

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

випадку реєструє інтерференційну активність багатьох взаємонакладних потенціалів дії рухових одиниць (ПДРО), використання такого монополярного відведення не має сенсу.

Таким чином, при невиконанні вимог по електроживленню, заземленні та правил відведення електричної активності можливе зростання рівня завад, які сприймає прилад, і як наслідок – погіршення якості роботи приладу.

### Інформаційні джерела

1. Николаев С.Г. Оптимизация ЭМГ обследования. // Юбилейная научная конференция с международным участием "Современные подходы к диагностике и лечению нервных и психических заболеваний". Санкт-Петербург, июнь. 2000. -СПБ, 2000. -С. 537-538.
2. Николаев С.Г. Практикум по клинической электромиографии. — Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2003. — 264 [1] с.

УДК 621.822

С.А. Мороз

Луцький національний технічний університет

### ВПЛИВ ЗМІЦНЮВАЛЬНО-ВИГЛАДЖУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

*Мороз С.А. Влияние усиливающих-выглаживающих операций на эксплуатационные свойства рабочих поверхностей роликоподшипников. Рассмотрены эксплуатационные свойства рабочих поверхностей колец роликоподшипников и пути их улучшения за помощью усиливающих-выглаживающих операций. Проведенный анализ результатов экспериментальных данных обработки рабочих поверхностей роликоподшипников. Выявлено оптимальную силу выглаживания при обработке образца из стали ШХ-15.*

*Ключевые слова. Роликоподшипник, эксплуатационные свойства, опір контактній втомі, зміцнювально-выглаживающа обробка.*

*Мороз С.А. Влияние усиливающе-выглаживательных операций на эксплуатационные свойства рабочих поверхностей роликоподшипников. Рассмотрены эксплуатационные свойства рабочих поверхностей колец роликоподшипников и пути их улучшения с помощью усиливающе-выглаживательных операций. Проведенный анализ результатов экспериментальных данных обработки рабочих поверхностей роликоподшипников. Определено оптимальную силу выглаживания при обработке образцы из стали ШХ-15.*

*Ключевые слова. Роликоподшипник, эксплуатационные свойства, сопротивление контактной усталости, усиливающе-выглаживательная обработка.*

*Moroz S. Improvements operating properties of workings surfaces roller bearings by pressing operations. Operating properties workings surfaces of rings roller bearings and way of their improvement are considered by pressing operations. Conducted analysis results experimental information treatment of workings surfaces roller bearings. Optimum force of pressing is certain at treatments standards from steel ШХ-15.*

*Keywords. Roller bearings, operating properties, resistance contact fatigue, pressing operations.*

Основними причинами виходу із ладу роликопідшипників, які працюють в звичайних умовах може бути їх статичне та втомне руйнування, викришування при контакті та зношення. При контакті кожний елемент поверхні кочення сприймає змінні напруження.

Переміщення зони контакту по поверхні деталей викликає циклічні зміни напруження у всіх мікрооб'ємах поблизу траєкторії контакту. В результаті циклічного контактного напруження на робочих поверхнях виникають втомні тріщини, які призводять до втомного крихкого руйнування матеріалу.

На основі експериментальних досліджень [1] було встановлено, що в більшості випадків руйнування деталей починається з утворення на їх поверхнях мікроскопічних тріщин, які є місцями концентрації напружень. Втомні тріщини появляються на робочих поверхнях деталей роликопідшипників в зоні дії максимальних напружень, на центральній частині доріжок кочення, і розміщуються поперек доріжки, тобто поперек дії розтягуючи напружень на краях контакту кочення. Поряд з тріщинами, які виникають на робочих поверхнях під дією ковзаючих та нормальних розтягуючи напружень, мікронерівності обробленої поверхні грають роль аналогічну мікротріщинам. Зношення роликопідшипників кочення в результаті контактної втоми відбувається

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

внаслідок поступового порушення міжкристалічних зв'язків, місцевих зсувів кристалічної решітки в поверхневих шарах робочих поверхонь деталей роликотітшипників під дією великого числа циклів повторно-змінних контактних напружень.

Тобто, для підвищення довговічності роботи роликотітшипників необхідно:

- Забезпечити високі пружні якості металу робочої поверхні за рахунок попереднього зміцнення;
- Підвищити опір наклепуванню поверхні металу;
- Підвищити якість обробки поверхні, покращивши її мікропрофіль;
- Підвищити точність виготовлення деталей, забезпечивши для робочих поверхонь мінімальні відхилення від ідеальної круглої форми у відповідних перерізах

Для фінішної обробки робочих поверхонь деталей роликотітшипників поряд із шліфуванням перспективним є використання зміцнювально-вигладжувальних операцій, які забезпечують вищенаведені вимоги. Збільшення твердості, створення залишкового напруження стискування та отримання характерної мікрогеометрії поверхні в результаті вигладжування сприяє значному підвищенню її експлуатаційних властивостей.

Значні дослідження по зміцненню поверхонь деталей машин провели І. В. Кудрявцев, Е. Г. Коновалов, Д. Д. Папшев і ін. [2]. При розгляді мікрошліфів вигладжених деталей відмічено що поверхневий пластично деформований шар значно відрізняється від основного металу. Первинна дія вигладжуючих елементів на поверхню заготовки супроводжується сильним дробленням зерен металу на блоки (полігонізацією), при цьому виникає так звана мозаїчна структура. Надалі унаслідок зрушень, що посилюються по площині ковзання зерна значно подрібнюються. При цьому кристали витягуються у напрямі деформації, утворюючи так звану текстуру.

Основним фактором, який впливає на структурний стан поверхневого шару при вигладжуванні є пластична деформація, яка відбувається в результаті зсувів по площинах ковзання окремих частин кристалів. Структура поверхневого шару при цьому стає більш дрібнозернистою та орієнтованою.

Зміцнення вигладжуванням найчастіше застосовують після шліфування до  $Ra=0,63\div 2,5$  мкм, рідше після чистового точіння і розточування до  $Rz=10\div 20$  мкм.

Ефективність зміцнення залежить від матеріалу оброблюваної деталі. Так за даними Е. Г. Коновалова і В. А. Сидоренко [2], твердість поверхневого шару залежно від чутливості металу до наклепування збільшується на 30—80 %, при обробці деталей з силуміну — на 50 %, сталі 25 — на 45 %, чавуну — на 30—60 %, латуні — на 60 %. Глибина наклепа для м'яких матеріалів складає 0,8—3 мм, а для матеріалів середньої твердості 0,3—8 мм.

Зміцнювально-вигладжувальна обробка підвищує опір контактній втомі робочих поверхонь контактуючих деталей. Під контактною втомою розуміють процес руйнування поверхневого шару (викришування) в результаті дії дотичного напруження. Причому це напруження концентрується на відносно невеликих площах і може виникати в умовах статичного і динамічного навантаження, а також при коченні без просковзування або коченні з просковзування. Контактна втома загалом володіє тими ж характерними властивостями що і будь-який інший вид втоми. Для контактної втоми також існує певна межа величини навантаження — межа контактної витривалості, при навантаженнях менше якої руйнування поверхні не виникає при скільки завгодно великому числі циклів. У явищах контактної втоми є ті ж спільні для всіх видів втоми явища, як утворення і розвиток втомних тріщин, вплив концентрації напруження, вплив відпочинку тощо. Проте поряд з цим на протікання процесів контактної втоми роблять вплив процеси тертя, зношування, окисоутворення при терті, пластична деформація поверхневого шару, теплові дії, які, накладаючись на основні, можуть істотно змінити процес контактної втоми.

Основним чинником, що викликає явище контактної втоми, є дотичне напруження зрушення, що діє в поверхневих шарах контактуючих тіл. Величина цього напруження залежить від нормального по відношенню до контактної площі і дотичної (сили тертя) навантажень. Проте, не дивлячись на те що максимальне дотичне напруження знаходиться на деякій глибині від поверхні контакту, руйнування від втоми, як правило, починається на самій поверхні. При дослідженні сталевих роликів було встановлено, що викришування є наслідком тріщин, що виникають на самій поверхні.

Розвиток процесів контактної втоми поряд з навантаженнями, що діють на деталь, і фізико-механічними властивостями матеріалу деталей визначається характеристиками якості поверхневого шару, що формується в основному на фінішних операціях механічної обробки.

По висновку С. В. Пінегіна мікронервності взаємодіючих поверхонь сприяють значній зміні контактного напруження в поверхневому шарі, викликаючи додаткове контактне напруження, залежне як від абсолютної величини нерівностей, так і від форми їх профілю. Зниження

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

мікронервностей і профіль закругленої форми значно збільшує відносну опорну довжину профілю, тобто фактичну площу контакту, а, отже, і опір контактній втомі деталі. Мікронервності, наприклад, хвилястість можуть викликати в деяких випадках трикратне збільшення максимального розрахункового контактного напруження.

Поряд з шорсткістю поверхні на контактну втому робить вплив також деформаційне зміцнення і напружений стан, знак і величина залишкового напруження, структура і фазовий склад поверхневого шару.

В разі деформаційного зміцнення контактні деформації знижуються і тим більше, чим вищий приріст твердості, тобто вищий ступінь зміцнення. Відбувається це в основному за рахунок зменшення пластичної складової, обумовленої як безпосередньою зміною поверхневої твердості, так і здатністю матеріалу до зміцнення [2].

Таблиця 1

Контактна втома зразків із сталі ШХ-15 в залежності від напрямку волокон

Напрямок вирізування зразків	Максимальне напруження, МПа	Середня стійкість	
		$10^6$ , цикли	%
Вздовж волокон	4100	10,18	100
Під кутом 45°	4100	8,81	83,15
Поперек волокон	4100	6,29	62,03

Величина залишкової (пластичної) деформації при контактній втомі багато в чому визначається характером і величиною попереднього напруженого стану. Найвніше в поверхневому шарі залишкове напруження стискування знижує величину і пружної і пластичної деформації, на відміну від розтягуючих, які здійснюють зворотну дію. Зменшуючи градієнт залишкового напруження по глибині і знижуючи величину залишкового напруження розтягування в поверхневому шарі можна збільшити опір контактній втомі деталей.

Структурний стан позначається на контактній втомі в основному через зміну міцності поверхневого шару і виникнення залишкового напруженого стану. Проте важливе значення має однорідність структури в поверхневому шарі. Проведені дослідження показали що структурно змінений шар значно знижує опір втомному викришуванню, причому тим сильніше, чим вище ступінь структурної неоднорідності. Істотний вплив на контактну втому надає також направлення волокон. Це добре ілюструється дослідженнями І. В. Колотенкова і А. С. Шейна, результати яких приведені в таблиці 1.

З таблиці 1 витікає, що найменшим опором контактній втомі володіють зразки, в яких напрям волокон перпендикулярний максимальній дотичній напрузі.

Як вже наголошувалося вище, втомне викришування – процес, що зароджується на поверхні контактуючих тіл. На поверхні протікають процеси тертя і зношування. Тому тертя не може не робити впливу на контактну втому матеріалів. Тертя може впливати на контактну втому поверхонь через ступінь збільшення поверхневої дотичної напруги, ступінь зносу від стирання, ступінь підвищення температури в контакті, ступінь вигладжування контактуючих поверхонь, циклічну зміну напруження сил тертя.

Властивості поверхневого шару формуються впродовж всіх етапів виготовлення деталі, починаючи від способу здобуття заготовки і закінчуючи фінішною операцією механічної обробки. Залежно від способу виплавлення межа контактної витривалості сталі ШХ-15 може бути підвищена на 23 % за рахунок збільшення щільності сталі. Істотний вплив на контактну втому роблять термічна, хіміко-термічна і деякі види механічної зміцнюючої обробки.

Серед технологічних методів, що дозволяють підвищити опір контактній втомі деталей, значне місце займає вигладжування. В результаті обробки цим методом покращуються параметри якості поверхневого шару, його фізико-механічні властивості, збільшується однорідність структури а тим самим збільшується і опір контактній втомі деталей. Причому це збільшення може складати істотну величину. Так зміцнення вигладжуванням бігових доріжок роликотіпшипників забезпечило підвищення довговічності в 2—3 рази.

При вигладжуванні зразків із сталі ШХ-15 [2] істотно покращується якість поверхні: мікротвердість збільшується з 9500 до 11 500 Мпа; параметр шорсткості  $R_a$  зменшується з 0,32 мкм до 0,16—0,040 мкм (при режимах  $P_u = 150$  Н,  $s = 0,05$  мм/об,  $v = 0,3$  м/с); збільшуються величина (до 700 Мпа) і глибина (до 260 мкм) залишкового напруження стискування, знижується градієнт залишкового напруження; на поверхні і на деякій глибині спостерігається наявність дрібнодисперсних карбідів. Все це дозволило підвищити довговічність зразків як при 10 %

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

(приблизно у 3,5 рази), так і при 50 % (на 70 %) ймовірності виходу з стану в порівнянні із зразками, поверхня яких суперфініширована.

Велике значення для підвищення опору контактної втоми має сила вигладжування. У таблиці 2 приведені експериментальні дані за визначенням довговічності зразків із сталі ШХ-15 (HRC 62), оброблених при різних режимах.

Аналізуючи отримані результати, можна відмітити що при збільшенні сили вигладжування до 250 Н не спостерігається підвищення довговічності і навіть є тенденція до її зниження. Проте при силі вигладжування  $P_y = 100$  Н, як при 10 %-вій, так і при 50 %-вій ймовірності руйнування зразків, довговічність підвищується і це підвищення порівняно з суперфінішованими зразками складає 2,5 і 3,6 рази відповідно. Таким чином, існує оптимальна сила вигладжування яка визначається ступенем її впливу на структурний стан поверхневого шару металу. Зміцнення вигладжуванням з силою 100 Н різко зменшує число дефектів поверхневого шару, що залишилися від попередньої операції, і усуває структурні концентратори напруги. В результаті знижується ймовірність зародження втомних тріщин і зростає опір їх поширенню. Підвищення ж сили вигладжування до 250 Н викликає появу великого числа дефектів кристалічної будови, що приводить до такого стану коли щільність дислокацій перевищує деяку критичну щільність. Крім того, при вигладжуванні з силами, більшими оптимальних, акумульована поверхневими шарами енергія може стати причиною утворення субмікроскопічних тріщин.

Таблиця 2

Результати випробувань на контактну втому зразків із сталі ШХ-15, які вигладжувалися при різних режимах

Обробка	$N_{10}$	$N_{50}$
	$10^6$ , цикли	
Вигладжування з силою $P_y$ , Н		
100	25,7	105,2
250	12,5	53,1
Суперфінішування	9,8	75,3

Таким чином, на основі приведених даних впливає наступне: зміцнювально-вигладжувальні операції при правильно підібраних режимах, напрямку волокон по відношенню до вектора вигладжування суттєво підвищують опір контактній втомі, яка є основним критерієм, що визначає довговічність роликотідшипників.

### Інформаційні джерела

1. Спришевский А.И. Подшипники качения. М., «Машиностроение», 1968 – 630с.
2. Повышение несущей способности деталей машин алмазным выглаживанием / В.К. Яценко, Г.З. Зайцев, В.Ф. Притченко, Л.И. Ивченко – М., Машиностроение, 1985.-232с.