

Анализ макроструктуры полученного композиционного материала показал высокое содержание дисперсной фазы (25–30%) и равномерность распределения керамических частиц в матрице, а также отсутствие пор и трещин, что свидетельствует о низкой напряженности композиционного материала. Вследствие высокого содержания керамических частиц равномерной структуры полученного покрытия его износостойкость повысилась в 1,3–1,5 раза по сравнению с покрытием полученным седиментационным способом. Предлагаемый способ также позволил увеличить скорость образования КЭП в 2–3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфуллин Р.С. Комбинированные электрохимические покрытия и материалы. – М.: Химия, 1972. – 170 с.
2. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. – Кисв: Техника, 1986. – 199 с.
3. Сайфуллин Р.С. Неорганические композиционные покрытия и материалы. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

УДК 621.83.06:622.248.13

Р.М. Игнатицев, Д.М. Макаревич, М.Е. Лустенков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ СЕПАРАТОРОВ СИНУСОЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШАРИКОВЫХ РЕДУКТОРОВ

*Могилевский государственный технический университет
Могилев, Беларусь*

Продолжают оставаться актуальными работы по созданию новых видов передач, несмотря на достижения в теории и практике зубчатых передач. Особый интерес представляют планетарные синусоцилиндрические шариковые передачи, в которых тела качения перемещаются по замкнутым периодическим дорожкам, выполненным на внутренней и наружной цилиндрических поверхностях, и вдоль прорезей сепаратора. Из трех звеньев (внутренняя втулка, наружная втулка и сепаратор) одно звено является ведущим, другое – заторможенным, а третье – ведомым. Передаточное отношение таких передач зависит от числа периодов периодических дорожек и от кинематической схемы.

Синусоцилиндрические шариковые передачи обладают повышенной несущей способностью, высокой ремонтпригодностью и высокими кинематическими возможностями [1].

В добывающей промышленности, при геологоразведочном бурении, бурении на нефть и газ, где максимальные габариты редуктора ограничены диаметральными размерами скважины, целесообразно применять именно такие передачи, так как, в отличие от зубчатых передач, передаточное отношение у них не зависит непосредственно

от диаметральных размеров, что является в этом случае их основным преимуществом. Применение подобных передач оправдано также для создания разнонаправленного вращения ведущего и ведомого валов в механизмах для отворачивания резьб, гайковертах и т. п. Так, в МГТУ в 1998 году совместно с Ивано-Франковским Государственным техническим университетом нефти и газа (Украина) было создано устройство для развинчивания бурильных труб (УРБТ), которое применяется для ликвидации аварий при бурении скважин. Целью данной работы является обеспечение работоспособности устройства при заданных условиях работы.

При тяжелом режиме нагружения наиболее распространенная причина выхода из строя синусошариковых редукторов является заклинивание шарика, которое происходит при значительном износе прорезей водила (сепаратора). В связи с этим проводились исследования процесса изнашивания сепаратора с использованием метода планирования эксперимента [2], который позволяет значительно повысить эффективность исследований.

Из большого числа параметров, оказывающих влияние на процесс износа, были выбраны твердость поверхности изнашиваемой детали (X_1), нагрузка (крутящий момент на ведомом валу) (X_2) и время работы зацепления (число нагружений) (X_3).

Указанные параметры удовлетворяют требованиям управляемости, однозначности, совместимости, а также могут быть определены операционально. Это позволяет использовать данные параметры в качестве факторов, произвести факторное планирование эксперимента и получить математическую модель процесса изнашивания сепаратора вдоль его прорезей.

Ввиду того, что для физической интерпретации математической модели необходима информация об эффектах взаимодействия факторов, при нахождении коэффициентов уравнения регрессии был реализован полный факторный эксперимент 2^3 , условия проведения которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условия проведения многофакторного эксперимента по исследованию износа сепаратора вдоль его прорезей

Факторы	Уровни	
	Нижний уровень	Верхний уровень
Твердость рабочей поверхности, HRC, X_1	45	60
Нагрузка (крутящий момент), Нм, X_2	150	450
Время работы, час., X_3	1	3

В качестве функции отклика был принят размерный износ сепаратора у средних прорези, который определяет заклинивание шарика и потерю работоспособности редуктора. Измерения проводились индикаторным нутромером с точностью 0,01 мм. Объектом экспериментального исследования являлась синусошариковая секция с па-

раметрами: передаточное отношение $u = 6$, число шариков в секции – 5, диаметр шарика (ширина прорези сепаратора) – 13 мм, максимальный диаметр редукторной секции – 72 мм.

В качестве исходного уравнения поверхности отклика был использован полином

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3. \quad (1)$$

После определения коэффициентов в соответствии с методикой, приведенной в [2], и подстановки их значений в выражение (1), было получено следующее уравнение регрессии (y – в мкм):

$$y = 102 - 14X_1 + 41.5X_2 + 49.5X_3 - 1.5X_1X_2 - 5.5X_1X_3 + 21X_2X_3 - 3X_1X_2X_3. \quad (2)$$

Проверка по критерию Кохрена доказала равнозначность экспериментов. При проверке значимости коэффициентов был использован критерий Стьюдента. Результаты данной проверки показали, что не значимы коэффициенты b_{12} и b_{123} . Усеченная модель примет вид

$$y = 102 - 14X_1 + 41.5X_2 + 49.5X_3 - 5.5X_1X_3 + 21X_2X_3. \quad (3)$$

Проверка по критерию Фишера подтвердила адекватность усеченного уравнения регрессии (3) результатам эксперимента.

Степень влияния каждого из рассматриваемых факторов на износ водила можно количественно оценить по величине соответствующих коэффициентов регрессии. В исследуемой области факторного пространства наибольший вклад в износ водила вносит фактор X_3 – время работы редуктора (число нагружений). Значения коэффициентов $b_{13} = -5.5$ и $b_{23} = 21$ свидетельствуют о том, что размерный износ водила не является линейной функцией твердости, нагрузки и времени. Вклад, вносимый фактором X_1 зависит от уровней, на котором находятся факторы X_1 и X_2 . С увеличением твердости рабочих поверхностей водила или снижением нагрузки на зацепление, уменьшается степень воздействия длительности эксплуатации на величину износа. С целью снижения износа и повышения ресурса работы, при изготовлении деталей СШР, сепараторы необходимо закалять до 50 -54 HRC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатишев Р.М. Синусошариковые редукторы. – Мн.: Выш. шк., 1983. – 107 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 279 с.