днища такої ж форми

$$\sigma = 0,3 \left(\frac{D_{\delta}}{S} \right)^2 \frac{p}{y} \leq [\sigma];$$

$$f = 0,046 \frac{D_{\delta}^4 p}{ES^3} \leq [f];$$

– для пласкої прямокутної кришки або днища такої ж форми

$$\sigma = \frac{0,75 p_{\delta}^3}{S^2 (1,0 + 1,6 a^3) \varphi} \leq [\sigma];$$

$$f = \frac{0,14 p_{\delta}^4}{E S^3 (1 + 2,2 a^3) \varphi} \leq [f];$$

– для конічних кришок і днищ

$$S \geq \frac{p D_{\kappa} y}{2[\sigma] \varphi \cos \alpha}; \quad S \geq \frac{p D_{\kappa}}{2[\sigma] \cos \varphi};$$

У наведених формулах, крім вказаних раніше позначень, прийняті наступні:

P_{δ} – сумарне навантаження на болти, МПа; f і $[f]$ – найбільший та допустимий прогини кришки або днища, м; α – коротка сторона кришки або днища по периметру болтів, м; D_{κ} – найбільший діаметр конуса кришки або днища, м; α – половина центрального кута конуса кришки або днища; y – коефіцієнт форми; визначають за рис. 2.5

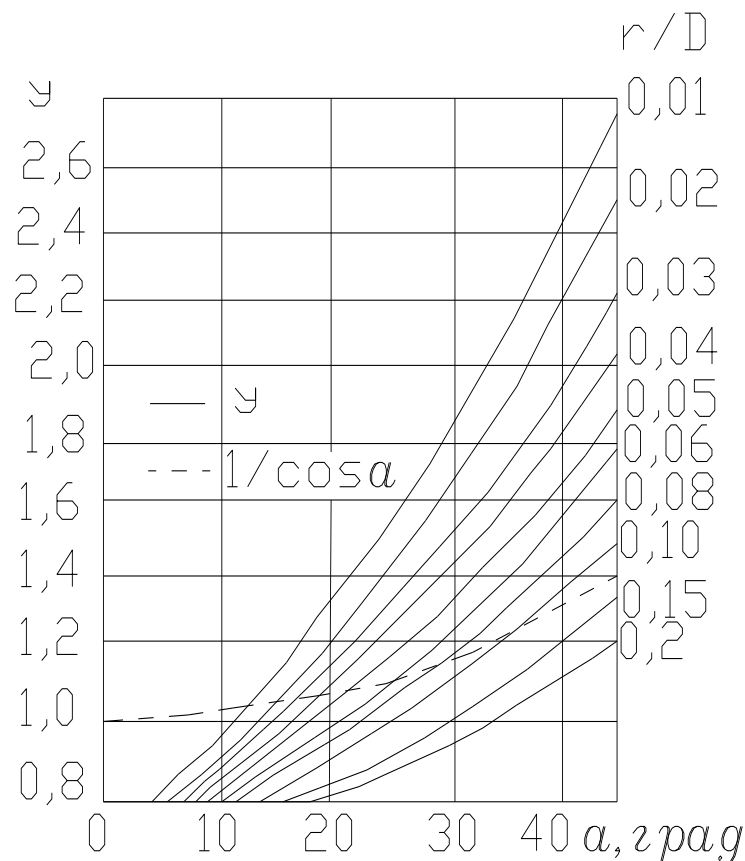


Рис. 2.5. Графік для розрахунку тангенційних напружень.

Пластмасові конічні днища або кришки необхідно приєднувати до циліндричної обичайки з відбортовкою, щоб винести місце з'єднання за межі зони, яка працює на згин. Товщину відбортованої частини визначають з наступних співвідношень:

$$S_1 = k \frac{pr}{\varphi[\sigma] \cos \alpha}; \quad r = r_1 - r_2 (1 - \cos \alpha); \quad (2.29)$$

де S_1 – товщина відбортованої частини, м; r_1 і r_2 – радіуси циліндричної обичайки і відбортовки. Величина r_1 вибирається рівною $0,15r$ або $(3,5 \div 4)s$; k – коефіцієнт ($k = 1$ при $\frac{r_1}{r_2 \cos \alpha} = 1$; $k = 1,25$ при $\frac{r_1}{r_2 \cos \alpha} = 4$; $k = 1,5$ при

$$\frac{r_1}{r_2 \cos \alpha} = 9; k = 1,75 \text{ при } \frac{r_1}{r_2 \cos \alpha} = 16).$$

Проміжні значення „ k ” можна визначити лінійною інтерполяцією.

Для збільшення стійкості стінок ємностей інколи необхідно передбачати ребра жорсткості, які з'єднуються з обичайкою способом, який забезпечує їх спільну роботу (наприклад, зварюванням, склеюванням).

Необхідний момент інерції шпангоутів і відстань між ними визначається з співвідношень

$$j \geq \frac{1,5 R_{ш} p l}{E_{ш}}; \quad l \leq \frac{E_{ш} D}{2 p \left(\frac{D}{m} \right)^{2,5}}, \quad (2.30)$$

де j – момент інерції шпангоуту; $R_{ш}$ – радіус нейтральної осі шпангоуту; m – товщина шпангоуту; $E_{ш}$ – модуль пружності матеріалу шпангоуту; D – діаметр обичайки; l – відстань між шпангоутами.

При використанні ємностей у конструкціях, де дуже важливий виграш у масі (паливні баки літаків, ракет, човнів, танків, автомототранспорт тощо), необхідно прямувати до оптимізації конструкцій з цієї точки зору. Для рішення подібних питань можна користуватися формулами для сумарної маси оболонок:

- сферичного днища з підкріплюючим шпангоутом (рис.2.6)

$$G = \frac{\pi r \gamma a^3}{\sigma} \frac{1(k-1)\cos\alpha}{\sin^3\alpha}; \quad k = \frac{\left(\frac{\sigma}{\lambda}\right)_{об}}{\left(\frac{\sigma}{\lambda}\right)_{шт}};$$

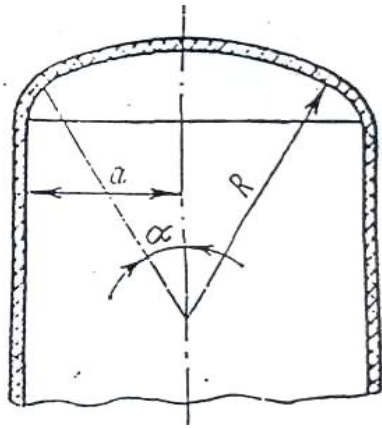


Рис. 2.6. Сферичне днище.

- конічного днища постійної товщини з підкріплюючим шпангоутом (рис. 2.7)

$$G = \frac{\pi r \gamma \alpha^3}{[\sigma]} \left(\frac{2}{\sin \alpha} + k \operatorname{tg} \alpha \right);$$

- конічного днища перемінної товщини з підкріплюючим шпангоутом

$$G = \frac{\pi r \gamma \alpha^3}{[\sigma]} \left(\frac{4}{3 \sin 2\alpha} + k \operatorname{tg} \alpha \right);$$

- коробчастого днища (рис.2.8).

$$G = \frac{\pi r \gamma a^3}{[\sigma]} \left\{ \frac{(1 - \varepsilon + \varepsilon \sin \alpha)^3 (1 - \cos \alpha)}{\sin^3 \alpha} + \right.$$

$$\left. + \varepsilon (2 - \varepsilon) \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha \pi}{180} \right) (1 - \varepsilon) + \varepsilon \cos \alpha \right] \right\},$$

де $[\sigma]$ – Па, $p = \rho g H$, Па

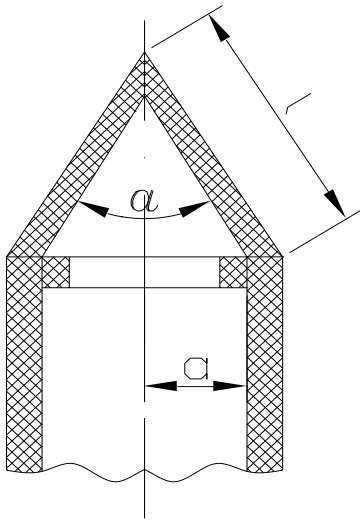


Рис. 2.7. Конічне днище з підкріплюючим шпангоутом.

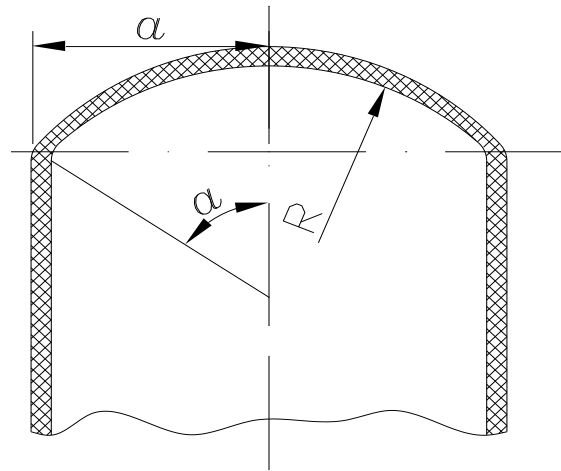


Рис. 2.8 Коробчасте днище.

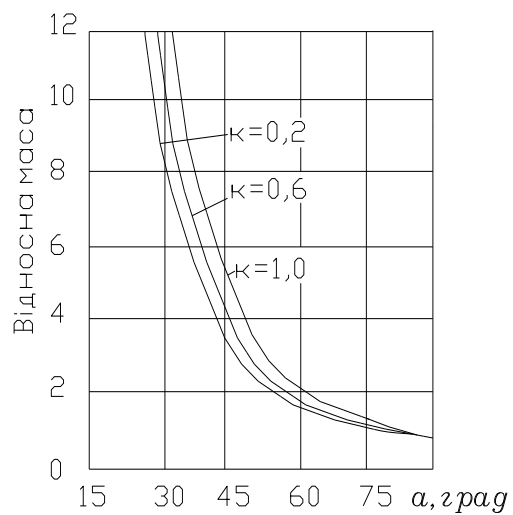


Рис. 2.9. Залежність маси сферичного днища від кута α і відносної питомої міцності пластини.

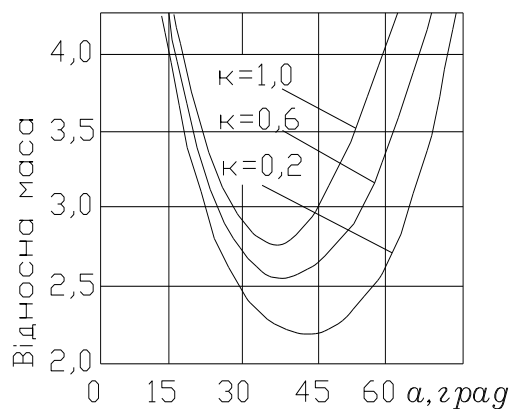


Рис. 2.10. Залежність маси конічного днища змінної товщини від $\alpha/2$ і відносної питомої міцності пластини

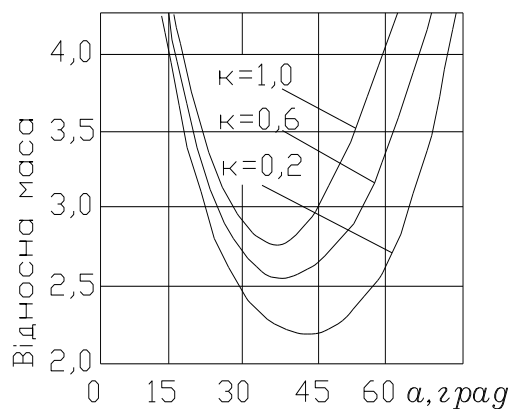


Рис. 2.10. Залежність маси конічного днища постійної товщини від $\alpha/2$ і відносної питомої міцності пластини

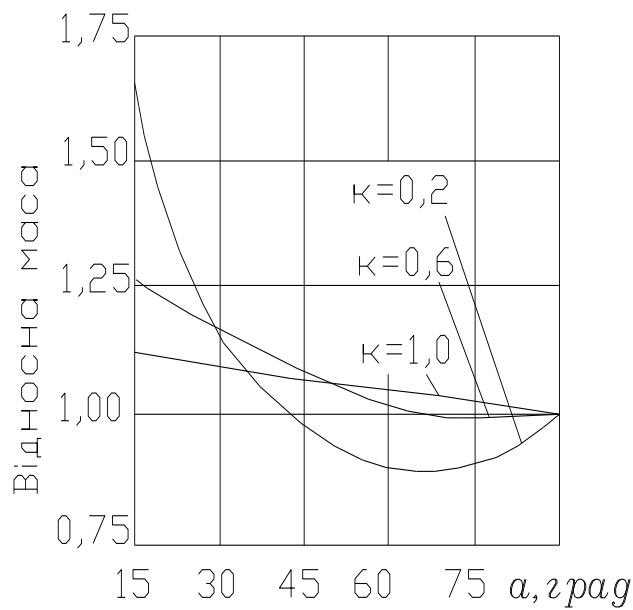


Рис. 2.12. Залежність маси коробчастого днища від геометричних параметрів.

Найбільш ефективні такі конструкції з армованих пластмас, в яких анізотропія механічних властивостей найбільш вигідно відповідає напруженому стану оболонки або забезпечує її максимальну жорсткість по відношенню до заданого навантаження. При цьому діюче навантаження сприймається наповнювачем і зв'язуючим пропорційно їх модулями пружності $E_{\text{нап}}$ і $E_{\text{зв'яз}}$ і їх об'ємній місткості у матеріалі. Несуча здатність у склопластикових конструкціях визначається склонаповнювачами, що і обумовлює специфіку розрахунку, який полягає не у знаходженні товщини, а у визначенні числа n ниток або шарів тканини, що проходить через одиничний відрізок. Число n можна визначити з наступних співвідношень для випадків намотування циліндричних оболонок:

— однонаправленими склонаповнювачами шар на шари під оптимальним кутом намотування до утворювальної оболонки

$$T_1 = (1 + a)T_2 = \frac{2}{2 + a} fn; \quad (2.31)$$

– коли на один шар нитки, намотаний під оптимальним кутом до утворюючої, накладається N шарів під оптимальним кутом

$$T_1 = \frac{2(N+1)}{2+a} fn; \quad (2.32)$$

– двома системами тканин, які укладають так, що напрямок основи тканини складає з утворюючою оболонкою кути φ_1, φ_2 :

$$T_1 = \frac{f_1 n_1}{2+a} (N+1)(k+1); \quad (2.33)$$

У формулах прийняті наступні позначення: T_1 і T_2 – осьові і кільцеві зусилля в оболонці; f – руйнуюче зусилля склопластика; $k = \frac{f_2 n_2}{f_1 n_1}$ – відносна міцність тканини (f_1 і f_2 – розривні зусилля ниток по основі та утку; n_1 і n_2 – густина укладки ниток основи та утка); α – коефіцієнт, який враховує характер навантаження конструкцій (осьове навантаження оболонки $\alpha = -1$; рівномірне розтягнення оболонки $\alpha = 0$; оболонка під внутрішнім тиском $\alpha = 1$).

ГЛАВА 3

ОПОРИ КОВЗАННЯ І КОЧЕННЯ

Однією із ефективних галузей застосування пластмас є виготовлення із них відповідальних деталей підшипників ковзання і кочення. До переваг пластмасових підшипників ковзання відносяться наступні: низька вартість; простота технологічного процесу збирання; низькі втрати на тертя; висока зносостійкість; гарна демпфіруюча здатність; можливість експлуатації без змазування.

Найбільш широке застосування пластмаси знайшли в конструкціях підшипників ковзання різних типів. Вибір основних конструктивних параметрів пластмасових підшипників ковзання зводиться до визначення величини зазору між поверхнями вала і підшипника. Так, у випадку роботи з'єднання в режимі сухого, граничного, напіврідинного тертя величина зазору повинна визначатися з умови, щоб контактна напруга, яка виникає в робочій зоні не перевищувала допустимих для даного матеріалу.

При роботі з'єднання у режимі рідинного тертя величина зазору повинна визначатися з умов забезпечення деякого мінімального шару змащення між поверхнями, які труться, і з умови тепловідводу. Розрахунок зазору в даному випадку можна виконувати існуючими методами, які ґрунтуються на теорії гідродинамічного тертя.

Температура експлуатації, оточуюче середовище, величина і характер навантаження суттєво впливають на зміну зазору у пластмасовому рухомому з'єднанні внаслідок специфіки фізико-механічних властивостей пластмас.

Так, наприклад, пластмасові деталі при впливі температури змінюють розміри на величину в 5-10 раз більшу, ніж металеві деталі. Маючи специфічну особливість адсорбувати вологу повітря, масло, бензин, деталі з пластмас набухають, а також змінюють розміри. Навіть при нормальній температурі у

деталей з пластмас можуть суттєво змінюватися розміри під навантаженням внаслідок повзучості.

Таким чином, на відміну від металевих з'єднань у пластмасових рухомих з'єднаннях необхідно відрізняти складальні і експлуатаційні зазори.

Розрахунок і конструювання пластмасових підшипників ковзання необхідно виготовляти в такій послідовності:

- 1) розрахунок оптимальної величини експлуатаційного зазору;
- 2) розрахунок теплового режиму в вузлі тертя та встановлення необхідності його охолодження;
- 3) визначення величини складального зазору в з'єднанні.

Вихідними даними для розрахунку зазвичай є: діаметр і довжина з'єднання, а також товщина вкладиша, які задані по конструктивним міркуванням, пов'язаним з умовами компоновки вузла або з умовами забезпечення стійкості пластмасового елемента при його запресуванні у металеву обойму або напресуванні на вал; навантаження на підшипник і частота обертання вала; вид змащення (мінеральні або консистентні масла, вода або відсутність змащення. Інколи довжина з'єднання (підшипника) не задається і тоді її вибирають, виходячи з допустимих питомих навантажень в тому або іншому вузлі машини, а також з умови оптимального навантаження з'єднання та умови тепловідводу. При цьому необхідно враховувати, що зі зменшенням довжини з'єднання зменшується його несуча здатність, а при збільшенні довжини з'єднання експоненціально зростають втрати на тертя, зменшуються втрати мастила зі з'єднання і погіршуються загальні умови тепловіддачі. В результаті при одному і тому ж зазорі і режимі роботи довгі з'єднання нагріваються більш сильно, ніж короткі. Оптимальні відношення довжини з'єднання до діаметру знаходяться в межах 0,6-0,9.

Найбільш трудомістка частина розрахунку пластмасових підшипників ковзання – визначення величини експлуатаційного зазору в з'єднанні, точніше визначення основних конструктивних співвідношень елементів підшипника.

1. РОЗРАХУНОК НЕМАЩЕНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ

Розрахунок незмащуваних підшипників ковзання зводиться до визначення величини зазору із умови міцності пластмасового вкладишу і теплового розрахунку, який забезпечує нормальну роботу вузла тертя.

Вихідними даними для розрахунку є діаметр і довжина шийки вала, навантаження на підшипник і частота обертання вала. Вказані величини відомі, як правило, з експлуатаційних умов та технічних вимог, які застосовуються до вузла тертя.

1. Основні конструктивні розміри підшипника визначають за формулою

$$S = (0,05 \div 0,07)d_{\text{в}}; \quad (3.1)$$

де S – товщина стінки; $d_{\text{в}}$ – діаметр вала.

2. Діаметр гнізда під вкладиш підшипника

$$D_{\text{вн}} = d_{\text{в}} + 2S; \quad (3.2)$$

Найдений діаметр гнізда округляється до значення, яке передбачено рядом переважних чисел, з метою виготовлення отвору за допомогою інструменту у співвідношенні з діючими ДЕСТами.

3. Внутрішній діаметр підшипника при запресованому вкладиші

$$d_{\text{пр}} = d_{\text{в}} + \Delta;$$

де $d_{\text{пр}}$ – внутрішній діаметр вкладиша після запресування;

Δ – рекомендована величина складального зазору в з'єднанні вал–вкладиш.

4. Зовнішній діаметр вкладишу знаходять із співвідношення

$$D = D_{\text{вн}} + \delta; \quad (3.3)$$

δ – рекомендована величина натягу.

5. Для визначення величини усадки внутрішнього діаметра вкладиша при його запресуванні у гніздо маємо

$$I_{np} = \delta \frac{D_{вн}}{d_{np}}.$$

6. Внутрішній діаметр вкладишу у вільному стані

$$d = d_{np} + I_{np};$$

Як показала практика, підшипники ковзання з пластмас потрібно віднести до класу тихохідних: чим вище частота обертання вала, тим менше навантаження, яке може витримати підшипник (наприклад, при швидкості обертання 3 об/хв підшипник з поліаміду може витримати діаметральний тиск до 35 Мпа, а при швидкості обертання 1500 об/хв діаметральний тиск повинен бути зниженим до 0,5 Мпа).

При розрахунку пластмасових підшипників ковзання внаслідок значної різниці між модулями пружності полімеру і сталі корпус підшипника можливо вважати абсолютно жорстким по відношенню до вкладиша.

Вузли тертя з застосуванням у якості антифрикційного матеріалу пластмас характеризуються наявністю великих зазорів між валом і вкладишем. Але не дивлячись на значну величину зазору контакт між валом і вкладишем проходить по площадці достатньої величини, що призводить до невеликої концентрації напружень у зоні контакту. Ця обставина забезпечує значну вантажопідйомність пластмасового підшипника при порівняно невисокій міцності самого полімеру.

Ризиковим перетином пластмасового вкладишу є середина зони контакту (рис.3.1), де передбачається деформація стінки U_0 і невеликі напруження радіальні T_r , тангенційні T_0 і осьові T_z .

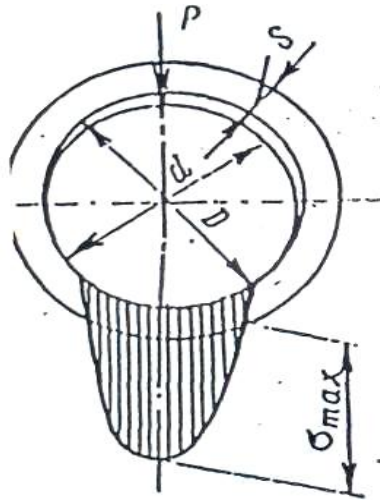


Рис. 3.1. Розрахункова схема немащеного підшипника ковзання.

Виникаюча при роботі підшипника сила тертя являє собою інтегральну суму елементарних сил тертя, які лежать по всій зоні контакту.

Таким чином, сила тертя і момент тертя залежать від величини нормального тиску, коефіцієнта тертя і величини кута контакту.

Значення величини кута контакту залежить від ряду параметрів. Кут контакту збільшується при збільшенні сили навантаження, товщини стінки, а також при зменшенні величини зазору в з'єднанні вал–вкладиш і в значній мірі залежить від модуля пружності матеріалу вкладиша. Кут контакту необхідно визначати за характеристикою, яка залежить від всіх наведених вище параметрів одночасно. Аналіз напруженого стану вкладиша дозволяє визначити цю характеристику у вигляді

$$L = -\frac{PS}{2EBl}; \quad (3.4)$$

де L – відносна характеристика зони контакту; P – навантаження; B – радіус гнізда вкладиша; l – довжина підшипника, S – товщини стінки вкладиша, E – ефективний модуль пружності.

$$L = \sin \beta - \frac{\beta}{\cos \beta} - \frac{4 \sin \beta}{3(\pi - \beta)} (\operatorname{tg} \beta - \beta);$$

де β – половина кута контакту.

При оцінці працездатності підшипника значний інтерес представляють найбільші величини напружень, деформацій і прогинів вкладиша.

Радіальна деформація стінки вкладиша, тобто переміщення вала під навантаженням

$$U_{cm} = \frac{\Delta}{2} \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right);$$

Найбільша відносна деформація матеріалу вкладиша

$$\varepsilon = \frac{\Delta \beta}{2RS} \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right);$$

Радіальне напруження

$$\tau_r = \frac{P}{RLl} \left(\frac{2}{3} \frac{\operatorname{tg} \beta - \beta}{\pi - \beta} + \frac{1}{\cos \beta} - 1 \right); \quad (3.5)$$

Тангенціальне напруження

$$\tau_0 = \frac{1}{3} \tau_r; \quad (3.6)$$

Осьове напруження

$$\tau_z = \frac{2}{3} \tau_r = 2\tau_0; \quad (3.7)$$

У випадку роботи підшипника у динамічному режимі визначення динамічної кутової характеристики зони контакту підшипника виконують за формулою:

$$L_\partial = \frac{k_\partial SP}{2E_\partial (b - U_{cm})Bl};$$

За кутовою характеристикою визначають половину кута контакту при динамічному навантаженні, користуючись таблицями. Далі розрахунок T_r і T_∂ , T_z , $T_{\text{екв}}$ аналогічний приведеному вище.

Після розрахунку підшипника на міцність перейдемо до розгляду теплового режиму роботи підшипника.

Визначають кількість теплоти, яка виділяється.

$$Q = 0,883 f d P n z; \quad (3.8)$$

де f – коефіцієнт тертя в парі сталь–пластмаса; d – діаметр вала в м; P – повне навантаження на підшипник в Н; n – частота обертання вала за хвилину; z – кутовий коефіцієнт, який визначають для вкладиша з розрізом

$$z_p = \frac{\beta \operatorname{tg} \beta}{L};$$

Для суцільного вкладиша

$$z_c = \frac{3\pi + \beta}{3(\pi - \beta)} \times \frac{\beta - \operatorname{tg} \beta}{L};$$

Приблизно можна приймати $z_p = 0,510$ і $z_c = 0,565$.

Розглянемо тепловий баланс підшипника ковзання, який працює при встановленому режимі, і припустимо, що теплота, яка виділяється в зоні тертя, відводиться в оточуюче середовище з деякої поверхні F , отримаємо

$$Q = \pi d l \alpha_{np} \Delta t; \quad (3.9)$$

де D, d, l – геометричні розміри підшипника; $\Delta t = t_n - t_0$; t_n – температура в зоні тертя підшипника, $^{\circ}\text{C}$; t_0 – температура оточуючого середовища, $^{\circ}\text{C}$; α_{np} – приведений коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт/м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$$\alpha_{np} = \frac{1}{\frac{1}{2\lambda_1} d \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_n \psi_n}} + \alpha_e \varphi_0;$$

λ_1 – коефіцієнт теплопровідності пластмасового вкладиша, Вт/м⁰С; α_n, α_v – коефіцієнти тепловіддачі з поверхні корпусу підшипника і вала, Вт/м² 0С; ψ_n, ψ_a – коефіцієнти розвинутості поверхні корпусу підшипника і вала ($\varphi_n = \frac{F_n}{F}$; $\varphi_o = \frac{F_o}{F}$; де F_n, F_v де – поверхні корпусу підшипника і вала, які приймають участь у теплообміні з навколишнім середовищем, м²).

Рекомендують, щоб отримане значення Δt з 3.9 не перевищувало 20-30°С для підшипників з вкладишами із термопластів і 40-50° – із реактопластів. Інакше виконують коректування розмірів і конструкції підшипника або заміну матеріалу .

2. РОЗРАХУНОК ЗМАЩУВАНИХ ПЛАСТМАСОВИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ У РЕЖИМІ РІДИННОГО ТЕРТЯ.

Розрахункові залежності змащуваних підшипників ковзання наведені з умови розгляду гідродинамічного режиму роботи рухомого з'єднання і оцінки теплового напруження конструкції.

Гідродинамічні залежності дозволяють: а) розрахувати розподіл тиску, б) несучу можливість підшипника, в) моменти тертя і г) витрати мастила. Теплові розрахунки конструкцій дають можливість в свою чергу визначати середню температуру підшипника, оскільки при цьому враховують тільки геометричні розміри з'єднання і властивість мастила. Але при розрахунку пластмасових підшипників, які працюють у режимі рідинного тертя, необхідно враховувати значні деформації матеріалу вкладиша під навантаженням, так як в результаті деформації форма зазору змінюється, що веде до зміни гідродинамічних характеристик.

З врахуванням впливу контактних деформацій матеріалу вкладиша на гідродинамічну вантажопідйомність підшипника розрахунок величини повної

вантажопідйомності підшипника, товщини і температури змащеного шару можна визначити за наступною схемою.

Для розрахунку гідродинамічної несучої можливості задають:

1. Радіус цапфи вала r , довжину підшипника L , товщину пластмасового вкладиша δ , швидкість ковзання V , модуль пружності матеріалу вкладиша E , середню температуру мастила $t^{\circ}_{\text{ср}}$, відносний зазор $\psi = \frac{R-r}{r}$; (де R – радіус вкладиша; r – радіус вала), мінімальну товщину змащеного шару h_{mtn} і середню в'язкість масла.

2. Безрозмірний коефіцієнт режиму роботи

$$c_1 = \frac{\psi r}{h_0} - 1;$$

де $h_0 = (1 \div 1,4) h_{\text{mtn}}$ – товщина змащеного шару у перетині, в якому $\frac{dP}{dz} = 0$; (z – безрозмірна координата зони тертя у напрямку, зворотному руху).

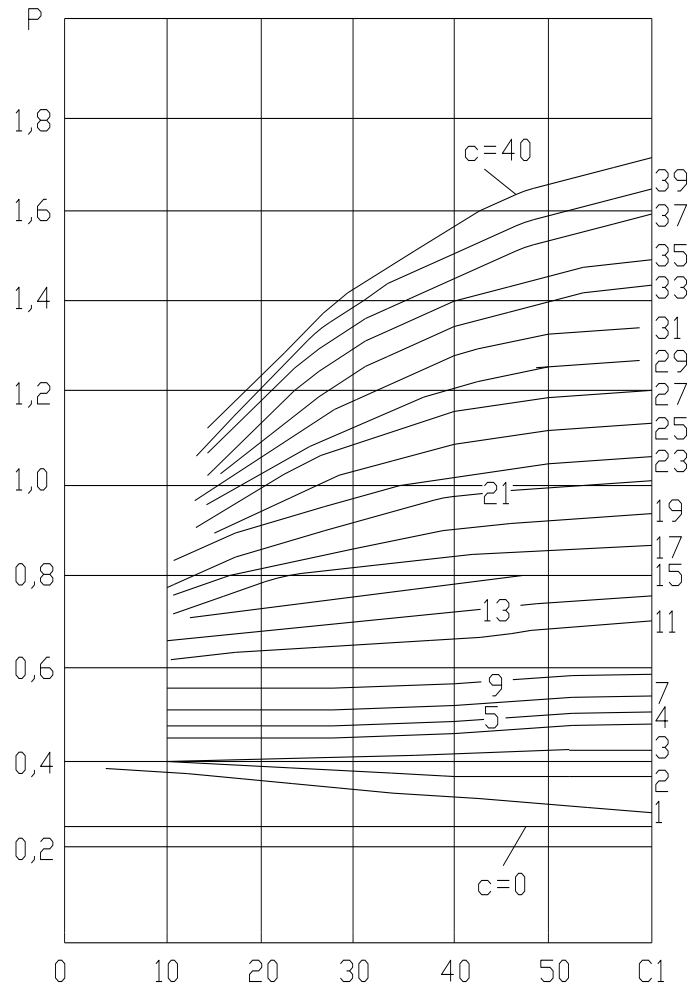


Рис.3.2. Номограма до розрахунку коефіцієнта C_1

3. Основний режимний параметр B , масштабний параметр B_1 , безрозмірний коефіцієнт деформації C вираховують за формулами:

$$B = \frac{6\gamma v_r}{h_0^2} \sqrt{\frac{2h_0}{\psi_r}}; \quad B_1 = r \sqrt{\frac{2}{C_1 + 1}}; \quad c = \frac{\delta B}{Eh_0};$$

4. По коефіцієнтам c і c_1 знаходять безрозмірне навантаження на одиницю довжини вкладиша L по графікам.

5. Визначають гідродинамічну несучу можливість.

$$P_0 = rB \sqrt{\frac{2}{C_1 + 1}} P;$$

6. Повна вантажопідйомність підшипника $P_1 = P_0 L$.

Для визначення товщини змащеного шару

1. Задаються величинами $r, L, \delta, \psi, E, V, P_1, t$ та сортом мастила.
2. Визначають середню в'язкість масла по кривій залежності в'язкості масла від температури.
3. Знаходять значення параметрів I_1 і I_2 :

$$I_1 = \frac{6\sqrt{2}\delta_r v V}{E \psi^3 r^2}; \quad I_2 = \frac{P_1 \psi^3}{12VvL};$$

4. Розрахувавши I_1 і I_2 по графіках визначають параметр I_3 , потім із виразу

$$h_0 = \sqrt[3]{\left(\frac{P_1 \delta}{E I_3}\right)^2 \frac{\psi}{2r}};$$

5. Визначають товщину змащеного шару. Приблизну величину h_{mtn} знаходять за формулою

$$h_{\text{min}} = 1,625 \left(\frac{\delta}{E}\right)^{0,18} \left(\frac{L}{P_1}\right)^{0,44} (Vv)^{0,62} \frac{r^{0,64}}{\psi^{0,42}};$$

При визначенні температури змащеного шару для підрахунку:

1. Задаються параметрами $r, L, \delta, \psi, E, V, P_1, h_{\text{mtn}}$ і сортом мастила.
2. Знаючи параметри c_1 і I_3 знаходять безрозмірне навантаження на одиницю довжини P .
3. Середня в'язкість масла

$$v = \frac{P_1 h_0 \psi}{12v_r L P};$$

4. Знаючи в'язкість даного масла за графіком залежності в'язкості масла від температури, знаходимо середню температуру масла у підшипнику.

У випадку, якщо результати розрахунку не задовольняють пред'явленим вимогам, розрахунок повторюють, варіюючи при цьому матеріалом вкладишу, E, Ψ, h_0 або сортом мастила.

Якщо при розрахунку перепад температур виявиться недопустимим ($\Delta t^\circ \geq 40^\circ$), необхідно передбачити додаткове охолодження вузла тертя.

Якщо отримана кількість мастила, яка необхідна для охолодження, перевищує ту кількість змазки, яка може витікати через зазор у підшипнику, необхідно у конструкції пластмасової втулки передбачити спеціальні канавки для виводу з підшипника цієї додаткової кількості мастила.

Загальну кількість змастила (в л/г), яка витікає через зазор, визначають за формулою

$$I_3 = 60 \left(7P_{nut} + \frac{50P_c}{\varphi} \right) \frac{\Delta_0^3 d}{4Lv_t};$$

де v_t – в'язкість мастила у підшипнику при температурі експлуатації; p_c – тиск мастила на вході; φ – відношення відстані від краю канавки до краю підшипника до загальної довжини підшипника (при відсутності канавок $\varphi=0,5$).

Перетин канавок для виводу частини мастила, яка не може пройти через зазор з необхідною швидкістю, визначають за формулою

$$F = \frac{G_0 - G_m}{90\varphi_0 \sqrt{P_c}};$$

де φ_0 – коефіцієнт витікання (приймається значення, рівне 0,6, якщо канавка для випуску зроблена до торця підшипника, та 1,0, якщо канавка зроблена у корпусі і виводить мастило у спеціальну магістраль).

3. РОЗРАХУНОК ПІДШИПНИКІВ, ЯКІ ЗМАЩУЮТЬ ВОДОЮ

При експлуатації пластмасових підшипників ковзання, які змащують водою, яка має незначну динамічну в'язкість, значення числа Рейнольдса суттєво (на два-три порядки) відрізняється від того критичного, яке характеризує роботу підшипника з ламінарною течією мастила у зазорі.

Частота обертання n , при якій виникає турбулентність у змащеному шарі, прямо пропорційна динамічній в'язкості мастила і зворотно пропорційна величині $r^2 \Psi$.

Особливості розрахунку пластмасових підшипників з турбулентною течією мастила обумовлюються специфікою розподілу швидкостей та чисельними значеннями напружень тертя.

Аналіз процесу показує, що протікання мастила за робочими параметрами тотожно ламінарному режиму течії у рухомому з'єднанні, яке працює в тих

самих умовах, але має швидкість на величину $\frac{k_x}{12}$ більшу, ніж швидкість

ламінарного режиму, і відношення $\frac{l}{d}$, рівне $\frac{l}{d} \sqrt{\frac{k_z}{k_x}}$, де k_z і k_x – коефіцієнти подібності.

Таким чином, якщо при заданій швидкості і в'язкості мастила з'єднання працює у турбулентному режимі, воно може нести навантаження більше, чим у випадку роботи у ламінарному режимі, теоретично на 12-15%. Експериментально було досягнуто підвищення несучої можливості пластмасових підшипників, які змащують водою; на 8-12%.

Підвищення несучої можливості пластмасових рухомих з'єднань за рахунок зміни режиму протікання мастила має велике практичне значення, так як розширює можливість їх застосування. При цьому виникає задача можливо більш точного визначення умов переходу від ламінарної до турбулентної течії мастила у зазорі.

На рис. 3.3 і 3.4 приведені основні закономірності для визначення числа Re і втрат на тертя. За допомогою графіків можливо коректувати результати розрахунків. Наприклад, для підшипника з розмірами $R = 3,5\text{см}$, $l = 5\text{см}$, при $\Psi = 0,04$, який змащують водою ($\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$), і $n = 400$ об/хв отримаємо

$$Re = \frac{\pi R^2 \psi}{30 \nu}; \quad Re = \frac{3,14 \times 0,035^2 \times 0,04}{30 \times 10^{-6}} = 2050;$$

Обчислене значення Re значно перевищує критичне, яке визначається за рис. 3.3 і рівне $Re_{кр} = 650$. Виходячи з цього, підшипник буде працювати у турбулентному режимі і втрати на тертя будуть більшими, ніж при ламінарному в k_m раз. У нашому випадку для $Re = 2050$ отримуємо $k_m = 3$, тобто втрати на тертя у турбулентному режимі протікання будуть у три рази більшими, ніж при ламінарному режимі протікання мастила.

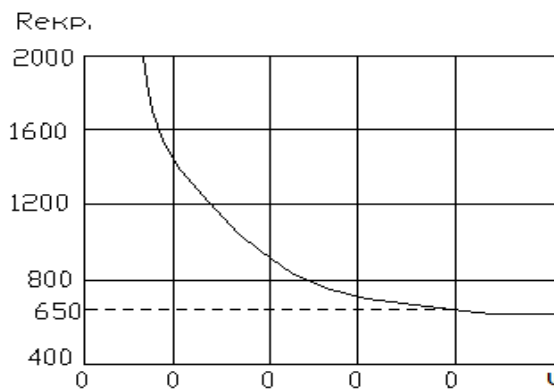


Рис. 3.3. Залежність числа Re від відносного зазору Ψ .

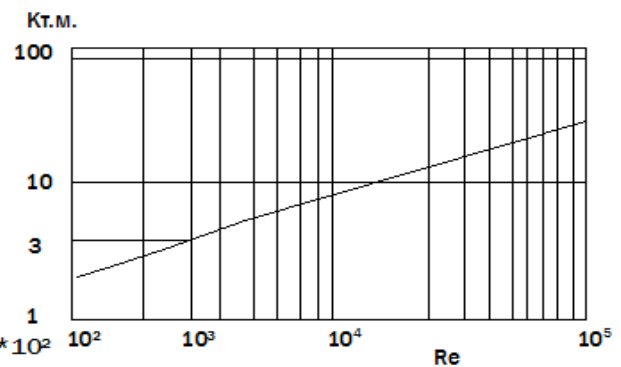


Рис. 3.4. Залежність $h_{тл}$ від Re і Ψ .

В іншому методика розрахунку пластмасових підшипників ковзання, які змащують водою, не відрізняється від розрахунку звичайних підшипників з ламінарною течією мастила в зазорі.

4. ПІДШИПНИКИ КОЧЕННЯ

В конструкціях підшипників кочення деталі з пластмас знаходять застосування у якості тіл коливання, сепараторів, а в окремих випадках в якості кілець. До факторів, які допомагають застосуванню пластмас в якості деталей підшипників кочення, відносяться: хімічна стійкість, відсутність іскровиникнення, безшумність в роботі, зменшення маси підшипника, менші вимоги до точності виготовлення пластмасових підшипників кочення, відсутність необхідності в термообробці металевих кілець, можливість витримувати значні ударні навантаження.

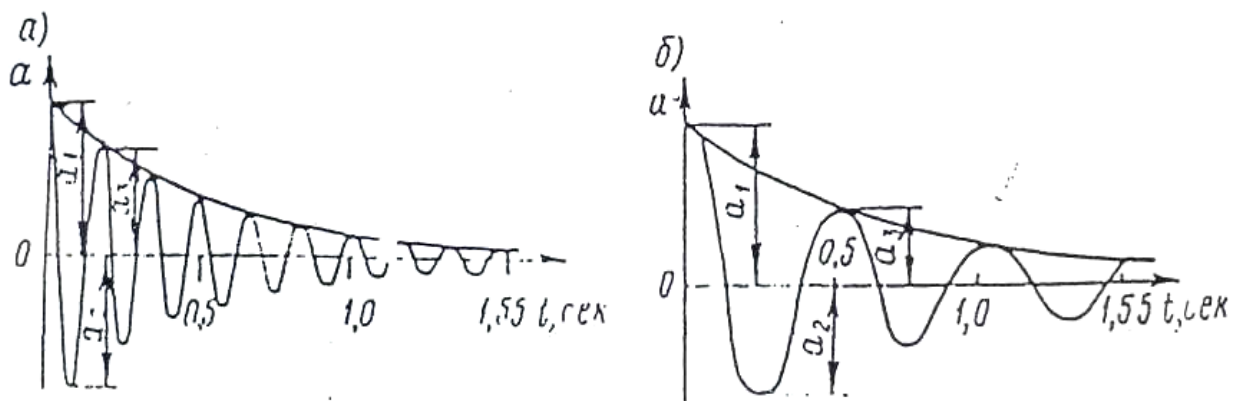


Рис. 3.5. Криві амплітуди затухання ударних навантажень у підшипниках кочення : а – зі стальними кулями; б – з пластмасовими кулями.

Підрахунок демпфіруючої здатності за формулою

$$D = \ln \frac{a_1}{a_3} \sqrt{4\pi^2 + \left(\ln \frac{a_1}{a_3} \right)^2} ;$$

де D – демпфіруюча здатність підшипника кочення; a_1 і a_3 – амплітуди загасання, дає наступні результати: для підшипників коливання з кульками із

поліформальдегіду $D=0,01$; для підшипників кочення зі сталевими кульками $D=0,05-0,055$.

Застосування підшипників кочення з пластмасовими кульками перспективно у випадках, які характеризуються невеликою частотою обертання (до 15-20 об/хв), але при значних колових швидкостях (до 140-160 м/хв) з невеликими по величині, але ударними за характером навантаженнями (до 1500-2000 Н). Такі режими роботи характерні для вузлів сільськогосподарських, текстильних та побутових машин, автомобілей, у розрахунково- вирішуючих пристроях.

Вантажна здатність підшипників з пластмасовими тілами кочення обмежується великою деформацією кульок. Характерні залежності деформації кульок з різних матеріалів від навантаження наведені на рис. 3.6; вони показують, що деформація пластмасових кульок в шістдесят разів перевищує деформацію сталевих, скляних, керамічних кульок. Однак зі збільшенням деформації збільшується і площа контакту, виходячи з цього, при низьких значеннях допустимих контактних напружень вантажна здатність пластмасових кульок все ж таки значна. Для орієнтовних розрахунків вантажної здатності можливо використовувати наступну формулу:

$$p = q \frac{R}{d_{\kappa}^2 z \cos \beta} + \frac{k_1 A}{d_{\kappa}^2 z \sin \beta} \leq k;$$

$$k = \frac{P}{d_{\kappa}^2}; \quad q = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \cos i \frac{360}{z}}; \quad n = \frac{z}{2} \leq \frac{z}{4};$$

Тут, p – питоме навантаження на найбільш навантажену кульку, Н/м^2 , q – коефіцієнт розподілу радіального навантаження; R , A – радіальна і осьова складові навантаження на підшипник, Н (при розрахунку радіальних підшипників складову A можна вважати рівною нулю); n – коефіцієнт, який враховує ексцентричність застосування осьового навантаження; визначається за графіками (рис.3.7) в залежності від величини відносного ексцентриситету

$$C = \frac{l}{r}$$
 (l, r – відповідно відстань між віссю підшипника і лінією дії осьової сили на підшипник і центром кульки); k_1 – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження як результат неоднаковості розмірів кульок; значення k_1 визначають за графіками рис. 3.8; d_k – діаметр кульки, м, z, z_1 – відповідно загальне число кульок і число кульок в навантаженій зоні підшипника; β – кут контакту; P – допустиме навантаження на пластмасову кульку; k – коефіцієнт вантажопідйомності пластмасової кульки, який визначається за рис.3.9.

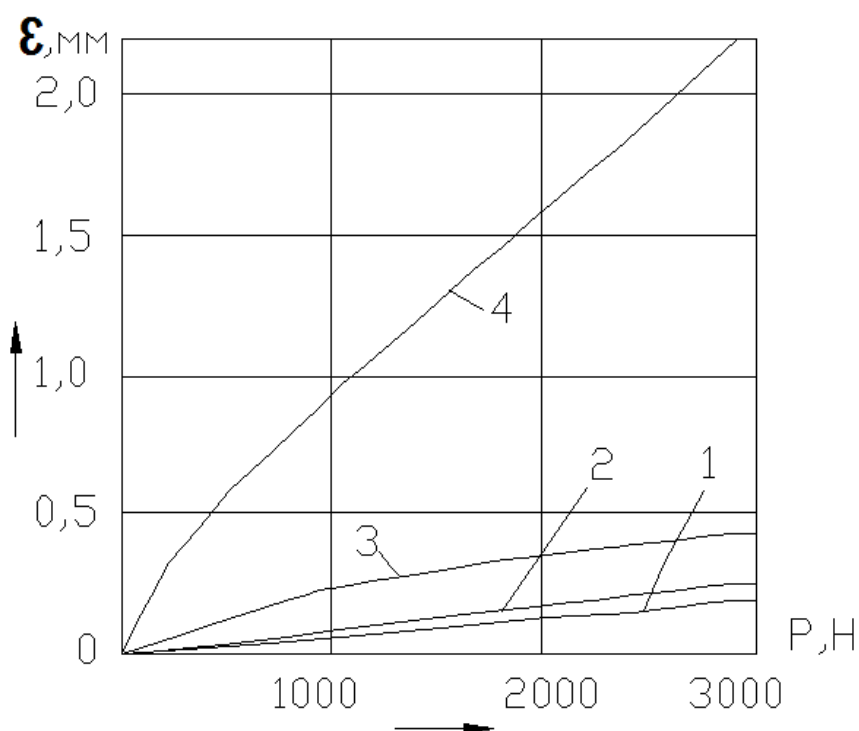


Рис. 3.6. Криві деформації (в залежності від положення навантаження кульок Ø 16 мм, 1 зі сталі; 2-із скла; 3-з кераміки; 4-з поліаміду

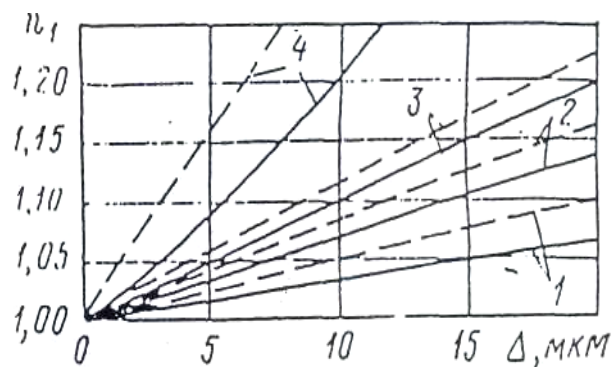
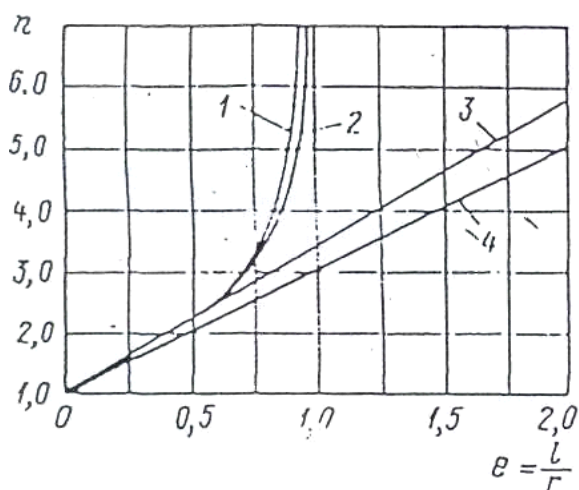


Рис.3.7. Графік для визначення коефіцієнта n в залежності від величини s : 1, 2- відповідно, для кульових і роликів однорядних підшипників- 3,4-для кульових і роликів дворядних підшипників

Рис.3.8. Вплив різниці Δ у розмірах пластмасових кульок ($d=25,4\text{мм}$) на розподілення навантаження при різних радіусах жолобу: $r = 12,83\text{ мм}$ (штрихові лінії), $r=13,3\text{мм}$ (суцільні лінії) 3,4 – для кульок з волокніту поліформальдегіду, полікарбонату та крейдово-волокніту, поліаміда

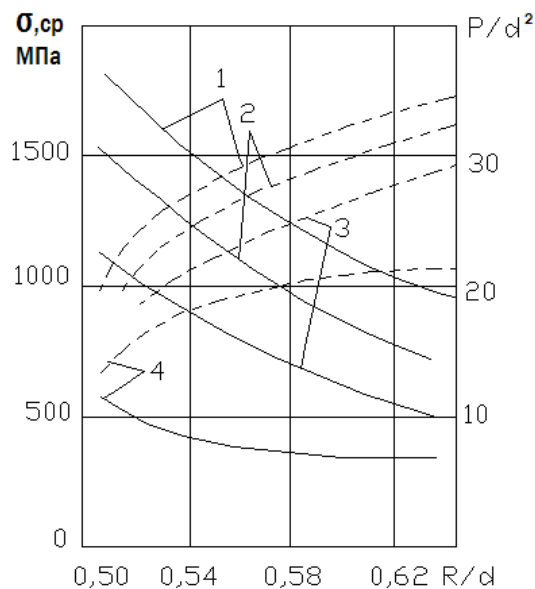


Рис. 3.9. Допустимі навантажувальні параметри (штрихові лінії) і коефіцієнт вантажопідйомності (суцільні лінії) при розрахунку пластмасових підшипників кочення: 1,2,3,4, - відповідно, для кульок з поліформальдегіду, поліаміду, полікарбонату та крейдово-волокніту

При приблизних орієнтовних розрахунках можна вважати, що вантажопідйомність пластмасових підшипників кочення нижча в три-вісім разів, ніж вантажопідйомність сталевих такої ж конструкції і розмірів.

Довговічність підшипників з пластмасовими тілами кочення залежить від типу та величини навантаження, колової швидкості, конструкції підшипників, технології виготовлення та матеріалу пластмасових тіл кочення. Точні дані, які дозволяють оцінити довговічність пластмасових підшипників кочення, відсутні.

Для обмеженого типу пластмас і обмеженого інтервалу навантажень аналіз даних про довговічність пластмасових підшипників кочення показує, що довговічність збільшується зі збільшенням навантаження, колової швидкості і зі зменшенням відношення радіусу жолобу кільця $\tau_{\text{ж}}$ до діаметру кульки $d_{\text{к}}$ до 0,515. Останнє пояснюється зменшенням просклизування поверхні кульки по поверхні жолоба і, отже, зменшенням втрат на тертя. Зменшення відношення $\tau_{\text{ж}}$ до $d_{\text{к}}$ нище 0,515 не рекомендується виходячи з того, що у цих випадках при навантаженні підшипника може трапитися врізання пластмасової кульки у жолоб доріжки кільця.

Використання у підшипниках кочення тіл кочення з пластмаси дозволяє застосовувати доріжки із легких металів або твердих пластмас, а також із алюмінію, магнію, текстоліту. Застосування вказаних матеріалів сприяє подальшому зниженню маси підшипника (до 60-80% у порівнянні зі сталевими).

Іноді застосування пластмасових тіл кочення потребує створення особливих конструкцій, які сприяють збільшенню вантажопідйомності підшипника за рахунок збільшення площі контакту. До числа таких конструкцій відносяться так звані дротяні підшипники кочення. Їх вантажопідйомність дещо нища, ніж у звичайних кульових підшипниках; це пояснюється лінійним контактом тіл кочення (як у роликових підшипниках) у зв'язку з тим, що радіуси кульок і жолобів доріжок кочення дротяних кілець рівні. Збільшення числа контактів (рівне числу дротяних кілець) тіла кочення і доріжок також сприяє збільшенню вантажопідйомності пластмасових підшипників кочення. Крім того, пластмасові дротяні підшипники кочення мають ряд переваг при експлуатації: порівняно низьку чутливість до впливу бруду, пилу, до якості застосованого мастила; спроможність легкої заміни окремих зношених деталей (дротяних кілець, тіл кочення, сепараторів). Деякі конструкції дротяних пластмасових підшипників приведені на рис. 3.10.

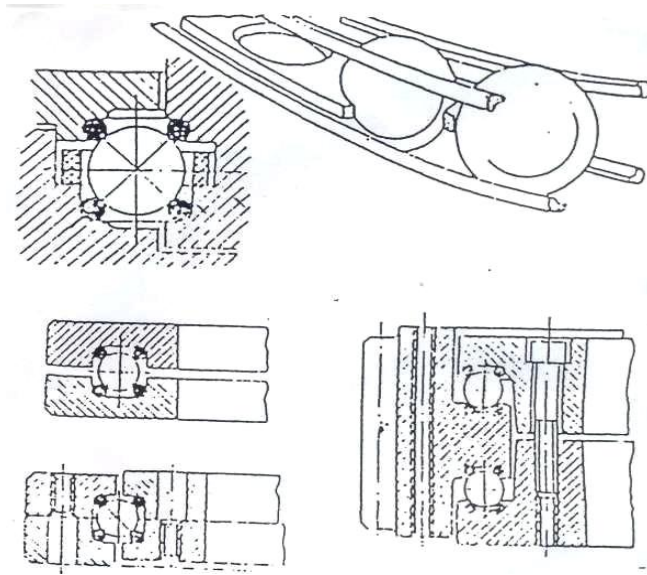


Рис. 3.10. Принципова схема конструкції дротяного пластмасового підшипника кочення і приклади його конструктивного виконання.

Крім тіл кочення у підшипниках кочення, пластмаси можна застосовувати для виготовлення деталей сепараторів, особливо для високошвидкісних підшипників кочення. Мала питома маса пластмас сприяє не тільки зниженню загальної маси підшипника, але і зменшенню інерційних навантажень у підшипнику, а високі антифрикційні властивості і зносостійкість сприяють покращенню роботи підшипника і вузла машини уцілому. У якості матеріалів для виготовлення сепараторів підшипників кочення можна застосовувати шаровисті пластики з графітовими наповнювачами, волокнити, поліаміди, фенопласти.

При проектуванні підшипників кочення з пластмасовими сепараторами необхідно враховувати низьку теплостійкість пластмас та розмірну нестабільність, яку можна зменшити термообробкою (наприклад, кип'яченням у воді або витримкою у гарячому маслі при температурі 80°C). Застосування пластмас у якості матеріалу для сепараторів дає можливість конструювати нові їх форми. Для прикладу на рис.3.11 зображений нероз'ємний сепаратор із поліаміду. Тіло кочення вводиться у гніздо сепаратора через отвір, який має менший діаметр, ніж у тіла кочення.

Використання в даному випадку пружних властивостей матеріала значно спростило конструкцію сепаратора. Особливо вдале застосування пластмас у якості сепараторів підшипників кочення хвильових передач.

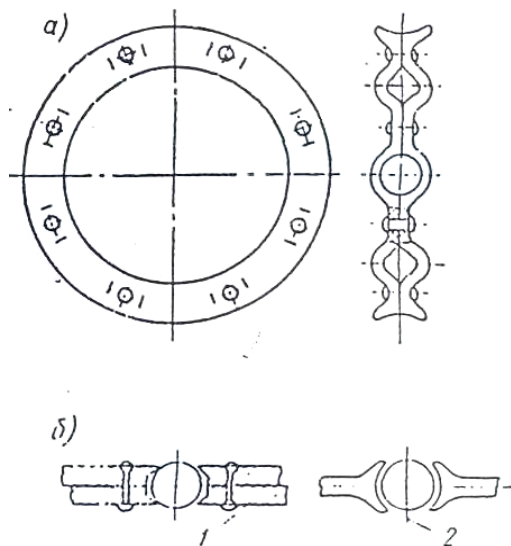


Рис. 3.11. Приклади конструкцій пластмасових сепараторів: а – пресований з перетином постійної товщини; б – способи закріплення кульок : 1-металевий сепаратор; 2 – пластмасовий сепаратор

Підшипники кочення кулачкових хвильових генераторів у випадку використання в них сепараторів звичайної конструкції мають збільшені втрати на тертя. Зважаючи на збільшену гнучкості кілець підшипників кулачкових генераторів вони характеризуються більшою, ніж у звичайних підшипників, різницею у величині сил тертя в навантажених і ненавантажених зонах. При роботі у підшипнику виникають нерівномірні зазори між тілами кочення і сепараторами і нерівномірне навантаження останніх. Крім того, у передачах, які працюють у високому вакуумі, сепаратори звичайних конструкцій призводять до високих пускових моментів приводу, який збільшує знос і створює нерівномірні робочі характеристики хвильових передач. Застосування у підшипниках пластмасових сепараторів дозволяє виключити описані недоліки.

ГЛАВА 4

УЩІЛЬНЕННЯ ТА АМОРТИЗАТОРИ.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.

У багатьох конструкціях машин та агрегатів можливо застосовувати ущільнення та прокладки різних типів (рис. 4.1), амортизатори та тощо, вибір яких відбувається з урахуванням основних вимог:

- 1) забезпечення необхідної герметичності при достатньо тривалому строку служби ;
- 2) високих антифрикційних властивостей та зносостійкості при роботі зі змащенням або без змащення;
- 3) забезпечення незначного зносу рухомих деталей ущільнення.
- 4) високої термічної та хімічної стійкості;
- 5) простоти виготовлення і експлуатації конструкцій ущільнюючого вузла

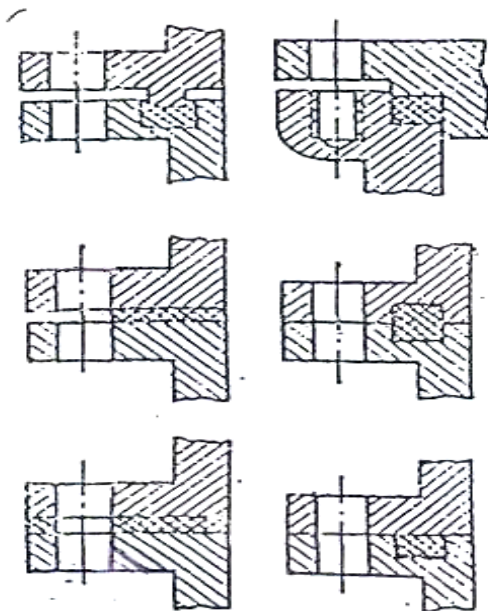


Рис. 4.1. Приклади конструкцій ущільнюючих вузлів з пластмасовими ущільнювача

В якості матеріалів для виготовлення деталей ущільнень можливо застосовувати пластмаси типу фторопластів, поліхлоровінілу, капрону, текстоліту та тощо. До головних факторів, які визначають вибір матеріалу та конструкції ущільнень для заданого робочого середовища в залежності від умов роботи, відносяться: швидкість та напрямок відносного переміщення деталей ущільнюючого вузла; урухомника та температури ущільнюючого середовища; допустимого витіку (відносна герметичність).

2. ПРОКЛАДКИ ДЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ СТИКІВ.

Основні конструкційні параметри ущільнюючих вузлів, призначених для герметичності стиків фланцевих з'єднань трубопроводів, кришок, арматури (рис. 4.2), визначають з наступних співвідношень:

$$P = P_d + P_i;$$

$$P_d = \frac{P_d \pi}{4} (D_a^2 - D_i^2); \quad (4.1)$$

$$\frac{P}{P_i} = n; \quad P_i = \frac{p_i \pi}{4} D_i^2 = P_d = \frac{4(p - p_i)}{\pi(D_a^2 - D_i^2)},$$

де P – ущільнююче зусилля (зусилля затягування болтів); P_d, P_i – контактні і внутрішні зусилля у з'єднанні; D_a, D_i – зовнішній і внутрішній діаметри ущільнюючої прокладки; n – коефіцієнт ущільнення; P_d, P_i – внутрішній і контактний тиск у з'єднанні.

Коефіцієнт ущільнення n для пластмасових ущільнень має порівняно низьке значення; $n = 2$ при тиску $p_i = 1 \text{ МПа}$, і $n = 3$ при тиску $p_i = 5 \text{ МПа}$.

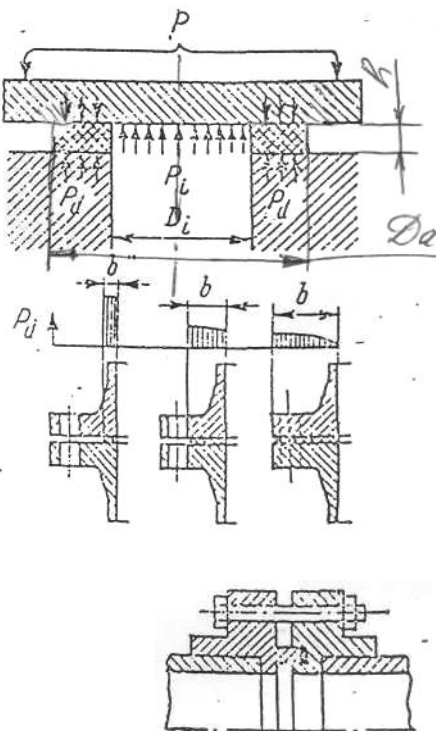


Рис.4.2. Типи та розрахункова схема ущільнюючих вузлів із застосуванням плоских прокладок

Основною характеристикою ущільнень за допомогою прокладок є співвідношення $\frac{P_d}{P_i}$, рекомендована величина якого для плоских широких прокладок знаходиться у межах 2 – 4, для прокладок, поміщених у широкі канавки, 3 – 6 і для прокладок у вузьких канавках – 3 – 8.

Для запобігання видавлювання у стиковий зазор матеріалу ущільнення прокладки розміщують у канавках, поперечний перетин яких повинен бути приблизно на 25 – 30 % меншим за поперечний перетин ущільнення. Товщину пластмасової прокладки h для ущільнення фланцевого з'єднання можливо приблизно визначити, використовуючи наступні рекомендації.

h , мм

При внутрішніх діаметрах прокладки до 75 мм 0,1

При внутрішніх діаметрах прокладки до 75 –

125 мм	0,5
При внутрішніх діаметрах вище 125 мм	6,5 – 7

Часто у гідроприводах сільськогосподарського машинобудування, станкобудування та тощо застосовують прокладки у вигляді кілець круглого перерізу (особливо з фторопласта – 4). Розрахунок кілець круглого перерізу має свою специфіку, так як нормальне напруження будь-якої величини безпосередньо не впливає на міцність ущільнення внаслідок того, що стиснення кільця відбувається у замкненому об'ємі (рис. 4.3) та деформація стиснення відсутня. Лімітуючим напруженням у даному випадку буде напруження зсуву τ . На рис. 4.3 наведені перерізу основних типів рухомих і нерухомих ущільнень з одним кільцем у прямокутній канавці.

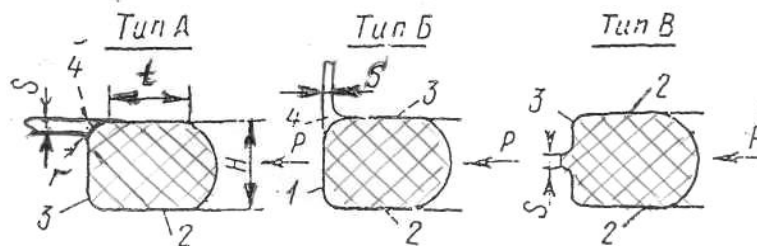


Рис. 4.3. Поперечні перерізу основних типів ущільнень з пластмасовими кільцями круглого перерізу

Розрахунок ущільнень необхідно робити за наступними вихідними рівняннями.

1. В умовах режиму роботи без зсуву у зазор:

для ущільнень типу А

$$ph_1 = \frac{0,209Gd}{1 - 0,66\mu\varepsilon} (1 + 1,27\sqrt{\varepsilon}); \quad (4.2)$$

для ущільнень типу Б

$$ph_1 = 0,532Gd(1 - \varepsilon); \quad (4.3)$$

де G – модуль зсуву; d – діаметр кільця; p – робочий тиск; μ – коефіцієнт Пуансона; $\varepsilon = \frac{\varepsilon - H}{d}$ попередній натяг кільця по висоті канавки, $f \times 45^\circ$ – фаска на стінці канавки.

У формулах (4.2) і (4.3) мінімальна товщина шару ущільнення, при якій не відбувається зсув матеріалу на закріплення або фаску, для ущільнень типів А і Б дорівнює $h_1 = s + r$ або $h_1 = s + f$, де S – зазор при даних умовах з урахуванням неспіввісності посадки.

2. У випадку режиму роботи, припускаючого зсув кільця:

для ущільнення типу А

$$ph_2 = \frac{0,196\pi d}{1 - 0,66\mu\varepsilon} (1 + 1,27\sqrt{\varepsilon});$$

для ущільнень типу Б

$$ph_2 = 0,566\pi d(1 - \varepsilon);$$

для ущільнення типу В, які мають два перерізи зрізу

$$ph_2 = \frac{0,393\pi d}{1 - 0,66\mu\varepsilon} (1 + 1,27\sqrt{\varepsilon});$$

де τ – максимальне напруження зсуву.

Причому товщина зсувного шару дорівнює:

для ущільнення типу А

$$h_2 = s + r[1 - \sin(\gamma - 47^\circ)];$$

для ущільнення типу Б

$$h_2 = s + r[1 - \sin(\gamma - 43^\circ)];$$

для ущільнення типу В

$$h_2 = s + 2r(1 - \sin \gamma);$$

де γ – кут деформації зсуву від напруження τ .

Якщо застосовується фаска $f \times 45^\circ$, то для всіх тисків h_2 - сума величин s і f в ущільненнях типів А і Б і $h_2 \approx s$ - в ущільненнях типу В з фаскою.

Для об'єктивної оцінки умов роботи кільця необхідно користуватися коефіцієнтом запасу $n = \frac{p_k}{p}$, де p_k - критичний тиск, при якому починається зсув кільця у зазорі.

Величина n має значення для статичного тиску від 1,2 до 1,5 і для вібраційного тиску від 1,8 до 2,5. Експлуатація ущільнення у режимі, який передбачає зсув кільця у зазорі, призводить до швидкого руйнування кільця. Тому у відповідальних випадках слід розраховувати ущільнення у режимі, який гарантує відсутність зсуву кільця у зазорі. Для цього доцільно застосовувати захисні шайби, які встановлюють на стінки канавки зі сторони зазору. Міцність та працездатність ущільнень збільшується при зменшенні зазору або відсутності радіусу закруглення (або фаски) стінки канавки; при збільшенні поперечного кільця або кількості послідовно працюючих ланок; при зменшенні пульсації тиску, збільшенні коефіцієнту запасу n ; при напрямку сил тертя проти сил тиску; нарешті, при збільшенні відношення міцності до модуля пружності пластмасового кільця.

3. РАДІАЛЬНІ УЩІЛЬНЕННЯ.

У гідросистемах станків, компресорів, ковальсько-пресового обладнання цехів можливо застосовувати ущільнення радіального типу у вигляді кілець з текстоліту і фторопласту (рис. 4.4). При розрахунку розмірів ущільнень необхідно виходити з умов забезпечення необхідного питомого тиску, який створюється кільцем, унаслідок стиснення його при монтажі. В цьому випадку

основні конструктивні параметри визначають, користуючись наступним співвідношенням між розмірами кільця та питомим тиском, який чинить кільце на стінки циліндра:

$$p = \frac{E \frac{f}{D}}{7 \times 0,8 \left(\frac{D}{t} - 1 \right)^2}; \quad (4.4)$$

де p – питомий тиск (приблизно 0,15 – 0,2 МПа); E – модуль пружності, МПа; f – різниця між зазором у стику вільного кільця і кільця, обжатого до розмірів циліндра; $D_{зов}$ – зовнішній діаметр кільця; t – радіальна ширина кільця.

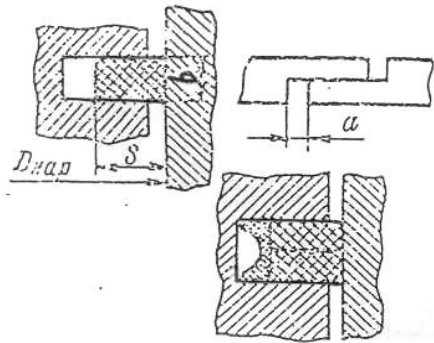


Рис.4.4. Текстолітові пружинячі кільця

Товщину кільця для діаметрів менших 150 мм у межах 1 – 1,5, а для діаметрів більше 150 мм за наступною емпіричною формулою:

$$b = 1,5 \times 0,027 D_{зов} + 5$$

Радіальна ширина кільця t складає:

$$\text{Для діаметрів менших 500 мм } t = 0,04 D_{зов} + 1;$$

$$\text{Для діаметрів більших 500 мм } t = 0,04 D_{зов}$$

Стиковий зазор, який має важливе значення при використанні таких кілець, дорівнює $a = 1,5 \times 0,001 D_{зов}$

Зазвичай в ущільнюючих з'єднаннях за допомогою пластмасових кілець або манжет застосовують не менше двох – трьох кілець (манжет).

Втрати на тертя при цьому визначають за наступними формулами:

– При ущільненні пластмасовими кільцями:

$$F = \pi D b f (z p_k + p); \quad (4.5)$$

– При ущільненні пластмасовими Ш-подібними манжетами:

$$F = \pi d h p f z \quad (4.6)$$

– При ущільненні шевронними манжетами:

$$F = \pi d f l p \quad (4.7)$$

де F – сила тертя ; D – діаметр циліндра (вала), м; b – ширина кільця, м; f – коефіцієнт тертя ущільнюючого матеріалу; z – число кілець (манжет); p_k – питомий (контактний) тиск кільця на стінки циліндрів; p – тиск ущільнюючого середовища; h – висота активної частини манжет, м; l – довжина ущільнюючої поверхні, м.

У багатьох випадках конструкції пластмасових манжет відрізняються лише розмірами (рис.4.5). У середній частині профілю кілець створюється найбільш слабкий перетин, який дозволяє отримати значно більшу деформацію під дією незначних сил, які створюються пружиною.

Для отримання слабого перерізу в кільцях приймають:

$$\alpha = 90^\circ; \alpha_1 = 2,5d; H = \frac{D-d}{2}; d = 0,3d; k = 0,845d$$

Сила натягнення пружини при допустимій напрузі для фторопласту, рівній 0,065 МПа, визначають із співвідношення $p = 0,13d^2n$, де n – число кілець.

Необхідне число кілець і зусилля пружини для фторопластового ущільнення, визначають за нанограмами.

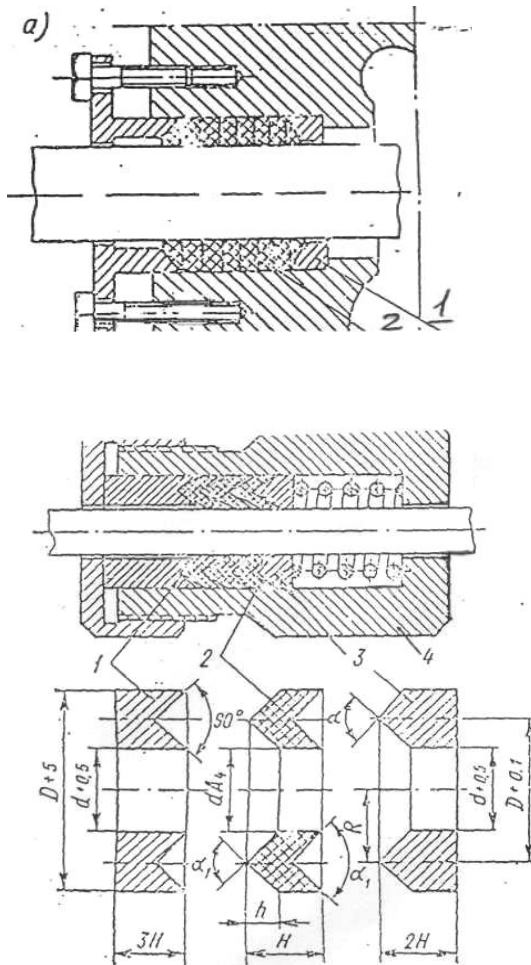


Рис. 4.5. Ущільнюючі манжетні кільця з фторопласту- 4:
 1,3 – металеві упорні та розпирні кільця;
 2 – ущільнюючі манжети із фторопласту;
 4 – корпус

На рис. 4.6 приведені для порівняння стара і нова конструкції ущільнення відцентрового насосу, який працює в миючій машині з каустичним розчином. Азбесто-графітова набивка дуже швидко виходила з ладу через вимивання графіту. У новій конструкції ущільнення є стопорне кільце, в яке встановлюють гумову прокладку для створення амортизації при роботі ущільнення. У нижню втулку вставлені капронові напівкільця, розрізані під кутом 180° . Це ущільнення збільшило строк служби ущільненого вузла більш ніж у 10 разів.

У тих випадках, коли пластмаси застосовують в якості ущільнень в рухомих вузлах, роботоспроможність їх визначається також фізико-

механічними властивостями матеріалів. Межі допустимих режимів експлуатації пластмасових ущільнень визначаються умовами їх застосування.

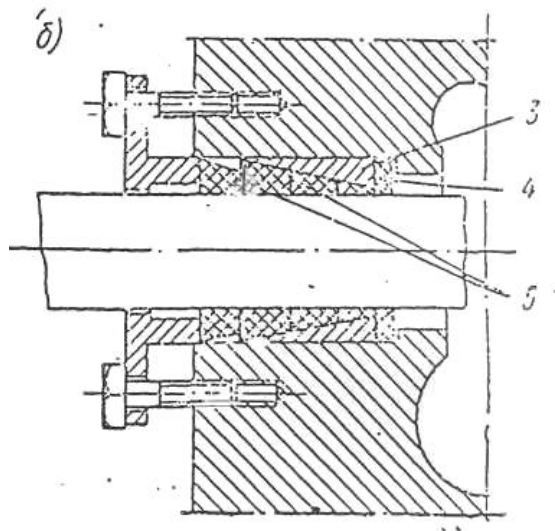


*Рис. 4.6. Приклади старої (а) та нової (б) конструкції ущільнення відцентрового насосу:
1 – ущільнююче кільце; 2 – азбесто-графітове ущільнююче кільце; 3 – конічна втулка; 4 – гумова прокладка; 5 – капронові ущільнюючі кільця*

4. САЛЬНИКОВІ НАБИВКИ

Найбільш простий і доступний спосіб використання пластмас для ущільнення – застосування стружки цих матеріалів в якості сальникових набивок. Можна використовувати стружку, яка є відходом при механічній обробці різанням різних деталей із пластмас і яка є на виробництві в достатній кількості.

Виготовлення кілець набивки можна здійснювати безпосередньо в сальниковій камері апарату, причому зусилля формування можна визначати по величині затягнення гайок за допомогою ключа.

Для збільшення непроникненості набивки в сальниковій камері дуже часто між окремими її кільцями кладуть прокладки, вирізані із тонкого листового (0,5-1 мм) фторопласту або поліетилену по розміру сальника.

Іноді для покращення тепловідводу між окремими кільцями набивки засипають тонкий шар (2-3 мм) чешуйчастого графіту, це покращує антифрикційні властивості набивки і збільшує строк її служби. Набивки мають багато переваг. Забезпечуючи гарну якість ущільнення, вони придатні для сальників будь-яких розмірів і форм, випадках їх використання немає необхідності мати в запасі на складі набивки різних розмірів, як при застосуванні набивок, які випускаються промисловістю. Крім того, не слід при зношенні набивки знімати її повністю, достатньо доповнити сальник деякою кількістю свіжої набивки і продовжувати роботу.

Найбільше розповсюдження у техніці знайшли сальникові набивки із фторопласту-4, і тому на їх проектуванні слід зупинитися конкретніше.

Вибір основних геометричних параметрів сальника в основному залежить від конструктора і диктується конкретними умовами роботи вузла і конструктивною особливістю всієї машини.

Встановивши висоту набивки h і ширину її b_n , діаметр ущільнюючого вала D , матеріал і чистоту обробки поверхні вала і сальникової камери, а також знаючи умови роботи ущільнення (тиск середовища p_0 і частоту обертання вала n_v), приступають до розрахунку.

Для набивки із стружки фторопласту-4, яка працює в умовах змащення і без змащення, формула для визначення коефіцієнту бокового тиску має вигляд

$$\lg k = \frac{\lg(7,57 p_z^{-0,1} h^{0,1})}{\lg(1,31 \times 10^{-3} b_n^{-0,9} p_z^{0,1})}, \quad (4.8)$$

а для рихлої набивки (із суміші стружки фторопласту-4 і графіту)

$$k = 3,2 b_n^{0,6} h^{0,17} \quad P_r < 7 \text{ МПа} - \text{тиск герметичності.}$$

Далі слід визначити осьовий тиск в набивці, який відповідає даному тиску герметичності:

$$p_y = \frac{p_z}{k}, \quad (4.9)$$

Для врахування впливу характеру поверхні вала і сальникової камери необхідно знати величини kf_b і kf_k , де f_b і f_k – відповідно коефіцієнти статичного тертя набивного матеріалу, який виникає на поверхнях набивка – вал і набивка – камера.

Добутки kf_b і kf_k визначають за допомогою рівняння виду

$$kf = ap_y^b. \quad (4.10)$$

Значення коефіцієнта α і показника b не є постійними і залежать від висоти набивки h .

Так, для набивки із стружки фторопласту-4, яка працює в умовах змащення і без змащення, формули для визначення коефіцієнта α і показника b мають вигляд:

$$\alpha = qh^2 + mh + n; \quad b = q_1 h^2 + m_1 h + n_1. \quad (4.11)$$

Аналогічні формули для рихлої набивки (із суміші стружки фторопласту-4 і графіту).

$$\alpha = 10^{mh+n}; \quad b = m_1 h + n_1.$$

Залежності (4.11) отримані при заміні перемінних: осьового тиску в набивці від 0,2 до 20,0 МПа, висоти набивки в сальнику до 8 см.

Коефіцієнти, які входять в приведені вище рівняння, залежать від стану поверхні, матеріалу вала і сальникової камери. Значення цих коефіцієнтів приведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 Кількісні значення параметрів формул (4.8) і (4.11)

Характеристика поверхні сталі ∇	q	m	n	q ₁	m ₁	n ₁	Матеріал набивки
Сталь, R _z 40	1920	-175	13	-20,7	1,65	- 0,37	Набивка із стружки Фторопласту- 4, яка працює в умовах змащення
Сталь, R _z 20	2240	-190	8,1	-35,6	2,80	- 0,30	
Сталь, R _z 10	2400	-15	7,9	-45,0	4,00	- 0,26	
Чавун, R _z 20	2320	- 205	7,9	-40,7	3,50	- 0,28	
Сталь, R _z 40	411	-28,6	1,09	-35,4	2,37	- 0,176	Набивка із стружки Фторопласту- 4, яка працює без змащення
Сталь, R _z 20	406	-30,3	1,20	-34,6	2,40	- 0,147	
Сталь, R _z 10	—	—	—	—	—	—	
Чугун, R _z 20	391	-32,6	1,42	-3,14	2,42	- 0,141	
Сталь, R _z 40	—	-5,0	0,38	—	0,77	- 0,247	Рихла набивка (суміш стружки фторопласту-4 і графіту)
Сталь, R _z 20	—	-10,4	0,87	—	1,56	- 0,292	
Сталь, R _z 10	—	-18,3	1,60	—	2,75	- 0,360	
Чугун, R _z 20	—	-16,7	1,40	—	2,50	- 0,342	

Значення цих величин дозволяють обчислювати необхідне зусилля нажиму за формулою

$$p_n = \frac{\pi}{4} (D_\kappa^2 - D_\epsilon^2) \frac{p_\epsilon}{k} \exp \frac{4(D_\kappa k f_k + D_\epsilon k f_\epsilon)}{D_\kappa^2 - D_\epsilon^2}, \quad (4.12)$$

де p_n – необхідне зусилля нажиму; D_v – діаметр вала; D_k – діаметр сальникової камери; h – висота набивки; p_z – тиск герметичності; k – коефіцієнт бокового тиску; e – основа натуральних логарифмів.

Для оцінки сили тертя, яка виникає в сальнику, необхідно знати величину коефіцієнта кінетичного тертя, який визначається за наступними формулами:

а) Для набивки із стружки фторопласту-4, яка працює в умовах змащення,

$$f_{кин} = 11,6 p_y^{-0,34} v^{0,17},$$

де $p_y = 0,25 \cdot 10^{-2} \div 6 \cdot 10^{-2}$ МПа; $v = 0,05 \div 0,35$ м/сек;

б) Для набивки із фторопласту-4, яка працює без змащення,

$$f_{кин} = 200 p_y^{-0,43} v^{0,40},$$

де $p_y = 0,25 \cdot 10^{-2} \div 4 \cdot 10^{-2}$ МПа; $v = 0,05 \div 0,18$ м/с;

с) Для рихлої набивки (суміш стружки фторопласту-4 і графіту)

$$f_{кин} = 7,6 p_y^{-0,26} v^{0,16},$$

де $p_y = 0,4 \cdot 10^{-2} \div 6 \cdot 10^{-2}$ МПа; $v = 0,05 \div 0,35$ м/с.

Величина сили тертя визначається по рівнянню

$$T = \frac{\pi D_v f_{кин} p_z (D_k^2 - D_v^2)}{4(D_k k f_k + D_v k f_v)} \left(\exp \frac{4(D_k k f_k + D_v k f_v) h}{D_k^2 - D_v^2} - 1 \right), \quad (4.13)$$

де $f_{кин}$ – коефіцієнт тертя між набивкою і валом, який обертається (значення інших величин вказані вище).

Це рівняння дозволяє вирахувати втрати потужності на тертя за відомою формулою $N = T v$.

У всіх приведених залежностях фігурує дійсна висота набивки h , яку набуває набивка при певному нажимному зусиллі. Тому щоб визначити висоту сальникової камери, необхідно до початкової висоти h_0 (висота до навантаження) прибавити деяку величину для направлення нажимної втулки.

Таким чином

$$H = h_0 + 2,5 b_n = h \frac{1}{\varphi} + 2,5 b_n, \quad (4.14)$$

де φ – коефіцієнт, який враховує усадку набивки (рис.4.7).

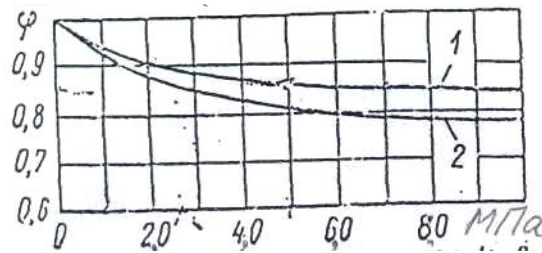


Рис. 4.7. Залежність величини φ від тиску нажимної втулки:
1 – для стружки з фторопласту - 4; 2 – суміш фторопласту - 4 та графіту

5. ТОРЦЕВІ УЩІЛЬНЕННЯ ВАЛОВ, ЩО ОБЕРТАЮТЬСЯ

– Торцеві ущільнення по своїм експлуатаційним якостям вигідно відрізняються від всіх інших ущільнень валів, що обертаються. Так, втрати потужності на тертя в торцевих ущільненнях складають 10-15% втрат потужності в сальникових ущільненнях. Основний вузол, який забезпечує працездатність такого ущільнення, – ущільнюючі кільця, тертя яких і створює герметичність.

Надійність роботи торцевого ущільнення визначається фізико-механічними властивостями матеріалів ущільнюючих кілець, а саме пластмас.

Конструктивні розміри пластмасових елементів в торцевих ущільненнях визначаються за рівнянням

$$P_{\text{шт}} = \frac{F - T \pm \frac{\pi}{12} p (D_2^2 + D_2 D_1 + D_1^2 - 3d^2)}{\frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)}, \quad (4.15)$$

де $p_{\text{шт}}$ – середній питомий тиск в парі контакту; p – перепад тиску в рідині, яка працює в зазорі пари тертя; F – сила пружини; T – сила тертя кільця по валу; d , D_1 , D_2 – діаметри вала і кільця пари тертя, що обертається (знак плюс береться для внутрішніх, знак мінус – для зовнішніх торцевих ущільнень).

В більшості випадків відношення площі, на яку діє тиск рідини, що притискає рухомий елемент пари до нерухомого, до площі прилеглих поверхонь знаходиться у межах 0,3...0,4 для рідин малої в'язкості і до 0,6 для рідин великої в'язкості. Це відношення називають коефіцієнтом навантаження:

$$k = \frac{D_1^2 - d^2}{D_1^2 - D_2^2}$$

Іноді з ціллю створення торцевого ущільнення з будь-яким ступенем гідравлічного розвантаження застосовують сильфони (частіше всього із фторопласту, поліхлорвінілу і поліамідів), конструктивні розміри яких визначають рішенням наступного рівняння:

$$P_{nut} = \frac{F + \frac{\pi}{12} p [D_2^2 + D_2 D_1 + D_1^2 - 1,5(d_2^2 - d_1^2)]}{\frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)} \quad (4.16)$$

де F – сила пружності сильфону; d_1, d_2 – відповідно найменший і найбільший діаметри гофри сильфону.

Сильфонні пластмасові ущільнення застосовують для невеликого величин тиску середовища (0,3-0,5 МПа) і, як правило, встановлюють з пружинками.

Отже, виконанням співвідношень (4.15) і (4.16) розрахунок і вибір основних конструктивних параметрів пластмасових торцевих ущільнень не закінчується. Для забезпечення надійної працездатності ущільнюючого вузла необхідно перевірити вибрану конструкцію на вплив максимальної температури в зоні тертя. Для цього слід провести аналіз теплового режиму роботи торцевого ущільнення, використовуючи наступні рівняння:

$$\begin{aligned}
Q &\leq Q_p \leq 8,43 f_{v_1 T} P; Q = Q_1 + Q_2; \\
f_{v_1 T} &= k_T (f_{v_0 t_0} + \Delta f_v); \\
\left(t_n - \frac{B^2}{A^2} \right) A \lambda [\exp(AL) - \exp(-AL)] &= \alpha_3 x; \\
Q_1 &= \lambda F A \frac{x [\exp(AL) + \exp(-AL)] - 2 \alpha_3 \left(\frac{B^2}{A^2} - t_{c_3} \right)}{A x [\exp(AL) + \exp(-AL)] + \alpha_3 [\exp(AL) - \exp(-AL)]}; \\
Q_2 &= \lambda' F A' \frac{t_n \left[\exp(A'L') + \exp(-A'L') + 2 t_k - 2 \frac{B_1^2}{B_2^2} [\exp(A'L') - 1] \right]}{\exp(A'L') - \exp(-A'L')}; \\
A &= \sqrt{\frac{2(\alpha_1 R + \alpha_2 r)}{\lambda(R^2 - r^2)}}; B_{1,2} = \sqrt{\frac{2\alpha_{1,2} R t_{c_1} + \alpha_{1,2} t_{c_2}}{\lambda(R^2 - r^2)}}
\end{aligned} \tag{4.17}$$

Де f_v , τ – коефіцієнт тертя ковзання; f_{v_0} , t_0 – коефіцієнт тертя при швидкості ковзання 0,05 м/с і температурі 40°C; Δf_v і k_t – відповідно виправні коефіцієнти на швидкість ковзання і на температуру; Q – кількість теплоти, яка виникає при терті між ущільнюючими кільцями, Вт; Q_1 – кількість теплоти, яка перейшла в обертове. ущільнююче кільце, в Вт; Q_2 – кількість теплоти, яке переходить в нерухоме кільце, Вт; λ і λ' – коефіцієнти теплопровідності кілець, які обертаються і нерухомі, Вт/м К; α_1 і α_2 – відповідно коефіцієнти тепловіддачі від зовнішньої, внутрішньої і неробочої торцевої поверхні, Вт/м²К; F – поверхня тертя, м²; R і r – зовнішній і внутрішній радіуси кілець, м; L і L' – довжини кілець, які обертаються та нерухомого ущільнюючого, мм; t_n , t_k , t_{c1} , t_{c2} ,

$t_{сз}$ – температури на поверхні тертя, корпусу механізму, середовища іззовні кільця, усередині кільця і середовища зі сторони неробочого торця, °С .

6. АМОРТИЗАТОРИ

Строк служби гумових амортизаторів, які застосовують у техніці, незначний, особливо якщо на них потрапляє мастило, бензин і т.п. Але, так як майже всі машини мають змащувані деталі, то при використанні для погашення вібрацій в конструкціях гумових амортизаторів доводиться передбачати їх захист від мастила або палива. Ця необхідність відпадає при використанні пластмасових амортизаторів, найкращими матеріалами для яких є термопласти. Здатність пластмас гасити механічну енергію пояснюється гистерезисними і релаксаційним явищами.

З пластмас в основному можна виготовляти амортизатори наступних груп:

- 1) пружні прокладки – віброгасники (рис.4.8);

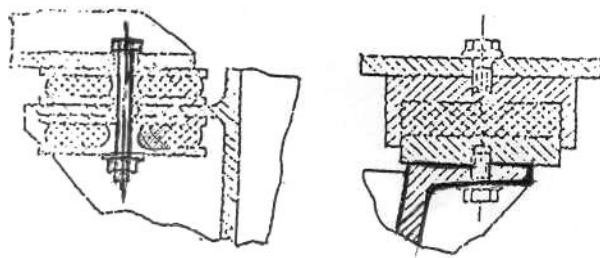


Рис. 4.8. Приклади конструкцій пластмасових пружних прокладок

- 2) пружні універсальні сферичні шарніри у важільних системах з обмеженими вугловими і лінійними переміщеннями (рис.4.9).

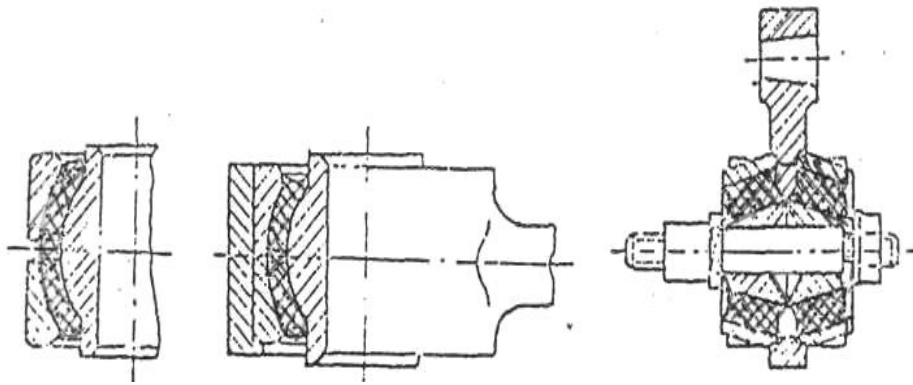


Рис. 4.9. Приклади пружних універсальних (сферичних) шарнірів з пластмасовими амортизаторами

Оскільки амортизований за допомогою пластмасових елементів механізмів або вузол машини володіє шістьма ступенями свободи, то для правильного вибору основних конструктивних параметрів пластмасових амортизаторів необхідно розраховувати їх характеристики як для кожного виду деформації, так і для можливих сполучень декількох видів деформацій.

а) Основні розрахункові формули для визначення характеристик зсуву і стиску пластмасового амортизатора прямокутної форми (рис.4.10) мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} Q &= Gab \frac{f}{h} \leq [\sigma]_{cm} ab; \\ P &= Ekab \frac{\Delta h}{h} \leq [\sigma]_{cm} ab, \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

де Q і P – відповідно сили, що зсувають і стискають амортизатор; E і G – модулі пружності і зсуву; a , b , h – розміри пластмасового амортизатора (рис.4.10); f – лінійна деформація зсуву; Δh – вигин амортизатора; k – коефіцієнт форми, який визначають за рис.4.11.

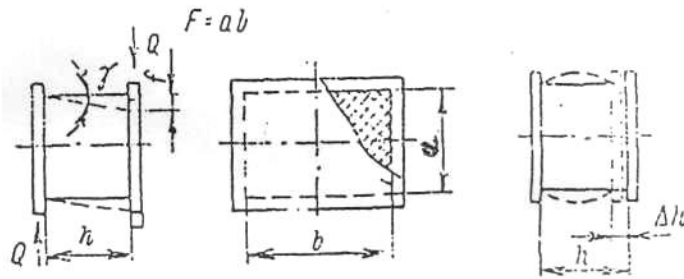


Рис.4.10. Розрахункова схема для визначення характеристик зсуву та стиску пластмасових прямокутних амортизаторів

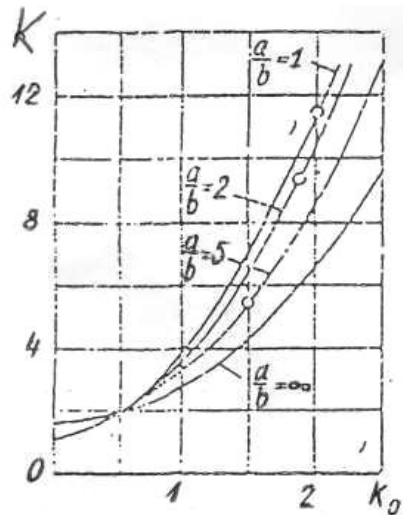


Рис. 4.11. Графіки для визначення коефіцієнтів форми k

б) У випадку, якщо на амортизатор діє зусилля P під кутом α (рис.4.12), для розрахунку характеристик зрушення і стиснення амортизатора прямокутної форми маємо співвідношення для направленого амортизатора

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{Ekab}{h - \Delta S \cos \beta} \Delta S \cos \alpha \cos \beta + \frac{Gab}{h} \Delta S \sin \alpha \sin \beta; \\ R &= \frac{Ekab}{h - \Delta S \cos \beta} \Delta S \cos^2 \alpha + \frac{Gab}{h} \Delta S \sin^2 \alpha \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

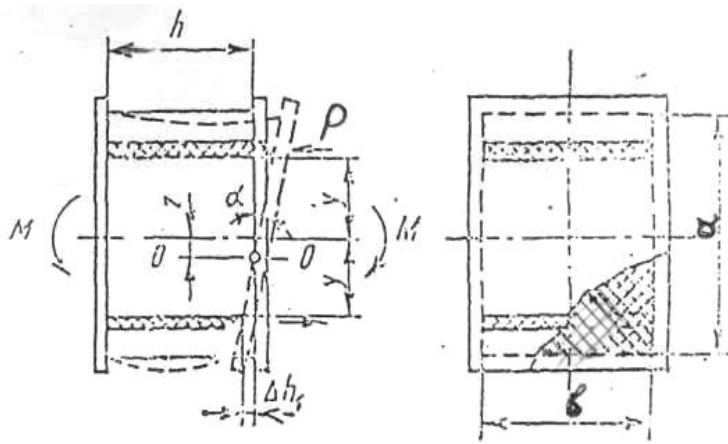


Рис. 4.12. Розрахункова схема до рівняння (4.19)

в) Характеристики перекосу і кручення (рис.4.13) пластмасових амортизаторів прямокутної форми можна визначити за наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{a^2 \alpha}{8h}; M = \frac{Ek'a^2 b \alpha}{12h}; \\ M_k &= \frac{Gab(a^2 + b^2)}{12h} \varphi \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

де M – момент, вісь дії якого паралельна одній із вісей симетрії і опорним поверхням амортизатора; L – зміщення нейтральної осі перекосу амортизатора; α – кут перекосу амортизатора, рад; k' – коефіцієнт форми при перекосі амортизатора ($k' = 0,6 \div 0,8$); M_k – зовнішній крутений момент, який закручує амортизатор; φ – кут закручення.

Наведені вище формули абсолютно адекватні лише для незначних величин деформацій Δh , L , $\alpha\varphi$ і потребують уточнення при великих деформаціях пластмасових амортизаторів. Отже, виходячи з того, що при існуючому рівні технології виготовлення пластмас і їх вихідні механічні властивості мають суттєве розходження, яке перевищує іноді $\pm 15\%$, використання вказаних формул можливе у всіх випадках. При цьому помилка буде в межах 3-5%, що цілком допустимо.

Характеристики симетричних амортизаторів інших видів можна розрахувати також по наведеним вище або аналогічним формулам. Наприклад, при розрахунку характеристик пластмасових амортизаторів, які мають форму шайб, в формулах (4.16) – (4.19) необхідно лише замість площі прямокутного амортизатора підставити величину площі шайби, а саме замість добутку ab підставити $\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$, де D і d – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри пластмасової шайби.

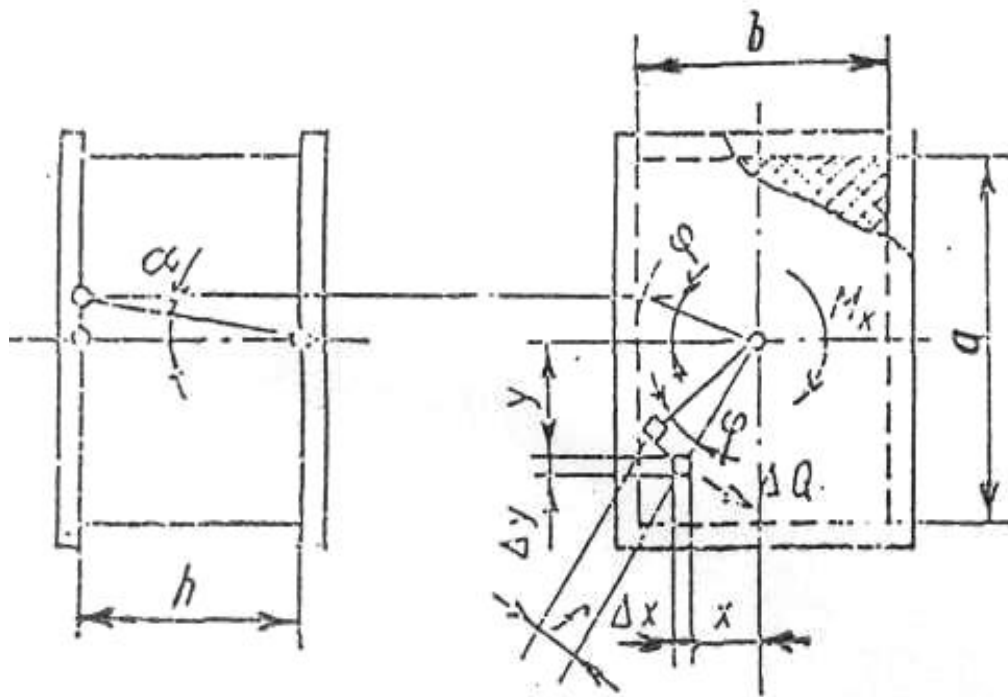


Рис. 4.13. Розрахункова схема для визначення характеристик перекосу та кручення пластмасових амортизаторів

Величини допустимих напружень для деяких видів пластмас приведені в табл. 4.2. При розрахунку комбінованих металопластмасових амортизаторів граничні напруження необхідно вибирати з врахуванням міцності кріплення пластмаси до металу.

Граничні напруження для пластмасових амортизаторів

Таблица 4.2

Характер деформацій	Граничні напруження, МПа								
	При статичному навантаженні			При ударному короткостроковому навантаженні			При довгостроковому динамічному навантаженні		
	полі-ізобутилен	полікарбонат	пінопласт	поліізобутилен	полікарбонат	піноласт	полі-ізобутилен	полікарбонат	піноласт
Розтяг	1,0 -2,0	2,5-3,0	0,5-0,8	1,0-1,5	3,5-5,0	0,5-1,0	0,5-1,0	2,0-3,0	0,3-0,5
Стиск	3,0-5,0	5,0-7,0	1,0-1,2	2,5-5,0	6,0-8,0	0,8-1,2	1,0-1,5	2,5-3,5	0,3-0,5
Паралельний зсув	1,0-2,0	4,0-6,0	0,5-0,8	1,0-2,0	5,0-7,0	0,5-1,0	0,3-0,5	2,0-2,5	0,3-0,5

Зсув з поворотом	2,0	3,5-5,0	1,5	2,0	4,0-5,0	1,0	0,3-1,0	1,0-1,5	0,3-0,5
Зсув із скрученням	2,0	3,5-5,0	1,5	2,0	3,0-4,0	1,0	0,3-0,5	1,0-1,5	0,3-0,5

Розрахунок комбінованої системи з пластмасовими амортизаторами можна виконувати звичайними методами.

Довготривалість пластмасових амортизаторів залежить від якості і виду матеріалів, конструктивного оформлення, величини і характеру прикладання навантаження, величини деформацій амортизатора і умов експлуатації. В

середньому можна рахувати, що строк служби пластмасових амортизаторів в 1,2-1,5 разів вище, ніж строк служби гумових амортизаторів аналогічної конструкції. При проектуванні пластмасових амортизаторів можна користуватися тими ж рекомендаціями, що і при проектуванні гумових амортизаторів. Наприклад, слід по можливості обходити джерела кронцентрації напружень, так як вони різко понижують довговічність пластмасового амортизатора. Призначаючи розміри пластмасових амортизаторів, потрібно виконати умову, згідно якої між деталями, що амортизуються і основою не повинно бути безпосереднього контакту при різних видах навантаження. Необхідно також враховувати зміни форми і розмірів пластмасових амортизаторів в результаті деформацій від навантаження, щоб, наприклад, деталь, що проходить через амортизатор (болт на рис.4.8) не притискалася деформованим амортизатором. При конструюванні пластмасових амортизаторів повинна бути відома технологія їх виготовлення. Форма амортизаторів повинна бути простою, а при виготовленні їх литтем або пресуванням повинні бути передбачені уклони. І нарешті, при конструюванні пластмасових амортизаторів необхідно враховувати, що ступінь деформації

суттєво залежить від виду навантаження: найбільші деформації виникають під дією навантажень, які визивають напруження зсуву, найменше – при навантаженнях, які визивають напруження стискання. Тому амортизатори зсуву характеризуються порівняно низькою вантажопід'ємністю, але мають велику гнучкість, а амортизатори стиснення, навпаки, відрізняються великою вантажепід'ємністю, але малою гнучкістю. Крім того, гнучкість амортизатора залежить від товщини амортизатора, із зменшенням товщини амортизатора вона збільшується.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ І РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мирзоев Р.Г., Кугушев И.Д., Брагинский В.А. и др. Основы конструирования и расчета деталей из пластмасс и технологической оснастки для их изготовления. – Л. : Машиностроение, 1972. 416 с.
2. Перегудов В.В. Тепловые установки в производстве изделий с применением пластмасс. – М. : Высшая школа, 1970. – 288 с.
3. Уорд И. Механические свойства твердых полимеров. – М. : Химия, 1975. – 350 с.
4. Пивень А.Н., Гречаная Н.А., Чернобыльский И.И. Теплофизические свойства полимерных материалов. Справочник. – К. : Вища школа, 1976. – 180 с.
5. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. – К. : Воля, 2006. – 552 с.