

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №1
«Вивчення характеристик міцності матеріалів»

з дисципліни «Технологічні процеси та комплекси
зміцнення та відновлення деталей машин»

для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості
деталей і конструкцій»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1 «Вивчення характеристик міцності матеріалів» з дисципліни «Технологічні процеси та комплекси зміцнення та відновлення деталей машин» для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: М.М. Бриков. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024 – 19 с.

Укладач: М.М. Бриков, професор, докт. техн. наук

Рецензент: М.Ю. Осіпов, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний

за випуск: М.М. Бриков, професор, докт. техн. наук

ЗАТВЕРДЖЕНО:

на засіданні кафедри ІТЗ та МК
Протокол №5 від 29.11.2024 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №4
від 17.12.2024 р.

ЗМІСТ

1 Мета роботи	4
2 Загальні відомості.....	4
2.1 Зразки без тріщин	5
2.2 Зразки із тріщинами	10
3 Обладнання, прилади та матеріали	17
4 Порядок виконання роботи.....	17
5 Зміст звіту.....	17
6 Контрольні запитання	18
Рекомендована література	18

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчити характеристики міцності матеріалів, які відбивають їх опірність до руйнування в різних умовах навантаження. Набути практичних навичок з розрахунку значень характеристик міцності на підставі даних з механічних випробувань за відповідними схемами навантажень.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

У реальних умовах експлуатації матеріали деталей машин і конструкцій зазнають навантажень різних видів. Навантаження може бути класифіковане в такий спосіб:

- одиничне навантаження (статичне або ударне);
- циклічне навантаження.

Певному виду навантаження відповідають певні властивості матеріалів, якими вони повинні володіти для запобігання аварійного руйнування. Визначення цих властивостей проводять за спеціальними випробувальними методиками.

У практиці експлуатації реальних деталей машин і елементів конструкцій практично неможливо виключити появу в матеріалах різних дефектів типу тріщин. Тріщини з'являються на різних стадіях життєвого циклу виробу – під час виготовлення або в процесі експлуатації. Таким чином, фактично будь-яка конструкція експлуатується із тріщинами в її елементах, тому важливо знати ті граничні розміри тріщин, за якими даний матеріал у даних умовах навантаження не буде зруйнований.

Таким чином, сукупність видів навантаження (однократне або циклічне) і станів матеріалу (із тріщиною або без тріщини) приводить до певного різноманіття механічних властивостей матеріалів, які визначають за спеціальними методиками (рис. 1). В роботі наведено основні методи випробувань і відповідні їм механічні властивості. Не враховані випробування при підвищених і знижених температурах, а

також випробування на стиск, які, тим не менш, відповідають наведеній класифікації.

2.1 Зразки без тріщин

Випробування матеріалів без тріщин при однократному квазістатичному навантаженні (розтягування) проводять шляхом розтягування зразка певного перерізу круглої або прямокутної форми до руйнування із одночасним вимірюванням сили, яка прикладається до зразка. Цим методом визначаються такі основні механічні характеристики:

- межа пропорційності σ_y ;
- умовна межа плинності σ_T ;
- тимчасовий опір (межа міцності) σ_B ;
- відносне подовження δ ;
- відносне звуження ψ .

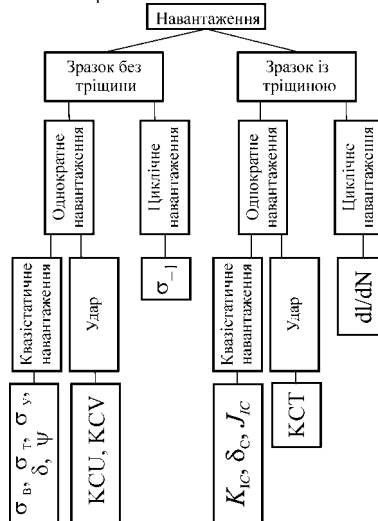


Рисунок 2.1 – Деякі види механічних випробувань матеріалів і відповідні механічні властивості

Форму й розміри зразків вибирають згідно з вимогами

відповідних стандартів. Креслення й розміри зразків із циліндричним перерізом наведено на рис. 2.2.

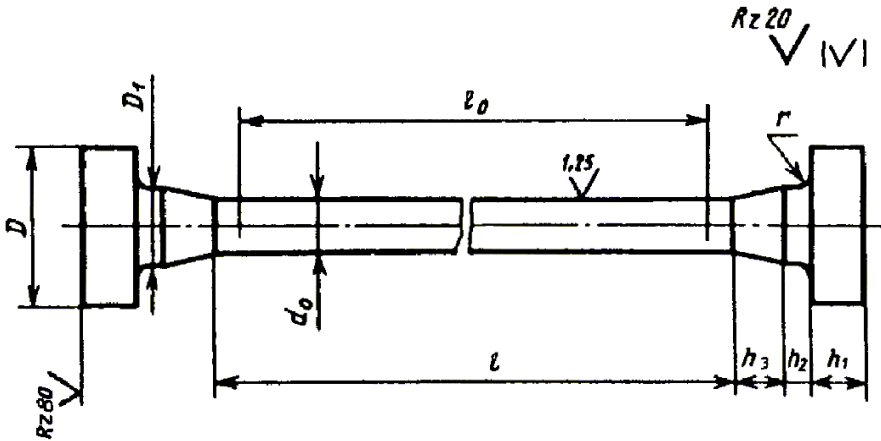
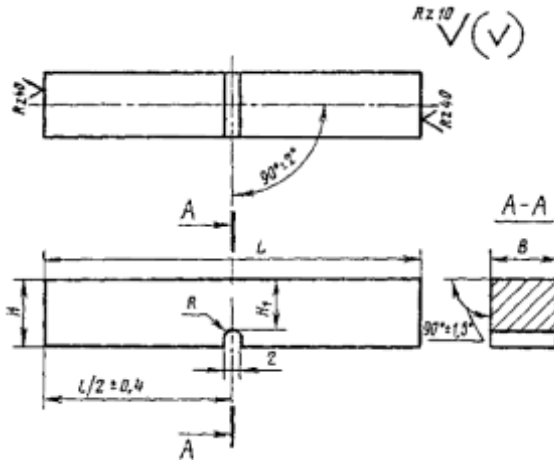


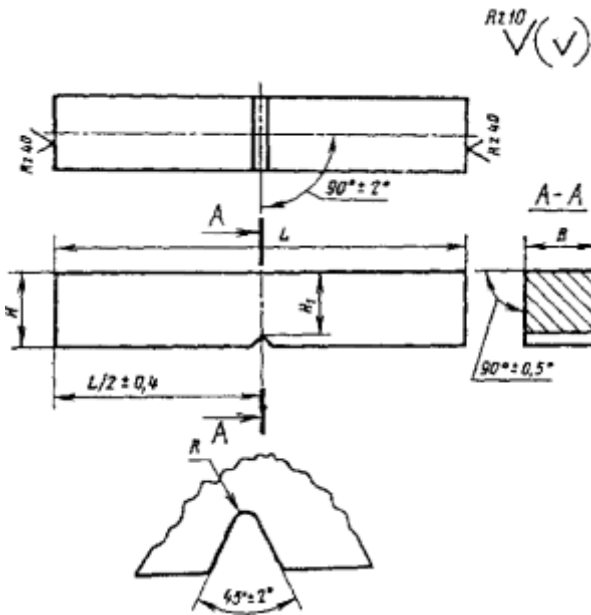
Рисунок 2.2 – Пропорційний циліндричний зразок

Випробування матеріалів без тріщин при однократному ударі проводять руйнуванням зразка з концентратором посередині ударом маятникового копра. Кінці зразка розташовують на опорах. У результаті випробування визначають повну роботу, витрачену при ударі (робота удару), K або ударну в'язкість. Під ударною в'язкістю слід розуміти роботу удару, віднесену до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці концентратора.

Форми зразків з концентраторами різного виду наведені на рис. 2.3.



а



б

а – зразок з концентратором виду U; б – зразок з концентратором виду V
Рисунок 2.3 – Зразки для випробувань на ударний згин

Розміри зразків вибирають із стандартизованого ряду. Довжина зразка L зазвичай становить 55 мм. Висота H зазвичай дорівнює 10 мм. Ширина B варіюється від 2 до 10 мм.

Для випробувань застосовують маятникові копри масою 30 кг.

Основні розміри опор і ножа маятника зазначені на рис. 2.4.

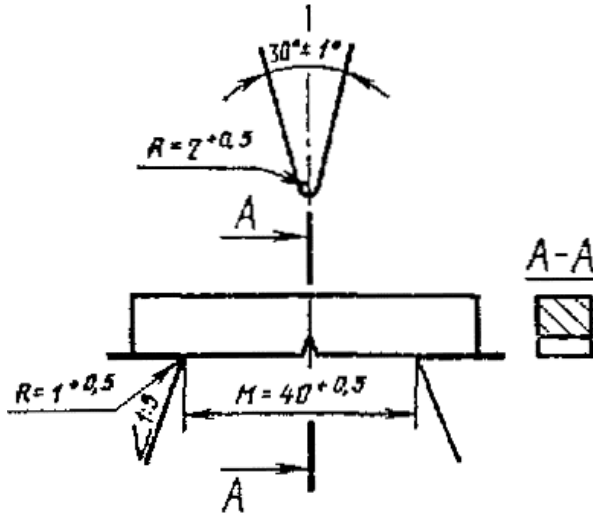


Рисунок 2.4 – Ніж маятника й опори із установленим зразком

Випробування проводиться при ударі маятника з боку, протилежного концентратору, у площині його симетрії. Роботу удару визначають за шкалою маятникового копра або аналогових відлікових пристроїв.

За результат випробування приймають роботу удару або ударну в'язкість для зразків з концентраторами видів U і V .

Ударну в'язкість (KC) Дж/см² (кгс×м/см²) обчислюють за формулою 2.1:

$$KC = \frac{K}{S_0}, \quad (2.1)$$

де KC – робота удару, Дж (кгс·м);

S_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка в місці концентратора, см², що обчислюється по формулі 2.2:

$$S_o = H_1 \times B, \quad (2.2)$$

де H_1 – початкова висота робочої частини зразка, см;

B – початкова ширина зразка, см.

Випробування матеріалів при циклічному навантаженні (випробування на втому) проводять за різними схемами навантаження, наприклад на круглих зразках під час їх обертання в затисках з неспівпадаючими осями обертання. Форму зразка наведено на рис. 2.5.

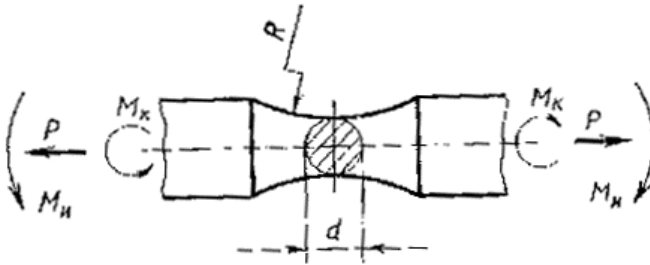


Рисунок 2.5 – Зразок для випробувань на втому

Розмір d змінюється від 5 до 25 мм.

Схему навантаження наведено на рис. 2.6.

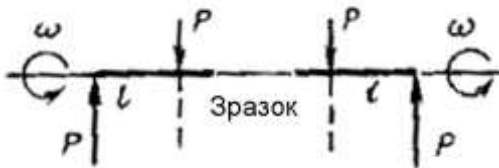


Рисунок 2.6 – Схема навантаження при випробуваннях на втому обертанням круглого зразка в затисках з неспівпадаючими осями обертання (чистий вигин)

База випробувань для визначення границь витривалості приймається:

10×10^6 циклів - для металів і сплавів, що мають практично горизонтальну ділянку на кривій втоми (чорні метали);

5×10^6 циклів - для легких сплавів і інших металів і сплавів, ординати кривих втоми яких по всій довжині безупинно зменшуються з ростом числа циклів.

За результатами випробувань на втому будують, наприклад, криву втоми й визначають межі витривалості, що відповідають імовірності руйнування 50 % (або іншим рівням імовірності, рис. 2.7).

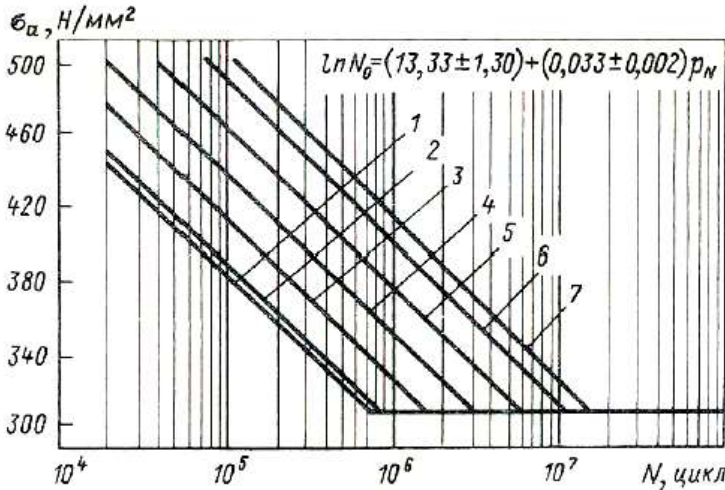


Рисунок 2.7 – Ймовірнісна діаграма втоми зразків зі сталі 60XH при вигині з обертанням (1 – $pN=5\%$, 2 – $pN=10\%$, 3 – $pN=30\%$, 4 – $pN=50\%$, 5 – $pN=70\%$, 6 – $pN=90\%$, 7 – $pN=99,9\%$)

2.2 Зразки із тріщинами

Для оцінки здатності матеріалів опиратися руйнуванню в присутності тріщини використовують характеристики тріщиностійкості K_{IC} і ін. (квазістатичне навантаження), ударної в'язкості KCT (ударне навантаження) і циклічної тріщиностійкості.

Тріщиностійкість (або «в'язкість руйнування») є міра напруження, необхідного для поширення наявної тріщини.

Тріщиностійкість – дуже важлива властивість матеріалу, оскільки виключити появу тріщин у конструкціях практично неможливо.

Для визначення поля напружень біля вершини тріщини використовують «коефіцієнт інтенсивності напружень» або КІН (K). Критичне значення КІН K_c показує значення напружень поблизу вершини тріщини в момент руйнування й зв'язує прикладене середнє напруження із критичною довжиною тріщини.

Розрізняють три режими руйнування тіл із тріщинами (рис. 2.8).

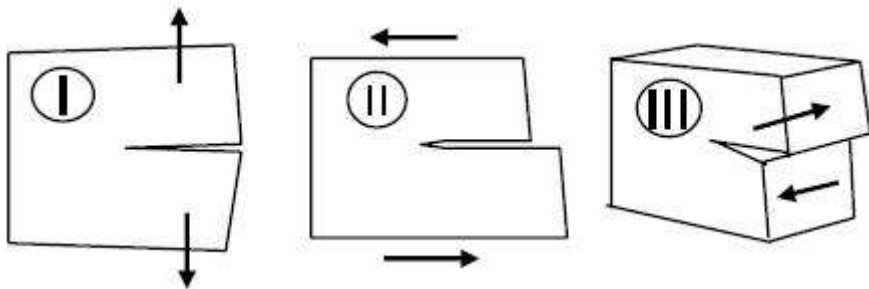


Рисунок 2.8 – Режими руйнування тіл із тріщинами

Кожному режиму руйнування відповідає свій КІН: K_I , K_{II} , K_{III} .

На практиці найпоширенішим є режим I, тому K_I використовують для характеристики тріщиностійкості матеріалу.

K_I залежить від номінального напруження в перетині, довжини тріщини й геометрії деталі:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a \beta}, \quad (2.3)$$

де σ – номінальне напруження, МПа;

a – довжина тріщини, м;

β – коефіцієнт, що залежить від геометрії зразка.

Значення K_{IC} , тобто КІН у першому режимі навантаження, при якому відбувається руйнування зразка, використовують як найпоширенішу характеристику тріщиностійкості матеріалу.

Для визначення K_{IC} проводять випробування на зразках чотирьох типів. Розглянемо один з них (рис. 2.9).

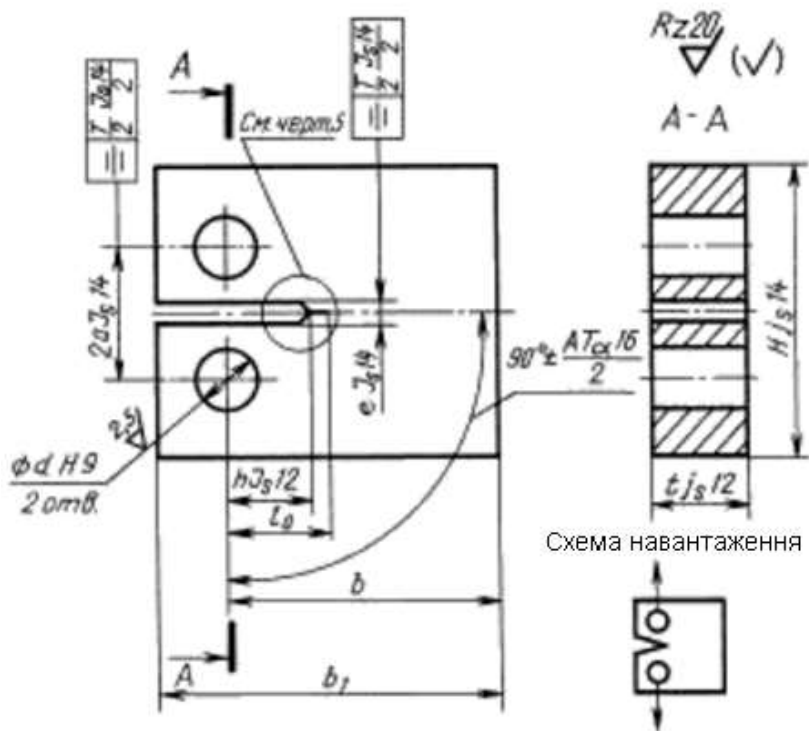


Рисунок 2.9 – Зразок для випробувань для визначення K_{IC}

Зразок навантажують в випробувальній машині до руйнування з одночасним записом діаграми «Навантаження – зсув». Фіксують максимальне навантаження P_Q (P_C), при якій зразок зруйнувався. K_I (K_Q) обчислюють за формулою 2.4:

$$K_Q = \frac{P_Q}{t\sqrt{b}} \cdot Y_3, \quad (2.4)$$

де $Y_3 = 13,74[1 - 3,380(l/b) + 5,572(l/b)^2]$ при $0,45b \leq l \leq 0,55b$.

Важливим є правильний вибір товщини зразка. При

$$t_{PK} = \beta_K \left(\frac{K_Q}{\sigma_{0,2}} \right)^2,$$

де безрозмірний коефіцієнт β_K ухвалюють рівним 2,5 для алюмінієвих, титанових, магнієвих сплавів і сталей; 0,6 для чавунів реалізується плоский напружений стан. У цьому випадку зразок руйнується майже повністю крихко, діаграма «Навантаження – зсув» і злам зразка має характерний вигляд (рис.2.10 і рис.2.11 відповідно).

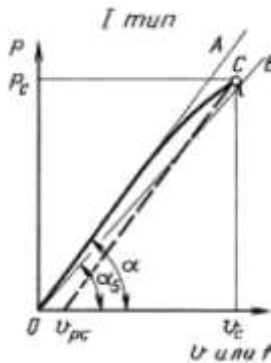


Рисунок 2.10 – Діаграма «Навантаження – зсув» у випадку правильного вибору товщини зразка

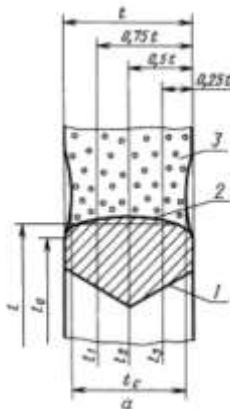


Рисунок 2.11 – Злам зразка після випробувань

Якщо товщина зразка менше критичної (2), то перед руйнуванням зразок проходить через стадії підростання тріщини. У цьому випадку величина K_I (K_Q) залежить від товщини зразка, а діаграма «Навантаження – зсув» має один із трьох видів, показаних на рис. 2.12.

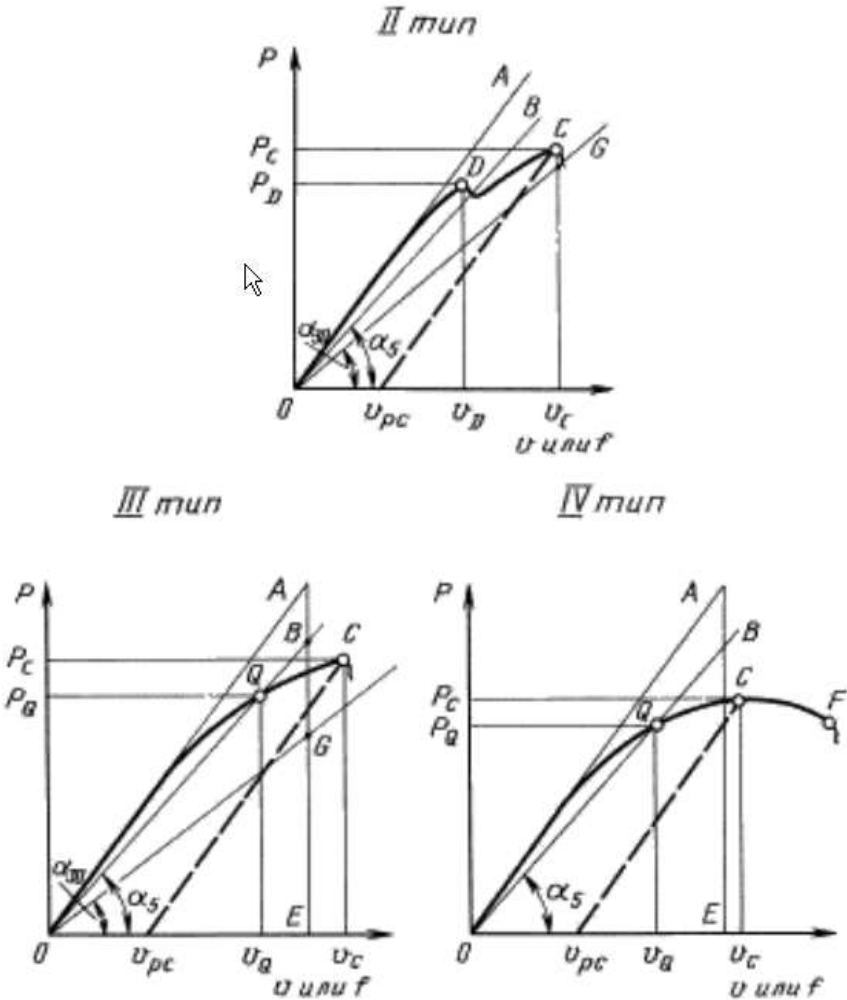


Рисунок 2.12 – Типи діаграм «Навантаження – зсув» при товщині зразка менше критичної

Величина K_I (K_Q), отримана за формулою (2.1) при товщині зразка більше або рівної критичної (2.2) не залежить від товщини зразка. Ця величина і є K_{IC} . K_{IC} є максимальна інтенсивність напружень, яку матеріал здатний витримати в умовах плоского напруженого стану.

K_{IC} є довідковою характеристикою для багатьох матеріалів; її можна використовувати для визначення критичного номінального напруження σ_c у перетині із тріщиною заданої довжини l , або для розрахунку критичної довжини тріщини l_c за заданого номінального напруження σ за формулами 2.5, 2.6:

$$\sigma_c = \frac{K_{IC}}{Y\sqrt{\pi \cdot l}}, \quad (2.5)$$

$$l_c = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma \cdot Y} \right)^2, \quad (2.6)$$

де Y перебуває в діапазоні 0,73-1,12 залежно від розташування тріщини.

Чим більше величина K_{IC} тим більш стійким є матеріал до крихкого руйнування в присутності тріщин. Значення тріщиностійкості деяких матеріалів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення тріщиностійкості деяких матеріалів

Матеріал	K_{IC} , МПа·м ^{1/2}
Алюміній і його сплави	14-36
Сталь	20-100
Титанові сплави	44-66
Корунд (окис алюмінію)	3-5
Карбід кремнію	3-5
Цемент	0,2-1,4
Полімери	0,7-1,5

Ударну в'язкість KCT визначають аналогічно KCV , але на зразку попередньо вищоують втомну тріщину (рис. 2.13).

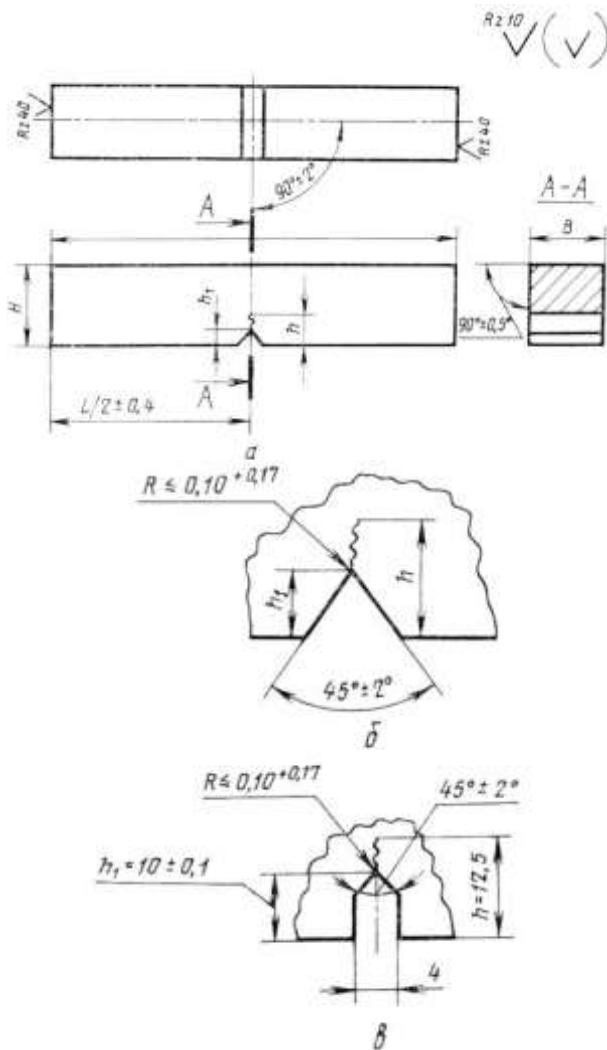


Рисунок 2.13 – Зразок із втомною тріщиною для випробувань на ударний вигин

Опірність матеріалів із тріщинами руйнуванню при циклічному силовому впливі характеризує циклічна тріщиностійкість. Вивчити метод необхідно самостійно.

3 ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

Лабораторна робота проводиться в реально-віртуальному режимі. Деякі види випробувань проводяться на реальних зразках і реальному випробувальному устаткуванні. Інші випробування демонструються у формі відеозаписів. Після виконання роботи студенти повинні мати чітке уявлення про порядок проведення стандартизованих випробувань з визначення механічних властивостей матеріалів.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Заздалегідь підготовлені зразки випробувати на розтяг і ударний згин. Результати випробувань занести до протоколу. Розрахувати відповідні механічні характеристики.

4.2. Ознайомитися з відеоматеріалами з випробувань для визначення K_{IC} .

4.3. За заданими значенням K_{IC} матеріалу визначити критичну товщину деталі для реалізації плоского напруженого стану й критичну довжину тріщини для заданого номінального напруження.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити ескізи зразків для випробувань на розтяг і ударний згин.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

Наведіть класифікацію методів визначення механічних властивостей матеріалів.

Скільки циклів навантаження використовують як базу під час випробувань на втому?

Навіщо забезпечувати товщину зразка більше критичної під час визначення тріщиностійкості?

Для яких матеріалів, сталей або чавунів, критична товщина зразків для визначення K_{IC} є більшою? Чому?

З якими механічними характеристиками корелює K_{IC} ?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Холявко В.В. Фізичні основи міцності та руйнування / В.В. Холявко // Київ: Вид-во НТУУ КПІ, 2015. – 100 с.

