Лекція 2. ПОЛІМЕРНІ БЕТОНИ

План

1. Полімери
2. Полімерцементні бетони
3. Бетонополімери
4. Полімербетони
5. Полістирол бетони

Полімерні бетони - це бетони, при приготуванні яких в якості в'яжучого використовуються полімерні смоли, а наповнювачами є пісок і щебінь.

Полімерні бетони підрозділяються на

- ***полімерцементні*** (в'яжуче - цемент + водорозчинна полімерна добавка) і ***полімерсілікатні*** (в'яжуче - рідке скло + фуріловий спирт ($C_5H_6O_2$));
- ***бетонполімери*** (бетони, що просочені полімерами);
- ***полімербетони***.

Полімерні бетони діляться на

- **важкі** (щільність 1800 ... 2100 кг/м^3) з щільним мінеральним заповнювачем;
- **легкі** (щільність 900 ... 1200 кг/м^3) з пористим мінеральним заповнювачем;
- **особливо легкі** (щільність 140 ... 450 кг/м^3) з високопористим заповнювачем з пінополістиролу, пробки та ін.

на початок

ПОЛІМЕРИ

Полімерами називають речовини, молекули яких складаються з численних елементарних ланок (**мономерів**) однакової структури. Процес з'єднання молекул мономерів у великі молекули полімеру, без виділення побічної продукції, називається ***полімеризацією***. Перехід мономерів у полімери відбувається самостійно, під впливом каталізатора або під дією енергетичної обробки (світлові та під дією рентгенівські γ - промені, струми високої частоти та інш.). На процес полімеризації значно впливає температура. Полімеризацією отримують поліетилен, полістирол, вініпласт, фторопласти, поліакрилати та інш.

Кількість мономерів у молекулі полімеру позначають літерою *n* і називають ***коефіцієнтом полімеризації***. Значення коефіцієнту полімеризації може змінюватися від кількох десятків до сотень тисяч.

$$nCH_2 = CH_2 \rightarrow \frac{P(тиск), T(^oC)}{каталізатор} \rightarrow (-CH_2 - CH_2 -)n,$$

Властивості полімерів визначаються їх хімічним складом, будовою та взаємним розташуванням молекул.

Молекули полімеру - це ланцюг, що складається з окремих ланцюжків. Поперечний переріз ланцюга дорівнює кільком ангстремам, а довжина кільком тисячам ангстрем. Тому молекулам полімеру властива гнучкість, яка є однією з основних особливостей полімерів.

Молекули полімерів можуть мати лінійні (ланцюгові), розгалужені, плоскі, стрічкові (сходинкові), просторові або сітчасті форми (рис. 1).

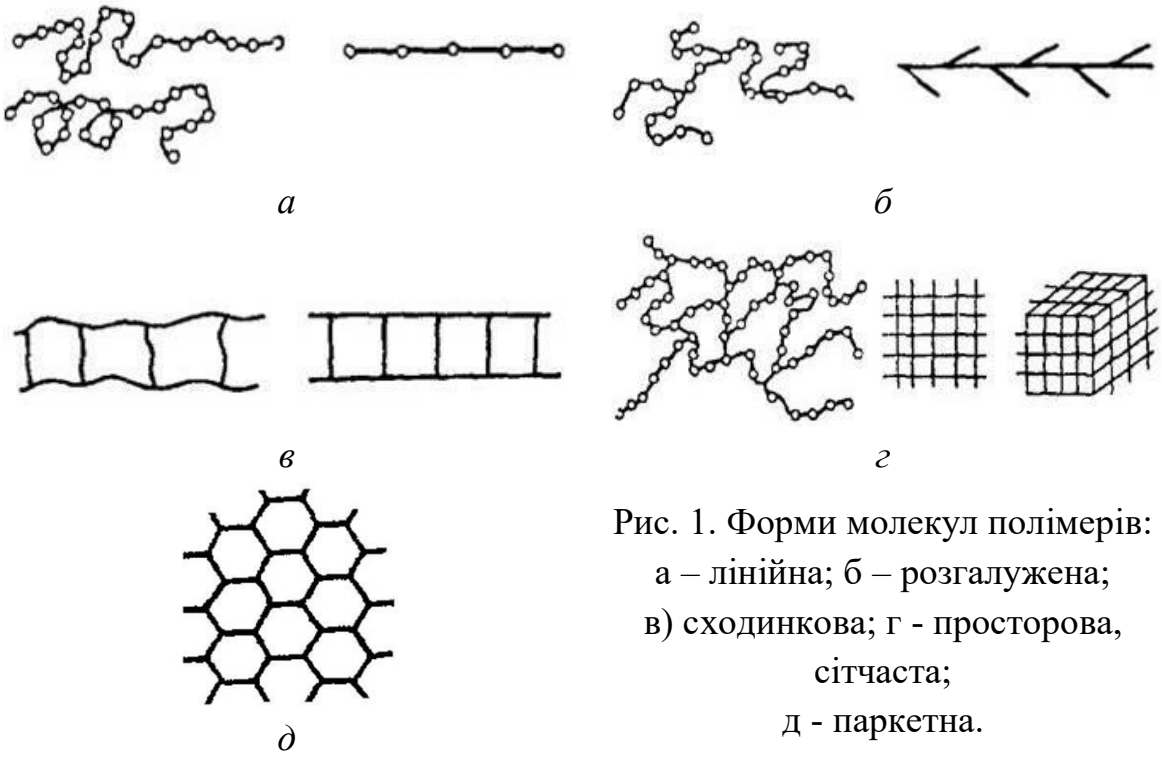

Рис. 1. Форми молекул полімерів:
а – лінійна; б – розгалужена;
в) сходинкова; г - просторова,
сітчаста;
д - паркетна.

Полімери розподіляються на *природні* та *штучні*. Природними полімерами є натуральний каучук, целюлоза, слюда, азбест, природний графіт. Основу штучних полімерів складають синтетичні полімери, які отримують у процесі хімічного синтезу низькомолекулярних з'єднань. Синтезом можна отримувати полімери з різноманітними властивостями і навіть створювати матеріали із заздалегідь заданими властивостями.

Для зручності вивчення зв'язку між складом, структурою та властивостями полімерів їх можна класифікувати за різними ознаками, наприклад, за формою молекул, складом, фазовим станом, полярністю, відношенням до нагріву.

У залежності від форми молекул полімери розподіляються на *лінійні* (рис. 1, а), *розгалужені* (рис. 1, б), *плоскі* або *стрічкові* (рис. 1, в), *просторові* або *сітчасті* (рис. 1, г).

За *складом* полімери поділяють на органічні, елементоорганічні та неорганічні.

Органічні полімери є найбільш великою групою сполук. Якщо основний молекулярний ланцюг таких сполук утворений тільки з атомів вуглецю, то вони називаються *карболанцюговими* полімерами. У *гетероланцюгових* полімерах атоми інших елементів крім вуглецю, що є в основному ланцюгу, істотно змінюють властивості полімеру. Так, атоми кисню сприяють підвищенню гнучкості ланцюга, що веде до збільшення еластичності полімерів (наприклад, для волокон, плівок); атоми фосфору і хлору підвищують вогнестійкість; атоми сірки підвищують газонепроникність (для герметиків, гум); атоми фтору, надають полімеру високу хімічну стійкість тощо. Органічними полімерами є смоли і каучук $(-C_5H_8-)n$.

Елементоорганічні сполуки містять у складі основного ланцюга атоми неорганічних речовин - кремнію, титану, алюмінію та інших елементів, які поєднуються з органічними радикалами (метильний-CH_3-, етильний-C_2H_5-). Органічні радикали надають матеріалу міцність і еластичність, а неорганічні - підвищену теплостійкість.

До *неорганічних* полімерів відносяться силікатне скло, кераміка, слюда, азбест. У складі цих сполук вуглецевий скелет відсутній. Основу неорганічних матеріалів складають оксиди кремнію, алюмінію, магнію, кальцію та інші. Властивості цих речовин можна змінювати в широких межах, отримуючи з мінерального скла волокна та еластичні плівки. Неорганічні полімери відрізняються більш високою густиною, тривалою теплостійкістю. Однак скло і кераміка крихкі, погано переносять динамічні навантаження. До неорганічних полімерів відноситься також графіт, що є карболанцюговим полімером.

У технічних матеріалах використовуються як окремі види полімерів, так і поєднання різних груп полімерів. Такі матеріали називають композиційними (наприклад, склопластики).

За *фазовим станом* полімери поділяють на *аморфні* і *кристалічні*.

Кристалічними полімерами є поліетилен, поліпропилен, поліаміди та інші. Кристалізація їх здійснюється в певному інтервалі температур. У звичайних умовах повної кристалізації не відбувається. У зв'язку з цим реальні полімери мають двофазну структуру: нарівні з кристалічною фазою є й аморфна. Кристалічний стан надає полімеру підвищену теплостійкість, велику міцність.

За *полярністю* полімери поділяють на *полярні* і *неполярні*. Фізико-механічні властивості неполярних полімерів при низьких температурах знижуються незначно. Такі матеріали володіють високою морозостійкістю (наприклад, поліетилен не окрихчується до температури мінус 70°С). Полярність, збільшуючи сили міжмолекулярного тяжіння, додає полімеру жорсткість і теплостійкість. Крім того, полярні полімери характеризуються низькою морозостійкістю (наприклад, поліхлорвинил морозостійкій до температур від мінус 10 до мінус 20°С).

Усі полімери по відношенню до *нагріву* поділяють на термопластичні і термореактивні.

Термопластичні полімери при нагріванні розм'якшуються, навіть плавляться, а при охолодженні затвердівають. Цей процес є зворотнім. Структура молекул таких полімерів лінійна або розгалужена. Представниками термопластів є поліетилен (-CH_2-CH_2-)n, полістирол (-CH_2-CH-C_6H_5-)$_n$, поліамід (коли гідроксильна група ОН змінюється на аміногрупу NH_3) і інші.

Термореактивні полімери на першій стадії утворення мають лінійну структуру і при нагріванні розм'якшуються, потім внаслідок протікання хімічних реакцій твердіють (утворюють просторову структуру) і надалі залишаються твердими. Твердий стан полімеру називається термостабільним. Прикладом термореактивних смол може служити фенолоформальдегідна смола (фенол - C_6H_5OH + формальдегід - CH_2O).

на початок

ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ

Полімерцементні бетони — цементні бетони, в які на стадії приготування суміші вводиться полімерна добавка. Добавки являють собою водяні дисперсії (емульсії, латекси (водні дисперсії колоїдних каучукових частинок)) чи сухі порошки полімерів. Вміст полімерцементу в полімерцементних бетонах — 5...15 % від маси.

Полімери й матеріали на їх основі застосовуються у вигляді добавок в бетонну суміш при її приготуванні, в якості в'яжучого, для просочення готових бетонних і залізобетонних виробів, для дисперсного армування полімерними волокнами, у вигляді легких заповнювачів або модифікації властивостей мінеральних наповнювачів, як мікронаповнювача.

Цементно-полімерні бетони характеризуються наявністю двох активних складових - **мінерального в'яжучого і органічної речовини**.

В'яжуча речовина утворює з водою цементний камінь, що склеює частки заповнювача в моноліт. Полімер в міру віддалення води з бетону утворює на поверхні пір, капілярів, зерен цементу і заповнювача тонку плівку, яка має гарну адгезію і сприяє підвищенню зчеплення між заповнювачем і цементним каменем, що покращує монолітність бетону і роботу мінерального скелета під навантаженням.

В результаті цементно-полімерний бетон набуває особливі властивості: підвищену в порівнянні зі звичайним бетоном міцність на розтягнення і вигин, більш високу морозостійкість, хороші адгезійні властивості, високу зносостійкість

Найбільш поширеними добавками полімерів в цементні бетони є ***полівінілацетат*** ($[-CH_2-CH(OCOCH_3]_n$), ***латекси*** (водні дисперсії колоїдних каучукових частинок) і водорозчинні ***епоксидні*** (продукт поліконденсації епіхлоргідріна (CH_2-O-CH-CH_2Cl) з фенолами (C_6H_5OH)) і ***поліамідні*** ($[-CONH-]_n$) ***смоли***.

Введення полімерних добавок збільшує пластичність розчинних сумішей в порівнянні з чисто цементними. Міцність збільшується, якщо бетон витримується в повітряно-сухих умовах (вологість повітря 40-50%), при дотриманні у вологих умовах (вологість 90-100%) міцність знижується.

Міцність (МПа) зразків полімерцементних бетонів наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Міцність (МПа) зразків полімерцементних бетонів

Кількість смоли, % від маси цементу	Стиск		Згин	
	Сухі	Вологі	Сухі	Вологі
0	10,8	13,6	4,8	6,7
1	14,8	12,5	13,1	6,0
2	16,5	11,2	14,8	5,6
3	9,4	7,4	12,1	4,6

БЕТОНПОЛІМЕРИ

Бетонний виріб висушують, вакуумують в камері і просочують легкоподвіжним мономером (метилметакрилатом ($CH_2=C(CH_3)-COOCH_3$) або стиролом ($\mathbf{C_8H_8}$)), який полімеризується в порах бетону. Для прискорення полімеризації в мономер вводять ініціатори, а вироби піддають термічній

обробці або опроміненню. Для повної просочення щільного бетону потрібно 2-5% мономера по масі (4-10% за об'ємом). Виріб може бути просичений повністю (при товщині до 20 см) або на деяку глибину. В результаті просочення бетон стає водонепроникним і корозійне-стійким. Зростає міцність на стиск в 2,4 - 10 разів. Опір стирання зростає в 3 ... 4 рази, гранична розтяжність - в 2 рази, модуль пружності - в 1,5 рази. Морозостійкість зростає до 7000 циклів.

Просочення здорожує бетон, але знижує матеріаломісткість і підвищує довговічність конструкцій, особливо в агресивному середовищі.

При просочуванні бетону мономером з подальшою його полімеризацією в бетоні виникає структура, яка складається з затверділого цементного каменю, що скріплює зерна заповнювача в єдиний моноліт, і розгалуженої системи ниток і включень полімеру.

Полімер заповнює пори і капіляри цементного каменю, заповнювача та контактної зони між ними, роблячи їх газо- і водонепроникними. Сітку полімеру, що утворюєься в бетоні можна розглядати як дисперсне армування. При полімеризації мономер прагне скоротитися в обсязі, що викликає обтиснення в мінеральній частині матеріалу. В результаті створюється різновид попередньо напруженого стану матеріалу, що сприяє підвищенню його міцності і тріщиностійкості. Обробка бетону полімером сприяє підвищенню міцності зчеплення між заповнювачем і цементним каменем.

Вплив початкової міцності бетону на міцність бетонполімерів наведено в таблиці 2, властивості бетонів и бетонполімерів в таблиці 3, а міцність легких бетонів и бетонполімерів в таблиці 4.

Таблиця 2. Вплив початкової міцності бетону на міцність бетонполімерів

Міцність бетону до обробки, МПа	Вміст полімеру в бетоні, %	Міцність бетонполімеру, МПа	Коефіцієнт зміцнення
40	5,0	110	2,75
30	5,5	120	4,00
20	6,0	130	6,50

Таблиця 3. Властивості бетонів и бетонполімерів

Показник	Бетонполімер	Вихідний бетон
Межа міцності, МПа: -при стисканні	100—200	30—50
- розтягуванні	6—19	2—3
- згинанні	14—28	5—6
Модуль пружності при стисканні, МПа	$3,5\cdot10^4$—$5\cdot10^4$	$2,5\cdot10^4$—$3,5\cdot10^4$
Деформація при стисканні	0,002	0,001
Міцність зчеплення з арматурою, МПа	10—18	1—2
Деформація усадки	0—$5\cdot10^{-5}$	$50\cdot10^{-5}$
Водопоглинання, %	1	3—5
Морозостійкість, цикл	5000	200

Таблиця 4. Міцність легких бетонів и бетонполімерів

Щільність бетону, кг/м^3	Міцність бетону на стискання, МПа	Вміст полімеру, %	Міцність бетонполімеру на стискання, МПа
Керамзитобетон			
1400	15	19	90
1000	5	43	63
750	3	68	33
Газобетон:			
700	6	83	72
500	2	102	41
300	1	117	15

на початок

ПОЛІМЕРБЕТОНИ

Полімербетони *бувають:*

- на ***термореактивних смолах*** ((наприклад, карбамідних ($CO(NH_2)_2$), фенольних ((C_6H_5OH)), поліефірних ($CH_3CH=CH_2$), фуранових (C_4H_4O), поліуретанових (—N(H)—C(O)O-), епоксидних (продукт поліконденсації епіхлоргідріна (CH_2-O-CH-CH_2Cl) з фенолами (C_6H_5OH)));

- на ***термопластичних смолах*** (наприклад, інден-кумаронові (результат полімеризації фракції кам'яновугільної смоли в процесі коксування вугілля), метилметакрилату ($CH_2=C(CH_3)-COOCH_3$)). Термопластичні полімери використовуються при виготовленні полімербетона, який не призначений для несучих конструкцій.

Полімербетони використовують в корозійно-стійких конструкціях хімічних виробництв і конструкціях, що працюють в умовах впливу тертя (водозливи гідротехнічних споруд, трубопроводи).

Властивості полімербетонів наведені в таблиці 5.

Таблиця 5. Властивості полімербетонів

Найменування показників	Портланд-цемент	В'яжуче (смола)	
		фенольна (C_6H_5OH)	епоксидна (продукт полі-конденсації епихлор-гидрін (CH_2-O-CH-CH_2Cl) з фенолами (C_6H_5OH))
Міцність на стискання, МПа	30	20	100
Пористість, %	20	2	1
Стійкість до нагрівання, °С	200	160	120
Відносна вартість	1	4,3	16,6

на початок

ПОЛІСТИРОЛ БЕТОНИ

Полістирол ($(C_8H_8)_n$) ***бетон*** відноситься до пористих легких бетонів. Його поризація досягається за рахунок введення в цементну суміш спінених гранул полістиролу щільністю 8-16 кг/м^3. Крім того, на відміну від пінобетону і газобетону, пори у полістирол бетону мають замкнуту структуру. Завдяки цьому він володіє більш високими теплозахисними властивостями, ніж пінобетон і газобетон. Коефіцієнт теплопровідності - від 0,55 до 0,12 Вт/м·С.

Склад 1 м^3 полістіролбетону наведено в таблиці 6.

Таблиця 6. Склад 1 м^3 полістіролбетону

Щільність, кг/м^3	**Вода, л**	**Портланд-цемент, кг**	**Піно-полістірольні кульки, м^3**
200	100	200	0,84
250	120	250	0,84
300	150	300	0,84

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ПОЛИСТИРОЛБЕТОНУ

Технологія виробництва полістирол бетону полягає в перемішуванні розчину портландцементу і пінополістірольніх кульок у воде. Виготовлений розчин заливають у форми і виготовляють стінові полістіролбетоні блоки або заливають в дерев'яну опалубку.

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІСТИРОЛБЕТОНУ

Полістиролбетоном утеплюють стіни, перекриття та підлоги. **Полістиролбетон** не піддається впливу вологи і грибковому зараженню. Утеплення покрівлі, підлоги, міжповерхових перекритій полістиролбетоном є самим економічним і ефективним рішенням в галузі енергозберігаючого будівництва на сьогоднішній час.

ПЕРЕВАГИ ПОЛІСТИРОЛБЕТОНУ

Конструкції з полістиролбетону характеризуються

- низькою теплопровідністю в порівнянні з традиційними видами конструкційних матеріалів (силікатна цегла, керамічна цегла, залізобетон, керамзитобетон, пінобетон (піноблок), газобетон (газоблок), деревина);
- низька вартість полістиролбетону порівняно з іншими утеплювачами;
- значне зниження матеріаломісткості;
- швидкість зведення стінових конструкцій при використанні блоків з полістиролбетону зростає в 10 разів у порівнянні з традиційною цегляною кладкою;
- висока технологічність будівництва блоки з полістиролбетону легко пиляються, гвоздяться, штробяться (надання будь-якої геометричної форми, влаштування каналів для прихованої проводки).
- економія корисної площі приміщення за рахунок мінімальної товщини зовнішніх стін;

- полістиролбетон характеризується високою морозостійкістю (марка F15 не менш 15 циклів почергової зміни заморожування і відтавання. Застосовується в температурному діапазоні від мінус 60°С до + 70°С);
- довговічність полістиролбетону більше 100 років;
- хороша шумоізоляція покрівлі та підлоги;
- низька експлуатаційна вологість (в межах 48 % по масі) і мала величина усадки, (не перевищує 1 мм/м), що дозволяє матеріалу зберігати низькі значення теплопровідності і в умовах підвищеної вологості підлоги і покрівлі (на відміну від мінераловатних плит, які дуже легко вбирають вологу з повітря, а ввібравши всього 10 % вологості відразу втрачають 50 % теплоізоляційних властивостей);
- відмінна гідрофобність (не схильність вбирати вологу з навколишнього середовища);
- стіни з полістиролбетоних блоків не перешкоджають повітрообміну, тобто, здатні «дихати». У внутрішніх приміщеннях встановлюється сприятливий мікроклімат, близький до мікроклімату дерев'яних будинків;
- зберігає тепло взимку і прохолоду влітку (взимку будинок площею 100 м^2 із вимкненим опаленням за добу остигає в середньому на 1°С);
- значно знижена трудомісткість укладання теплоізоляції (на 25 30 %);
- надійність і довговічність теплоізоляції покрівлі, підлоги вище в 2 - 4 рази;
- вміст вологи в полістиролбетоні в умовах експлуатації нижче у 5 разів, ніж у пінобетоні.

на початок