



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

---

# ПЕРЕДАЧІ ЗУБЧАСТІ СПРАЦЮВАННЯ ТА ПОШКОДЖЕННЯ ЗУБЦІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Термінологія  
(ISO 10825:1995, IDT)

ДСТУ ISO 10825:2008

*Видання офіційне*

БЗ № 2–2009/140



Київ  
ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ  
2013

ДСТУ ISO 10825:2008

4.2	Втомне лущення .....	39
4.3	Відшаровування .....	40
4.4	Глибинне втомне викришування .....	41
5	Виникнення і розвиток тріщин .....	42
5.1	Гартівні тріщини .....	44
5.2	Шліфувальні тріщини .....	45
5.3	Втомні тріщини .....	46
6	Руйнування зуба .....	48
6.1	Злам зуба перевантаженням .....	48
6.1.1	Крихкий злам .....	49
6.1.2	В'язкий злам .....	49
6.1.3	Напівкрихкий злам .....	51
6.2	Зріз зуба .....	52
6.3	Злам після пластичної деформації (тривале руйнування) .....	54
6.4	Втомний злам .....	56
6.4.1	Згинальна втома .....	56
6.4.2	Злам на краю зуба .....	61
	Додаток НА Абетковий покажчик українських термінів .....	62

## НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожний переклад ISO 10825:1995 Gears — Wear and damage to gear teeth (Передачі зубчасті. Спрацювання та пошкодження зубців зубчастих коліс. Термінологія).

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт, — ТК 47 «Механічні приводи».

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- слова «цей міжнародний стандарт» замінено на «цей стандарт»;
- вилучено попередній довідковий матеріал «Передмова»;
- структурні елементи цього стандарту: «Титульний аркуш», «Передмову», «Національний вступ», першу сторінку, «Бібліографічні дані» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;
- долучено національний додаток НА «Абетковий покажчик українських термінів»;
- вилучено частину примітки до розділу 1;
- в 1.1.2 виправлено помилкове посилання.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

---

ПЕРЕДАЧІ ЗУБЧАСТІ  
СПРАЦЮВАННЯ ТА ПОШКОДЖЕННЯ ЗУБЦІВ  
ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Термінологія

ПЕРЕДАЧИ ЗУБЧАТЫЕ  
ИЗНАШИВАНИЕ И ПОВРЕЖДЕНИЕ ЗУБЬЕВ  
ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Терминология

GEARS  
WEAR AND DAMAGE TO GEAR TEETH

Terminology

---

Чинний від 2010-01-01

**СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Цей стандарт визначає терміни, які описують зовнішній вигляд видимих бічних поверхонь зубців або пошкодження на зубчастих колесах.

Для кожного терміна наведено стислий опис відповідної поверхні зуба зубчастого колеса разом з посиланням на важливі спостережувані елементи, які можуть полегшити ідентифікацію типу наявного стану.

Кожен такий опис класифікує типовий стан зуба зубчастого колеса або пошкодження зубчастого колеса. Кожен опис має одну чи більше ілюстрацій, які показують відмінності, що можуть мати місце у разі різних геометрій зуба зубчастого колеса. До кожної ілюстрації подано коментарі.

Цей стандарт установлює тільки терміни для розпізнавання і протоколювання зовнішнього вигляду та стану зубчастих коліс після періоду роботи. Стандарт не описує ні причин, ні запобіжних заходів щодо будь-якого описаного стану.

**Примітка.** Цей стандарт укладений так, щоб на тій самій сторінці були:

- визначення зовнішнього вигляду зуба зубчастого колеса з відповідними поясненнями,
- ілюстрація кожного типового прикладу з долученими коментарями.

## 1 ПОКАЗНИКИ ПОВЕРХНЕВИХ ПОРУШЕНЬ

### 1.1 механічне спрацювання

en sliding wear

fr usure

Спрацювання — загальний термін щодо усунення матеріалу, яке виникає під час ковзання двох поверхонь одна по одній.

Під цим поняттям розуміють усунення матеріалу як наслідок абразивної дії забруднень у мастилі.

Під цим поняттям також розуміють адгезивне спрацювання, яке є наслідком локалізованого зварювання й подальшого відокремлення та перенесення крихт із зубців зубчастого колеса.

(Не ілюстровано)

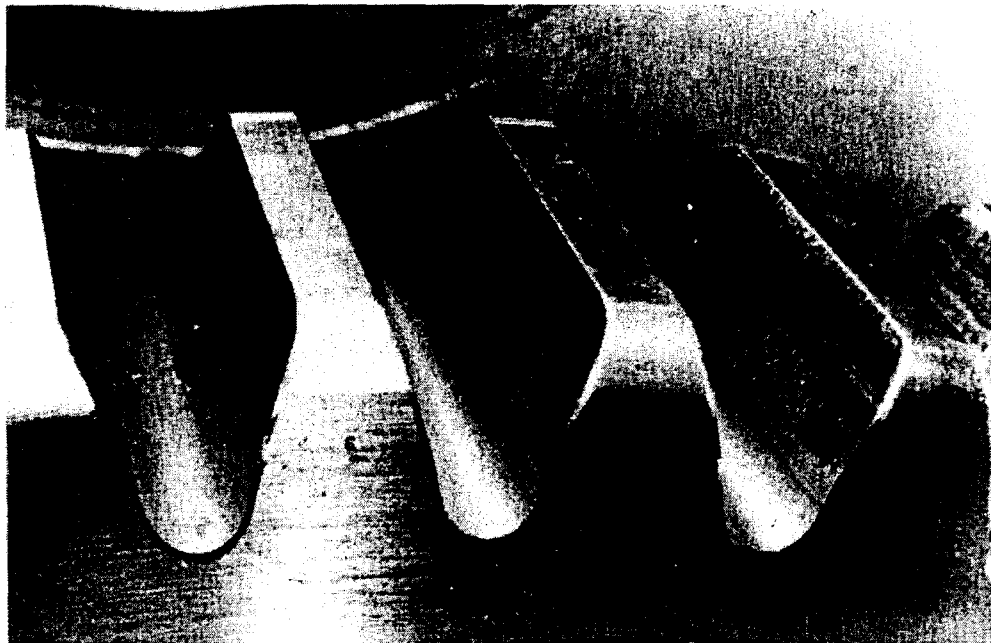
**1.1.1 початкове втомне спрацювання;  
припрацьовувальне спрацювання**

en normal wear  
(running-in wear)  
fr usure normale

Спрацювання починається на початку строку служби зубчастої передачі й поверхнева структура механічно обробленої бічної поверхні зуба набуває гладкого, часто блискучого зовнішнього вигляду.

До цього типу спрацювання зараховують:

- помірне спрацювання;
- полірування.



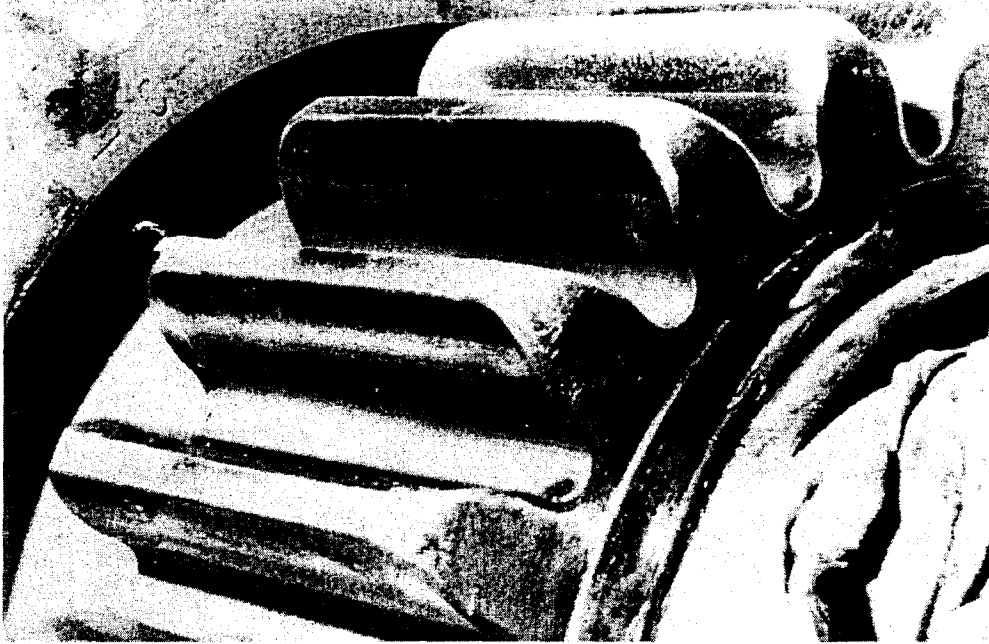
Початкове втомне спрацювання на бічних поверхнях зубців зубчастого колеса. На ілюстрації видно блискучі ділянки та ділянки з тонкими канавками на бічних поверхнях зубців.

1.1.1.1 помірне спрацювання

en moderate wear  
fr usure modérée

Огляд бічних поверхонь зубців виявляє усунення металу з обох бічних поверхонь головки й ніжки зубців.

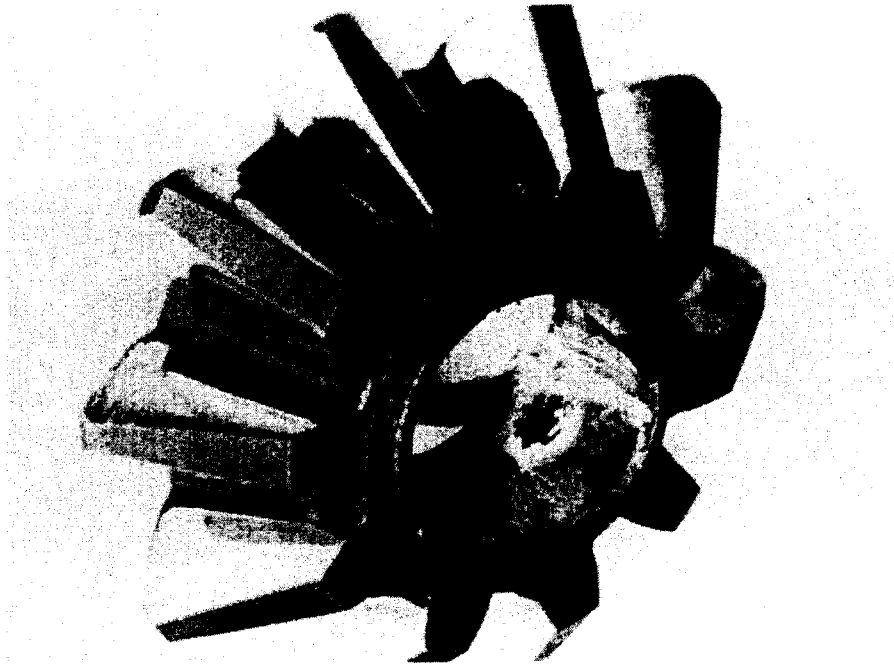
Початкова поверхня починає проявлятися як неперервна лінія.



Зубчасті поверхні шестерні з помірним спрацюванням. Позицію робочої початкової поверхні чітко видно на робочих бічних поверхнях зубців.

**1.1.1.2 полірування**en polishing  
fr poli miroir

Дуже повільний процес притирання, за якого нерівності контактних поверхонь поступово спрацьовуються до появи дзеркальних, гладких поверхонь.



Можна бачити, що всі бічні поверхні зубців конічної шестерні з автомобільного диференціала поліровані.

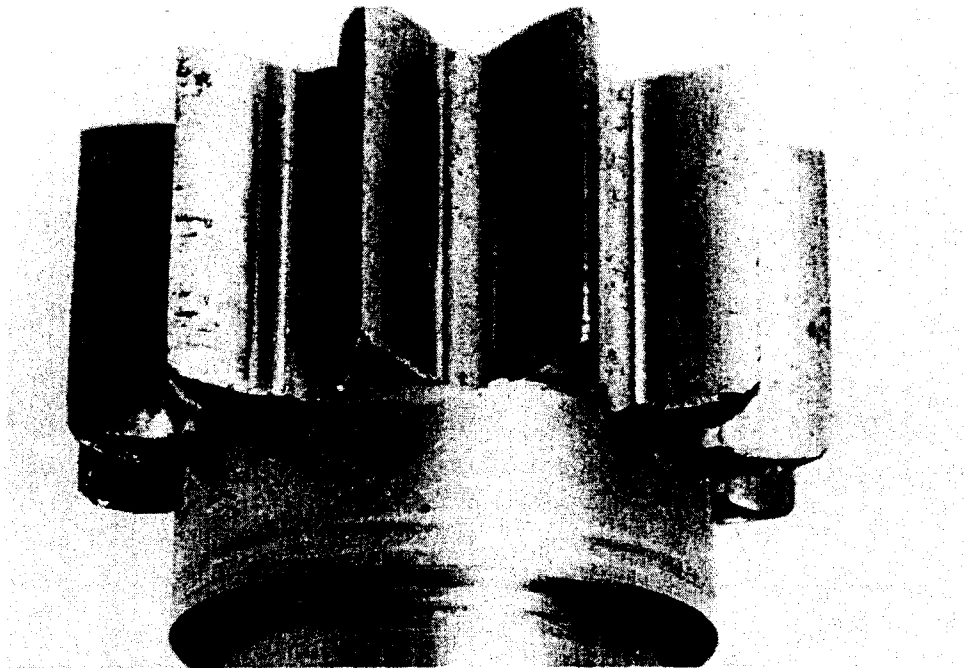


### 1.1.2 абразивне спрацювання

en abrasive wear

fr usure abrasive

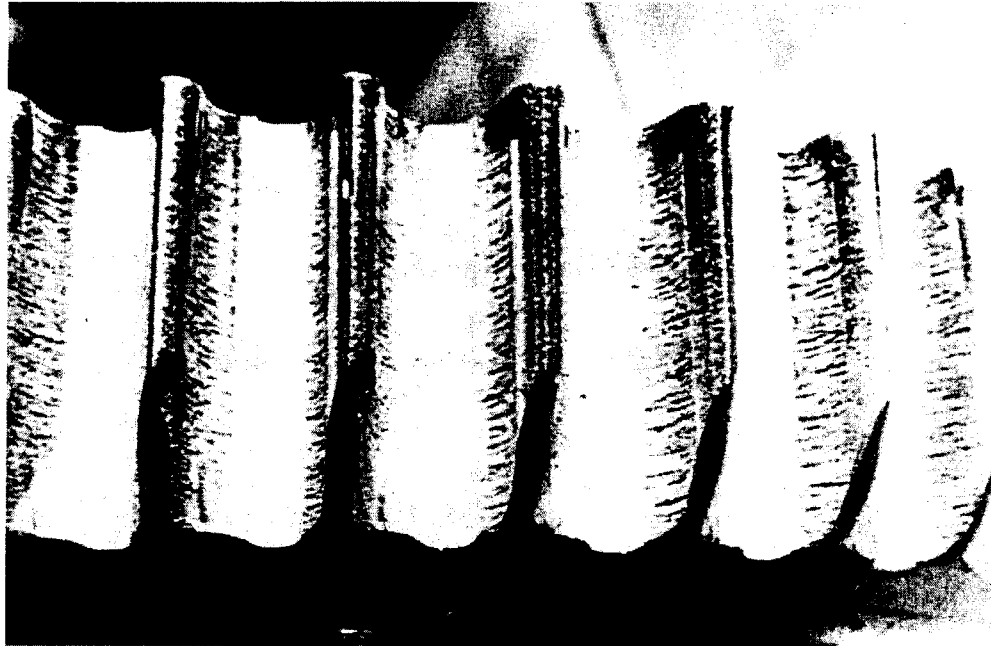
Абразивне стирання є усуненням або зміщенням матеріалу внаслідок наявності твердих частинок (наприклад, крихт металу, дрізок, іржі, піску, абразивного порошку тощо), що присутні в мастильному матеріалі чи потрапили між бічні поверхні контакту зубців.



Ілюстрація шестерні з протилежними бічними поверхнями зубців абразивно спрацьованими так, що вершини зубців мають гострі краї. Активні поверхні зубців гладкі, але мають радіальні канавки внаслідок потрапляння твердих частинок на бічні поверхні зубців зачеплених зубчастих коліс.

На кінцях зубців спостерігається пластична деформація (див. 3.2).

1.1.2 абразивне спрацювання (закінчення)

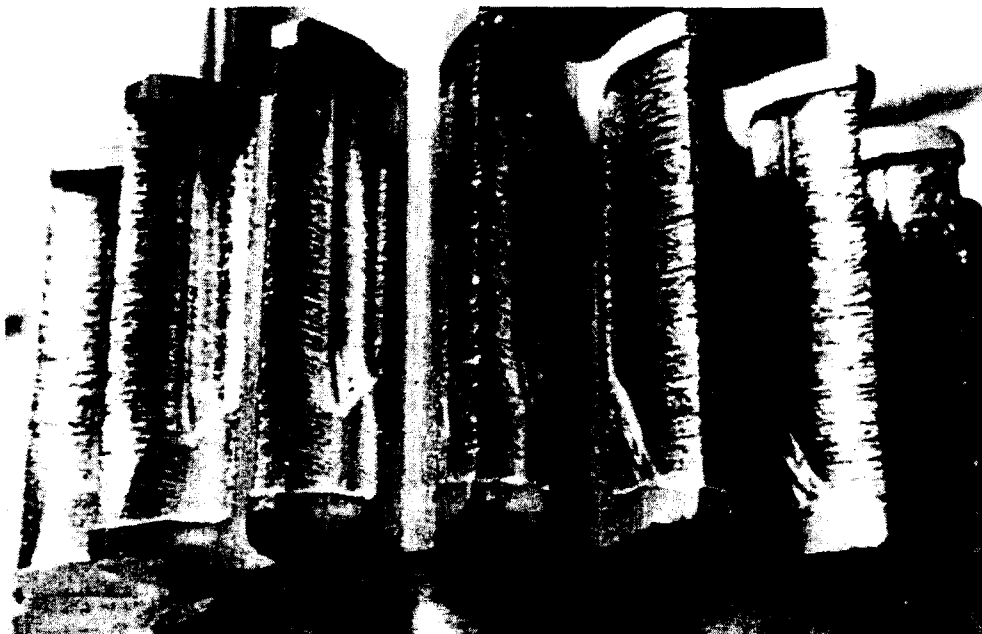


Абразивне спрацювання, внаслідок якого усунуто значну частину матеріалу на протилежних бічних поверхнях зубців зубчастого колеса.  
На ніжках зубців видно глибокі радіальні канавки.

### 1.1.3 надмірне спрацювання

en excessive wear  
fr usure excessive

Надмірне спрацювання може проявитися подібно до помірного чи абразивного спрацювання. Проте ступінь розвитку такий, що зубчаста передача може не досягти розрахункової довговічності. Зубці матимуть значну кількість матеріалу, усуненого з поверхонь.



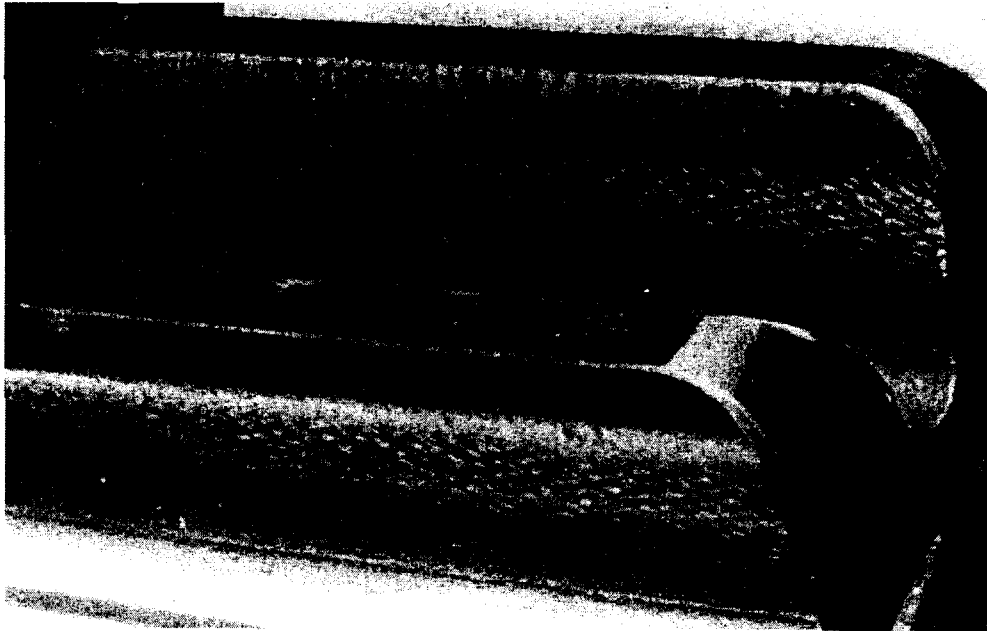
Надмірне спрацювання стиранням протилежних бічних поверхонь зубців шестерні.

Примітка. Полірування після значних змін геометрії зуба також може спричинити надмірне спрацювання.

**1.1.4 помірне дряпання**en moderate scratching  
(scoring)

fr rayures — stries

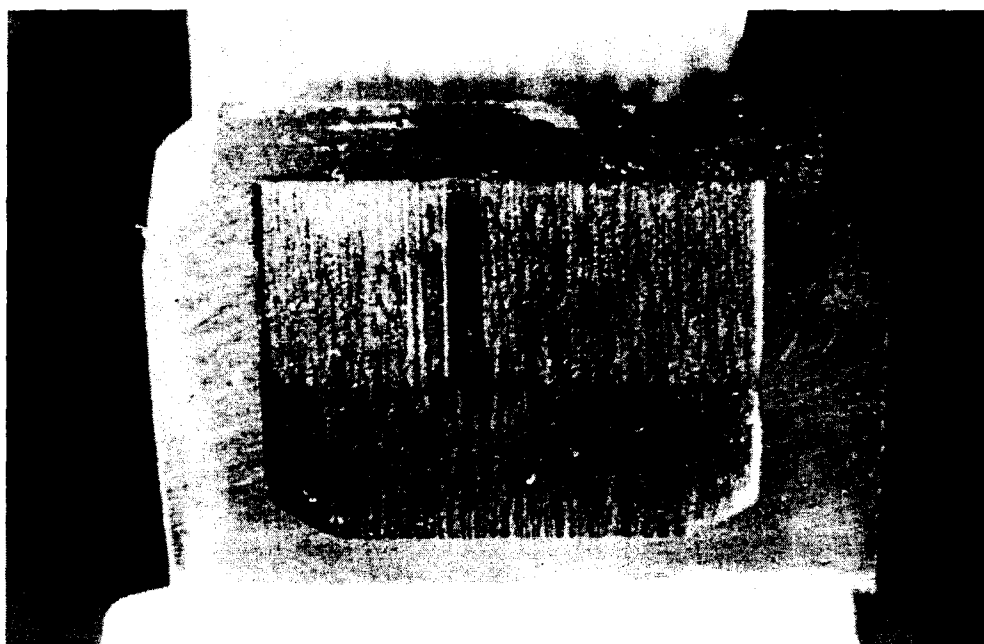
Тонкі канавки в напрямку ковзання, нерівномірно розміщені, різної довжини та часто розкидані по бічних поверхнях зубців.



Біля вершин поверхонь зубців шліфованої шестерні видно тонкі канавки. У цьому випадку подряпини рівномірно розподілені по всіх зубцях. Див. також ілюстрацію до 1.1.1. Зазначте присутність слідів шліфування на поверхні ніжки зуба.

**1.1.5 сильне дряпання**en severe scratching  
fr griffures

Форма абразивного спрацювання, яка характеризується прямими канавками в напрямку ковзання зуба. Канавки гладкі, подібні зовнішнім виглядом до сформованих гребенюванням (див. 3.4), але спричинені дією твердих виступів на спряжених бічних поверхнях зубців або твердих частинок, що потрапили туди.



Надмірне абразивне спрацювання цілковитої поверхні контакту. Спрацювання менш інтенсивне біля початкової поверхні. Інший тип надмірного абразивного спрацювання показано на ілюстрації 1.1.2.

**1.1.6 спрацювання внаслідок взаємного  
проникнення профілів зубців**

en interference wear  
fr usure par interférence

Спрацювання на головці одного зуба і (або) на ніжці спряженого зуба, викликане надлишком матеріалу на головках одного або на ніжках іншого.

Результатом є дряпання і спрацювання ніжок і головок обох зубців, що викликає поглиблення перших і закруглення останніх.



Спрацювання внаслідок взаємного проникнення профілів зубців на бічній поверхні зуба зубчастого колеса.

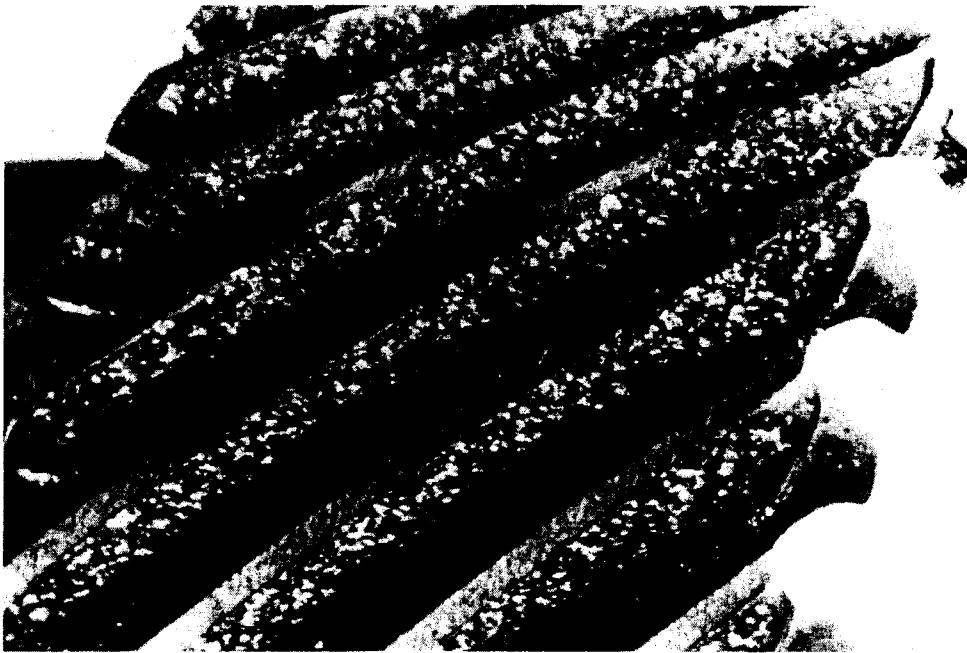
## 1.2 Корозійно-механічне спрацювання

### 1.2.1 хімічна корозія

en chemical corrosion

fr corrosion chimique

Деградація поверхні, спричинена хімічними реакціями. Загальними ознаками є дрібні раковини на всій поверхні зуба й окислення міжзернистих границь. Інколи зустрічаються червоно-коричневі сліди іржі зазвичай поблизу робочих частин бічних поверхонь зубців.



Значна корозія на поверхнях зубців зубчастого колеса як наслідок хімічного роз'їдання.

Пошкодження такого виду може продовжуватися, доки зубчасте колесо не буде придатним до використання.

**1.2.2 фретинг-корозія**

en fretting corrosion

fr corrosion de contact

Пошкодження поверхні, спричинене дуже малими повторними переміщеннями однієї контактної поверхні по іншій, унаслідок чого утворюються дрібні червоно-коричневі частинки іржі.

Вони утримуються в зоні контакту і їх абразивна дія збільшує ступінь погіршення поверхні.

Таким чином, стаціонарні зубчасті передачі можуть бути уражені, якщо вони зазнають породжуваних спородою вібрацій, таких як ті, що зустрічаються під час транспортування.



Фретинг-корозія наявна на бічних поверхнях зубців зубчастого колеса внутрішнього зачеплення зубчастої муфти.



### 1.2.3 лушення окалини

en scaling

fr pelage

Неоднорідні виступні ділянки на бічних поверхнях зубців, які виникли внаслідок процесу окислення під час термооброблення. Під час роботи під навантаженням потужність початково передається через ці зони, які швидко набувають металевого блиску.



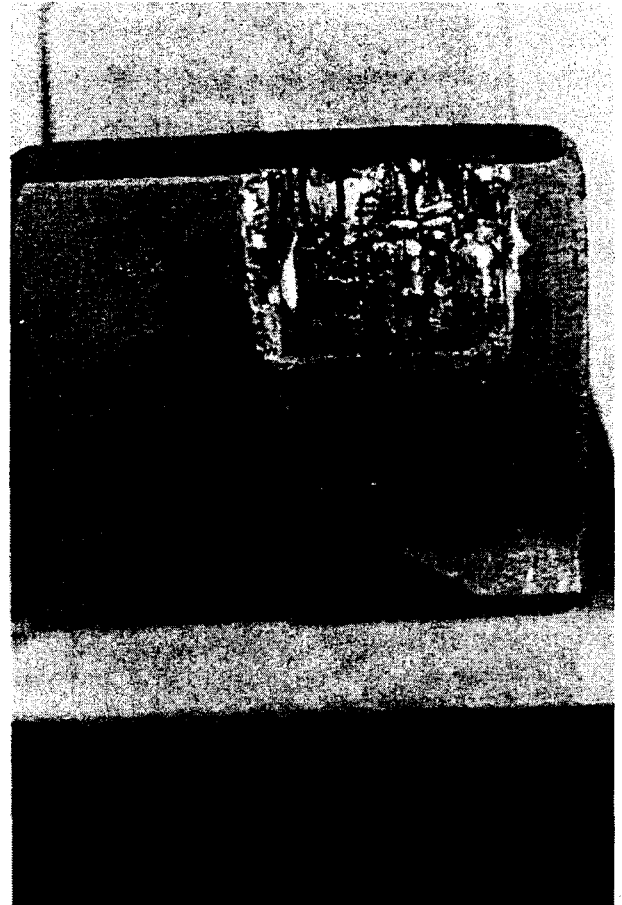
Лушення окалини на зубцях косозубої шестерні.

**1.3 перегрівання**

en overheating

fr surchauffe

Зубчасті передачі досягають надмірно високої температури зазвичай унаслідок недостатнього змащення чи невідповідного бічного зазору. В останньому випадку ознаки сильного навантаження будуть виявлятися як на робочих, так і неробочих бічних поверхнях зубців. Присутні кольори мінливості, а також ділянки заїдання і пластичної деформації.



Перегрівання активної поверхні зуба колеса внаслідок раптового та інтенсивного перевантаження під час роботи.

## 1.4 Ерозія

### 1.4.1 кавітаційне спрацювання

en cavitation erosion

fr érosion par cavitation

На бічних поверхнях усіх зубців спостерігаються рівномірно розподілені локалізовані задири, або вся поверхня зубців має вигляд як після піскоструминного оброблення.

Цей процес спрацювання може виникнути тоді, коли є високочастотні вібрації або змащення забруднено втягнутою водою, повітрям чи іншими газами.



Кавітаційне спрацювання на бічних поверхнях зубців зубчастого колеса.

**1.4.2 гідроерозійне спрацювання**

en hydraulic erosion

fr érosion par fluide sous pression

Спрацювання в результаті дії потоку рідини або рідини, яка містить повітря або дрібні частинки.



Гідроерозійне спрацювання біля вершин бічної поверхні зубців високошвидкісного зубчастого колеса.

Спрацювання утворюється на лінії розташування змащувальних розпилювальних насадок.

**1.5 електроерозійне спрацювання**

en electric erosion

fr piqûres par étincelage

Розряд електричного струму або іскри між бічними поверхнями спряжених зубців утворюють численні маленькі кратери зі згладженими краями на зубцях зубчастого колеса.

Іноколи спостерігають великі обпалені ділянки, що проявляються кольорами мінливості на їхніх краях.



Електроерозійне спрацювання внаслідок проходження малого електричного струму.

**1.5 електроерозійне спрацювання (закінчення)**



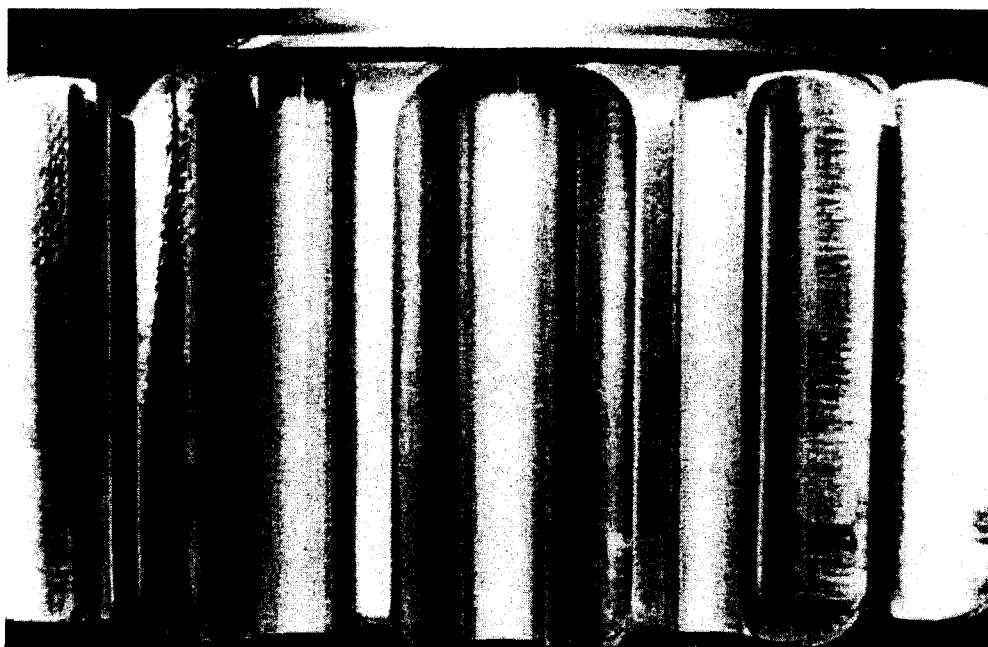
Сильне електроерозійне спрацювання внаслідок проходження електричного струму високої напруги.

## 2 ЗАЇДАННЯ

en scuffing  
fr grippage

Смугаста шорсткість, що утворюється в напрямку ковзання, змінюючись поступово від слабого до сильного заїдання. Змащувальна плівка між бічними поверхнями зубців розривається і це може призвести до локалізованого зварювання бічних поверхонь зубців з перенесенням матеріалу.

Заїдання тільки маленьких ділянок бічних поверхонь зубців, зазвичай на вершинах або ніжках зубців, можуть уладнатися спонтанно (див. а) і b)). Сильне заїдання, яке покриває великі ділянки бічних поверхонь зубців, спричиняє збільшення шуму й вібрації, приводить до поломки, доки не буде вжито відповідних заходів (див. с) і d)).



а)

Помірне заїдання на вершинах зубців шліфованої шестерні. Часто цей тип заїдання самоусувається під час роботи за сприятливих обставин.

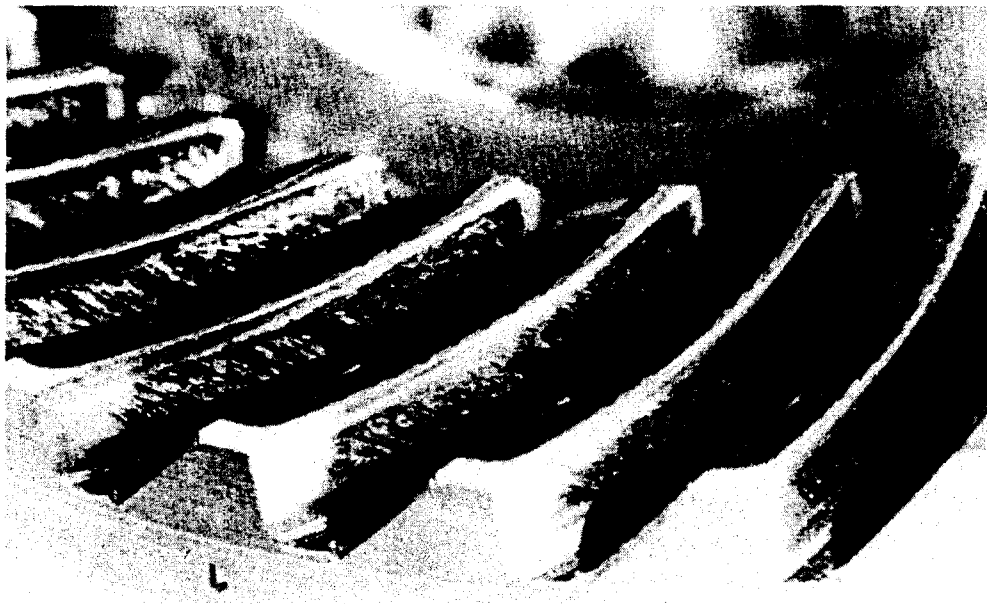
**2 ЗАЇДАННЯ** (продовження)

b)

Локалізоване заїдання поблизу вершин зубців конічного колеса з криволінійними зубцями. Таке пошкодження часто самоусувається, якщо початковий механізм не повторюється.



## 2 ЗАЇДАННЯ (продовження)



с)

Сильне заїдання на зубцях конічного колеса з криволінійними зубцями. У деяких випадках поширення цього типу пошкодження супроводжується збільшенням робочої температури.

## 2 ЗАЇДАННЯ (закінчення)



d)

Сильне заїдання спостерігається на зубцях шестерні, яка працює на малій швидкості і яку змащують консистентним мастилом.

Цей тип пошкодження зазвичай називається «холодним заїданням».

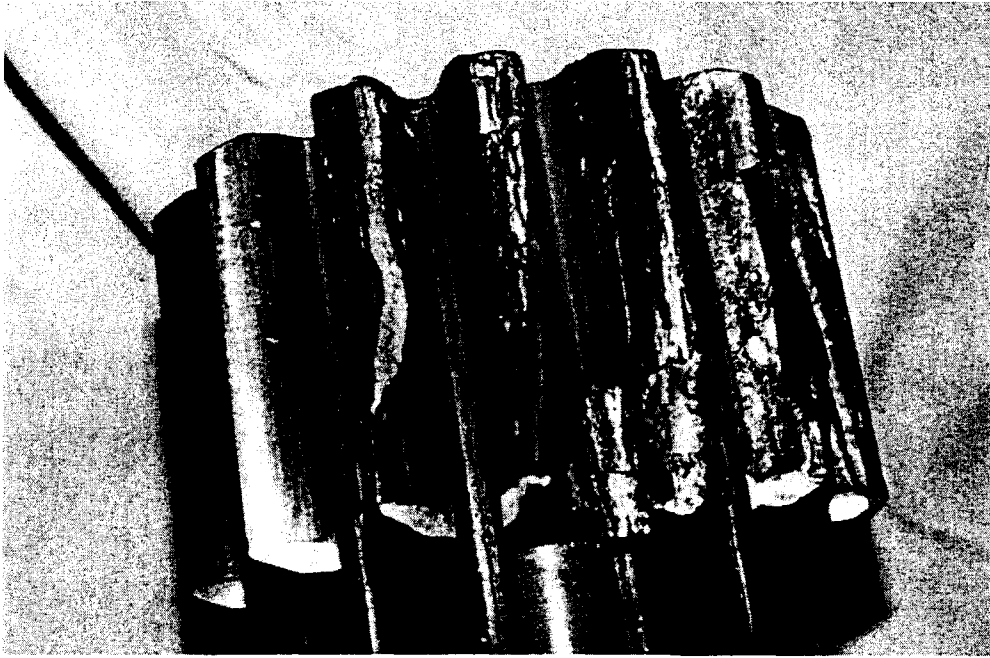
### 3 ЗАЛИШКОВА ДЕФОРМАЦІЯ

#### 3.1 щерблення

en indentation

fr empreinte

Пошкодження бічних поверхонь зубців, спричинені потраплянням у зачеплення сторонніх металевих предметів.



Щерблення в кількох зубцях шестерні, спричинене потраплянням у зачеплення металевих частинок.

**3.2 пластична деформація**

en plastic deformation

fr déformation plastique

Деформація, що залишається після зняття прикладеного навантаження. Зубці можуть бути зігнуті, осаджені ударами зубців або матеріал з поверхні може бути зміщений коченням (ковзанням) зубчастих коліс, експлуатованих з надмірно високими навантаженнями і тертям.

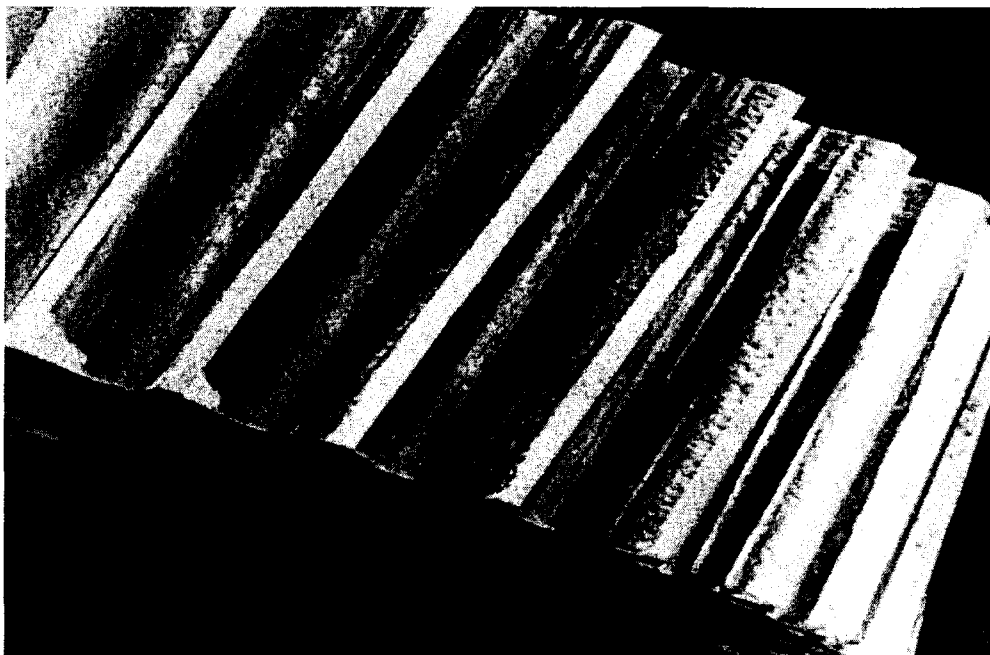
(Не ілюстровано)

**3.2.1 пластична деформація коченням**

en plastic deformation by rolling

fr déformation plastique par roulement

У цьому випадку матеріал переміщується від початкової поверхні тягового зубчастого колеса до ніжок і головок, де часто утворюється рубець. Відповідно матеріал тягненого зубчастого колеса переміщується в напрямку до початкової поверхні. Таким чином, утворюється канавка на бічній поверхні зуба тягового колеса і відповідно рубець на зубі тягненого зубчастого колеса.

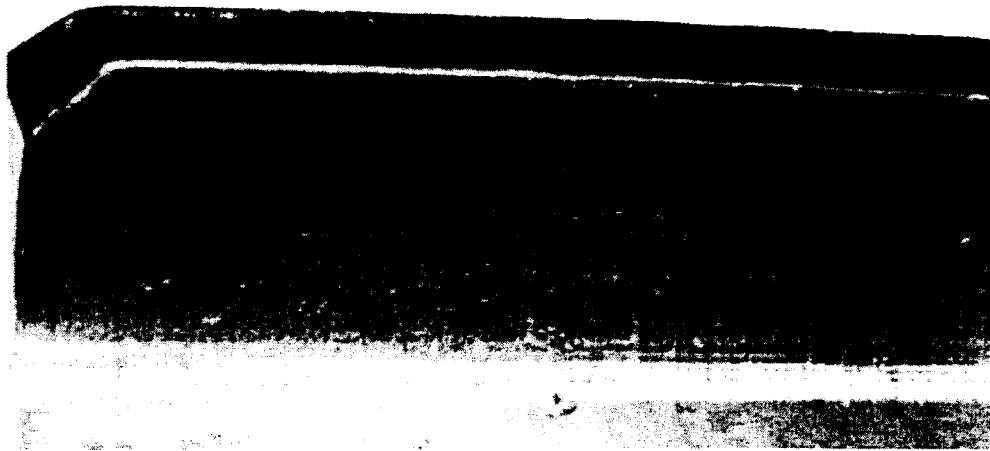


Пластична деформація коченням. Це було тягнене колесо і наявність згадуваного рубця біля початкової поверхні можна ясно бачити.

**3.2.2 пластична деформація ударом**

en plastic deformation by tooth hammer  
fr déformation plastique par martèlement

Ознаку такої деформації можна легко побачити у вигляді мілких канавок на бічних поверхнях зубців. Канавки збігаються з лініями контакту між спряженими зубцями коліс.



Пластична деформація ударом робочих бічних поверхонь зубців зубчастого колеса внутрішнього зачеплення. Рубець сформувався біля вершин зубців.

### 3.3 брижі

en rippling

fr traces de broutage

Дрібні виступи, перпендикулярні до напрямку ковзання, утворюються на бічних поверхнях зубців. Брижі є переважно хвилясті, а їх зовнішній вигляд подібний до піску чи мулу, зрушених вітром чи водою, але значно менші від них.



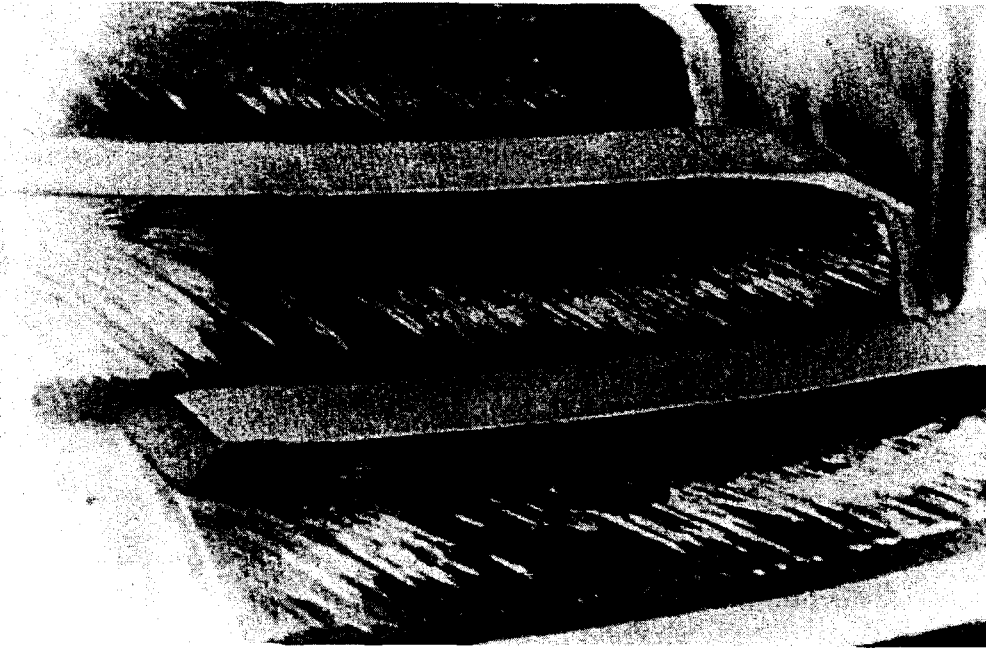
Ілюстрація шестерні, що показує брижі біля правих кінців зубців, де навантаження на зубці було більшим. У цьому випадку формування брижів відбулося після інтенсивного полірування бічних поверхонь зубців.

### 3.4 гребенювання

en ridging

fr sillons

Формування гребенів і вм'ятин пластичною деформацією, інколи — спрацюванням на бічних поверхнях зубців зубчастого колеса. Ця форма пошкодження найчастіше виникає на зубцях низькошвидкісних зубчастих передач, які мають значну складову ковзання в напрямку лінії контакту зубців (наприклад, у черв'ячних та гіпоїдних передачах). Трапляється на матеріалах з високою твердістю, якщо контактні напруження високі, як, наприклад, у поверхнево-загартованих гіпоїдних передачах задніх осей автомобілів.



Конічне зубчасте колесо з криволінійними зубцями зі згадуваними гребенями й прим'ятинами на активних поверхнях.

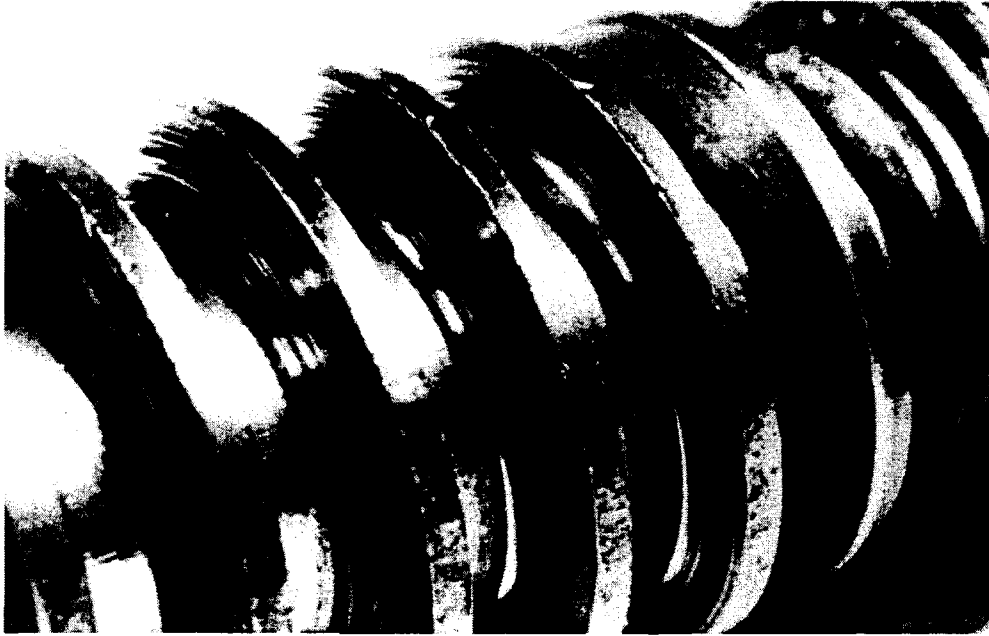


### 3.5 задирки

en burrs

fr bavures

Грубі, часто гострі виступи, утворені на гранях деталей і обумовлені важким навантаженням зі значним тертям або дією заїдання; інколи — заподіяні під час виготовлення.



Наявні зади́рки можна бачити на вершинах робочих поверхонь витків черв'яка. Ці задирки утворюються внаслідок пластичної деформації, спричиненої стиском і ковзанням уздовж активної бічної поверхні витків.

**4 КОНТАКТНА УТОМЛЕНІСТЬ**

en surface fatigue phenomena

fr phénomènes liés à la fatigue de surface

Пошкодження матеріалу внаслідок поверхневих і підповерхневих напружень, утворених багаторазовим прикладенням сил. Воно характеризується усуненням металу і формуванням раковин.

(Не ілюстровано)

4.1 пітинг

en pitting  
fr piqûres

Явище поверхневої втоми, що виникає під час кочення або одночасно кочення й ковзання. Частинки відламуються від уражених ділянок, утворюючи на поверхні раковини.



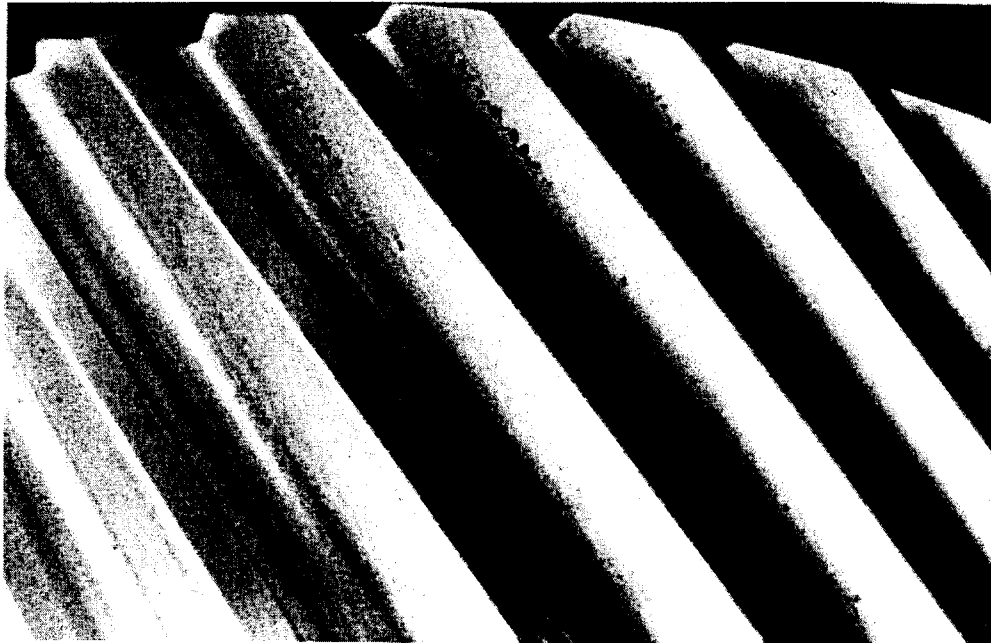
Переріз бічної поверхні зуба, що показує, як раковина розвивається під поверхнею  
Збільшення: 1 000

**4.1.1 початковий пітинг**

en initial pitting

fr piqûres naissantes

Маленькі, зовсім дрібні раковини зазвичай пов'язані з нерівностями поверхні контакту. Часто, коли нерівності усунено пітингом, і, таким чином, навантаження перерозподіляється, пітинг далі не розвивається (тобто затримується). Початковий пітинг зубців зубчастого колеса може виникнути на початку його експлуатації, навіть після припрацювання зі зменшеним навантаженням.

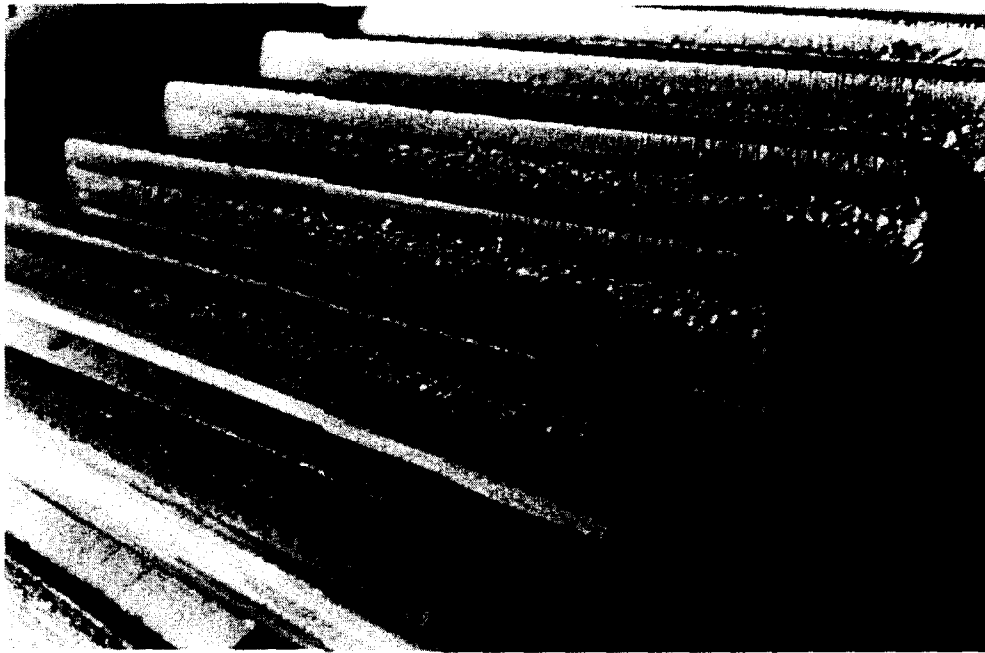


Початковий пітинг бічних поверхонь зубців зубчастого колеса. Максимальна концентрація пітингу відповідає ділянці максимальної інтенсивності навантаження на поверхню.

#### 4.1.2 прогресивний пітинг

en progressive pitting  
fr piqûres évolutives

Пітинг, який триває і має тенденцію до зростання протягом усього часу експлуатації зубчастого колеса. Іноколи можуть виникати проміжні періоди затримки з подальшим розвитком пітингу.



Прогресивний пітинг на активних бічних поверхнях зубців наскрізно-прогартованого зубчастого колеса.

Найбільші раковини є поблизу початкової поверхні, а найменші — на поверхні ніжки зуба.

На поверхні ніжки зуба складові руху ковзання й кочення мають протилежні напрямки, таким чином їх швидкості збільшують одна одну.

**4.1.3 мікропітинг**

en micropitting

fr micropiquûres

Деградація робочих поверхонь зубців зубчастого колеса за умови, що плівка мастильного матеріалу надто тонка для навантаження. У збільшеному вигляді це проявляється як компактні ділянки мікрораковин або мікротріщин.

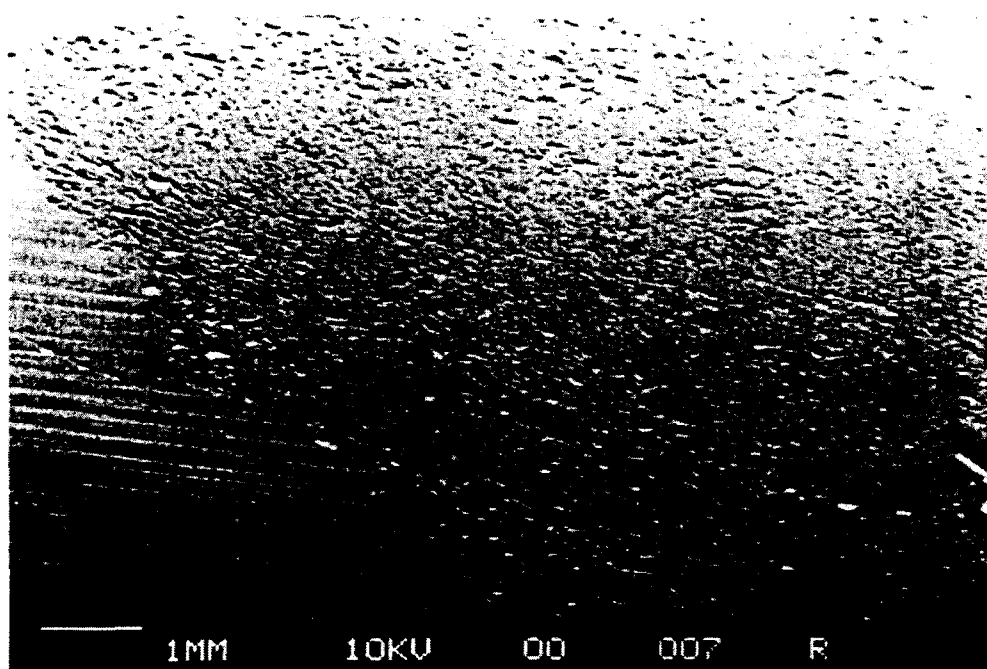


Мікропітинг наявний на активних поверхнях зубців процементованої шестерні.

У цьому випадку на нерівномірний розподіл по бічних поверхнях зубців впливають відхилення профілю і лінії нахилу зубців.

4.1.3 мікропітинг (продовження)

↑  
Напрямок ковзання або розсувні напрямку  
↓



Вигляд бічної поверхні зуба з мікропітингом за малого збільшення (× 15)

4.1.3 мікропітинг (продовження)

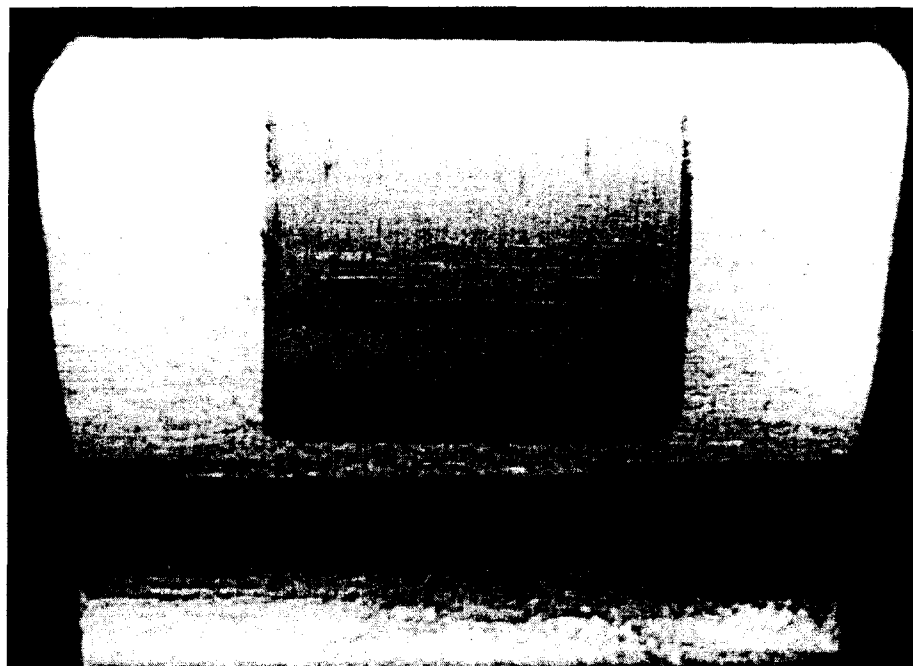


Напрямок ковзання ← або → розсувні напрямку

Елемент поверхні з мікропітингом за великого збільшення ( $\times 1\ 000$ ).



#### 4.1.3 мікропітинг (закінчення)



Вигляд, що показує рівномірний розподіл мікрораковин з високою концентрацією на бічній поверхні ніжки процементованого зуба шестерні.

**4.2 втомне лущення**

en flake pitting

fr piqûres en écailles

Форма пошкодження поверхні зуба, що спричиняє відокремлення тонких лусок матеріалу на порівняно великій ділянці, залишаючи мілкі раковини, приблизно постійної глибини, у вигляді перекинутих трикутників.



Втомне лущення наявне на активних бічних поверхнях з сильною бочкоподібністю зубців прямозубого колеса.

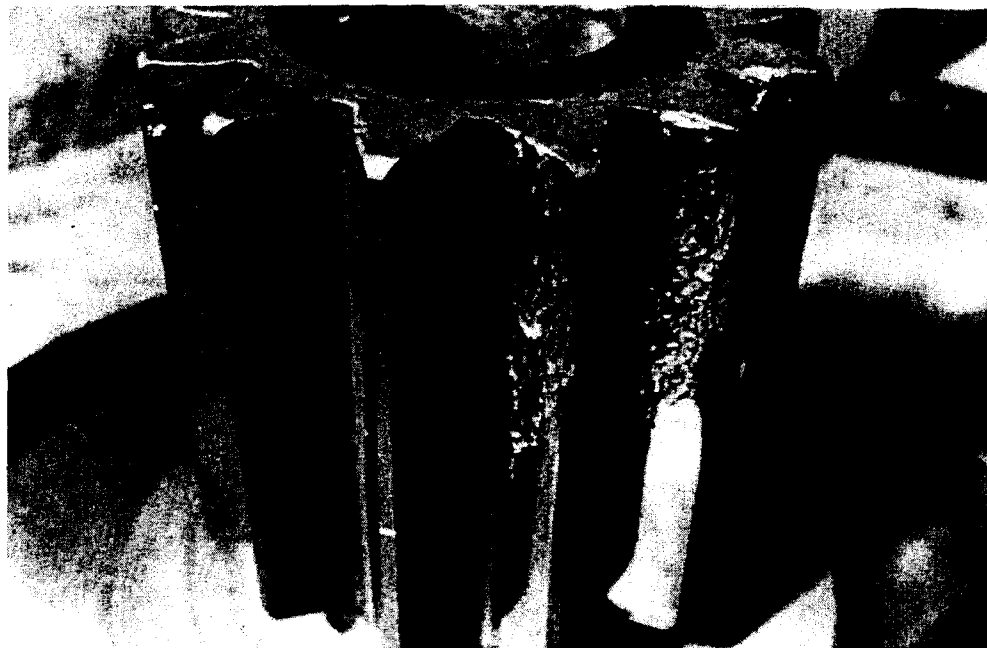
Це наскрізно-прогартоване зубчасте колесо зазнало значного перевантаження, яке спричинило пошкодження.

### 4.3 відшаровування

en spalling  
fr écaillage

Цей термін іноді вживають замість терміну втомне лущення (4.2), але частіше вживають для подібного пошкодження, за якого відокремлювані фрагменти товстіші, ніж цементацийний шар, і мають неправильну форму.

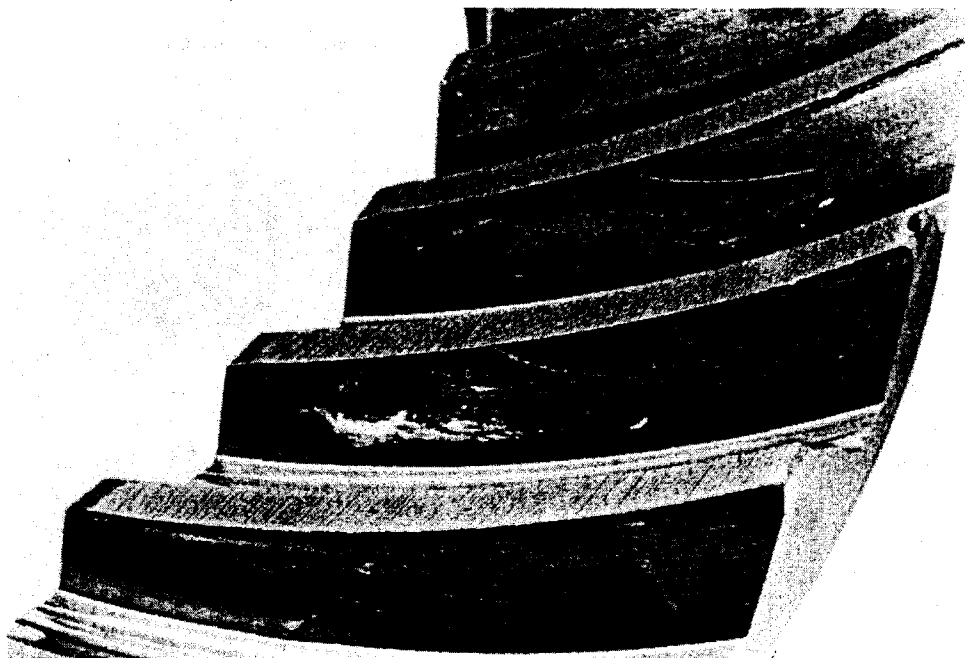
Відшарування є прогресивним мікропітингом, що виникає, коли раковини зростаються й утворюють кратери неправильної форми, які покривають значну частину поверхні зуба.



Відшарування на найбільш навантажених ділянках зубців азотованої шестерні.

**4.4 глибинне втомне викришування**en case crushing  
fr dislocation

Це явище викришування великих уламків поверхнево-загартованого матеріалу внаслідок поширення тріщин зазвичай уздовж зони переходу від твердого шару до серцевини. Результатом є інтенсивне відшаровування.



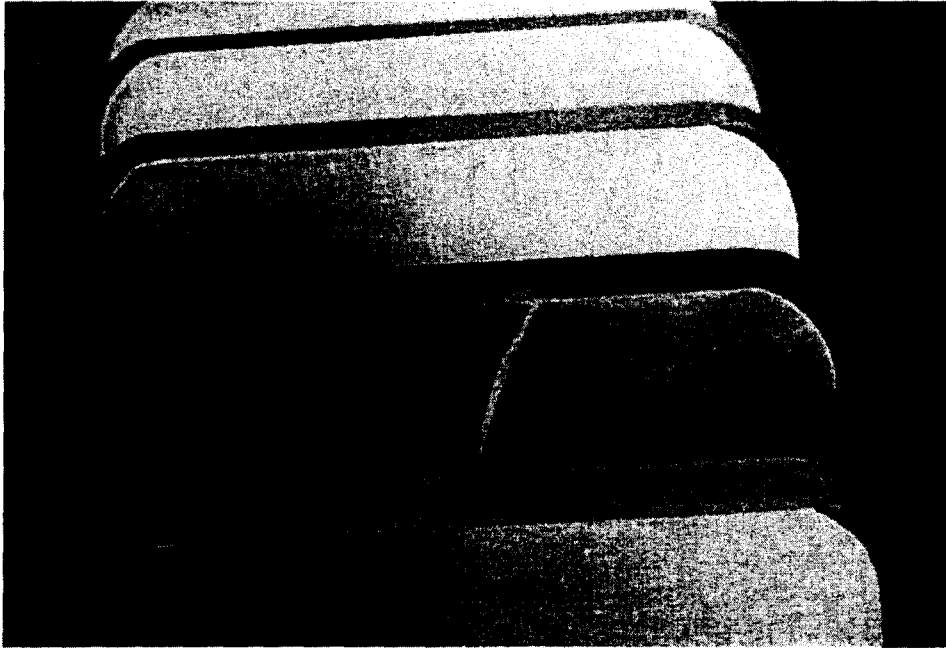
Глибинне втомне викришування робочих поверхонь зубців поверхнево-загартованого кінцевого зубчастого колеса з криволінійними зубцями. Численні тріщини в зубцях можна побачити в напрямках ліній контакту з шестернею. Кількість матеріалу, виламаного з однієї бічної поверхні зуба, залишає після себе велику порожнину.

## 5 ВИНИКНЕННЯ І РОЗВИТОК ТРІЩИН

en fissures and cracks

fr fissures et cliques

У деталях можуть виникати й розвиватися тріщини, як наслідок таких причин: неправильне шліфування, неякісне термооброблення, перенапруження чи дефекти матеріалу. Їх розглядають окремо в таких пунктах.



Тріщина, спричинена дефектом кування, яка з'явилася під час операції нарізання зубців.

## 5 ВИНИКНЕННЯ І РОЗВИТОК ТРІЩИН (закінчення)



Тріщина в ободі колеса, що виникла внаслідок невідповідної товщини обода.

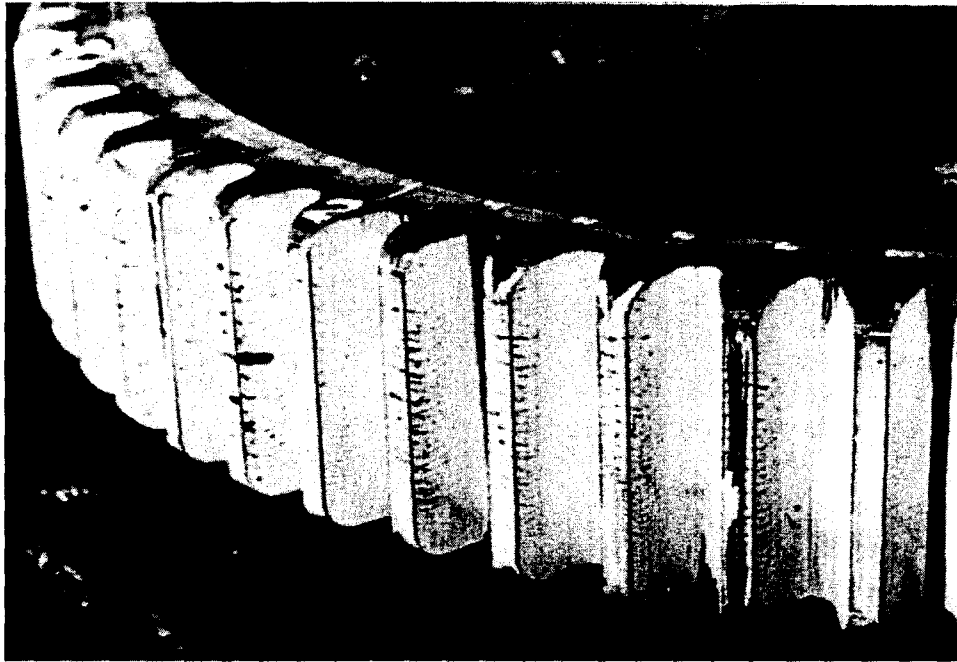
### 5.1 гартівні тріщини

en hardening cracks  
(quench cracks)

fr tapure

Тріщини, викликані надзвичайно високим внутрішнім напруженням, що виникло під час термообробляння. Вони виникають переважно, але не винятково, під час гартування. Частково загартовані полумєневим або індукційним гартуванням поверхні зубців більш схильні до цього пошкодження, ніж поверхні зубців зубчастих коліс, загартованих повноконтурним або об'ємним гартуванням.

Інколи тріщини, що починаються під час гартування, стають видимими тільки через деякий час або протягом процесу шліфування зубців.



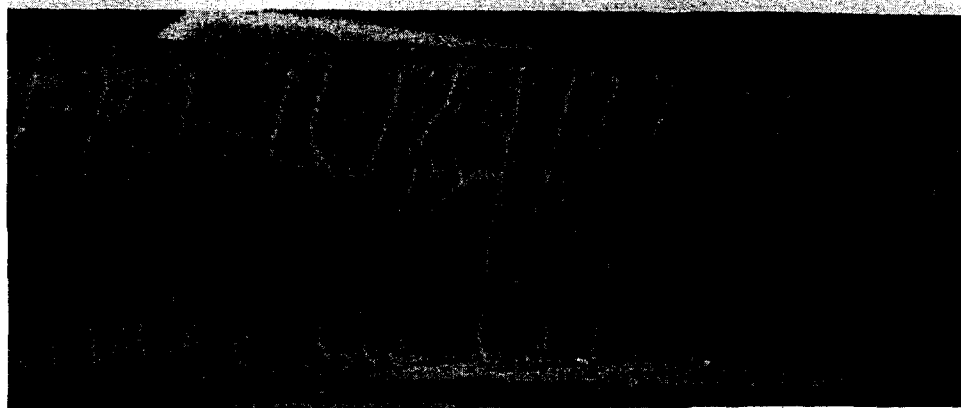
Тріщини від термообробки, які сформувалися на вершинах зубців колеса. (Такі тріщини зазвичай з'являються на цій ділянці).

**5.2 шліфувальні тріщини**

en grinding cracks

fr criques de rectification

Поверхневі тріщини, які утворюють зазвичай більш чи менш правильний візерунок під час або після процесу шліфування. Тріщини короткі, не дуже глибокі і з'являються у вигляді низки приблизно паралельних тріщин, розміщених зазвичай перпендикулярно до траєкторії руху шліфувального круга, або у вигляді волосяної сітки. Вони можуть також з'явитися внаслідок шліфувального припікання, яке виявляється кислотним травленням.



Шліфувальні тріщини з волосяним візерунком на бічній поверхні поверхнево-загартованої і шліфованої шестерні.



### 5.3 втомні тріщини

en fatigue cracks

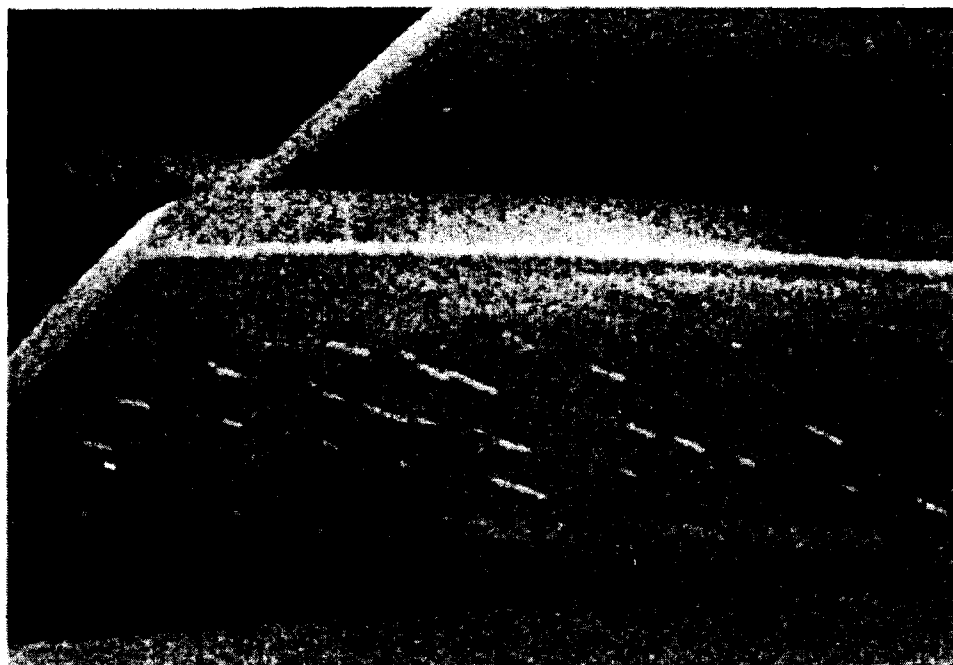
fr fissures de fatigue

Тріщини, що поширюються під впливом повторюваних змінних чи циклічних напружень, які можуть бути значно нижчими від границі міцності матеріалу на розтягання. Тріщина, що виникла під час перевантаження, іноді розвивається повільно, так само як втомна тріщина.

Втомна тріщина, яка з'явилася на перехідній поверхні ніжки зуба, нижче навантаженої бічної поверхні зуба колеса.



**5.3 втомні тріщини (закінчення)**



Поверхневі тріщини, що утворилися вздовж ліній контакту на бічних поверхнях зубців азотованої шестерні.

## 6 РУЙНУВАННЯ ЗУБА

### 6.1 злам зуба перевантаженням

en overload breakage

fr rupture par surcharge

Цей тип руйнування зазвичай виникає внаслідок одного чи кількох дуже інтенсивних навантажень. Тріщина, спричинена перевантаженням, часом розвивається як втомна тріщина з повільним поширенням і має ознаки фретинг-корозії на ділянці початкової тріщини. Розрізняють такі три типи зламу поверхонь перевантаженням:

- крихкий злам;
- в'язкий злам;
- напівкрихкий злам.

(Не ілюстровано)

**6.1.1 крихкий злам**en brittle fracture  
fr rupture fragile

Злам уздовж площин спайності (транскристалічний злам) чи відокремлення межі зерна (інтеркристалічний злам), який характеризується відсутністю видимої пластичної деформації. Під час зламу вздовж площин спайності часто спостерігаються блискучі грані.

**6.1.2 в'язкий злам**en ductile fracture  
fr rupture ductile

Злам поверхні, який має матовий і часто волокнистий зовнішній вигляд та характеризується наявністю видимої пластичної деформації.

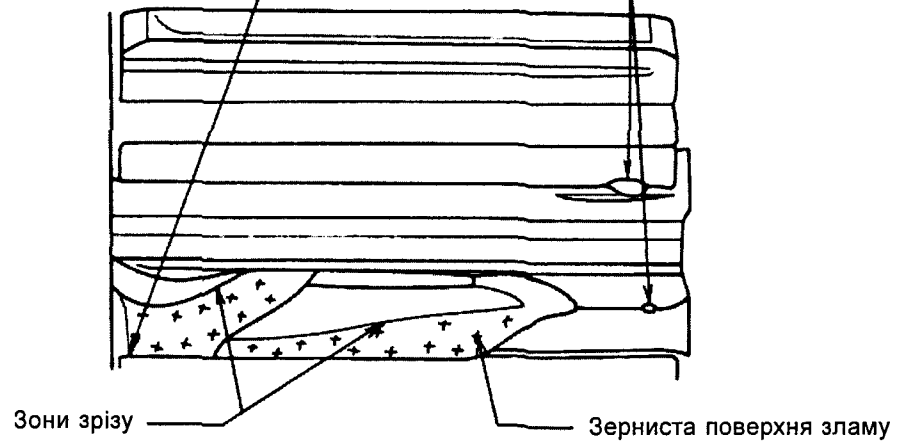
Тріщина, спричинена перевантаженням чи поєднанням перевантаження й втоми, іноді може привести до остаточного відколювання решти нетріснутого матеріалу на шляху тріщини. У таких випадках зона зрізу зазвичай набуває форми намистини або закругленої опуклості (опукла зона зрізу), що поширюється вздовж поверхні зламу, ближчій до неробочої бічної поверхні зуба.

Злам перевантаженням часто пошкоджує кілька зубців, тоді як злам унаслідок втомної тріщини виникає переважно на одному зубі.

### 6.1.2 в'язкий злам (закінчення)

Початок зношування зміцненого шару з поверхневою термообробкою

Пластична деформація



Злам перевантаженням зуба шестерні.

Поверхня зламу показує:

— зернисті поверхні зламу внаслідок зламу через перенапруження під час розтягнення (крихкий злам);

— гладкі бурти показують, де метал зрізаний (в'язкий злам).

**6.1.3 напівкрихкий злам**

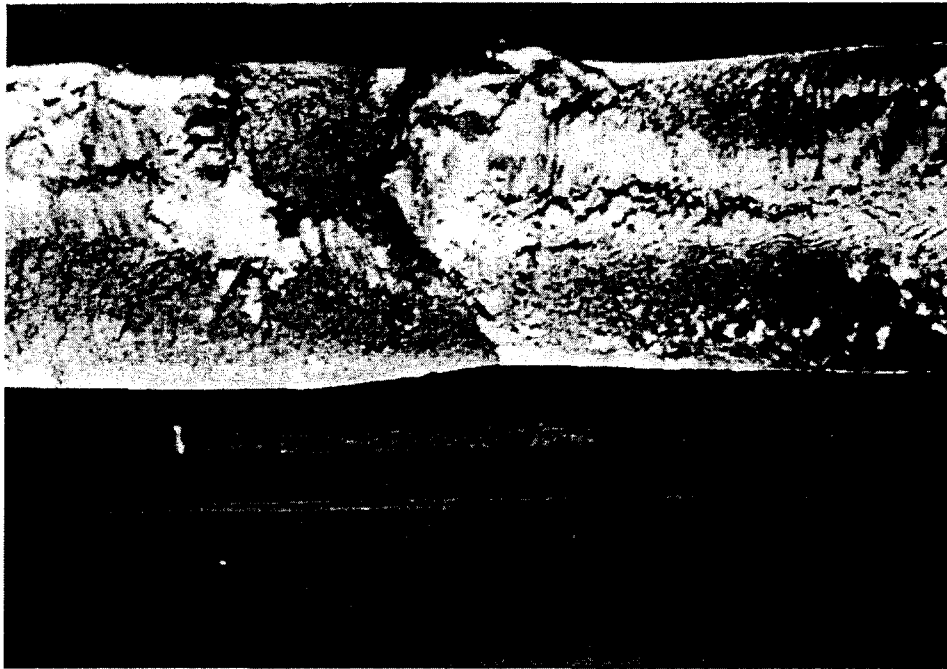
en semi-brittle fracture

fr rupture semi-fragile

Цей вид зламу має малу або зовсім не має пластичної деформації. На поверхні зламу можна бачити сліди у вигляді візерунка «в ялинку». Ці сліди показують наявність чергування крихкого та більш-менш в'язкого зламів.

Переважаючі такі сліди з'являються, коли товщина основи зуба мала порівняно з шириною зубчастого вінця зубчастого колеса.

Вершини слідів «в ялинку» завжди показують на точку зародження зламу.



Поверхня зламу зуба, який зазнав значного циклічного навантаження під час небагатьох циклів.

**6.2 зріз зуба**

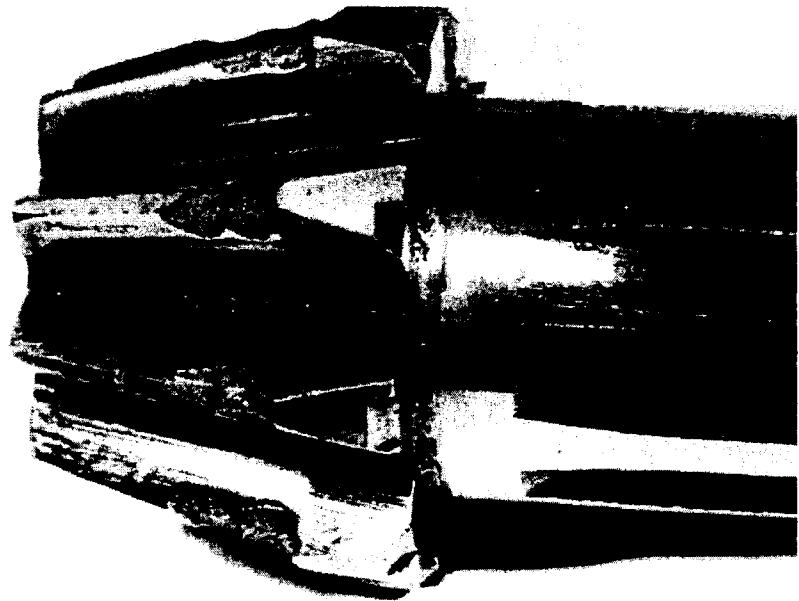
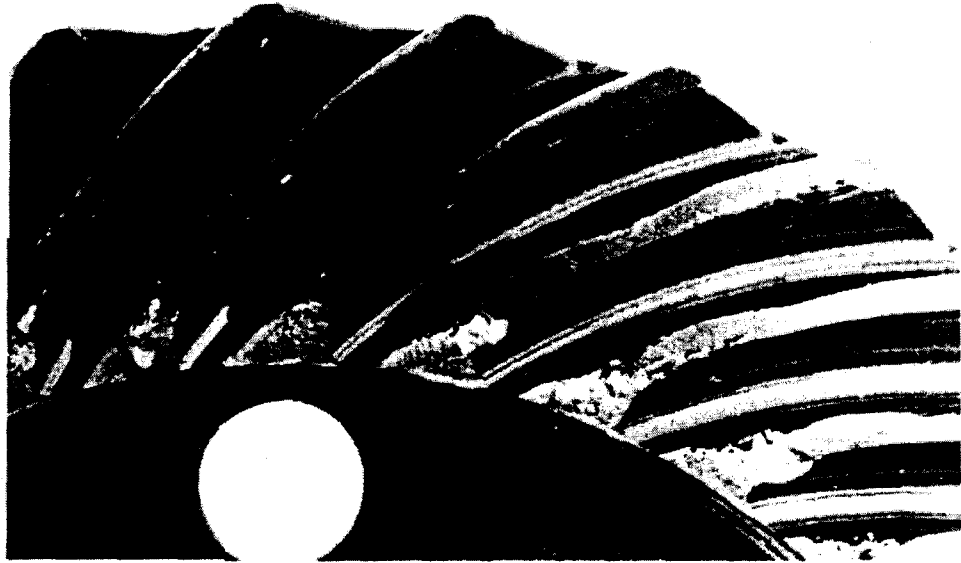
en tooth shear

fr cisaillement de dent

Коли зубці зрізані із зубчастого колеса, зовнішній вигляд поверхонь зрізу подібний до вигляду механічно оброблених поверхонь. Ця форма пошкодження поширюється переважно на зубчасті колеса з відносно маломіцного матеріалу, які зачіпляються з шестернями з міцніших матеріалів. Зріз зуба майже завжди відбувається під час значного одноразового перевантаження.

Цей зуб зрізаний одиничним і надмірним перевантаженням, яке прикладено до його правої бічної поверхні (перевантаження під час згинання).



**6.2 зріз зуба (закінчення)**

Дві ілюстрації показують, що злам кінців зубців або ділянок біля кінців зубців відбувся в усіх зубцях коліс.

Ці обидва колеса були пошкоджені через те, що розподіл навантаження між зачепленими зубцями різко змінився внаслідок вихід із ладу підшипника.



**6.3 злам після пластичної деформації**  
(тривале руйнування)

en breakage after plastic  
deformation (smeared fracture)  
fr rupture après déformation plastique

Усі такі руйнування починаються з об'ємної пластичної деформації зубців перед остаточним зламанням. Переважно усі зубці зазнають пошкодження тоді, коли матеріал не здатний витримувати прикладене навантаження, якщо:

- напруження внаслідок навантаження перевищує границю текучості матеріалу (холодна течія з подальшим зломом);
- матеріал зубчастого колеса ослаблений перегріванням під час роботи (гаряча течія з подальшим зломом).



Холодна течія з наступним руйнуванням зубців шестерні з м'якої сталі.

**6.3 злам після пластичної деформації  
(тривале руйнування) (закінчення)**



Гаряча течія з наступним руйнуванням колеса після значного заїдання.

## 6.4 Втомний злам

### 6.4.1 згинальна втома

en bending fatigue

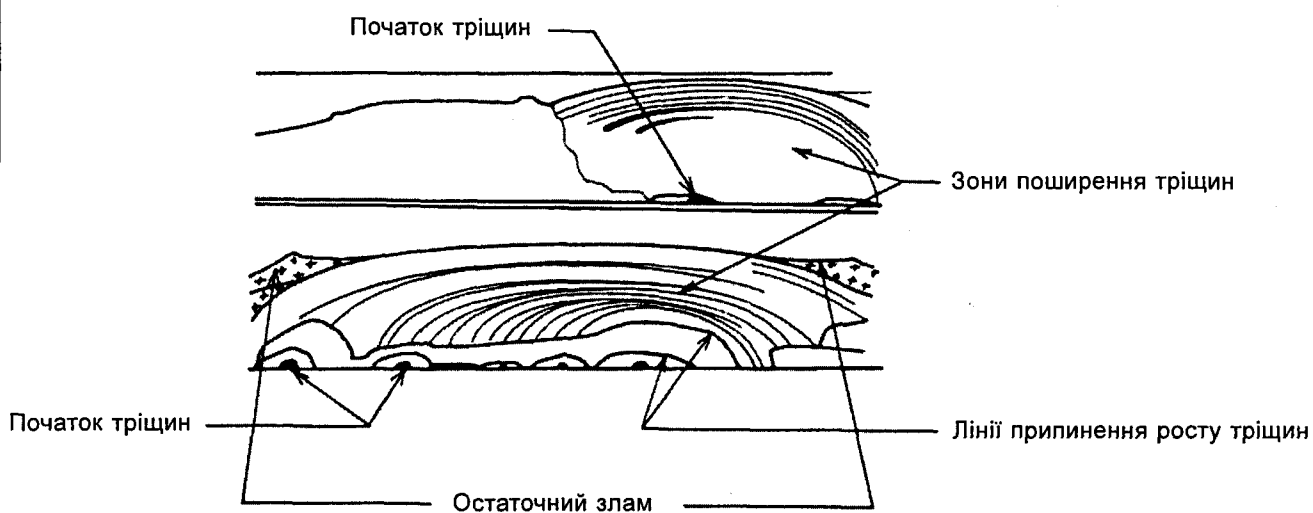
fr fatigue de flexion

Злам зуба спричинюється поширенням тріщини протягом великої кількості циклів навантаження.

Поверхня зламу складається з двох різних зон: поверхні втоми й поверхні остаточного зламу. Зона втоми не містить жодних видимих ознак пластичної деформації. Поверхня гладенька, матова на вигляд, можливо перетинається лініями припинення росту тріщин і може показувати перехід між послідовними стадіями їх поширення.

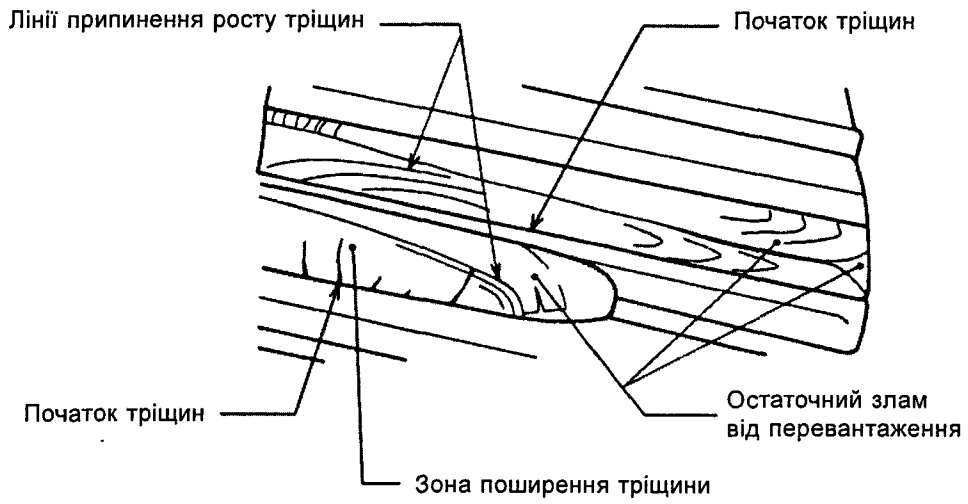
Зовнішній вигляд поверхні остаточного зламу може відповідати тій чи іншій з поверхонь зламу, отриманих від перевантаження.

6.4.1 згинальна втома (продовження)



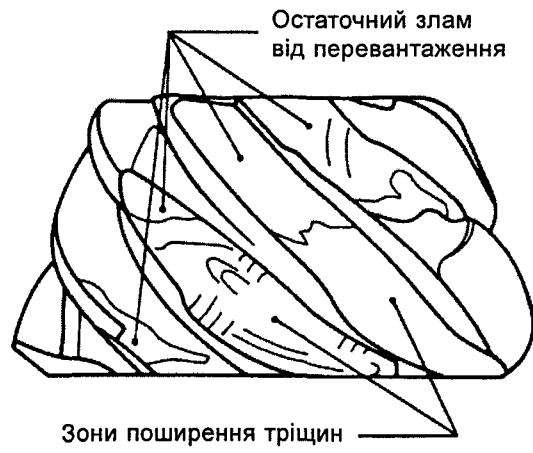
Втомний злам двох зубців.

6.4.1 згинальна втома (продовження)



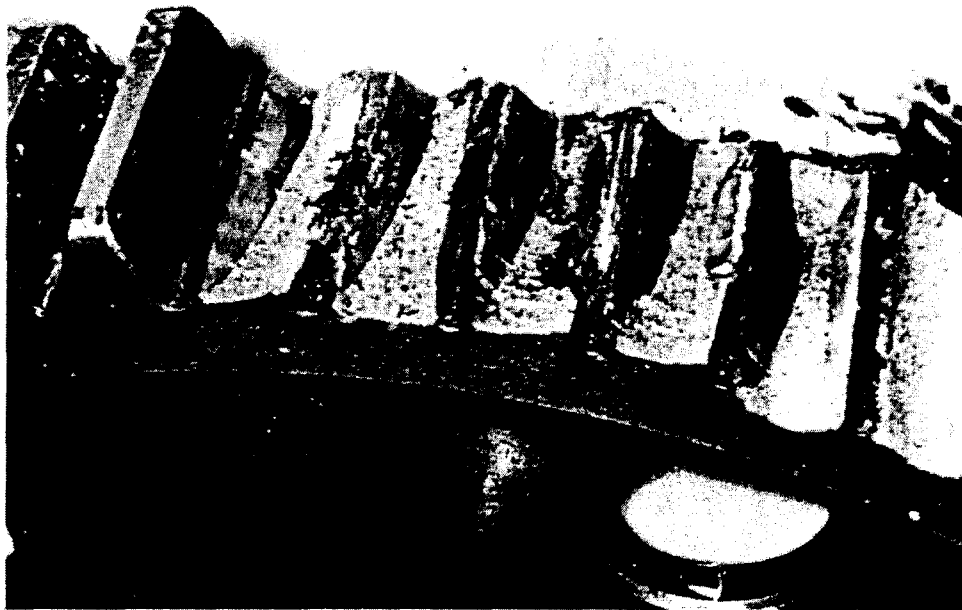
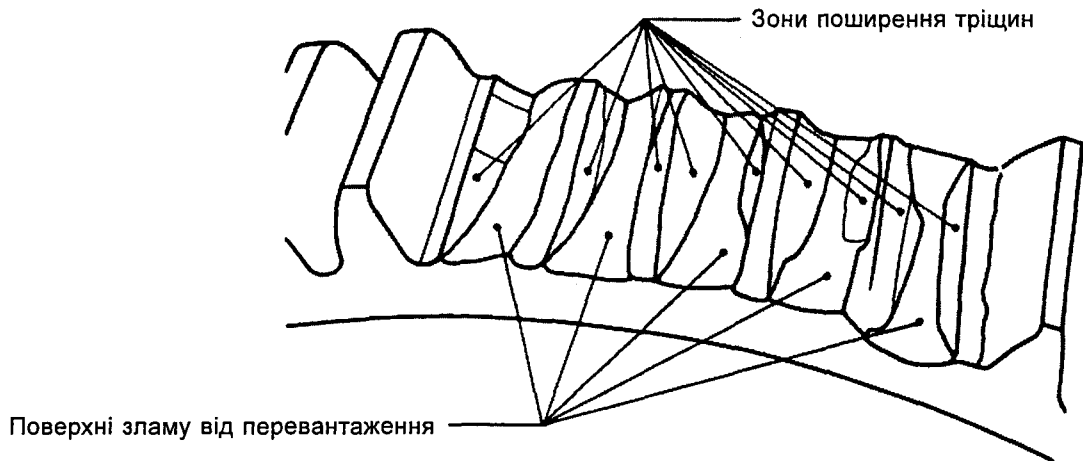
Втомний злам двох зубців косозубої шестерні.

6.4.1 згинальна втома (продовження)



Втомний злам двох зубців конічної шестерні.

6.4.1 згинальна втома (закінчення)



Втомний злам кількох зубців, що були навантажені з двох боків поверхонь зубців з остаточним зломом, що почався на середині ширини зубчастого вінця.

**6.4.2 злам на краю зуба**

en tooth end breakage  
fr rupture par surcharge  
d'extrémité de dent

Злам на краю зуба циліндричного чи конічного зубчастого колеса зазвичай спричинений зосередженням навантаження на цьому краю.



На цих зубцях передаване навантаження концентрувалося на малій частині бічної поверхні біля одного краю зуба. Це спричинило надмірний пітинг, з якого почався втомний злам на найближчому зубі.



ДОДАТОК НА  
(довідковий)

**АБЕТКОВИЙ ПОКАЖЧИК УКРАЇНСЬКИХ ТЕРМІНІВ**

	<b>Б</b>		<b>М</b>
брижі 3.3		мікропітинг 4.1.3	
	<b>В</b>		<b>П</b>
викришування втомне глибинне 4.4		перегрівання 1.3	
виникнення і розвиток тріщин 5		пітинг 4.1	
відшаровування 4.3		пітинг початковий 4.1.1	
втома згинальна 6.4.1		пітинг прогресивний 4.1.2	
	<b>Г</b>	полірування 1.1.1.2	
гребенювання 3.4			<b>С</b>
	<b>Д</b>	спрацювання абразивне 1.1.2	
деформація коченням пластична 3.2.1		спрацювання внаслідок взаємного проникнення профілів зубців 1.1.6	
деформація пластична 3.2		спрацювання втомне початкове 1.1.1	
деформація ударом пластична 3.2.2		спрацювання гідроерозійне 1.4.2	
дряпання помірне 1.1.4		спрацювання електроерозійне 1.5	
дряпання сильне 1.1.5		спрацювання кавітаційне 1.4.1	
	<b>З</b>	спрацювання механічне 1.1	
задирки 3.5		спрацювання надмірне 1.1.3	
заїдання 2		спрацювання помірне 1.1.1.1	
злам в'язкий 6.1.2		спрацювання припрацьовувальне 1.1.1	
злам зуба перевантаженням 6.1			<b>Т</b>
злам крихкий 6.1.1		тріщини втомні 5.3	
злам на краю зуба 6.4.2		тріщини гартівні 5.1	
злам напівкрихкий 6.1.3		тріщини шліфувальні 5.2	
злам після пластичної деформації 6.3			<b>У</b>
зріз зуба 6.2		утомленість контактна 4	
	<b>К</b>		<b>Ф</b>
корозія хімічна 1.2.1		фретинг-корозія 1.2.2	
	<b>Л</b>		<b>Щ</b>
лущення втомне 4.2		щерблення 3.1	
лущення окалили 1.2.3			

Код УКНД 01.040.21; 21.200

**Ключові слова:** зубчасті передачі, зубці (механічні), стан поверхні, руйнування, спрацювання, пошкодження.

Редактор **О. Макаренко**  
Технічний редактор **О. Касіч**  
Коректори **Л. Позняк, Т. Калита**  
Верстальник **Т. Шишкіна**

Підписано до друку 10.04.2013. Формат 60 × 84 1/8.  
Ум. друк. арк. 7,90. Зам. **578** Ціна договірна.

Виконавець  
Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115  
Свідоцтво про внесення видавця видавничої продукції до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 14.01.2006 серія ДК № 1647