

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **“Обґрунтування параметрів робочих елементів зернових
дробарок”**

Виконав: студент VI курсу групи Аін-62
Спеціальності 208 „Агорінженерія”
(шифр і назва)

Покотило Захар Антонович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: Буртак В.В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Гуменюк Р.В.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри _____
(підпис)
к.т.н., доцент Шарибура А.О.
“ _____ ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на дипломну роботу студенту
Покотило Захару Антоновичу

1. Тема роботи: **“Обґрунтування параметрів робочих елементів зернових дробарок”**

Керівник роботи: Буртак Володимир Володимирович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 07.01.2025 року

3. Вихідні дані: методичні рекомендації до виконання дипломної роботи, довідкова література, каталоги, методика планування та проведення експериментальних досліджень, довідкова література, патентний пошук, інструкції з охорони праці.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

2. Теоретичні дослідження параметрів робочих елементів дробарок.

3. Програма та методика досліджень.

4. Результати досліджень та їх аналіз.

5. Охорона праці та захист населення.

6. Економічна ефективність.

Висновки та пропозиції.

Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічна частина до дипломної роботи оформляється у вигляді презентації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4,6	Буртак В.В. к.т.н., доц. кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича			
5	Кохана Т.М., к.е.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор.	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «<u>Актуальність теми, мета і завдання дослідження</u>»</i>	<i>12.09.24-24.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «<u>Теоретичні дослідження параметрів робочих елементів дробарок</u>»</i>	<i>25.09.24-08.10.24</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу: «<u>Програма і методика досліджень</u>»</i>	<i>09.10.24-22.10.24</i>	
4.	<i>Виконання четвертого розділу: «<u>Результати досліджень та їх аналіз</u>»</i>	<i>23.10.24-06.11.24</i>	
5.	<i>Написання розділу «<u>Охорона праці та захист населення</u>»</i>	<i>07.11.24-18.11.24</i>	
6.	<i>Виконання розділу: «<u>Економічна ефективність</u>»</i>	<i>19.11.24-25.12.24</i>	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>26.12.24-07.01.25</i>	

Студент _____ Захар Покотило
(підпис)Керівник роботи _____ Володимир Буртак
(підпис)

УДК 629.979:664.69

Обґрунтування параметрів робочих елементів зернових дробарок

Покотило З. А. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича –Дубляни, Львівський НУП, 2025.

65 с. текст. част., 27 рис., 9 табл., 20 джерел.

Обґрунтовано й теоретично досліджено шляхи удосконалення конструкцій та підвищення надійності робочих елементів зернових дробарок.

Визначені мета та задачі дослідження.

Проведено дослідження ударно-втомної міцності $N_{цикл/хв}$ конструкційних матеріалів, визначено напруження S_m на дні концентратора та необхідний прогин f_0 для ударно-втомного деформування консольної балки на стадії ініціювання тріщини для коректного визначення параметрів тріщиностійкості K_{fc} і K_{Ic} за умов ударно-втомного і статичного навантажень.

Використано дві інженерні методики та відповідне технологічне спорядження, пристрої, контрольно-вимірювальні засоби для визначення параметрів тріщиностійкості K_{fc} і K_{Ic} конструкційних матеріалів за умов ударно-втомного консольного згину та статичного триточкового згину балкових зразків із боковим концентратором-тріщиною, які придатні для ранжування та вибору матеріалів і виготовлення деталей зернових дробарок.

На основі результатів для виготовлення робочих елементів зернових дробарок вибрано найпридатніші за максимальними значеннями тріщиностійкості K_{fc} і K_{Ic} та ударно-втомної довговічності $N_{цикл/хв}$ конструкційні матеріали.

Проведено аналіз виробничих небезпек, розроблено логіко-імітаційну модель виникнення травматизму.

Здійснено розрахунок економічної ефективності результатів.

ЗМІСТ

ВСТУП		
1	АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1	Аналіз способів подрібнення	8
1.2	Аналіз типових конструкцій зернових дробарок та способів удосконалення їх робочих елементів	9
1.3	Аналіз досліджень щодо вдосконалення робочих органів	12
1.4	Мета і завдання роботи	14
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДРОБАРОК	15
2.1	Розрахунок параметрів робочих елементів	15
2.2	Дослідження робочих елементів та зародження і ріст експлуатаційних тріщин при процесах подрібнення	17
2.3	Напружено-деформований стан в околі контура тріщин, згідно аналізу коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН)	20
2.4	Силкові та деформаційні критерії крихких і квазікрихких руйнувань	23
3	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	27
3.1	Програма досліджень	27
3.2	Методика здійснення досліджень	28
3.2.1	Вплив схеми базування балкових зразків та зусилля затиску із концентратором на зародження і ріст ударно-втомних тріщин	28
3.2.2	Визначення напружень на дні концентратора консольної балки та утворення тріщини при ударно-втомному деформуванні	31
3.2.3	Визначення КІН консольної балки із боковою тріщиною згідно сталої сили прогину P	32
3.2.4	Визначення КІН консольної балки та бокової тріщиною згідно сталого прогином f	33

3.2.5	Визначення КІН балки із боковою тріщиною згідно триточкового згину	34
4	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	35
4.1	Балкові зразки із боковим концентратором, та режими термічної обробки	35
4.2	Результати дослідження по ударно-втомній міцності	36
4.3	Результати досліджень ударно-втомної тріщиностійкості	37
4.4	Результати досліджень по статичній тріщиностійкості	39
4.5	Результати досліджень по режимах термічного зміцнення та впливу на показники ударно-втомної міцності та статичної тріщиностійкості	40
4.6	Результати досліджень статичної тріщиностійкості для сталі 30ХГСА із наплавкою	41
4.7	Результати досліджень по вибору матеріалів при виготовленні дробарок	41
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ	44
5.1	Аналіз виробничих небезпек під час виробництва	44
5.2	Паспортизація санітарно-технічного стану та моделювання процесу виникнення травм та аварій	46
5.3	Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час виробництва	51
5.4	Розробка заходів щодо захисту населення	55
6	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	61
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

ВСТУП

В умовах, коли Україна прагне інтегруватися до європейських і світових економічних структур, забезпечення конкурентоспроможного, якісного та водночас доступного сільськогосподарського виробництва стає вкрай актуальним. Фінансові обмеження дрібних фермерів в Україні ускладнюють доступ до дорогого та високопродуктивного обладнання, що робить особливо затребуваною техніку невеликої потужності та вартості. Наразі підприємства, які обслуговують сільське господарство технікою, ще не розробили достатньої кількості обладнання з низькими енергетичними потребами.

При виборі техніки при подрібненні зерна важливими є надійність і довговічність обладнання. Основними методами руйнування зернового матеріалу є роздавлювання, перетирання, розбивання, розколювання і різання, які можуть застосовуватися одночасно, залежно від конструкції дробарки та специфіки її роботи. Останнім часом з'являються методи подрібнення із використанням сучасних технологій: ультразвуку, електрогідравлічного ефекту, температурних перепадів, лазерної техніки тощо.

Для сільськогосподарського виробництва процес подрібнення зернових культур відіграє важливу роль, а саме подрібнення може здійснюватися за допомогою удару і перетирання в дробарках, зокрема, молоткових, які вирізняються своєю простотою, надійністю, компактністю та динамічністю. Водночас вони мають і певні недоліки, серед яких висока енергоємність, нерівномірність гранулометричного складу продукту з надлишком надмірно подрібнених частинок та інтенсивне зношування робочих органів.

Зернові дробарки закритого типу набули широкого застосування у кормоприготуванні. Українська промисловість виробляє різні типи молоткових дробарок для подрібнення фуражного зерна, такі як КДУ-2, КДМ, ДКМ-5, ДБ-5 та інші.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз способів подрібнення

При виборі способу подрібнення матеріалу важливо враховувати фізико-механічні властивості подрібнюваного матеріалу, зокрема його твердість, крихкість, пластичність. Кожен метод має свої особливості і підходить для певних способів подрібнення сільськогосподарських матеріалів:

1. **Удар** — застосовується для матеріалів, які добре піддаються руйнуванню під впливом швидкого імпульсу сили. Ударний метод використовує швидке застосування сили для розбиття матеріалу на дрібніші частини.

2. **Розколювання** — підходить для матеріалів з високою міцністю на розтяг. Цей метод використовує розтягувальні сили, щоб розколоти подрібнювальний матеріал.

3. **Стирання** — застосовується для матеріалів з високою твердістю і здатністю до зношування. Це метод, при якому матеріал стирається або шліфується, що зручно для матеріалів з високою твердістю.

4. **Плющення** — використовується для пластичних або м'яких матеріалів. У цьому випадку матеріал піддається механічному впливу, який призводить до його сплющування без повного руйнування.

5. **Ламання** — підходить для крихких матеріалів, де сила впливу призводить до різкого розломлення матеріалу на частини.

6. **Різання** — використовується для матеріалів, які добре піддаються розрізанню за допомогою гострих інструментів. Цей метод часто застосовують для м'яких матеріалів або тканин, де ріжучі леза ефективно розрізають матеріал на менші частини.

Під час проектування робочих органів для подрібнення необхідно правильно вибрати метод руйнування матеріалу, який забезпечить найменші

напруження і витрати енергії. Це дозволяє не лише підвищити ефективність процесу, а й зменшити знос обладнання та знизити енергетичні витрати, що є важливим для економічної ефективності процесу подрібнення.

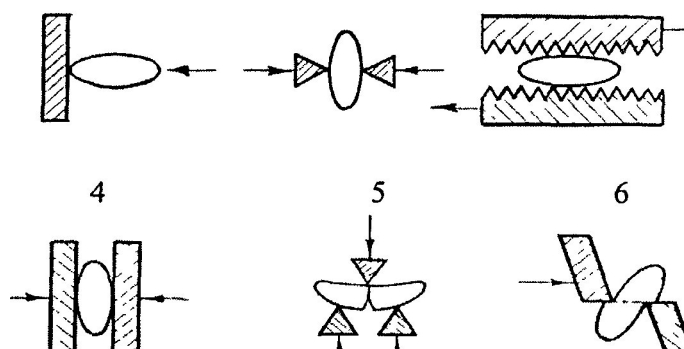


Рисунок 1.1 - Схеми різноманітних способів подрібнення матеріалів: 1 - удар; 2 - розколювання; 3 - стирання; 4 - роздавлювання (плющення); 5 - ламання; 6 - різання.

1.2. Аналіз типових конструкцій зернових дробарок та способів удосконалення їх робочих елементів

У процесі подрібнення різноманітних компонентів застосовуються різні типи подрібнювальних машин, кожна з яких має специфічні конструктивні особливості та способи подрібнення, що залежить від фізико-механічних властивостей матеріалів і вимог до кінцевого продукту. Загалом, подрібнювальні машини можуть комбінувати кілька способів, що дозволяє оптимізувати процес за енергозатратами та ефективністю.

1. **Молоткові дробарки** — це тип машин, у яких подрібнення здійснюється за допомогою молотків, які рухаються з високою швидкістю. Матеріал руйнується під впливом удару молотків по частинках продукту. Молоткові дробарки зазвичай використовуються для подрібнення твердих матеріалів, таких як деформівні продукти (зерно, корми тощо). Молотки можуть бути різної форми, і в залежності від конструкції дробарки розрізняють решетні і безрешетні, одно- та багатодискові, з різним розташуванням ротора (горизонтальним або вертикальним).

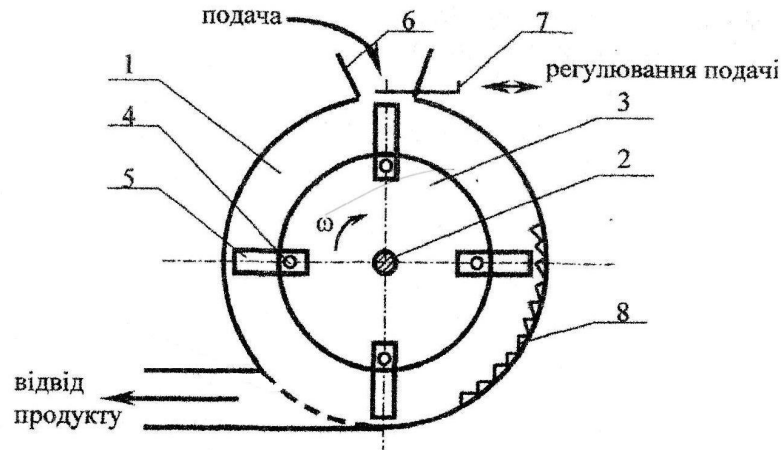


Рисунок 1.2 - Схема молоткової дробарки кормів: 1- дробильна камера ; 2- вал; 3- диск; 4- палець; 5- молоток; 6- завантажувальна горловина; 7- дозатор подачі; 8- решето.

2. **Штифтові дробарки** — застосовуються для більш тонкого подрібнення, зокрема для сільськогосподарських культур. В таких машинах використовуються штифти, що розташовані на обертових дисках. Подрібнюваний продукт проходить через зону штифтів, де багаторазово стикається з ними, що забезпечує інтенсивне подрібнення.

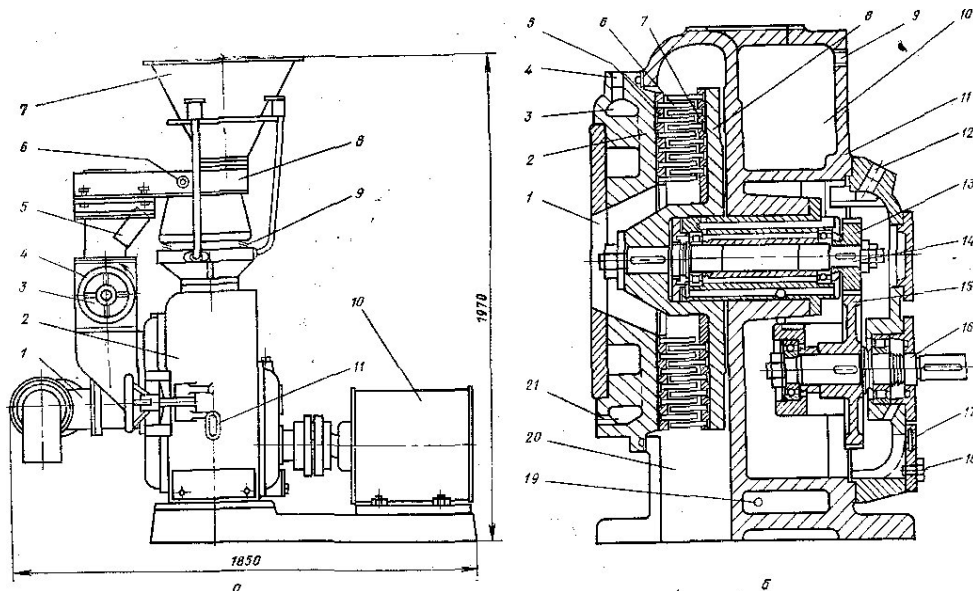


Рисунок 1.3 - Штифтова дробарка:

a — загальний вигляд; *б* — розріз.

3. **Роторні дробарки** — в цих машинах ударні елементи (била) жорстко закріплені на роторі. Вони працюють на основі удару по матеріалу, що дозволяє швидко та ефективно подрібнювати різні матеріали. Такі дробарки широко використовуються в сільському господарстві для подрібнення зерна і інших культур. До роторних дробарок відносяться однороторні машини, які є простими в експлуатації та забезпечують високу ефективність подрібнення.

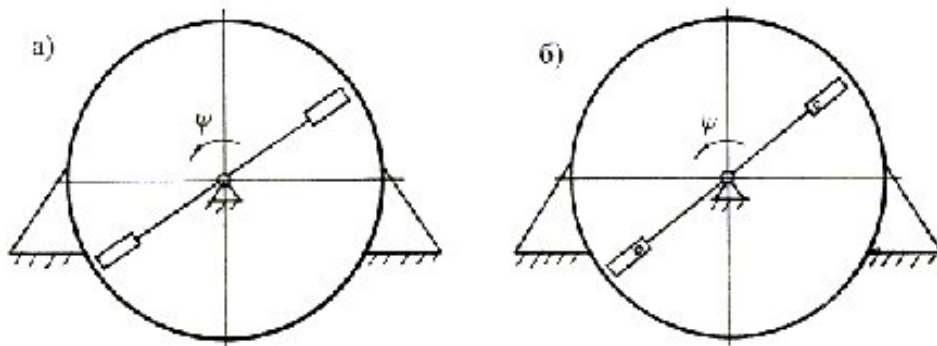


Рисунок 1.4 - Принципові схеми роторних дробарок

Конструктивні особливості дробарок: Подрібнювальні машини, як правило, складаються з кількох основних елементів: ротора з молотками чи білами, корпусу, відбивальних пристроїв (колосникові решітки, плити), вентилятора та приводу. Вентилятори забезпечують повітряний потік, який допомагає переміщувати подрібнений матеріал через решітку і виводити його з камери подрібнення.

Недоліки молоткових дробарок: Хоча молоткові дробарки є ефективними в багатьох випадках, вони мають низку недоліків, таких як висока енергоємність, нерівномірний гранулометричний склад продукту (із надмірною кількістю дрібних частинок), а також інтенсивне зношування молотків і інших робочих органів.

Таким чином, вибір типу подрібнювальної машини залежить від конкретних вимог до кінцевого продукту, властивостей матеріалу, який підлягає подрібненню, а також від економічної доцільності процесу.

1.3. Аналіз досліджень щодо вдосконалення робочих органів

Наукові дослідження в галузі вдосконалення робочих елементів зернових дробарок орієнтовані на оптимізацію процесу подрібнення та зменшення енергетичних витрат. Одним із підходів є змінення форми внутрішніх поверхонь робочої камери. Так, пропонується використання зубчастих або послідовно з'єднаних циліндричних та евольвентних поверхонь, що дозволяє знизити швидкість подрібнення та покращити взаємодію з продуктово-повітряним шаром (ППШ) [2,9]. Крім того, зменшення відстані між молотками та решетом також сприяє зниженню енергетичних затрат [5].

Для покращення вентиляційного ефекту пропонується розміщення молотків на роторі у вигляді спіралі, що забезпечує ефективніше виведення подрібненого матеріалу [10]. Іншим варіантом є підпружинення молотків для збільшення амплітуд коливань, що покращує ударне подрібнення [4,10]. Також для компенсації спрацювання молотків і підтримки оптимальної відстані між ними і стінками робочої камери, в конструкції дробарки можуть бути передбачені механізми регулювання їх положення [11].

Деякі дослідники пропонують об'єднувати різні фізичні явища в одній конструкції, зокрема поєднувати роздавлювання, перетирання і розколювання матеріалу з вібрацією. Це дозволяє значно покращити ефективність подрібнення, зокрема, в дробарках з багатоступневими роторами та статорами, де ротор не лише обертається, але й вібрує вздовж вертикальної осі [6][11]. Також в деяких конструкціях молоткових дробарок пропонують використання вібруючого решета, що додатково підвищує ефективність роботи машини [7].

Суттєвим аспектом є дослідження впливу швидкості руху молотків на продуктивність і ефективність дробарок. Виявлено, що підвищення швидкості дозволяє збільшити продуктивність, покращити якість подрібнення та зменшити масу конструкції, але при цьому швидкість не повинна перевищувати певну межу, аби уникнути негативних явищ у процесі

подрібнення [8]. Зокрема, зростання швидкості ротора призводить до збільшення енергетичних витрат на холостий хід [5].

Велика увага також приділяється дослідженню різних типів молотків для різних видів подрібнення. Пластинчасті молотки з гострими краями ефективно розщеплюють зерна, а молотки з повернутим робочим кінцем використовуються для тонкодисперсного подрібнення, хоча їх продуктивність у два рази нижча за молотки з прямими пластинами [11].

Загалом, ці дослідження вказують на важливість комбінування конструктивних рішень та фізичних процесів для досягнення високих техніко-економічних показників при роботі молоткових дробарок.

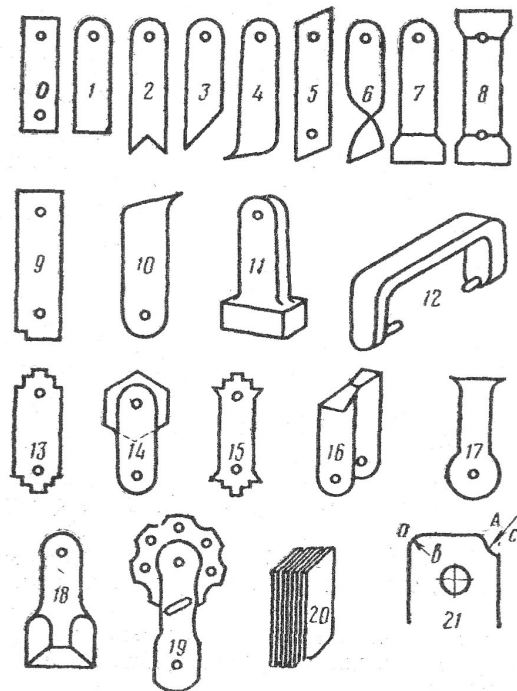


Рисунок 1.6 - Типи молотків подрібнювального обладнання.

Рисунок 1.6 - пластинчасті типи молотків 0, 1, 3, 4, 20, 21; молотки 2, 5, 17 із краями, зрізаними під гострим кутом; із повернутим на 90° робочим кінцем тип 6; молотки із підсиленим робочим кінцем 7, 8, 11, 12, 18, а 9, 10, 13, 15 робочий кінець яких містить більшу кількість вирізів, що утворюють кути, ступені: складені молотки 14, 19 із знімальною робочою частиною та молотки 16 відносять до змішаних, або комбінованих, де такі багатоступінчасті молотки попарно з'єднані між собою П-подібними тонкими пластинами.

1.4 Мета і завдання роботи

Мета роботи – підвищити ефективність роботи та надійність зернових дробарок обґрунтуванням параметрів складових робочих елементів і раціональним вибором конструкційних матеріалів для їх виготовлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати такі *завдання*:

1) проаналізувати стан проблеми в практиці і науці та визначити шляхи удосконалення конструкцій та підвищення надійності робочих елементів зернових дробарок;

2) проаналізувати інженерні методики визначення тріщиностійкості матеріалів робочих елементів зернових дробарок на балкових зразках із боковою тріщиною за умов ударно-втомного та статичного деформувань;

3) визначити ударно-втомну міцність, ударно-втомну та статичну тріщиностійкість матеріалів для виготовлення робочих органів дробарок;

4) запропонувати раціональну технологію термічного зміцнення конструкційних матеріалів для виготовлення молотків, деки, ротора;

5) запропонувати конструктивні рішення для проектування робочих елементів (молотків, деки, ротора) з урахуванням раціонального вибору здійсненого за параметрами тріщиностійкості конструкційних матеріалів.

Об'єкт дослідження – робочі елементи дробарок та тріщиностійкість конструкційних матеріалів.

Предмет дослідження – залежності параметрів тріщиностійкості від способів деформування та режимів термообробки конструкційних матеріалів.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДРОБАРОК

2.1. Розрахунок параметрів робочих елементів

Роботи [8, 16] дають можливість проаналізувати послідовності робочих процесів подрібнення сільськогосподарського матеріалу в зерновій дробарці типу ДКМ, де встановлено, що повітряні потоки сприяють підвищенню продуктивності, зокрема динамічні потоки подрібнювального зерна та повітря циркулюють у середині камери, а статичний потік - вихід готового продукту через решета. Розглянуто залежності потужності та тиску від продуктивності й швидкості потоку, а також розподіл швидкостей повітряного потоку в камері подрібнення, вплив на гранулометричний склад готового продукту та продуктивність дробарки.

Доведено, що швидкості ППШ та ступінь подрібнення перебувають в оберненій залежності, а розподіл швидкості вздовж решета позитивно впливає на гранулометричний склад і техніко-економічні показники продукту подрібнення. У роботі [12] представлено експериментальні дані щодо часу контакту зерна під час удару, межі його міцності (зокрема, для ячменю), часу співударяння різних частин зерна, впливу вологості на робочий процес і питомих витрат енергії. Встановлено, що товщина ППШ становить 20...32 мм, а швидкість частинок на його межі сягає 50...20% від швидкості молотків. Вивчено шляхи підвищення ефективності дробарки, зокрема залежність робочого процесу від стану поверхні зерна та вплив внутрішнього вентилятора.

Результати досліджень щодо потужності електродвигуна для забезпечення оптимального завантаження дробарки залежно від способу завантаження, діаметра камери та отворів сит відображено у роботі [1,5,19]. Основними показниками роботи дробарки є продуктивність, споживча потужність, ступінь подрібнення, питомі витрати енергії. Вони дозволяють встановлювати залежності між продуктивністю та потужністю за постійної

величини подрібнення, що вважається робочою характеристикою дробарки, на основі якої визначають робочий діапазон продуктивності для різних матеріалів. Важливою характеристикою також є залежність питомої витрати електроенергії від продуктивності.

Параметри, що впливають на роботу зернових дробарок, можна розділити на дві групи, зокрема перша включає конструктивні параметри, такі як діаметр і довжина ротора, кількість молотків, швидкість обертання, тип сепаратора. Друга група охоплює параметри, що визначають властивості матеріалу та режим роботи дробарки: це коефіцієнт здатності матеріалу до розмелювання, розмір крупинок до і після подрібнення, вологість тощо.

На роботу дробарок ударної дії найбільше впливають параметри першої групи, тоді як із параметрів другої групи значний вплив мають розмір частинок готового продукту і показник придатності матеріалу до розмелювання. Зернова дробарка досягає оптимальної продуктивності за мінімальної питомої витрати енергії на подрібнення, причому оптимальна продуктивність залежить від конструктивних і технологічних чинників.

Згідно здійснених досліджень промислові по залежності потужності N і продуктивності P можливо визначити згідно рівняння:

$$P = C(N-a \times N_1)^q, \quad (2.1)$$

де N_1 – показник потужності дробарки при холостому ході; C – значення коефіцієнтів.

Значення коефіцієнта пропорційності a приймається як 0,7, і він може варіюватися залежно від низки чинників, таких як конструкція дробарки та сепаратора, властивості подрібнювального матеріалу та крупність готового продукту. Значення показника степеня q впливає на конструкцію сепаратора, встановленого на дробарці, і змінюється в межах 0,5...0,9, що відображає зміну кратності циркуляції продукту в контурі дробарка - сепаратор відповідно до продуктивності.

Відповідно, що зі збільшенням геометричних розмірів ротора, а саме його діаметра D та довжини L , продуктивність дробарки зростає за однакових

умов, а також вважається, що показник продуктивності дробарки прямо пропорційна довжині ротора, що підтверджується результатами промислових випробувань, у яких відносна довжина ротора $L/DL/DL/D$ коливалася в межах 0,6...2,0 [17-20]. Згідно аналізу можна відзначити, що продуктивність є прямо пропорційною площі поперечного перерізу ротора.

Так, як основним матеріалом для подрібнення у дослідженні є зернові продукти, важливо також дослідити швидкість руйнування зерна. С.В. Мельников [14] пропонує формулу для визначення руйнівної швидкості за умови багаторазового впливу молотків на матеріал, що подрібнюється. Ця формула дозволяє пов'язати кінематичні режими роботи дробарки з динамічними характеристиками міцності матеріалу, а також з основним технологічним показником — ступенем подрібнення.

$$J_{уд} = J_{руй} = \sqrt{k_3(0,81 + 2,3 \lg l_3)}, \quad (2.2)$$

де $J_{руй}$ — показник руйнівної швидкості із багаторазовою дією робочих органів на подрібнювальні матеріали.

2.2. Дослідження робочих елементи та зародження і ріст експлуатаційних тріщин при процесах подрібнення

Показники роботи дробарок зерна значною мірою залежить від стану найбільш навантажених елементів, таких як молотки, дека, ротор. Дослідження причин виходу з ладу цих елементів проводилось на прикладі дробарки типу ДКУ шляхом вивчення зовнішнього вигляду молотків після різних ступенів спрацювання (рис. 2.1). Було встановлено, що після тривалого використання молотки зазнавали суттєвого зносу, особливо на периферійних заокругленнях, де вони мали максимальне контурне спрацювання.

Для аналізу процесів зношування, торцеві поверхні молотків знежирювали і протравлювали 1% розчином азотної кислоти (HNO_3), що

дозволило виявити рельєф з виступами і западинами, які стали більш вираженими після тривалої експлуатації (рис. 2.2 а, б). Дослідження цих зон зношування проводили під мікроскопом МІМ-7 на нетравлених шліфах, де виявлено зародження втомних тріщин з притупленими та гострими вершинами (рис. 2.3 а, б).



Рисунок 2.1 - Загальний вигляд молотків дробарки ДКУ – після різного ступеня спрацювання: 1 – незначне; 2 – середнє; 3 – середнє двостороннє; 4 – максимальнє двохстороннє



Рисунок 2.2 - Рельєф спрацьованих поверхонь молотків

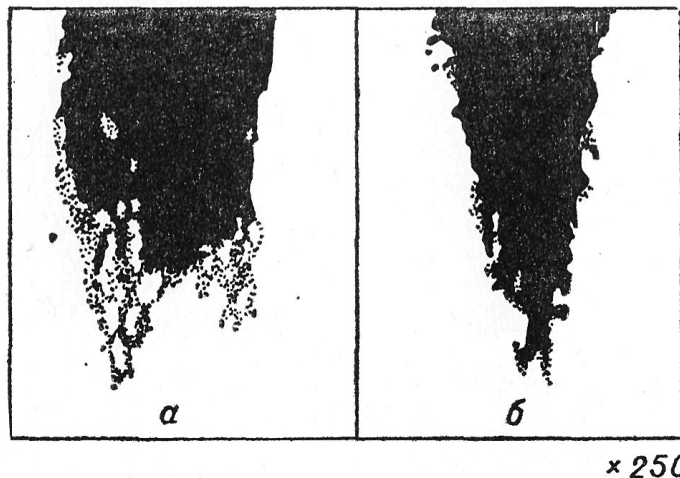


Рисунок 2.3 - Вершина втомної тріщини у нетравлених шліфах: а, б – максимальнє та незначне спрацювання молотків відповідно ($\times 250$)

Для розуміння механізму розвитку тріщин матеріал шліфа піддавали обробці 4% розчином пікринової кислоти, а аналіз мікроструктури сталі 30ХГСА показав наявність втомної тріщини з транскристалітним руйнуванням, що є характерним для низького відпуску після термічної обробки (рис. 2.4).

Підсумовуючи, тривалі статичні та ударні навантаження під час розмелювання спричиняють утворення мікротріщин у зонах концентрації напружень, які з часом переростають у макротріщини та можуть призвести до руйнування молотка. Виявлені явища втомного зношування робочих елементів дробарок було використано для застосування механіки руйнування, тобто критеріїв тріщиностійкості, що допомагає визначати опір матеріалу поширенню тріщин — ці питання будуть розглянуті в наступних розділах дослідження.

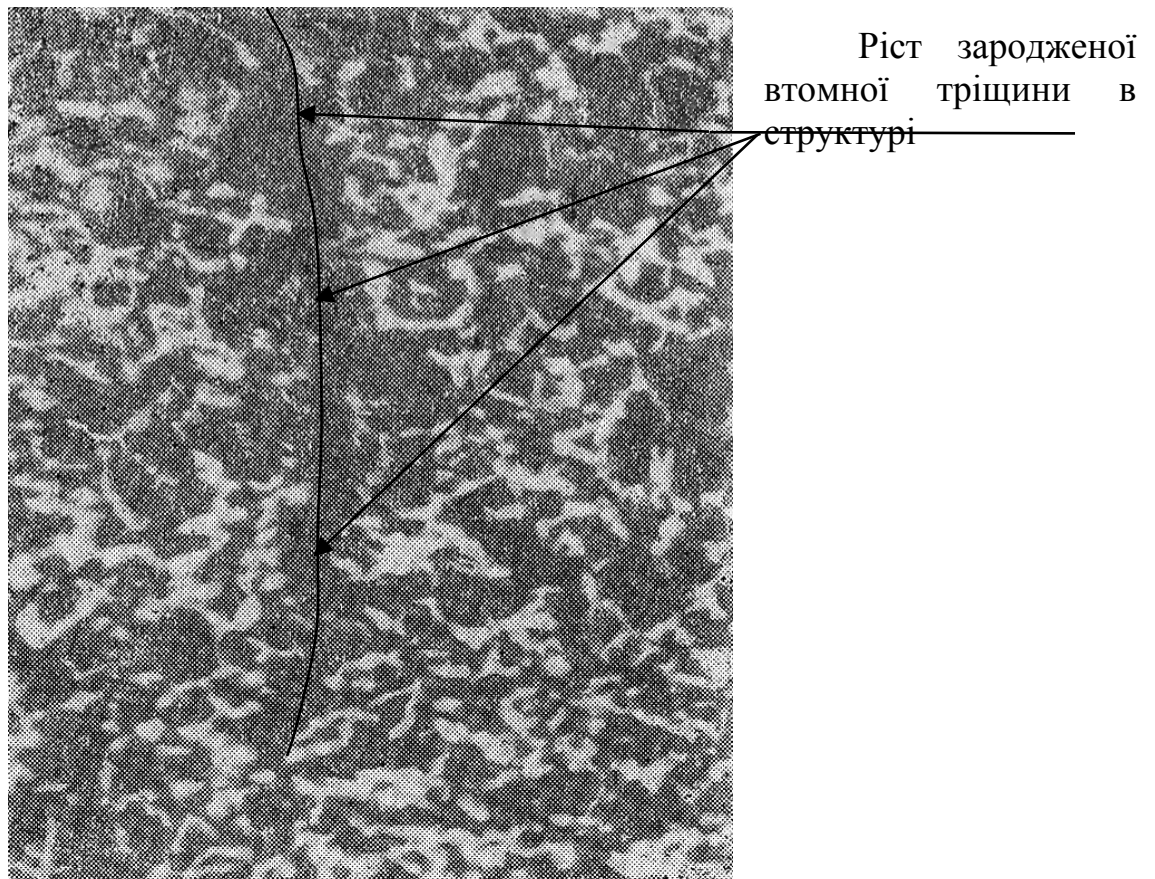


Рис. 2.4 - Мікроструктура сталі 30ХГСА з вихідною тріщиною ($\times 250$)

2.3 Напружено-деформований стан в околі контура тріщин, згідно аналізу коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН)

Історично перший критерій механіки руйнування, запропонований А.А. Гріффітсом у 1921 році, був енергетичним, однак найбільш широкого поширення в інженерних розрахунках отримав силовий підхід, введений Дж. Р. Ірвіном. Він полягав у визначенні коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) в вершині тріщини. Цей підхід значно спростив опис руйнування, а його реалізація призвела до створення лінійної механіки руйнування, яка є основою для аналізу крихких руйнувань матеріалів та конструкцій.

Розподіл напружень і деформацій, які виникають у конструкціях під навантаженням, є важливим аспектом при розрахунках на міцність. Особливу увагу приділяють області біля вершини тріщини, оскільки саме там починається руйнування. В рамках лінійної механіки руйнування, яка передбачає модель ідеально пружного тіла, тріщина розглядається як розріз нульової товщини, а її поверхні є вільними від напружень, що зводить задачу до крайової задачі теорії пружності.

Розподіл деформацій в околі точки на контурах тріщини можна розглядати як суперпозицію трьох основних видів деформацій, що відповідають трьом типам зміщення поверхонь тріщини:

1. **Нормальний відрив (тип I)** — пов'язаний з нормальним зміщенням поверхонь тріщини у протилежні напрямки (симетрично відносно площин xu і xz).

2. **Поперечний зсув (тип II)** — відповідає переміщенню поверхонь тріщини, коли вони ковзають одна по іншій в напрямі, перпендикулярному до фронту тріщини (вісь z).

3. **Поздовжній зсув (тип III)** — характеризується ковзанням однієї поверхні тріщини по іншій паралельно фронту тріщини (вісь z).

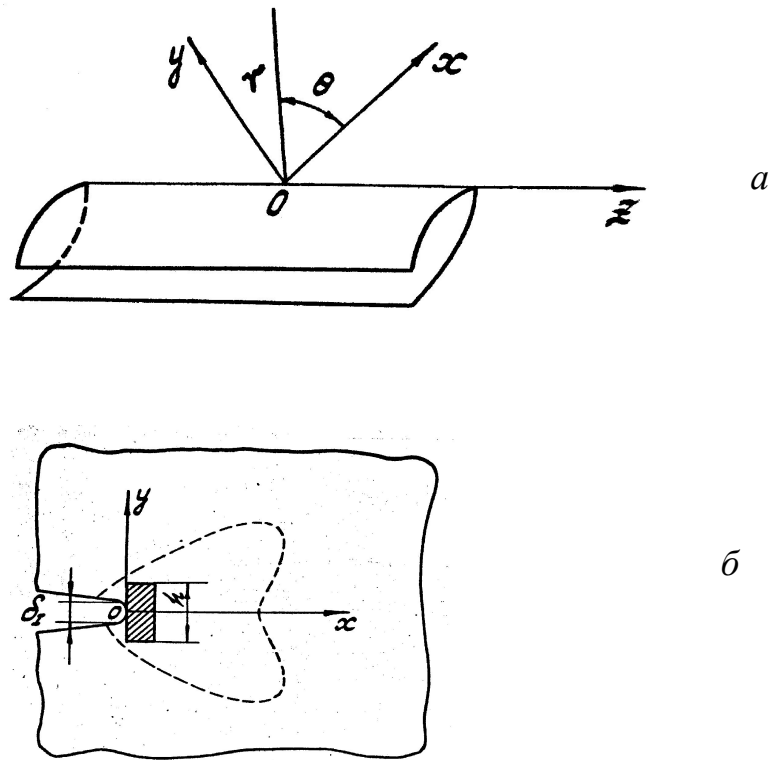


Рисунок 2.5 - Система координат з розподілом напружень у вершині тріщини, заданим рівняннями (1.3) - (1.5), (а); і деформацій в околі точки О (б)

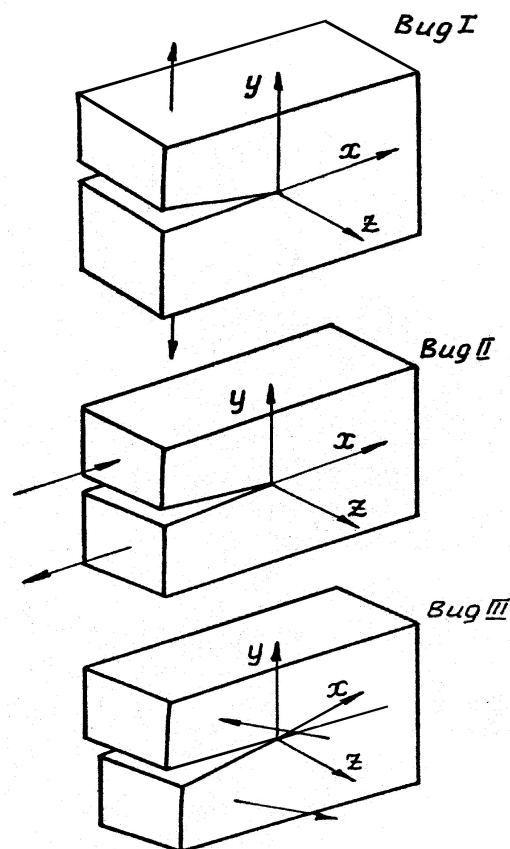


Рисунок 2.6 - Основні типи переміщень поверхонь тріщини: I – нормальний відрив; II – поперечний зсув; III – поздовжній зсув.

Розподіл зміщень і напружень для кожного з цих типів деформацій можна виразити через відповідні рівняння, що дозволяють більш детально досліджувати поведінку тріщини і визначати її стійкість до руйнування.

- згідно із нормальним відривом (I)

$$\begin{aligned}
 u_x &= \frac{K_I}{G} \sqrt{\frac{r}{2p}} \cos \frac{q}{2} \frac{\ddot{a}}{e} - 2m + \sin \frac{q}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}, \\
 u_y &= \frac{K_I}{G} \sqrt{\frac{r}{2p}} \sin \frac{q}{2} \frac{\ddot{a}}{e} - 2m + \sin \frac{q}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}, \\
 s_{xx} &= \frac{K_I}{\sqrt{2pr}} \cos \frac{q}{2} \frac{\ddot{a}}{e} - \sin \frac{q}{2} \sin \frac{3q}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}, \\
 s_{yy} &= \frac{K_I}{\sqrt{2pr}} \cos \frac{q}{2} \frac{\ddot{a}}{e} + \sin \frac{q}{2} \sin \frac{3q}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}, \\
 s_z &= \frac{2mK_I}{\sqrt{2pr}} \cos \frac{q}{2}, \\
 t_{xx} &= t_{yz} = 0, \\
 t_{xy} &= \frac{K_I}{\sqrt{2pr}} \sin \frac{q}{2} \cos \frac{q}{2} \cos \frac{3q}{2};
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

- згідно із поперечним зсувом (II)

$$\begin{aligned}
 u_x &= \frac{K_{II}}{G} \sqrt{\frac{r}{2p}} \sin \frac{q}{2} \frac{\ddot{a}}{e^2} - 2m + \cos^2 \frac{q}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}, \\
 u_y &= \frac{K_{II}}{G} \sqrt{\frac{r}{2p}} \cos \frac{q}{2} \frac{\ddot{a}}{e^2} m - 1 + \sin^2 \frac{q}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}, \\
 u_z &= 0, \\
 s_{xx} &= - \frac{K_{II}}{\sqrt{2pr}} \sin \frac{q}{2} \frac{\ddot{a}}{e^2} + \cos \frac{q}{2} \cos \frac{3q}{2} \frac{\ddot{\phi}}{\dot{\phi}}, \\
 s_{yy} &= \frac{K_{II}}{\sqrt{2pr}} \cos \frac{q}{2} \sin \frac{q}{2} \cos \frac{3q}{2},
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

$$s_{zz} = -\frac{2mK_{II}}{\sqrt{2pr}} \sin \frac{q}{2},$$

$$t_{xx} = t_{yz} = 0,$$

$$t_{xy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2pr}} \cos \frac{q}{2} - \sin \frac{q}{2} \sin \frac{3q}{2};$$

- згідно із поздовжнім зсувом (III)

$$u_x = 0; \quad u_y = 0,$$

$$u_z = \frac{K_{III}}{G} \sqrt{\frac{2r}{p}} \sin \frac{q}{2},$$

$$t_{xy} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2pr}} \sin \frac{q}{2}, \quad (2.5)$$

$$t_{yz} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2pr}} \cos \frac{q}{2},$$

$$s_{xx} = s_{yy} = s_{zz} = t_{xy} = 0.$$

2.4. Силіві та деформаційні критерії крихких і квазікрихких руйнувань

У лінійній механіці руйнування, напружено-деформований стан в околі фронту тріщини в ідеально пружному тілі, при зовнішньому навантаженні, визначається коефіцієнтами інтенсивності напружень, які описують різні типи деформації: нормальний відрив, поперечний зсув і поздовжній зсув. Ці коефіцієнти є основними величинами в силових критеріях лінійної механіки руйнування.

У випадку, коли тріщина досягає критичного значення, вона переходить із стійкого стану в нестійкий, що призводить до її поширення. Відповідно до цього, можна записати критеріальне рівняння для тріщини:

$$F(K_I, K_{II}, K_{III}, C_i) = 0, \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (2.6)$$

У реальних металах існує зона пластичної деформації біля вершини тріщини, що порушує умови ідеальної пружності в розв'язку задач для пружних тіл. Однак, якщо зона пластичної деформації мала порівняно з

розмірами тіла або довжиною тріщини, то наближення для розподілу напружень, отримане за допомогою коефіцієнтів інтенсивності напружень для пружних тіл, може бути досить точним. У таких умовах критерії лінійної механіки руйнування залишаються справедливими при умові обмеженого пластичного течіння матеріалу, що дозволяє описати процес руйнування як квазікрихке (приблизно пружне) руйнування.

Перший критерій такого типу для руйнування квазікрихких тіл, заснований на механізмі нормального відриву, був запропонований Дж. Р. Ірвіном у 1950-х роках. Згідно з цим критерієм, тріщина починає поширюватися, коли коефіцієнт інтенсивності напружень досягає певного критичного значення, яке є характеристикою матеріалу.

$$K_{I*} = K_{Ic}, \quad K_{I*} = K_c \quad (2.7)$$

Тут $K_{I*} = K_I(\mathbf{s}^*, l)$, де \mathbf{s}^* - граничне значення прикладеного навантаження \mathbf{S} .

Аналогічно до критерію Ірвіна умова старту тріщини при поперечному зсуві ($K_I = K_{III} = 0$) має вигляд:

$$K_{II*} = K_{IIc}, \quad (K_{II*} = K_{II}(\mathbf{s}^*, l)), \quad (2.8)$$

а при поздовжньому зсуві ($K_{II*} = K_{IIc} = 0$):

$$K_{III*} = K_{IIIc}, \quad (K_{III*} = K_{III}(\mathbf{s}^*, l)). \quad (2.9)$$

Принципові відмінності між величинами K_{I*} , K_{II*} , K_{III} полягають в тому, що перші відображають геометричну форму тіла з тріщиною та умови навантаження, тоді як другі є характеристиками самого матеріалу. Коефіцієнти K_{I*} , K_{II*} , K_{III} характеризують тріщиностійкість матеріалу, тобто його здатність протидіяти поширенню тріщини під дією навантаження, аналогічно до характеристик, таких як межа текучості або міцність. Вони дозволяють оцінити, при якому рівні напружень тріщина почне поширюватися, що є критичним параметром для аналізу міцності конструкцій, які працюють під впливом різних навантажень.

Для визначення тріщиностійкості матеріалів були розроблені методики та рекомендації, що регламентують умови визначення цих характеристик,

зокрема для крихких та квазікрихких матеріалів. Для матеріалів із підвищеною пластичністю більш ефективним є застосування деформаційного підходу, заснованого на деформаційних критеріях локального руйнування, які адекватно описують руйнування пластичних матеріалів. Відмінною рисою цього підходу є використання КРТ-критерію — критичного розкриття тріщини.

У випадку пружно-пластичного тіла, яке має тріщину довжиною (l) і піддається зовнішньому навантаженню (s), завдання полягає в тому, щоб визначити таку величину навантаження ($s = s^*$), при якому тріщина почне поширюватися. Це завдання вирішується через деформаційний критерій міцності, який встановлює залежність між навантаженням і розкриттям тріщини, визначаючи критичний рівень деформації, при якому відбувається руйнування.

$$e_{\max}(l, s^*) = e_c, \quad (2.10)$$

де e_{\max} - максимальна розтягуюча деформація в околі тріщини (зони передруйнування); e_c - гранична розтягуюча деформація для матеріалу тіла.

Експериментальні дані показують, що цей критерій найбільш застосовний для тіл з високою пластичністю, хоча він складно реалізується для тіл з тріщинами, оскільки передбачає точні вимірювання величини максимальних деформацій у зоні передруйнування. Щоб подолати ці труднощі, в зоні передруйнування обирають елементарний об'єм, де розкриття тріщини можна визначити через видовження цього об'єму. (див. рис. 2.6, б), тобто

$$e_{\max}(l, s) = d_l(l, s) / h \quad (2.11)$$

Підставляючи вираз (2.11) в співвідношення (2.10), знаходимо

$$d_l(l, s^*) = h \cdot e_c \quad (2.12)$$

Позначивши $d_l = h \cdot e_c$, одержуємо

$$d_l(l, s^*) = d_{lc} \quad (2.13)$$

Поперечний II та поздовжній III зсуви:

$$d_{II}(l, s^*) = d_{IIc}; \quad d_{III}(l, s^*) = d_{IIIc} \quad (2.14)$$

Застосування цих критеріїв в дослідженнях робочих елементів дробарок дозволяє оцінити їх стійкість до ударних та статичних навантажень, що виникають в результаті роботи молотків, дек та інших елементів в процесі подрібнення. У подальших дослідженнях будуть використані силові критерії ударно-втомної міцності та статичної тріщиностійкості для оцінки матеріалів, з яких виготовлені ці елементи. Це дозволить більш точно визначити їх експлуатаційні характеристики та запобігти можливим поломкам.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма досліджень

В основі дослідження і проектування нової техніки, здійснення оптимізації експлуатаційних характеристик лежить науковий підхід до виявлення взаємозалежності ключових параметрів, їх впливу на кінцевий результат взаємодії на оброблюваний продукт. Для цього необхідно всесторонньо підійти до вивчення об'єкта дослідження. Необхідно досконало проаналізувати технологічний процес, що протікає в конкретній машині, чинники, які впливають на характер протікання цього процесу та багато інших положень, без яких удосконалення існуючих машин і технологій, і особливо, розробка нових технічних засобів є неможливою.

В даній магістерській роботі здійснюється дослідження та обґрунтування робочих елементів дробарок з метою виявлення його оптимальних параметрів для заданих умов проектування. Для цього необхідно здійснити наступні кроки:

- 1) Дослідити сучасні тенденції стану проблеми в практиці і науці.
- 2) Визначити шляхи удосконалення конструкції та підвищення надійності робочих елементів зернових дробарок;
- 3) Застосувати дві інженерні методики з відповідним технологічним спорядженням, пристроями та контрольно-вимірювальною технікою для визначення тріщиностійкості конструкційних матеріалів за параметрами K_{fc} і K_{1c} за схемами ударно-втомного консольного та статичного триточкового згинів балкових зразків з боковим концентратором – тріщиною відповідно, які можна успішно застосувати для ранжування та вибору матеріалів і виготовлення робочих елементів роторних і молоткових зернових дробарок.
- 4) Дослідити ударно-втомну міцність і ударно-втомну тріщиностійкість термічно-зміцнених сталей 30ХГСА, 65Г, 60С2А та чавунів ВЧ50-2 і СЧ20 за

схемою консольного згину балкових зразків з боковим концентратором – тріщиною і, на підставі цих даних, встановлено їх ранжування з точки зору опору поширення тріщини.

5) Дослідити статичну тріщиностійкість сталей 30ХГСА, 65Г, 60С2А та чавунів ВЧ50-2 і СЧ20 за схемою триточкового згину балкових зразків з боковою тріщиною і, на підставі цих даних, встановлено їх ранжування з точки зору опору поширення тріщини.

6) Дослідити вплив режимів термічного зміцнення на ударно-втомну міцність і статичну тріщиностійкість сталей 30ХГСА, 65Г, 60С2А за схемами консольного та триточкового згину балкових зразків з боковим концентратором – тріщиною і, на підставі цих даних, встановлено їх ранжування з точки зору опору поширення тріщини.

7) На основі комплексних досліджень перелічених марок матеріалів з відповідними режимами термічного зміцнення, запропоновано раціональний вибір матеріалів для виготовлення робочих елементів (молотків, деки, ротора) для молоткових і роторних зернових дробарок.

8) У разі глибокого спрацювання робочих поверхонь молотків і економії дорогої сталі 30ХГСА запропоновано їх реставрацію нанесенням зносостійких наплавок, а міцність зварного з'єднання з неоднорідною структурою по лінії сплавлення наплавки з основою сталі, визначати за параметром тріщиностійкості K_{Ic} .

9) Зробити висновки з виконаної роботи.

3.2. Методика здійснення досліджень

3.2.1 Вплив схеми базування балкових зразків та зусилля затиску із концентратором на зародження і ріст ударно-втомних тріщин

Ударно-втомна міцність конструкційних сталей та чавунів для молотків, деки - балкові зразки $(b' \ h' \ L) = 20' \ 35' \ 200 \text{ мм.}$, із боковим концентратором (глибина $(l = 5 \text{ мм})$), гострота дна $(r = 0,1 \text{ мм})$ і ширина концентратора 3 мм (рис.3.1).

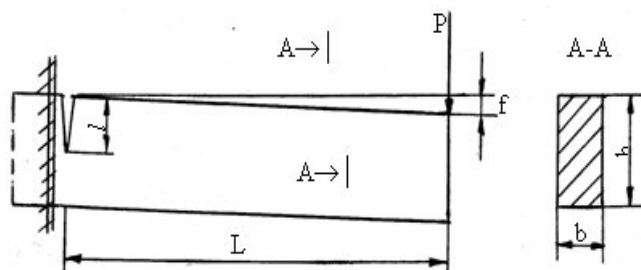
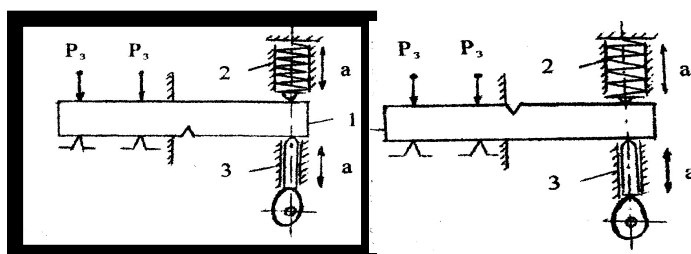


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема згину консольної балки з боковим концентратором біля защемлення.

При частоті циклічного деформування $n = 70$ циклів / хв, одні базувались концентратором - вниз, а інші вгору (рис.3.2,а,б).



а) жорстке деформування

б) м'яке деформування

Рисунок 3.2 - Схема ударно-втомного деформування балкового зразка:

1-балковий зразок; 2- підпружинений під'ятник; 3- штовхач з ексцентриковим кулачком.

Деформування балкового зразка здійснювали із використання дослідної установки (рис. 3.3).

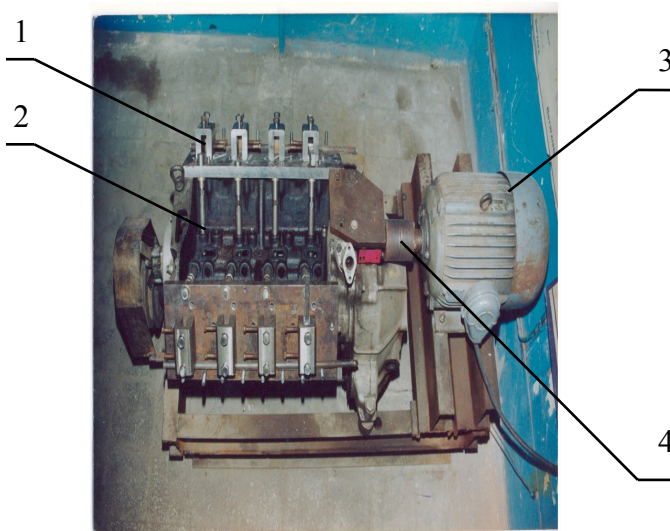


Рисунок 3.3 - Загальний вигляд установки: 1 – стояки базувальні; 2 – штовхачі динамометричні; 3 – електродвигун; 4 – муфта пальцева

Результати досліджень відображені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Ударно-втомна міцність балкових зразків з боковим концентратором згином на консолі.

Марка матеріалу, схеми базування та закріплення балкового зразка	Кількість циклів, підростання тріщини до $l=1,0\text{мм}$, N , цикл/хв.
Сталь 45, базування та закріплення концентратором униз	611
Сталь 45, базування та закріплення концентратором угору	875
Сірий чавун СЧ-45, базування та закріплення концентратором униз	465
Сірий чавун СЧ-45, базування та закріплення концентратором угору	526

Кількість циклів деформування N у сталі 45 є більшою ніж сірого чавуна СЧ-45.

Результати ударно-втомної міцності відображено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Ударно-втомна міцність балкових зразків з боковим концентратором залежно від схеми базування та зусилля затиску в пристрої

№ п/п	Марка матеріалу, схема базування та закріплення балкового зразка	Зусилля затиску $Q_{зат,кН}$	Кількість циклів підростання тріщини до $l=1,0\text{мм}$., N цикл./хв.
1.	Сталь 45, базування та закріплення концентратором униз	10	637
		13	628
		15	605
		20	585
2.	Сірий чавун СЧ-45, базування та закріплення концентратором униз	10	462
		13	456
		15	425
		20	393

3.2.2 Визначення напружень на дні концентратора консольної балки та утворення тріщини при ударно-втомному деформуванні

Проведення досліджень здійснювалось згідно розрахункової схеми консольного згину балкового зразка з боковим концентратором (рис. 3.3), та визначено оптимальний прогин f згину балки на консолі і напружень S , які виникають на дні концентратора.

Розглянемо жорстко защемлену балку (див. рис. 3.4) висотою h , товщиною b і довжиною L , яку згинають на консолі силою P . Біля защемлення балка послаблена боковим концентратором заданої глибини l та гостроти і має залишкову висоту $h_o = h - l$. Силу згину P для балки 1 надає штовхач 3 ексцентриковим кулачком, який, обертаючись навколо своєї осі, періодично піднімає шток, що забезпечує заданий прогин f_o

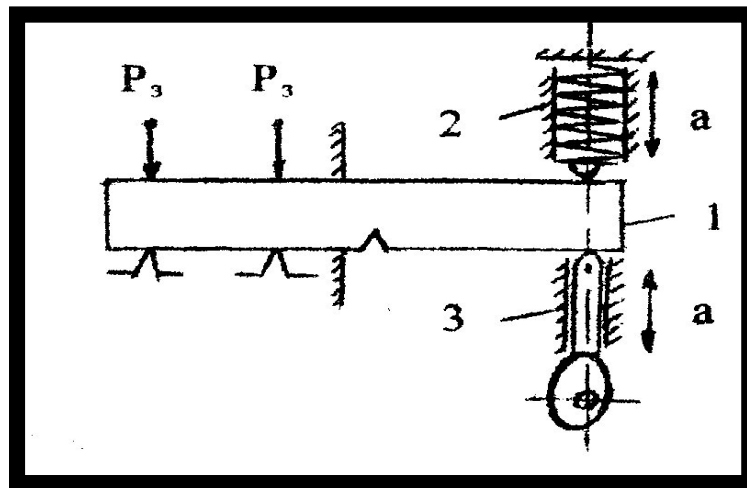


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема консольного згину балкового зразка з боковим концентратором: 1 - балковий зразок; 2 - підпружений під'ятник; 3 - штовхач з ексцентриковим кулачком.

Повернення деформованої балки у своє попереднє положення забезпечує під'ятник за рахунок протидії від стиснутої пружини 2 (див. рис. 3.3).

Здійснимо вибір прогину f_o згідно умов при максимальних напруженнях на балці, та сягають межі плинності S_m матеріалу, відповідно формули опору матеріалів прогин f_o буде дорівнювати:

$$f_0 = \frac{4P \mathcal{L}^3}{E \mathcal{b} \mathcal{h}^3} \quad (3.1)$$

При підставленні h на h_0 :

$$f_0 = \frac{4P \mathcal{L}^3}{E \mathcal{b} \mathcal{h}_0^2} \cdot \quad (3.2)$$

Сила згину балки:

$$P = \frac{E \mathcal{b} \mathcal{h}_0^3 \times f_0}{L^2} \quad (3.4)$$

Максимальні напружень балки із концентратором:

$$s_{\max} = \frac{3}{2} \frac{E \mathcal{h}_0 \times f_0}{L^2} \cdot \quad (3.5)$$

При $s_{\max} = s_m$ при прогині f_0 , досягнуто напруження s_m :

Яущо: $B = 35 \text{ мм}; h_0 = 24 \text{ мм}; r = 0,1 \text{ мм}; L = 86 \text{ мм}$ та Сталь 45

$s_m = 400 \text{ МПа}; E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ МПа}$ прогин $f_0 = 0,4 \text{ мм}$,

3.2.3 Визначення КІН консольної балки із боковою тріщиною згідно сталюї сили прогину P

Здійснювалось визначення K_{Ic} згідно силової схеми.

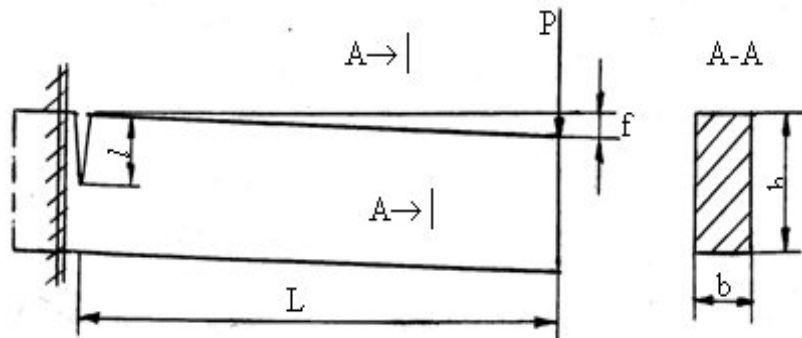


Рис. 3.4 - Розрахункова схема згину консольної балки з боковою тріщиною біля защемлення.

Згідно методу граничної інтерполяції розглянуто два граничних випадки:

- неглибока тріщина, $e = l/h \approx 0$;
- глибока тріщин, $e = l/h \approx 1$.

$$K_1 = \frac{11,9274PL\sqrt{e}}{bh\sqrt{h}(1-e)^2\sqrt{1+7,9927e}} \quad (3.6)$$

3.2.4 Визначення КІН консольної балки та бокової тріщиною згідно сталого прогином f

При здійсненні досліджень при втомному підростанні тріщин потрібно здійснити визначення K_I при сталому прогині.

Значення прогину визначають згідно співвідношення:

$$f^* = \frac{bE}{2,3173Pe_1^2} f = \frac{e}{e_1} \sqrt{\frac{1}{(1-e)^2} - 1 + \sqrt{2,589e_1}} \frac{\dot{u}}{\dot{u}} \text{ при } e_1 = 10 \quad (3.7)$$

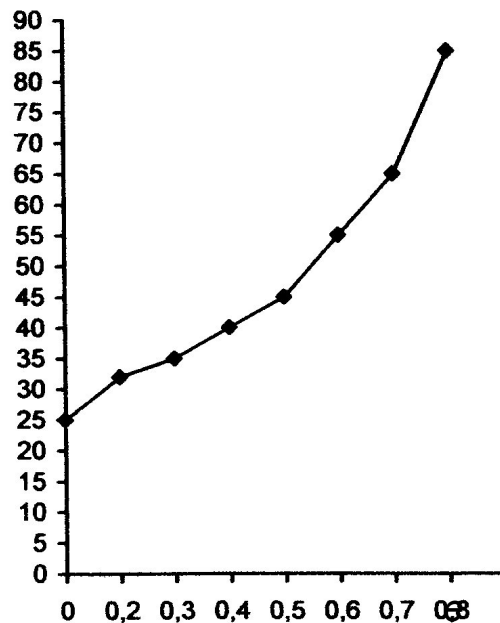


Рисунок 3.5 - Залежність безрозмірного прогину f^* від параметра e .

Згідно рис. 3.5 визначено K_I згідно постійної стріли прогину f :

$$K_1 = \frac{E \times f}{\sqrt{h}} \times F(e, e_1), \quad (3.7)$$

$$\text{де } F(e, e_1) = 5,147 \frac{\sqrt{e} \dot{e} \ddot{e} \sqrt{\frac{1}{(1-e)^2} - 1 + \sqrt{2,589e_1 \dot{e} \ddot{e}^{-2}}}}{e_1(1-e)^{3/2} \sqrt{1+7,9927e}} \quad (3.8)$$

Для спрощення визначення КІН K_I побудовано графічну залежність (рис. 3.6).

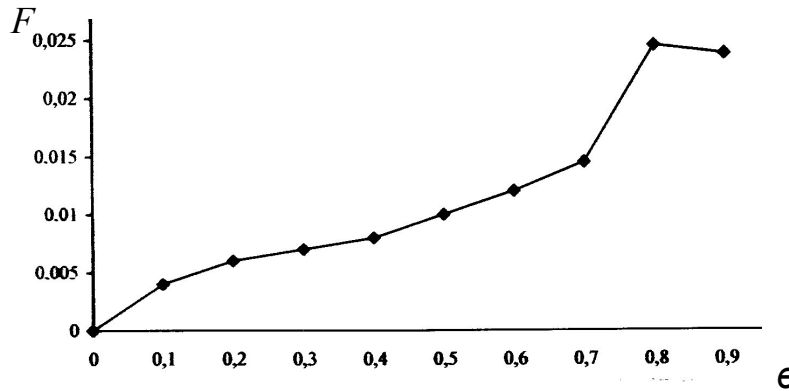


Рисунок 3.6 - Графічна залежність функції $F(e, e_1)$ від параметра e , при $e_1=10$.

3.2.5 Визначення КІН балки із боковою тріщиною згідно триточкового згину

Дослідження здійснювались із використанням схеми деформування згідно дії сили згинання P (рис. 3.7).

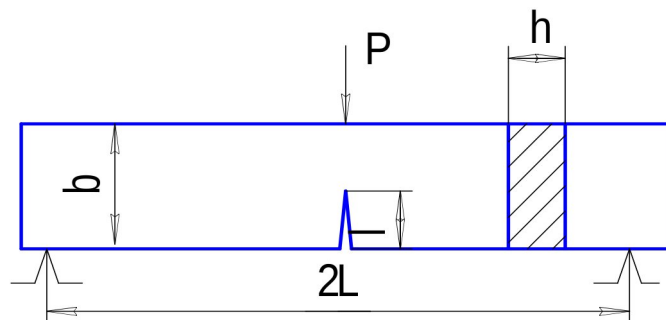


Рисунок 3.7 - Розрахункова схема триточкового згину балкового зразка з боковою тріщиною.

Визначення КІН K_{Ic} для конструкційних матеріалів які послаблені тріщиною:

$$K_I = 11,9274 \sqrt{e} M / [h \sqrt{b} (1-e)^{3/2} \sqrt{1+7,9927e}] \quad (3.9)$$

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ, ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Балкові зразки із боковим концентратором, та режими термічної обробки

Таблиця 4.1 - Режими термічної обробки призматичних балок із досліджуваних матеріалів

№ п/п	Марка матеріалу	Режими термічної обробки призматичних балок	Міцність s_B , МПа	Твердість балки
1.	Сірий чавун СЧ20	Низькотемпературний відпал при 600 °С протягом 5...8 год., охолодження з піччю до 250 °С та подальше охолодження на повітрі	200	210 НВ
2.	Високоміцний чавун ВЧ50-2	Гартування після нагріву від 900 °С та витримка 30 хв., охолодження в оливі та низькотемпературний відпал при 500 °С протягом 6 год., охолодження з піччю до 200 °С та подальше охолодження на повітрі	390	220 НВ
3.	Сталь 60С2А	Гартування після нагріву від 820 °С, охолодження в оливі та відпуск 200 °С	1560	48 HRC
4.	Сталь 65Г	Гартування після нагріву від 880 °С, охолодження в оливі та відпуск 250 °С	1670	46 HRC
5.	Сталь 30 ХГСА	Гартування після нагріву від 950 °С, охолодження в оливі та відпуск 250 °С	1680	42 HRC

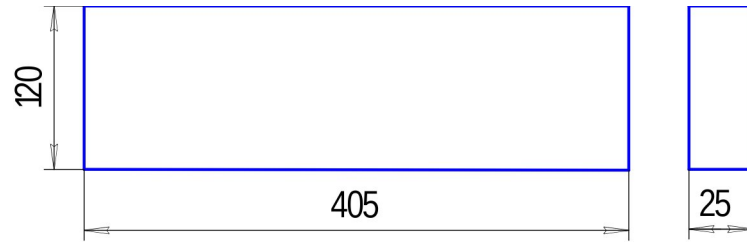


Рис 4.1 - Карти-заготовки плит для порізки на призматичні балки.

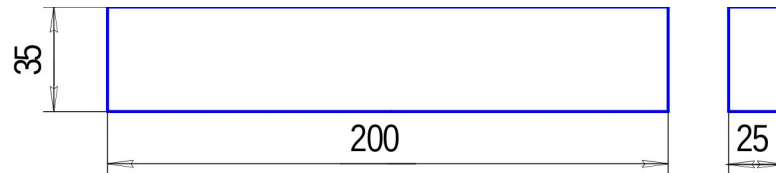


Рис 4.2 - Геометричні розміри призматичних балок.

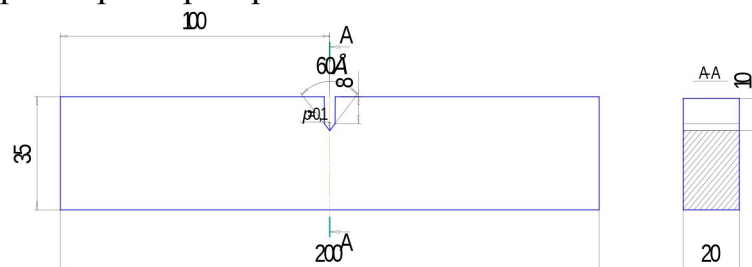


Рис 4.3 - Геометричні розміри балкового зразка з боковим концентратором

4.2 Результати дослідження по ударно-втомній міцності

Таблиця 4.2 - Ударно-втомна міцність сталей і чавунів

№ п/п	Марки матеріалів	Величина прогину на консолі балки f , мм	Твердість балки		Загальна кількість циклів деформування балки $N_{цикл/хв}$	Загальна глибина утвореної тріщини в балці l , мм
			HB	HRC		
1.	30ХГСА	2,0		42	245	21,2
	30ХГСА	1,0			3930	10,4
2.	65Г	2,0		46	153	27,2
	65Г	1,0			3091	11,4
3.	60С2А	2,0		48	96	11,6
	60С2А	1,0			1116	10,8
4.	ВЧ50-2	0,6	220		57	12,1
	ВЧ50-2	0,3			449	10,7
5.	СЧ20	0,6	210		16	12,8
	СЧ20	0,3			335	10,8

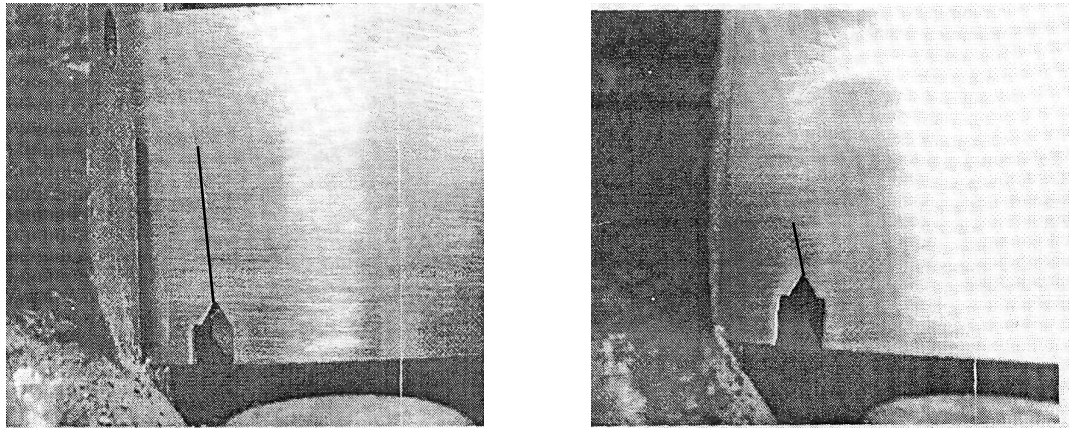


Рис. 4.4 - Загальний вигляд балкового зразка із сталі 30ХГСА в околі вихідної ударно-втомної тріщини: а, б – глибока та мілка тріщини із різними значними пластичними смугами спереду їх фронту після циклічного ударно-втомного деформування за прогинів на консолі $f=2\text{мм}$ і $f=1\text{мм}$, відповідно.

4.3 Результати досліджень ударно-втомної тріщиностійкості

Таблиця 4.3 - Ударно-втомна тріщиностійкість сталей і чавунів.

№ п/п	Марка матеріалу	Прогин балки f , мм	Твердість балки		Відносні параметри для балки		K_{fc} , МПа $\sqrt{м}$
			HRC	HB	$e = \frac{l}{h}$	$e_1 = \frac{l}{h}$	
1.	30ХГСА, після гартування	2,0	42	-	0,29	2,3	76,2
2.	65Г, після гартування	2,0	46	-	0,32	2,3	50,3
3.	60С2А, після гартування	2,0	48	-	0,31	2,3	35,7
4.	ВЧ50-2, після гартування	0,6	-	220	0,31	2,3	12,8
5.	СЧ20, після відпалу	0,6	-	210	0,31	2,3	8,7

Балки сталей 60С2А та 65Г після здійснення кінцевого статичного руйнування:

- рисунок 4.6, а, б - крихкий злам;
- рисунок 4.6 в - крихко-в'язкий злам.

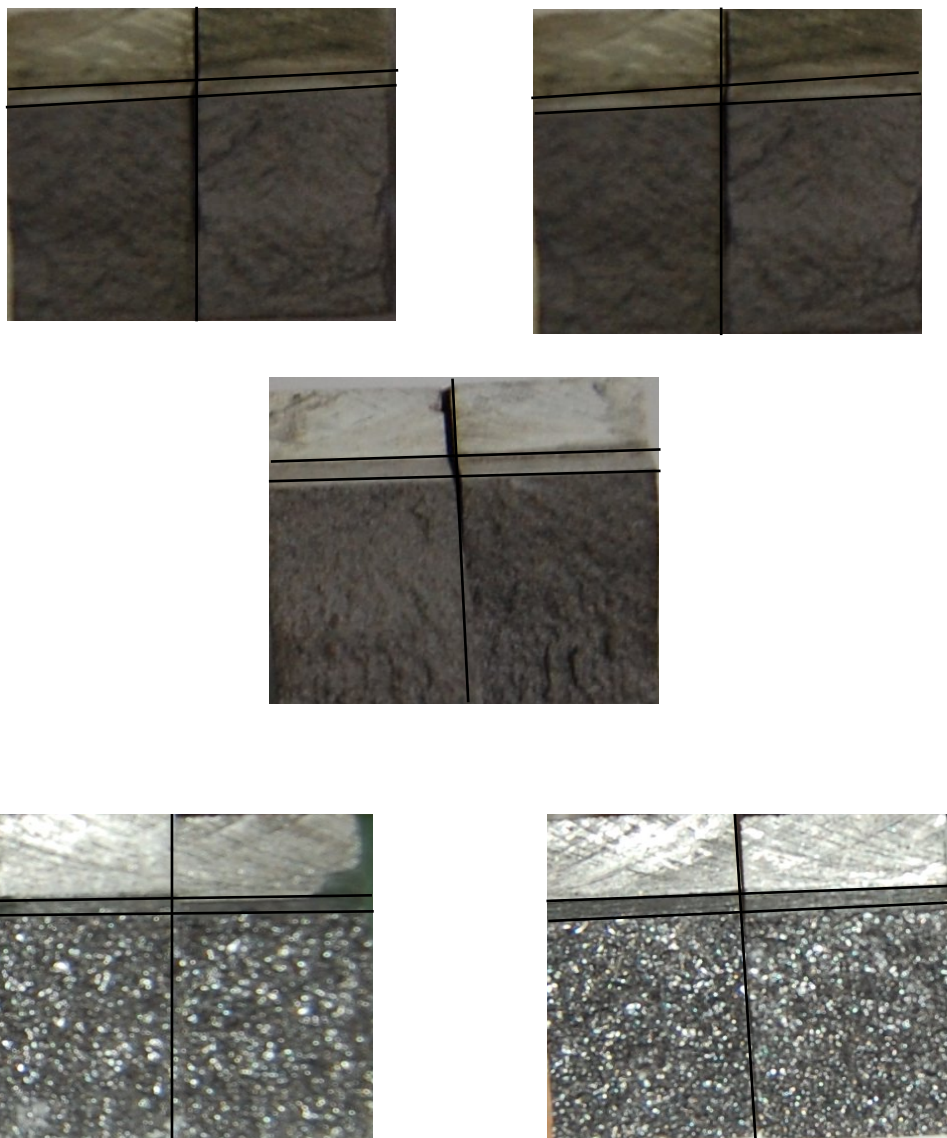


Рис. 4.5 - Злами балкових зразків після ударно-втомного та кінцевого статичного руйнувань: а – сталь 30 ХГСА; б – сталь 65Г; в – сталь 60С2А; г – чавун СЧ20; д – чавун ВЧ50-2.

4.4 Результати досліджень по статичній тріщиностійкості



Рис. 4.6 - Загальний вигляд базувального пристрою для триточкового згину балкового зразка з боковою тріщиною. Рис. 4.7 - Загальний вигляд розривної машини «Instron» і запис діаграми руйнування балки при згині

Таблиця 4.4 - Статична тріщиностійкість K_{IC} сталей і чавунів

№ п/п	Марки матеріалів	Твердість		Відносний розмір тріщини для балкового зразка $e = \frac{l}{b}$	K_{IC} , МПа \sqrt{m}
		HRC	HB		
1.	30ХГСА, після гартування	42	-	0,29	79,5
2.	65Г, після гартування	46	-	0,32	57,1
3.	60С2А, після гартування	48	-	0,31	43,4
4.	ВЧ50-2, після гартування	-	220	0,31	13,9
5.	СЧ20, після гартування	-	210	0,31	9,6

4.5 Результати досліджень по режимах термічного зміцнення та впливу на показники ударно-втомної міцності та статичної тріщиностійкості

Таблиця 4.5 - Режими термічного зміцнення та ударно-втомна міцність сталей 30ХГСА, 65Г, 60С2А

№ п/п	Режими термообробки сталей	Температура відпуску, °С	Загальна кількість циклів деформування балки, $N_{цикл/хв.}$
1.	30ХГСА, гартування після нагріву від 950°С, охолодження в оливі з наступними відпусками та витримці 2 год. в печі.	200	4620
		300	5460
		400	9520
		450	10570
		550	7700
2.	65Г гартування після нагріву від 880°С, охолодження в оливі з наступними відпусками та витримці 2 год. в печі.	250	5040
		350	5810
		450	8050
		500	8540
		550	7560
3.	60С2А гартування після нагріву від 820°С, охолодження в оливі з наступними відпусками та витримці 2 год. в печі.	250	4130
		350	5040
		400	6790
		450	6020
		500	5460

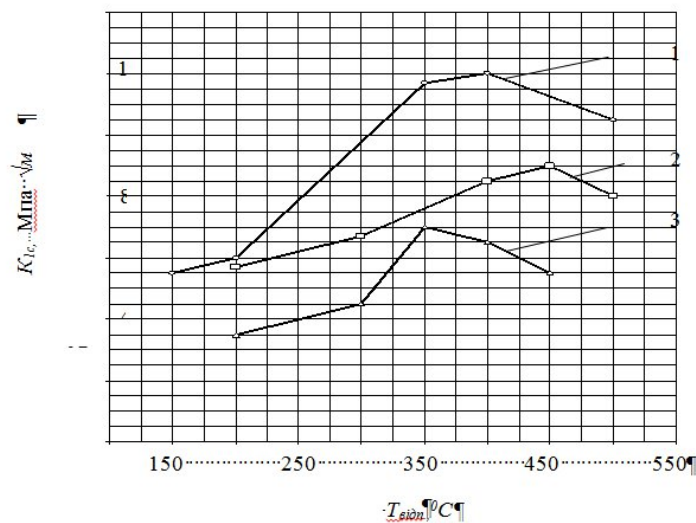


Рис. 4.8 - Зміна K_{1c} від температури відпуску $T_{відп}$ термічно зміцнених сталей 30ХГСА, 65Г, 60С2А (криві 1, 2, 3) відповідно.

4.6 Результати досліджень статичної тріщиностійкості для сталі 30ХГСА із напавкою

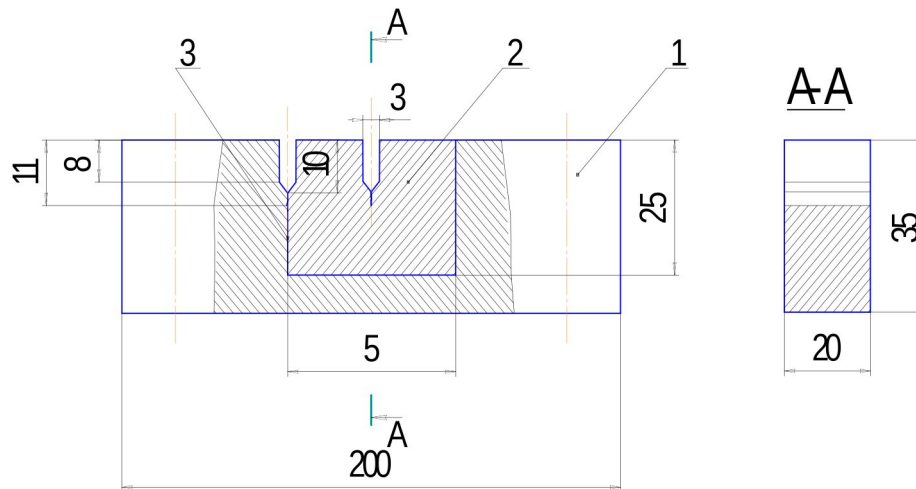


Рис 4.11 - Схема нанесення бокових концентраторів у балковому зразку з напавкою: 1 – основа; 2 – зварний шов; 3 – лінія сплавлення.

Таблиця 4.6 - Значення K_{Ic} для напавок неонорідних зварних з'єднань

Характеристика зварного з'єднання	Тріщиностійкість K_{Ic} , МПа $\sqrt{м}$	
	Шов	Лінія сплавлення
30ХГСА, гартування після нагріву від 950 °С, відпуск 450 °С шов зварювальний дріт марки Св. 08Г2С	78,3	71,5

4.7 Результати досліджень по вибору матеріалів при виготовленні дробарок

На основі комплексних досліджень конструкційних сталей 30ХГСА, 65Г, 60С2А, а також високоміцного ВЧ50-2 і сірого СЧ20 чавунів за результатами ударно-втомної міцності, ударно-втомної та статичної тріщиностійкості, для оцінки впливу термічного зміцнення на ударно-втомну і статичну тріщиностійкість цих матеріалів, пропонується остаточний вибір

матеріалів для виготовлення робочих елементів молоткових і роторних зернових дробарок:

а - для виготовлення молотків молоткових зернових дробарок, що працюють за умов довготривалих ударно-втомних і статичних навантажень запропонувати леговану сталь 30ХГСА після гартування із нагріву до 950°C , охолодження в оливі та середнього відпуску $T_{\text{відп}} = 450^{\circ}\text{C}$ на структуру трооститу відпуску, яка забезпечує статичну тріщиностійкість $K_{1c} = 118 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ і до 2,3 разів підвищення ударно-втомної довговічності порівняно з аналогічним гартуванням і низьким відпуском $T_{\text{відп}} = 250^{\circ}\text{C}$, і $K_{1c} = 79,5 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ для цієї сталі за заводською технологією;

б - для виготовлення деки у випадку дрібнофракційного розмелювання зернових продуктів, яка працює, за умов довготривалого статичного навантаження та стирання від нього, запропонувати пружинну сталь 65Г після гартування із нагріву до 880°C , охолодження в оливі, та середнього відпуску $T_{\text{відп}} = 500^{\circ}\text{C}$, на структуру трооститу відпуску, яка забезпечує статичну тріщиностійкість $K_{1c} = 87,1 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ і до 2,5 разів підвищення ударно-втомної довговічності порівняно з аналогічним гартуванням і низьким відпуском $T_{\text{відп}} = 250^{\circ}\text{C}$ і $K_{1c} = 50,3 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ для цієї сталі за заводською технологією;

в - для виготовлення деки, у випадку крупнофракційного розмелювання зернових продуктів для аналогічного режиму роботи (п. «б»), запропонувати високоміцний чавун ВЧ50-2 з ферито-перлітною структурою, отриманою після гартування із нагріву до 900°C і низькотемпературного відпалу та охолодження з піччю до 200°C $T_{\text{відп}} = 500^{\circ}\text{C}$, яке забезпечує статичну тріщиностійкість $K_{1c} = 13,9 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ замість сірого чавуна СЧ20 з перлітною структурою, отриманою після низькотемпературного відпалу $T_{\text{відп}} = 600^{\circ}\text{C}$ протягом 5...8 год. витримки та охолодження до 250°C , який

забезпечує статичну тріщиностійкість $K_{Ic} = 9,6 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ за заводською технологією;

г - для виготовлення ротора, який є основною деталлю роторних зернових дробарок, запропонувати леговану сталь 30ХГСА з аналогічною термічною обробкою (п. «а»), оскільки він в процесі експлуатації працює за умов довготривалих динамічних та ударно-втомних навантажень;

д – для реставрації молотків у разі глибокого спрацювання їх робочих поверхонь і економії дорогої сталі 30ХГСА, запропонувати нанесення зносостійких наплавок, а чинник неоднорідності структури зварного з'єднання враховувати за мінімальним параметром тріщиностійкості K_{Ic} , встановленим по лінії сплавлення наплавки з вихідним металом, а не за тріщиностійкістю K_{Ic} шва.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

5.1 Аналіз виробничих небезпек під час виробництва

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори у процесі трудової діяльності людини, відповідно до ГОСТ 12.0.003 – 74 поділяють на: фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. При розробці заходів запобігання виробничому травматизму й захворюваності працюючих, спеціалістів найбільше цікавлять шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

Небезпечні виробничі фактори поділяють на явні, якщо їх дія на людину очевидна і для її запобігання необхідні певні заходи і які потенційно можуть діяти на людину при певних її діях, виникненні аварій та в інших небезпечних умовах.

Так, спеціалісти в галузі безпеки праці стверджують, що виробнича небезпека – це загроза дії на працюючого небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а виробнича шкідливість – дія на працюючого лише шкідливих виробничих факторів.

При встановленні причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що призвели до травми працюючого, необхідно розрізнити поняття “нешасний випадок” і “травма”. Травма є випадковою подією внаслідок дії небезпечного виробничого фактора на людину. Поняття “нешасний випадок” пояснює достовірність факту виникнення травми, а тому його окремою подією вважати не можна.

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону внаслідок відсутності там необхідного огороження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому виникає можливість дії на неї небезпечного виробничого фактора. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначено як небезпечну.

Вичерпні знання обставин, внаслідок яких виник нещасний випадок або може статися аварія, травм а чи більш важкі наслідки, необхідні для

глибокого розуміння процесу зародження, нормування та виникнення небезпечних ситуацій – випадкових явищ, що передують травмам, аваріям, катастрофам.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини, та інші;

- спонукають працюючого допускати помилок у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;

- відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці;

- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії та катастрофи, мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.5.1).

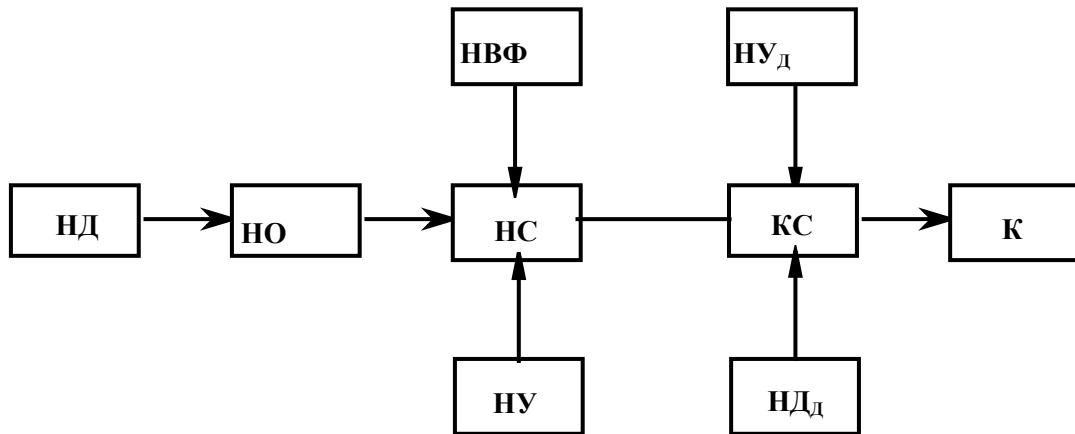


Рис. 5.1 - Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних та катастрофічних ситуацій:

НВФ-небезпечний виробничий чинник; НУ-небезпечні умови; НД-небезпечні дії; НО-небезпечні обставини; НС-небезпечна ситуація; А-аварія; Т-травма; КС-критична ситуація; НУд-небезпечні умови додатково; НДд-небезпечні дії додатково; К-катастрофа.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає. Що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія(А), травми (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

5.2 Паспортизація санітарно-технічного стану та моделювання процесу виникнення травм та аварій

Метою паспортизації санітарно-технічного стану робочого місця є виявлення всіх, видів виробничої безпеки для розроблення проектів, інженерно-технічних та організаційних, рішень щодо створення безпечних і здорових умов праці.

Відповідно до типової структури сільськогосподарського виробництва (цех, дільниця, робоча зона бригади, робоче місце) одиничним елементом виробництва є робоче місце.

Базовим елементом паспортизації є карта умов праці, що відображає три групи факторів трудової, санітарно-гігієнічної і технічної безпеки.

Карта умов праці на робочому місці - це основа санітарно-технічного паспорту виробничої дільниці (бригади, майстерні, ферми тощо). До санітарно-технічного паспорта дільниці входить збірна інформація з карт умов праці на робочих місцях.

Складемо картку умов праці в подрібнювальному цеху, яку зобразимо в таблиці 5.1.

Послідовність заповнення картки умов праці в подрібнювальному цеху:

- ГОСТ 12.1.005-88 визначається категорія робіт і оптимальні показники мікроклімату;

- за гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік умов праці на робочому місці, для яких з нормативних документів встановлюються гранично допустимий рівень або гранично допустима концентрація фактора (ГДК, ГДР), які заносяться в графу 2 таблиці 5.1; для кожного фактора умов праці проводиться за загально прийнятою методикою інструментальний замір фактичного значення фактора. Деякі фактичні дані можна взяти з матеріалів попередньо проведеної паспортизації у інженера з охорони праці господарства;

- визначається коефіцієнт нормо-забезпеченості:

$$K_n = 1 \pm \frac{A_B + A_H}{A_H}, \quad (5.1)$$

де A_B – вимірне значення фактора умов праці; A_H – нормативне значення фактора.

Знак «+» ставиться для розрахунку за гранично допустимим значенням нормативного параметра A_H ; знак «-» - з мінімально допустимим значенням A_H . Результати заносимо в гр. 5 таблиці 5.1.

Гранично допустиме значення коефіцієнта нормо забезпечення має дорівнювати одиниці. Якщо воно менше одиниці, то це означає, що діючий фактор умови праці вищий за гранично допустимий рівень і слід вжити заходів для зниження дії цього фактора, тим самим поліпшити умови праці.

Відповідно до технології виконання виробничого процесу встановлюється тривалість дії кожного фактора і результати заносяться у гр. 7 і 8 табл. 5.1.

Визначається коефіцієнт небезпеки дії $K_{дф}$ від кожного фактора умов праці і від усіх діючих факторів K .

Ці коефіцієнти обчислюються за формулами:

$$K_{дф} = K_n * T_{дф}; \quad (5.2)$$

$$K = \frac{K_{дф}}{n}; \quad (5.3)$$

де $T_{дф}$ - тривалість дії фактора; n - кількість факторів умов праці.

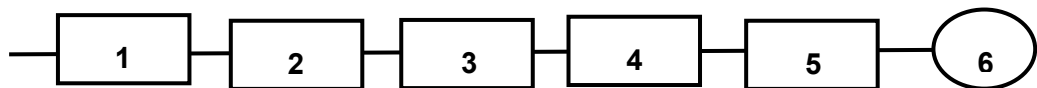
Результати підрахунків заносяться у гр. 9 і 10 табл. 5.1 – карти умов праці у подрібнювальному цеху.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявленні при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, будівель, виробничих процесів і технологій. Але, як показали дослідження, будь-яка аварія може бути наслідком однієї з багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних аварій і катастроф. Обчислення рівняння небезпеки можна спрямувати на удосконалення конструкції технічних засобів, на зниження їх небезпеки, а також вживати термінових заходів для першочергового усунення небезпек з більш високим рівнем.

Аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови “дерева відказів” та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Так, побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм при роботі.

Основні принципи побудови моделі такі. Виявляється виробництво, на якому вже були раніше або можуть статися аварії, виробничі травми чи катастрофи. За своєю формою так модель нагадує крону дерева, тому вона і одержала назву “дерево відказів і помилок”. Кінцеві події називають базовими.

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій (рис. 5.2).



*Рис - 5.2. Схема побудови логіко-імітаційних моделей:
1- головна подія; 2-5- проміжні події; 6- базова подія.*

Кожен блок рисунку, позначений відповідним номером, означає подію або окремий етап побудови моделі:

- 1 – відмова (аварія, травма) системи – головна подія;
- 2 – послідовність подій, що приводять до відмови системи;
- 3 – послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів;
- 4 – усі вхідні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами всередині;
- 5 – послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі;
- 6 – базові події зображують у вигляді кружечків з написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі.

5.3 Розробка логічно-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час виробництва

Проаналізувавши кожну із логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, завжди можна знайти подію з якої починається небезпечний процес ще до виникнення небезпечних наслідків.

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня безпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми залежно від досліджуваного явища.

Для оцінки рівня безпеки певного об'єкта чи явища можна застосувати метод обчислення ймовірності виникнення будь-якого випадкового явища, який широко застосовують в зарубіжній інженерній практиці. Основні його принципи полягають в тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травматичні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логічно-імітаційної моделі травми. Після цього будують модель “дерева відмов і помилок оператора”. При цьому важливе значення має правильний вибір головної події.

Головну подію (травма), модель якої нам необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути.

Після вибору головної випадкової події розпочинаємо побудову моделі (“дерева”). Використовуючи оператора “і” та “або”, використовуємо набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до подій, вибраної як головна.

Після визначення відповідних травмонебезпечних ситуацій та їх кількості, визначаємо інші події, що входять до кожної такої ситуації,

логічним аналізом із застосуванням операторів “і”, “або” та інших. Процес побудови моделі триває, поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Слід мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія “стан контролю з охорони праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (у відсотках) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50% або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідно ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки “дерева”, позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі.

На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логічно-імітаційної моделі

Отже, для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми для випадку технологічного процесу виробництва складемо список базових подій. Вони лежатимуть у основі даної моделі. Кожному пункту списку присвоюємо певне значення ймовірності виникнення. Нижче подано сам список:

1. Стан контролю з охорони праці..... $P_1 = 0,2$;
2. Несерйозне відношення до проходження ТО..... $P_2 = 0,1$;

3. Відсутність комплектуючих..... $P_3 = 0,2$;
4. Невисока міцність..... $P_4 = 0,03$;
5. Застаріле обладнання..... $P_6 = 0,02$;
6. Попадання предметів з навколишнього середовища..... $P_7 = 0,4$;
7. Досвід роботи..... $P_{12} = 0,35$.
8. Професійний рівень робітника $P_{13} = 0,5$;
9. Психофізіологічний стан робітника $P_{14} = 0,083$;

На основі даного списку будуємо матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічне представлення якої зображено на рис. 5.3.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що входять у дану логіко-імітаційну модель процесу виробництва (на прикладі ймовірності травми робітника, пов'язаної з ударом корпусу дробарки).

Ймовірність виникнення події P_5 визначаємо наступним чином:

$$P_5 = 0,2 + 0,1 + 0,2 + 0,003 - 0,2 \times 0,1 - 0,2 \times 0,03 - 0,2 \times 0,03 - 0,1 \times 0,2 - 0,1 \times 0,03 - 0,2 \times 0,03 + 0,2 \times 0,1 \times 0,2 + 0,1 \times 0,2 \times 0,03 + 0,2 \times 0,1 \times 0,2 + 0,2 \times 0,1 \times 0,03 - 0,2 \times 0,1 \times 0,2 \times 0,03 = 0,314$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо так:

$$P_{10} = 0,2 + 0,1 = 0,3$$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо:

$$P_{11} = 0,02 \times 0,314 \times 0,4 \times 0,3 = 0,00075$$

Ймовірність виникнення події P_{15} визначаємо наступним чином:

$$P_{15} = 0,35 \times 0,5 \times 0,083 = 0,0145$$

Ймовірність події P_{18} :

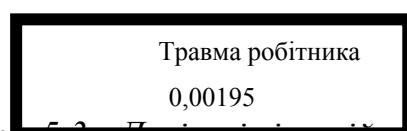
$$P_{18} = 0,5 + 0,083 = 0,58$$

Ймовірність події P_{19} :

$$P_{19} = 0,0145 \times 0,083 = 0,0012$$

Ймовірність події P_{20} :

$$P_{20} = 0,00075 + 0,0012 = 0,00195$$



Оператори:

○ – „і”

○ – „або”

Рис. 5.3 – Логіко-імітаційна модель процесу формування та виникнення аварії та травми під час виробництва.

Логіко-імітаційні моделі аварій і травм допомагають зменшити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень небезпеки будь-якого робочого місця, слід уважно вивчити і побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які охоплюють як стан обладнання і самого робочого місця, так і поведінку працюючого і обчислити ймовірність виникнення травми.

Після аналізу результатів моделювання ймовірність виникнення травми можна звести до дуже малої величини – достатньо зменшити вплив ймовірностей вихідних факторів, які до неї призводять.

5.4 Розробка заходів щодо захисту населення

Забезпечення захисту цивільного населення у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань, яке покладається на службу з охорони праці.

Захист населення базується на державній системі заходів, що забезпечують виконання організаційних, інженерно - технічних, санітарно - гігієнічних та інших заходів в сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитись спеціальний комплекс заходів, а саме:

- ~ оповіщення та інформування населення про надзвичайну ситуацію, яка може виникнути;
- ~ спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою;
- ~ створення захисних споруд та укриття в них усього населення відповідно до приналежності (працююча зміна, населення, яке проживає в небезпечній зоні);
- ~ проведення медичного захисту для зменшення ступеня ураження людей, своєчасне надання допомоги та лікування.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для подрібнення зернових матеріалів необхідні різноманітні високотехнологічні енергоощадні дробарки, а економіка самого процесу подрібнення визначається багатьма чинниками: технологічними характеристиками машини; способами подрібнення; вартістю обладнання; витратами на обслуговування; надійним станом робочих елементів тощо. Саме з використанням комбінованих способів подрібнення, недорогими у виготовленні та надійним станом робочих елементів за рахунок якісного добору матеріалу для їх виготовлення нами проаналізовано два зразки лабораторних установок ударно-перетиральної дії.

Нами подано розрахункові формули для визначення сподіваної економічної ефективності розробленим установкам для подрібнення зернового матеріалу.

Для підрахунку економії запропонованих молоткових зернових дробарок використаємо такі показники.

Енергоємність ϵ_m робочого процесу з врахуванням досягнутого ступеня подрібнення визначимо із залежності:

$$\epsilon_m = \frac{N_{\text{под}}}{Q \cdot l}, \quad (6.1)$$

де $N_{\text{под}}$ – потужність, яка витрачається на подрібнення, кВт; Q – продуктивність, в т/год; l – ступінь подрібнення.

Питомі витрати енергії W з використаною потужністю встановленого двигуна визначимо за формулою:

$$W = \frac{N}{Q}, \quad (6.2)$$

де N – потужність приводного двигуна машини, кВт.

Згідно з умовами подрібнення, визначаємо для запропонованих молоткових дробарок питомі витрати енергії:

$$W_n = \frac{N_n}{Q_n} = \frac{2}{0,2} = 10 \frac{\text{кВт год}}{\text{т}}. \quad (6.3)$$

Економічне використання запропонованих молоткових дробарок визначаємо шляхом знаходження прямих експлуатаційних витрат:

$$\Pi = Z + E_{el} + P + A, \quad (6.4)$$

де Z - витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./од.напр.; E_{el} - витрати на електроенергію, грн./од.напр; P - витрати на технологічне обслуговування і поточний ремонт, грн./од.напр; A - витрати на реновацію, грн./од.напр.

Витрати на оплату праці, тобто зарплату обслуговуючого персоналу, визначають:

$$Z = \frac{\sum C_i \cdot t_i \cdot \kappa_{id}}{Q}, \quad (6.5)$$

де Q - продуктивність дробарки за одну годину змінного часу, од.напр./год; C_i - чисельність i -го виробничого персоналу, чол.; t_i - годинна тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу, грн./люд.год; κ_{id} - коефіцієнт, що враховує доплати за класність та стаж роботи та ін.

Витрати на електроенергію дорівнюють:

$$E_{el} = q \times \Pi, \quad (5.10)$$

де q - витрати електроенергії, кВт год/од.напр.; Π - ціна 1 кВт год, грн/кВт год.

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт за нормативами відрахувань від балансової вартості дробарки:

$$P = \frac{B \cdot \kappa_r}{Q \cdot Z_p}, \quad (6.6)$$

де B - балансова вартість дробарки, грн; r_m - коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування (приймаємо $r_m=0,1$). Річне завантаження дробарки Z_p , год.

$$Z_p = D \times t, \quad (6.7)$$

де D – число днів роботи дробарки (приймаємо $D=250$ днів); t – число годин роботи дробарки за день (експлуатаційний час приймаємо 8 год.) тоді

$$Z_p = 8 \times 250 = 2000 \text{ год.}$$

Витрати на реновацію дробарки:

$$A = \frac{B \times a}{Q \times T_p}, \quad (6.8)$$

де a – коефіцієнт відрхувань на реновацію дробарки ($a=0,15$).

Оскільки запропоновані конструкції зернових дробарок ударно-перетиральної дії мають продуктивність 200 кг/год., а базова типова молоткова дробарка ДКУ продуктивність 1200 кг/год. чого не можна порівнювати, то у зведену табл. 5.1 представлено для порівняння конструктивні та кількісні параметри довговічності $N_{\text{цикл./хв.}}$ та параметрів тріщиностійкості K_{fc} і K_{lc} базових і вибраних матеріалів з урахуванням різних видів навантаження, які можуть вплинути на величину економічного ефекту в цілому.

Таблиця 6.1

Порівняльні дані двох варіантів зернових дробарок щодо їх економічної ефективності

№ п/п	Показники, параметри та критерії	Базовий варіант	Запропонований варіант
1	2	3	4
1.	Спосіб подрібнення продукту	ударом	удар і перетирання
2.	Робочі елементи (била)	жорстко закріплені	підпружинені
3.	Типи молотків (форма)	пластинчаста	пластинчаста з підсиленням робочим кінцем

4.	Зазор між декою і молотками	сталий	регульований
5.	Кріплення молотків	жорстке	коливальне
6.	Сталь для виготовлення молотків а) статична тріщиностійкість K_{Ic} , МПа $\sqrt{м}$ б) ударно-втомна тріщиностійкість K_{fc} , МПа $\sqrt{м}$ в) загальна кількість циклів деформування балки $N_{цикл./хв.}$	30ХГСА після гартування від 950 °С та відпуску за 250 °С 76,2 70,5 3962	30ХГСА після гартування від 950°С та відпуску за 450°С 118,0 110,4 10570
7.	Сталь для виготовлення деки дрібнофракційного розмелювання а) статична тріщиностійкість K_{Ic} , МПа $\sqrt{м}$ б) ударно-втомна тріщиностійкість K_{fc} , МПа $\sqrt{м}$ в) загальна кількість циклів деформування балки $N_{цикл./хв.}$	65Г після гартування від 880 °С та відпуску за 250 °С 57,1 50,3 2989	65Г після гартування від 880 °С та відпуску за 500 °С 87,2 79,8 8540
8.	Чавун для виготовлення деки крупнофракційного розмелювання	Сірий чавун СЧ20 після низько-температурного відпалу за 600 °С та охолодження до	Високоміцний чавун СЧ50-2 після гартування від 900 °С та низькотемпературного відпалу за 500 °С та

		250 °С	охолодження до 200 °С
	а) статична тріщиностійкість K_{Ic} , МПа $\sqrt{м}$	9,6	13,9
	б) ударно-втомна тріщиностійкість K_{fc} , МПа $\sqrt{м}$	8,7	12,8
	в) загальна кількість циклів деформування балки $N_{цикл./хв.}$	287	441
9.	Сталь для виготовлення ротора	30ХГСА після гартування від 950 °С та відпуску за 250 °С	30ХГСА після гартування від 950 °С та відпуску за 450 °С
	а) статична тріщиностійкість K_{Ic} , МПа $\sqrt{м}$	76,2	118,0
	б) ударно-втомна тріщиностійкість K_{fc} , МПа $\sqrt{м}$	70,5	110,4
	в) загальна кількість циклів деформування балки $N_{цикл./хв.}$	2961	10570

Не дивлячись на те, що запропонований і базовий варіанти зернових дробарок мають різні маси, вартість і продуктивність, які не дають можливості чіткого підрахунку економічного ефекту від впровадження, разом з тим, виходячи із конструктивних параметрів робочих елементів і вибору матеріалів для виготовлення молотків, деки, ротора на підставі даних статичної і ударно-втомної тріщиностійкості та ударно-втомної міцності (див. табл. 5.1). Одержаний економічний ефект в сумі понад 45 тис. гривень на операції розмелювання зерна дає підстави виготовляти промисловий зразок запропонованої дробарки з продуктивністю, не меншою від базової дробарки типу ДКУ.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Обґрунтовано й теоретично досліджено шляхи удосконалення конструкцій та підвищення надійності робочих елементів зернових дробарок;

2. Проведено дослідження ударно-втомної міцності $N_{цикл/хв}$ конструкційних матеріалів за допомогою використання спеціальної установки для деформування балкових зразків з боковим концентратором згином на консолі з врахуванням схеми базування балки та режимів навантаження. Визначено напруження \mathbf{s}_m на дні концентратора та необхідний прогин f_0 для ударно-втомного деформування консольної балки на стадії ініціювання тріщини для коректного визначення параметрів тріщиностійкості K_{fc} і K_{lc} за умов ударно-втомного і статичного навантажень.

3. Проаналізовано аналітичні залежності для визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень у деформованій консольній балці з боковою тріщиною біля защемлення за сталих сили P та прогину f , а також значення коефіцієнта інтенсивності напружень для балки з боковою тріщиною, деформованої за схемою статичного триточкового згину, які найповніше моделюють роботу робочих елементів зернових дробарок.

4. Використано дві інженерні методики та відповідне технологічне спорядження, пристрої, контрольно-вимірювальні засоби для визначення параметрів тріщиностійкості K_{fc} і K_{lc} конструкційних матеріалів за умов ударно-втомного консольного згину та статичного триточкового згину балкових зразків із боковим концентратором-тріщиною, які придатні для ранжування та вибору матеріалів і виготовлення деталей роторних і молоткових зернових дробарок.

5. Визначено ударно-втомну міцність ($N_{цикл/хв}$), ударно-втомну тріщиностійкість (K_{fc}) та статичну тріщиностійкість (K_{lc}) термічно-зміцнених конструкційних сталей марок 30ХГСА, 65Г, 60С2А, чавунів ВЧ50-2, СЧ20 за схемами консольного та триточкового згинів балкових зразків із боковим концентратором-тріщиною, на основі яких здійснено ранжування матеріалів за опором поширенню тріщини: максимальні значення параметрів

тріщиностійкості K_{fc} і K_{Ic} у сталі 30ХГСА і чавуну ВЧ50-2; мінімальні значення параметрів тріщиностійкості K_{fc} і K_{Ic} у сталі 60С2А і чавуну СЧ20.

6. На основі результатів для виготовлення робочих елементів зернових дробарок вибрано найпридатніші за максимальними значеннями тріщиностійкості K_{fc} і K_{Ic} та ударно-втомної довговічності $N_{цикл/хв}$ конструкційні матеріали:

а) для виготовлення молотків і ротора молоткових і роторних зернових дробарок запропоновано сталь 30ХГСА зі структурою трооститу після гартування (950°C , охолодження в оливі, середній відпуск $T_{відп} = 450^{\circ}\text{C}$);

б) для виготовлення деки для дрібнофракційного розмелювання зернових матеріалів запропоновано сталь 65Г зі структурою трооститу відпуску (гартування, 880°C , середній відпуску $T_{відп} = 500^{\circ}\text{C}$);

в) для виготовлення деки для крупнофракційного розмелювання зернових матеріалів запропоновано чавун марки ВЧ50-2 з ферито-перлітною основою після гартування (900°C , охолодження в оливі) та низькотемпературного відпалу (500°C , 6 год, охолодження з піччю до 200°C , подальше охолодження на повітрі);

г) для реставрації молотків після глибокого спрацювання їх робочих поверхонь сталі 30ХГСА запропоновано нанесення зносостійких наплавок із порошкового дроту марки Св. 08Г2С, а чинник неоднорідності структури зварного з'єднання враховувати за мінімальним значенням K_{Ic} , визначеним по лінії сплавлення наплавки з основою сталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрейків О.Е. Узагальнена модель пружно-пластичного тіла з тріщиною / О.Е. Андрейків, І.М. Панько // Фіз.-хім.механіка матеріалів. - 1995. - №6. - С. 73-80.
2. Буртак В.В. Оцінка ударно-втомної міцності конструкційних матеріалів, що використовуються для виготовлення робочих елементів подрібнювального обладнання / В.В. Буртак // Вісник Львівського державного аграрного університету : Агроінженерні дослідження. - 2010. - №14. С. 388-393.
3. Душинський В. В. Основи наукових досліджень. Теорія і практикум з програмним забезпеченням / Душинський В. В. – К. : НТУУ “КПІ”, 1998. – 408 с.
4. Луців І. В. Теорія технічних систем / [Ю. М. Кузнецов, І. В. Луців, С. А. Дубиняк]; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – Тернопіль : ТНТУ, 1997 – 310 с.
5. Караїм В.С. Установа для ударно-втомних випробувань балкових зразків згином на консолі / В.С. Караїм, М.С. Когут // Вісник НУ „Львівська політехніка”: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. – 2001. – Вип. 422. – С. 56-61.
6. Камінський В.Д., Бабич М.Б. Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції. Навчальний посібник для вузів. Одеса: Аспект, 2000. 460 с.
7. Когут М.С. Оцінка міцності стикових зварних з'єднань за силовим K_{1c} критерієм тріщиностійкості на малогабаритних зразках з наплавками / М.С. Когут, Я.А. Громко, Н.М. Лебідь // Вісник Тернопільського державного технічного університету. - 2004, Т. 9. - №1. - С. 10-15.

8. Когут М.С. Методика визначення міцності стикових швів зварних з'єднань рейок / М.С. Когут, Н.М. Лебідь, В.С. Караїм, І.В. Кунинець // Вісник Львівського державного аграрного університету “Агроінженерні дослідження”. – 2001. - №5. – С. 150-160.
9. Когут М.С. Тріщиностійкість конструкційних матеріалів та їх зварних з'єднань із наплавками / М.С. Когут, Н.М. Лебідь. – Львів: Арал, 2008. – 286 с.
10. Когут М.С. Методи оцінки тріщиностійкості конструкційних матеріалів та їх зварних з'єднань в умовах крихкого і квазікрихкого руйнування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук / М.С. Когут. – Львів, 1994. - 340 с.
11. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу: Навч. посібник / О.В. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик, Ю.П. Рогач, М.М. Сердюк. – К.: Вища освіта. 2006. – 479 с.
12. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов та ін. За ред. академіка УААН Гулого І.С. – Вінниця : Нова книга, 2001 – 576 с.
13. Осташ О.П. До питання про зародження втомних макротріщин у зразках з надрізом / О.П. Осташ, В.В. Панасюк // Проблеми прочності. - 2000. - №5. - С. 29-33.
14. Панасюк В.В. До питання про визначення характеристик тріщиноотривкості матеріалу в рамках d_c - моделі при випробуванні призматичних зразків / В.В. Панасюк, І.М. Панько, Б.М. Зайдель // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 1994. - №2. - С. 121-125.
15. Ревенко І.І. Машини та обладнання для тваринництва / І.І. Ревенко, М.В.Брагінець, О.О.Заболотько та інш.; - К.:Кондор, 2011. - 396с.
16. Draft for Development, 3.1971. Method for Plane-Strain Fracture Toughness (K_{Ic}) Testing-British Standards Institution. L. - 1971. - 20 p.

17. E399-74. Standard method of test for plane-strain fracture toughness of metallic materials. – Annual Book of ASTM Standards. - 1974. - №10. - P. 432-451.
18. Ch.Zang, I.D.Gross. Ductile crack analysis by a cohesive damage zone model. Engng. Fracture Mech. 47. - pp.237-248. - 1994.
19. Griffith A.A. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. – Phyl. Trans. Roy. Soc. – London. – 1921. - №1, Ser. A. 221. – P. 163-198.
20. Irwin G.R. Fracture Mode Transition or a Crack Traversing a Plane. – Trans. of ASME. Ser. D. – 1960. - Vol. 82. - №2. – P. 118-129.