Завдання для модульного контролю

Механічні властивості твердих тіл. Використання законів фізики в «будівельних» технологіях і механічному моделюванні

Вступ

Застосування твердих матеріалів в різних цілях в значній мірі визначається їх механічними характеристиками. Механічні властивості матеріалів виявляються при механічному впливі на них. Існують різні типи навантаження твердотільних зразків. Найпростіша деформація – одноосьовий розтяг і стиск.

Основним законом, що має місце при малих деформаціях, є закон, сформульований Гуком ще в 1660 році. Відповідно до нього деформація Δl, що виникає в пружному тілі під дією зовнішньої сили F, прямопропорційна величині цієї сили. При цьому в тілі виникає сила пружності, рівна за величиною зовнішній силі і спрямована протилежно зовнішньої силі. Коефіцієнт пропорційності між силою і деформацією називається коефіцієнтом жорсткості k. Він залежить від властивостей матеріалу з якого виготовлено досліджуване тіло (стрижень, пружина і т.д.) і його розмірів. Можна показати, що для k справедливо співвідношення $k = \frac{ES}{l}$, де E – модуль пружності (Юнга), S – площа поперечного перерізу, l – довжина зразка.

У фізиці, а також в ряді технічних дисциплін (теоретичної механіки, опору матеріалів та ін.) Використовується інша форма запису закону Гука: до певної межі, званого межею пропорційності, при розтягуванні або стисканні відносна зміна довжини $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ (l – початкова довжина) пропорційно напрузі σ, рівному відношенню прикладеної сили до площі поперечного перерізу:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}, \text{ або } \sigma = ES. \tag{1}$$

E залежить тільки від властивостей матеріалу і є табличною величиною для різних матеріалів. Він справедливий для багатьох речовин при малих деформаціях ($\varepsilon \leq 1 - 2\%$).

Пояснити дію закону Гука при застосуванні навантаження можна виходячи з енергетичних уявлень, скориставшись пружинної моделлю сильно пов'язаних атомів.Як відомо тверді тіла складаються з атомів, молекул, іонів, які роблять коливальний рух біля положення рівноваги, в якому їх потенційна енергія мінімальна. При зовнішньому впливі відстань між атомами змінюється, потенціальна енергія ($W_n = \frac{kx^2}{2}$)зростає і виникає повертаюча сила так само, як в ланцюжку кульок, пов'язаних пружинками після її розтягування. У разі малих відхилень ця сила пропорційна зсуву атомів від положення рівноваги *x*.

Повернемося до розгляду пружної деформації зразка. Так як при деформації відбувається зміна його довжини, то маємо додаток сили на ділянці Δl. Прикладена сила здійснює роботу і відбувається «накачування» в зразок енергії. Можна показати, енергія пружної деформації

$$W_n = \frac{k(\Delta l)^2}{2}. \qquad (2)$$

При знятті навантаження ця енергія виділяється. За рахунок неї може, наприклад, відбуватися розвиток тріщин. Для цього потрібно, щоб ця енергія була більше енергії, необхідної для створення двох поверхонь, що утворюються при зростанні тріщини (крихке руйнування).

При механічній напрузі, що перевищує межу пружності, в тілі виникає пластична деформація. В цьому випадку не відновлюються розміри і форма після зняття зовнішнього навантаження. Пластична деформація, що передує руйнування, характерна для тіл з невисокою міцністю. У міцних матеріалах має місце крихке руйнування. В ідеальному випадку матеріал повинен бути одночасно і пружним і пластичним, проте в повній мірі це здійснити неможливо, оскільки підвищення міцності супроводжується зниженням пластичності.

Високих показників міцності можна досягти протилежними способами: знижуючи концентрацію дефектів структури, наближаючись до ідеального монокристалічного станом, або збільшуючи число дефектів структури аж до створення мелкодисперсионного нанокристалічного або аморфного стану. У сучасному матеріалознавстві використовуються ці два шляхи.

Перейдемо до аналізу пропонованого для виконання завдання. У завданні включено 6 профільованих завдань і 6 контрольних питань. Будівельний блок представлених завдань охоплює наступні теми:

1. Механореологіческіе моделі складних будівельних матеріалів і систем.
2. Попередній натяг арматури.
3. Армування будівельних матеріалів.

Загальним для цих завдань є використання в них закону Гука (однаковий фізичний блок). Контрольні питання складені по темі «Механічні властивості твердих тіл, включаючи будівельні матеріали», що входять до програми дисципліни «Спеціальні питання механіки».

1. Механореологіческіе моделі. У складних системах, до яких відносяться структурно-неоднорідні тіла, в тому числі і будівельні матеріали, для опису процесу деформації використовується підхід з позицій реології, що дозволяє описувати тимчасову залежність деформації від зовнішньої напруги досить точно для різних типів тіл. Для опису використовуються механічні моделі. Модель складається з навантажених пружин (пружні елементи) і демфера (в'язкі елементи) з'єднаних різним чином. При послідовному з'єднанні двох елементів їх подовження підсумовуються, а внутрішні напруження залишається постійним. У разі паралельного з'єднання напруги сумуються, а подовження залишається незмінним. Цей метод також використовується для побудови механореологіческіх моделей процесів взаємодії робочих органів будівельних машин, наприклад, з переробляється середовищем. (В завданні №1 лише знаходиться жорсткість системи, що складається з двох пружин).

2. Попередній натяг арматури. Для того, щоб бетон знаходився в стислому стані, використовують попередній натяг арматури перед бетонуванням. Після затвердіння бетону розтяжне зусилля припиняється. Арматура в затверділому бетоні прагне стиснутися, але зчеплений з нею бетон перешкоджає цьому. Таким чином він виявляється стислим і має підвищену

стійкість до утворення тріщин. При цьому зміна поздовжнього розміру арматури і бетону однаково.

3. Армування будівельних матеріалів. Армування використовується для зміцнення базового матеріалу. Розглянемо традиційне макроармування – зміцнення бетонної матриці за допомогою сталевих стрижнів (залізобетон – будівельний матеріал, добре відомий з середини XIX століття).

Шлях до залізобетонної колони висотою h прикладена сила F. Ця сила розподілиться між арматурою ($F_{ст}$) і бетонною матрицею ($F_{бет}$). При цьому відповідно до закону Гука

$$F_{ст} = \frac{\Delta h}{h} S_{ст} E_{ст}; \quad F_{бет} = \frac{\Delta h}{h} S_{бет} E_{бет} \tag{3}$$

де $S_{бет}$ і $S_{ст}$ – частка поперечного перерізу, що припадає на арматуру і матрицю відповідно; $E_{ст}$ і $E_{бет}$ – модулі пружності арматури і матриці.

Так як подовження арматури і матриці в навантаженої колоні має бути однаковим, то з (3) випливає, що

$$\frac{F_{ст}}{F_{бет}} = \frac{E_{ст}}{E_{бет}} \cdot \frac{S_{ст}}{S_{бет}} \tag{4}$$

З огляду на значення модулів пружності сталі і бетону ($E_{ст} = 20 \cdot 10^{10}\,\text{Па}$, $E_{бет} = 2 \cdot 10^{10}\,\text{Па}$), отримаємо:

$$\frac{F_{ст}}{F_{бет}} = 10 \frac{S_{ст}}{S_{бет}} \tag{5}$$

З останньої формули видно, що співвідношення сил визначається добутком відносин модулів пружності і площ поперечного перерізу арматури і матриці. (Відхилення площ називається коефіцієнтом армування $k_{арм}$). Для того, щоб арматура сприймала більшу частину навантаження, потрібно або збільшувати коефіцієнт армування, або використовувати в якості матриці матеріали, що мають значення модуля пружності багато нижче ніж у арматури.

Остання вимога виконується, наприклад, при використанні дисперсного армування волокнистими матеріалами (в склопластику відношення модуля пружності пластику (матриці) і скла (арматури) дорівнює 0,005).

Відзначимо, що в даний час використовується також армування на атомно-молекулярному рівні (самоармування). Як приклад можна привести матеріал нанобетон.