

АНАЛІЗ СПРАЦЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРІВ ВЕРСТАТІВ-ГОЙДАЛОК

¹Б.В.Копей, ²О.І.Стефанишин

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40534
e-mail: kopeyb@nimg.edu.ua

²ЦБВО ВАТ «Укрнафта», 79760, Львівська обл., м. Борислав, вул. Шевченка, 77-а

Працездатність зубчатих коліс визначається такими критеріями, як витривалість зубів при згині, контактна витривалість, стійкість до заїдання, а також міцність ступиць та інших елементів конструкції зубчатого колеса. Ці всі критерії лімітують надійність роботи в залежності від експлуатаційних, конструктивних і технологічних факторів. В даній статті розглядається класифікація відмов редукторів верстатів-гойдалок, які підлягають зносу і виходу з ладу. Визначені причини відмов редукторів.

Работоспособность зубчатых колес определяется такими критериями, как выносливость зубов при изгибе, контактная выносливость, стойкость к заеданию, а также прочность ступицы и других элементов конструкции зубчатого колеса. Эти все критерии лимитируют надежность работы в зависимости от эксплуатационных, конструктивных и технологических факторов. В данной статье рассматривается классификация отказов редукторов станков-качалок, которые подлежат износу и выходу из строя. Определены причины отказов редукторов.

The capacity of gear-wheels is determined by such criteria, as endurance of teeth at a bend, contact endurance, firmness to jamming, and also durability of hubs and other elements of construction of gear-wheel. These all criteria limit reliability of work depending on operating, structural and technological factors. Classification of failures of reducing gears of pumping units which are subject to wear and failures is examined in this article. Certain reasons of failures of reducing gears are determined.

Надійність і довговічність машин і механізмів в значною мірою залежить від роботи окремих вузлів і контактуючих пар. Цю залежність особливо важливо враховувати в зв'язку із наміченою тенденцією до збільшення швидкостей, навантажень і теплового напруження контактуючих елементів важконавантажених передач. В цей же час слід зменшувати габарити виробів до отримання виробів менших габаритів. Тому для створення економічної, технологічно правильною і оптимальною з точки зору експлуатаційних параметрів конструкції дуже важливо правильно підібрати матеріали, технологію виготовлення деталей і змащування.

Підвищення надійності важконавантажених зубчатих коліс редукторів штангових свердловинних насосних установок (ШСНУ) є комплексною проблемою. Її вирішення ускладнюється тим, що працездатність зубчатих коліс визначається такими критеріями, як витривалість зубів при згині, контактна витривалість, стійкості до заїдання, а також міцність ступиць та інших елементів конструкції зубчатого колеса. Ці всі критерії лімітують надійність роботи в залежності від експлуатаційних, конструктивних і технологічних факторів. Запропонована класифікація відмов редуктора ШСНУ (табл. 1).

В підшипниках кочення, які знаходяться в опорах валів редуктора, а також в зубчатих передачах, де присутнє тертя кочення із ковзанням, втрати потужності значною мірою залежать від коефіцієнта тертя як ковзання, так і кочення. Тертя, в свою чергу, прямопропорцій-

не спрацюванню, яке до деякої міри залежить від властивостей матеріалів спряжених деталей, однорідності структури даних матеріалів, твердості та відповідної чистоти спряжених поверхонь.

Дослідження свідчать, що спрацювання деталей редуктора відбувається з різною швидкістю в залежності від умов роботи окремо кожної спряженої пари. Для важконавантажених зубчатих передач, які є присутні в редукторах ШСНУ основними видами спрацювання є: пошкодження робочих поверхонь зубів внаслідок викришування, задирів, пластична деформація поверхневого шару, абразивне спрацювання внаслідок проникнення в робочий об'єм порошку, бруду або продуктів спрацювання, поломки зубів.

Всі ці види зношення рівноцінні по своєму впливу на працездатність передачі, так як залежать від технології виготовлення, фізико-механічних властивостей матеріалів, силових та кінематичних параметрів, а також від умов середовища.

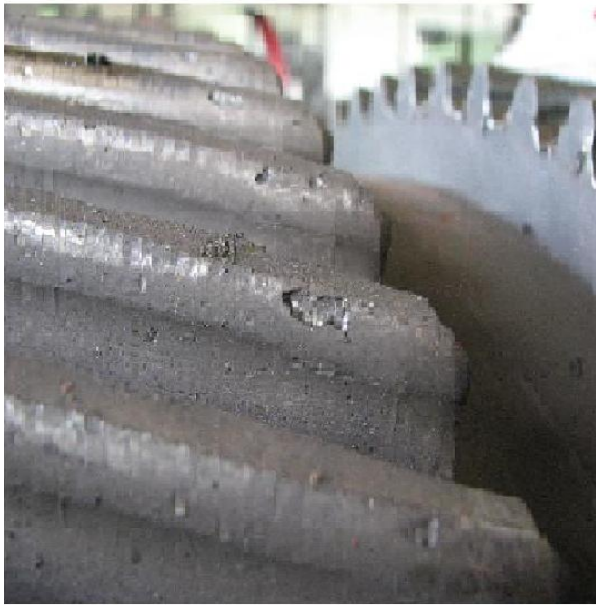
Викришування і виламування зубів зубчастої пари виникає у разі надмірного збільшення напруження в матеріалі деталі, який перевищує границю текучості або границю міцності (рис. 1а). В даному випадку викришування виникло через втомлюваність металу та неоднорідність його структури. Дослідження засвідчило, що в більшості випадків виламування зубів (рис. 1б) відбувається в прямозубих зубчатих передачах порівняно із косозубими і шевронними у важконавантажених передачах. Це зумов-

Таблиця 1 — Причини відмов редуктора ШСНУ

Причини відмов	Відмова вузлів та деталей редуктора													
	Корпус		Підшипники			Корпус підшип.	Зубчаті вали та зубчаті колеса					Кришки підшипників		
	Механічне спрацювання	Корозійне спрацювання	Втомне руйнування	Корозійно-механічне спрацювання	Абразивне спрацювання		Корозійно-механічне спрацювання	Абразивне спрацювання	Втомне руйнування	Молекулярно-механічне спрацювання	Корозійно-механічне спрацювання	Деформація	Корозійно-механічне спрацювання	Деформація
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Технологічні. Дефекти при виготовленні:														
Неякісний або невідповідний матеріал заготовки (прокат)	+							+	+	+	+	+		
Неякісне виготовлення чавунного литва	+	+											+	+
Невідповідна чистота спряжених поверхонь										+				
Дисбаланс деталей	+		+	+			+		+		+	+	+	+
Недотримання розмірів спряжених поверхонь згідно посадки	+		+	+			+		+	+	+	+	+	+
Неспіввісність поверхонь деталі	+		+	+			+		+	+	+	+	+	+
Неспівпадання шеврону зубчатих валів	+		+	+			+		+	+	+	+	+	+
Невідповідність величини нормалі									+	+	+	+		+
Невідповідність термічної обробки								+	+	+	+	+		
Недотримання технології виготовлення переходів діаметрів вала									+		+			
Конструкторські (помилки при проектуванні):														
Неправильно вибрані посадки спряжень	+		+	+			+		+	+	+	+	+	+
Неправильний вибір матеріалу і термообробки	+	+						+	+	+	+	+	+	+
Неправильний розрахунок даних для зубонарізного верстату	+		+	+			+		+	+	+	+	+	+
Неправильно підібрано спосіб змащування			+	+					+	+	+	+		
Неправильний розрахунок шпоночних з'єднань									+		+	+		
Неправильно спроектовані переходи діаметрів вала (галтелі)									+		+	+		+
Неправильний вибір привода редуктора	+		+	+			+		+	+	+	+	+	+

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Збирання редуктора (в процесі ремонту):													
Непаралельність осей валів редуктора	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+
Невідповідність між-центрної віддалі	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+
Затягування різьбових з'єднань з недостатнім зусиллям (можливість розгвинчування деталей)	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+
Затягування різьбових з'єднань з надмірним зусиллям (створення внутрішніх напружень)	+			+								+	+
Невиконання під час випробовування «Програми і методики випробовування редуктора»	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+
Перегрівання деталей під пресові посадки			+	+		+							
Нерівномірність затягування болтів кришок												+	+
Неякісне очищення деталей від абразиву			+	+	+		+			+		+	
Монтажні:													
Ненадійне кріплення редуктора до рами ШСНУ	+		+	+		+		+		+	+	+	+
Невідповідний натяг пасів пасової передачі та перекошування шківів	+		+	+		+		+		+	+	+	+
Експлуатаційні:													
Невчасна заміна або невідповідність оливи	+	+				+	+	+	+	+			
Невідповідний рівень оливи в картері	+							+	+	+			
Невчасне змащування підшипників			+	+	+								
Надмірне навантаження на редуктор	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+
Проникання в картер редуктора стороннього предмету	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+
Заїдання зубчастої передачі									+				
Невчасне технічне обслуговування і ремонт інших деталей ШСНУ	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+
Вплив вібрацій верста-та-гойдалки на редуктор	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+
Пошкодження поверхні редуктора від впливу зовнішнього середовища		+											
Невчасна заміна ущіль-нень валів (проникання вологи в картер редук-тора)	+	+		+		+	+			+		+	



а



б

Рисунок 1 — Спрацювання зубчатих пар внаслідок викришування (а) чи виламування зубів (б)

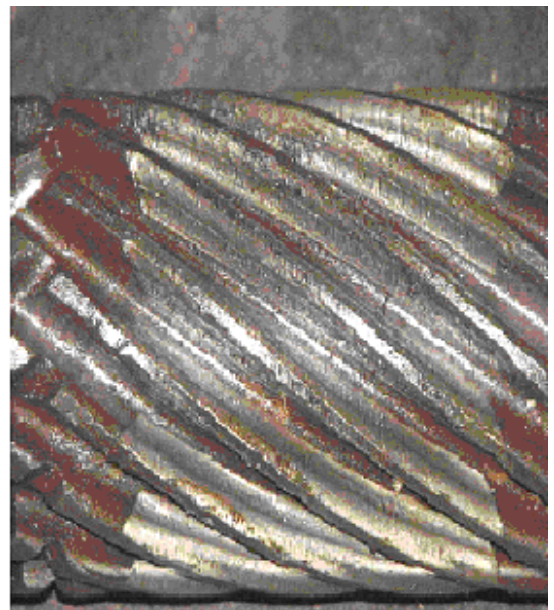


Рисунок 2 — Деформація зубів зубчатих валів

лено тим, що в зачепленні косозубих і шевронних передач в спряженні присутні одночасно декілька зубів і напруження розподіляється рівномірно, а в прямозубих зачеплення проходить по чергово з одної пари зубів на іншу, і напруження виникає тільки між двома зубами, що входять в зачеплення в дану мить.

Причиною деформації, як і викришування є надмірне збільшення напруження в матеріалі деталі. У даному випадку (рис. 2) є приклад залишкової деформації із елементами задирів. Деформація матеріалу супроводжується зміною форми і розмірів деталі. Причиною такого явища в даному випадку – недостатня твердість і товщина поверхневого шару зуба. Конструкція передачі, тобто правильний вибір діаметрів,

модулів, кутів зачеплення, розташування деталей і опор, також значною мірою впливає на заїдання поверхонь. Так, наприклад, мала жорсткість елементів конструкції, валів, опор, корпусів, вінців і зубів зубчатих коліс приводить до деформації цих елементів внаслідок чого виникає нерівномірний розподіл навантаження по ширині зуба. Концентрація навантаження може виникати через похибку під час виготовлення зубчатих передач. До них відносяться: відхилення в напрямку зубів, перекис, непаралельність осей і похибка у величині основного кроку.

Чим рівномірніше розподіляється навантаження, тобто відповідна точність виготовлення передачі, чим менші прогини валів та

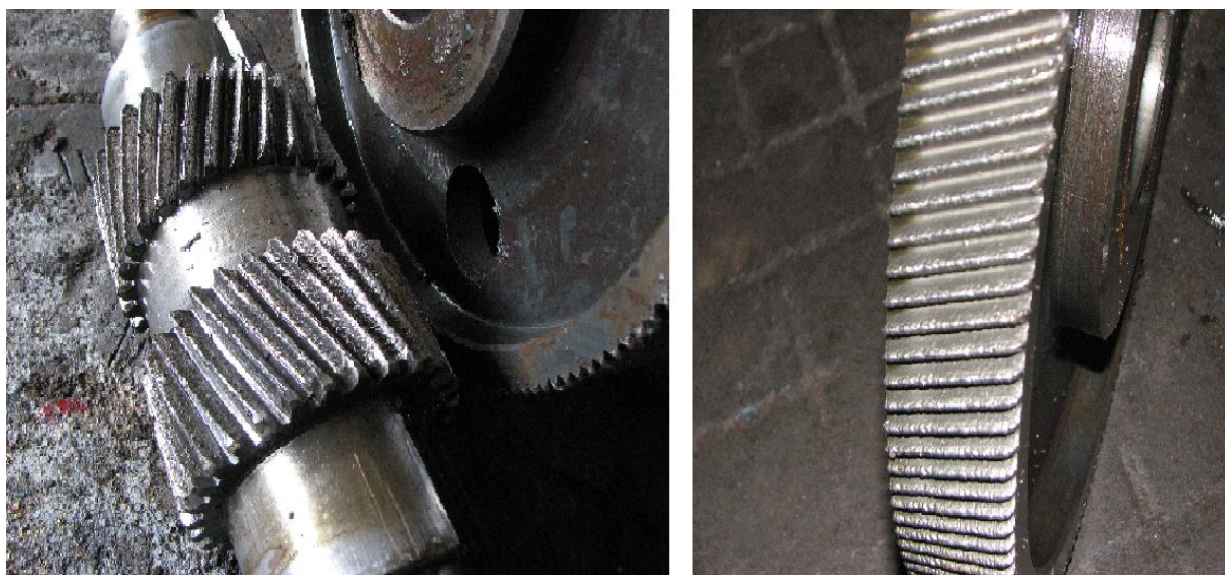


Рисунок 3 — Заїдання зубів зубчатої пари з елементами задирів

точне розташування зубчатих коліс відносно опор, тим менша небезпека заїдання. Похибки зачеплення можуть викликати ударну взаємодію зубів в зачепленні і резонансні коливання в деталях зачеплення, які приводять до виникнення додаткових динамічних навантажень, нагрівання, спрацювання і заїдання. Важливе значення під час виготовлення зубчатої пари має чистота виготовлення спряжених поверхонь.

Дослідження свідчать, що зменшення шорсткості робочих поверхонь зубів коліс можна значно зменшити максимальну миттєву температуру в зоні контакту зубів. Очевидно є якась оптимальна шорсткість поверхонь, яка забезпечує найбільшу несучу властивість передачі до заїдання і спрацювання. Крім цього має значення товщина масляної плівки і сумарна висота мікронерівностей спряжених поверхонь зубчатої передачі. Приклади заїдання з елементами задирів зображено на рис. 3.

Частково технологічні похибки можуть бути усунуті перед складанням редуктора спеціальними технологічними операціями притиркою, припрацюванням, шабруванням та інше.

Спрацювання зубчатої пари редуктора в залежності від часу зображено на рис. 4. Значна величина спрацювання в період припрацювання пояснюється усуненням нерівностей спряжених поверхонь до досягнення стабільної шорсткості і постійної площі контакту. Довготривалість періоду природного спрацювання зубчатої пари значною мірою залежить від правильно проведеного припрацювання, а також від якісного технічного обслуговування протягом усього періоду експлуатації редуктора. Період природного спрацювання характеризується приблизно постійною швидкістю спрацювання. Період аварійного спрацювання характеризується швидким спрацюванням, так як збільшення зору в спряженні призводить до роботи з ударами між деталями, що викликає високу пластичну деформацію матеріалу. Якщо

деталь досягла граничного спрацювання, то її потрібно замінити або відновити для того, щоб запобігти виходу з ладу інших деталей і редуктора загалом.

Збільшення навантаження або контактного тиску призводить до збільшення тепловідведення в зоні контакту і, відповідно, збільшує критерій заїдання зубчатої пари. Ріст навантаження без додаткового тепловідводу викликає збільшення поверхневої температури, зменшення в'язкості мастила на вході в контакт, ріст коефіцієнта тертя і ще більший ріст критерію заїдання, тобто заїдання почнеться швидше.

Також дослідження засвідчили, що при постійному надмірному навантаженні редуктора відбувається втомне зношення валів редуктора, що являє собою тріщини або поломки вала в місці найбільшої концентрації напружень. В результаті поломки хоча б одного вала редуктора, переважно виходять з ладу всі його зубчаті пари (рис. 5).

Також із збільшенням навантаження або контактного тиску руйнуються опори валів – підшипники (рис.6). Причиною такого руйнування можливе невчасне змащування підшипників та невідповідність мастила.

Важливе значення в питаннях заїдання зубчатих коліс та інших контактуючих елементів, де присутнє тертя кочення із ковзанням займає вібрація – як наслідок похибки виготовлення і збирання редуктора. До причин вібрації можна віднести:

- циклічні та накопичені похибки кроку зуба, похибки профілю та напрямку зуба, радіальне биття зубчатих вінців, взаємне перекошування осей базових поверхонь і зубів через неякісне виготовлення зубчатих коліс;
- взаємне зміщення перекошування отворів в корпусі редуктора під час розточування базових поверхонь;
- недопустиме радіальне зближення зубчатих передач, значна різниця в кроці зубів коліс, що знаходяться в зачепленні.

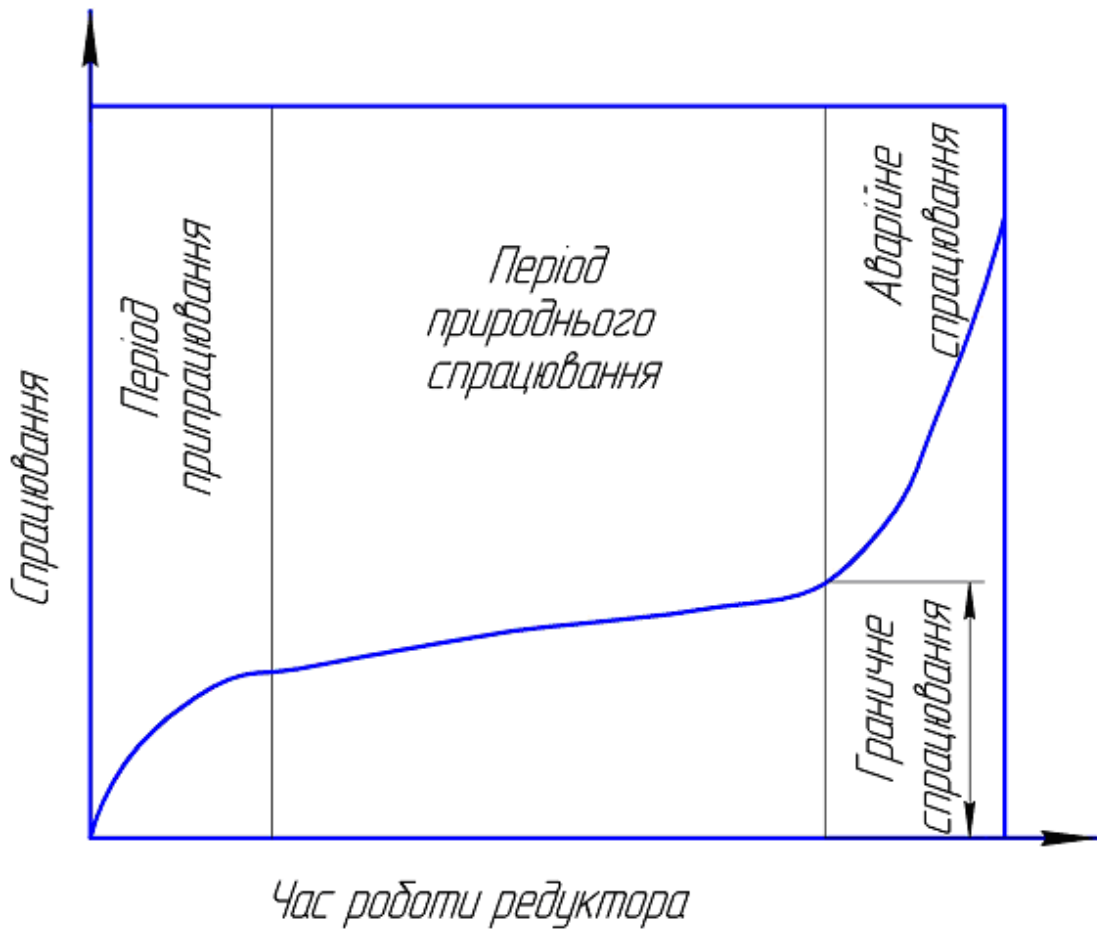


Рисунок 4 — Графік спрацювання деталей редуктора

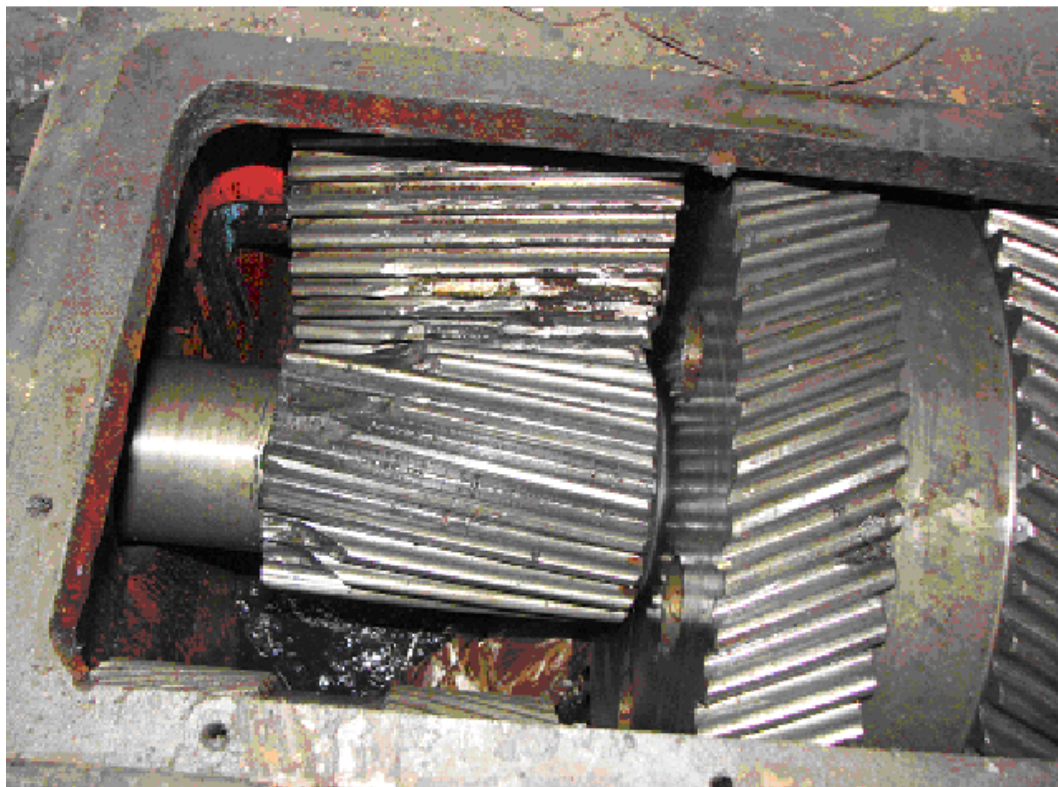


Рисунок 5 — Руйнування зубчатих пар внаслідок поломки привідного вала

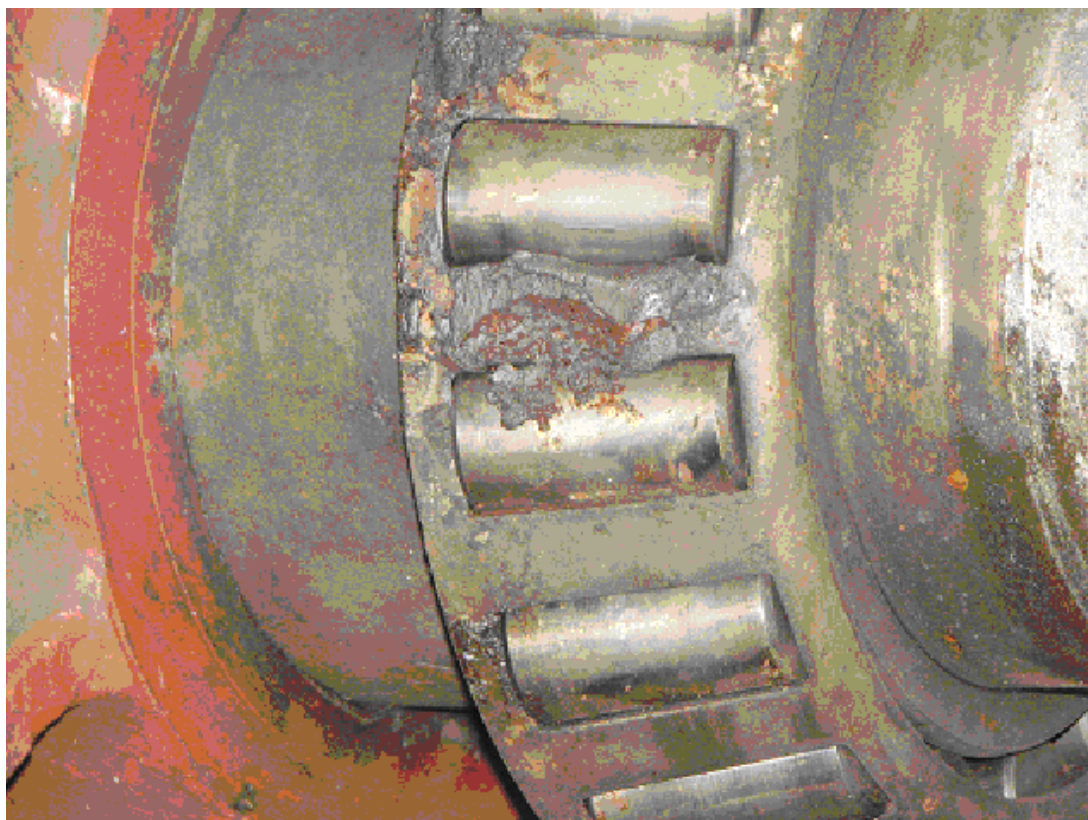


Рисунок 6 — Руйнування підшипника тихохідного вала редуктора

Вібрація, яка виникає внаслідок похибки виготовлення і збирання має значний вплив на несучу властивість гідродинамічної масляної плівки. Розглядаючи динамічні процеси в зубчатій передачі, слід зазначити особливий різновид збудження і резонансні коливання, які в більшості випадків недооцінюють під час проектування і не враховують під час розрахунків. Динаміка зубчатих передач визначається резонансним станом в системі між вимушеними коливаннями. Під час зміни обертів редуктора завжди можливе співпадання частот збудження з частотою власних коливань. Таке співпадання частот і довготривала робота передачі на цих режимах практично призводить до руйнування в елементах конструкції коліс і вузла в цілому.

Найбільш інтенсивні механічні коливання виникають у передачах з прямозубими колесами від циклічних помилок зачеплення. Для передач з косими і шевронними зубами рівень вібрації від тих самих помилок зачеплення значно нижче. Зближення зубчатих коліс в понад допустимих межах може також стати джерелом збудження коливань.

Прагнення зменшити масу і розміри коліс призводить до створення ажурних форм їх тіла і зменшенню частот власних коливань диска і обода. В результаті зростає можливість виникнення резонансних коливань диска і обода колеса під час впливу кінематичного збудження через похибки в зачепленні або силового збудження.

Точне визначення ще на стадії проектування резонансних режимів, динамічних амплітуд для цих режимів і зниження їх інтенсивності є ефективним способом підвищення надійності роботи передач у відношенні щодо зниження динамічних явищ і підвищення несучої властивості зубчатих передач.

Література

- 1 Генкин М.Д. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач / Генкин М.Д., Рыжов М.А., Рыжов Н.М. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
- 2 Раабен А.А. Монтаж и ремонт бурового и нефтепромышленного оборудования / Раабен А.А., Шевалдин Н.Х., Максудов Н.Х. – М.: Недра, 1980. – 260 с.
- 3 Решиков В.Ф. Трение и износ тяжело нагруженных передач. – М.: Машиностроение, 1975. – 232 с.

Стаття поступила в редакційну колегію
26.01.09

Рекомендована до друку професором
Івасівим В.М.