

Рисунок 5 – Определение кривой p'_{33} с использованием биквадратичного преобразования G_4

Таким образом, разработанный аппарат биквадратичного преобразования G_4 , G'_4 дает возможность его использования при построении профиля ротора разрабатываемого компрессора.

Список литературы

1. Нурмаханов Б.Н. Моделирование одного вида биквадратичного преобразования и его применение в науке и технике / Б.Н. Нурмаханов, Г.К. Кубентаева // Поиск. – 2008. № 1. – Алматы, 2008. – С. 214-218.
2. Патент РК №5335 от 1997 г. автор Нурбаев М.Д.
3. Жмудь А.Е. Винтовые насосы с циклоидальным зацеплением. – М.; Л., 1963. –155 с.

Получено 10.03.11

УДК 629.113-192

М.С. Муздыбаев, А.С. Муздыбаева, Д.М. Мырзабекова

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

А.Ю. Величко

АО «Востокмашзавод», г. Усть-Каменогорск

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ НАНОПОКРЫТИЙ

С развитием науки и техники предъявляются все более высокие требования к качеству и эффективности машиностроительной продукции. Особое внимание уделяется дальнейшему развитию методик обеспечения высокой надежности машин и механизмов [1, 2] как основы их конкурентоспособности. В числе подобных работ необходимо отметить развитие исследований, направленных на оптимизацию ресурсов конструктивных элементов [3], а также повышение износостойкости рабочих поверхностей часто отказывающихся деталей [4].

В настоящее время созданы предпосылки к научно-технологическому прорыву в сфере повышения работоспособности конструктивных элементов. В частности, разработаны методики расчета оптимального уровня надежности технических систем, выявления их

недостаточно надежных конструктивных элементов, а также определения величины прироста их ресурса с учетом стоимостного фактора. Это позволяет научно обоснованно задавать требования к параметрам изделий, а также к технологическим способам их обеспечения. Однако традиционные технологические способы не всегда могут обеспечить заданные параметры надежности изделий. Решить данную задачу позволяют инновационные технологические способы. В их числе следует рассматривать так называемые нанотехнологии, которые находят все более широкое применение. Известно, что нанопокрываютия обладают уникальными свойствами. Одно из них – сравнительно высокая стойкость определенных видов нанопокрываютий к изнашиванию. Практическое применение данного аспекта нанотехнологий позволит решить важную задачу обеспечения заданной надежности технических изделий.

Целью данной работы является разработка методики повышения надежности агрегатов на основе повышения безотказности деталей путем нанесения износостойких нанопокрываютий. Выходным результатом являются рекомендации как основа к разработке технического задания на модернизацию ее наименее надежного элемента.

В качестве объекта исследований был выбран агрегат трансмиссии транспортной машины – гидромеханическая передача (ГМП) модели 19.17. Предварительно был проведен анализ ее безотказности и ремонтпригодности. При составлении схемы демонтажа агрегата выделены три конструктивно-технологических уровня разборки. Определен оптимальный ресурс ГМП модели 19.17 (рис. 1).

С целью сокращения суммарных удельных затрат на обеспечение и поддержание надежности ГМП произведено моделирование на ЭВМ повышения ресурса и качества наименее надежной детали – диска двойного фрикциона. Анализ результатов моделирования показателей надежности (рис. 2) показал, что суммарные средние удельные минимальные затраты достигают минимального значения при повышении долговечности совершенствуемой детали в 2,5 раза.

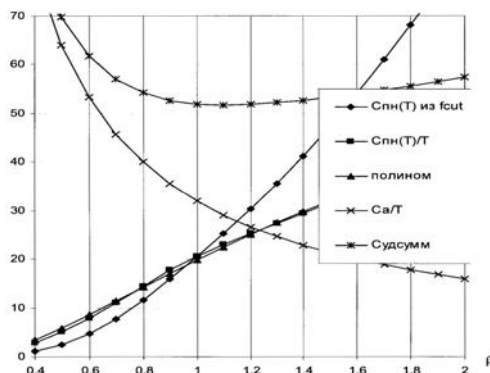


Рисунок 1 – График определения оптимального ресурса агрегата

С целью реализации результатов моделирования был произведен поиск технологического способа повышения долговечности наименее надежной детали ГМП не менее чем в 2,5 раза. Обзор технологических способов показал, что в настоящее время существует множество методов повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей. Наиболее распространенными из них являются: азотирование, нанесение гальванических покрытий и покрытий напылением. При этом имеет значение обеспеченность реализации выбираемого технологического способа на предприятиях Восточно-Казахстанской области.

Одним из видов напыления износостойких покрытий, технологически обеспеченных в Восточно-Казахстанской области, является вакуумное напыление. Суть вакуумного напыления состоит в переносе частиц напыляемого вещества от источника (места его перевода в газовую фазу) к поверхности детали и осуществляется по прямолинейным траекториям при вакууме 10^{-2} Па и ниже (вакуумное испарение) и путем диффузионного и конвективного переноса в плазме при давлениях 1 Па (катодное распыление) и 10^{-1} Па ... 10^{-2} Па (магнетронное и ионно-плазменное распыление).

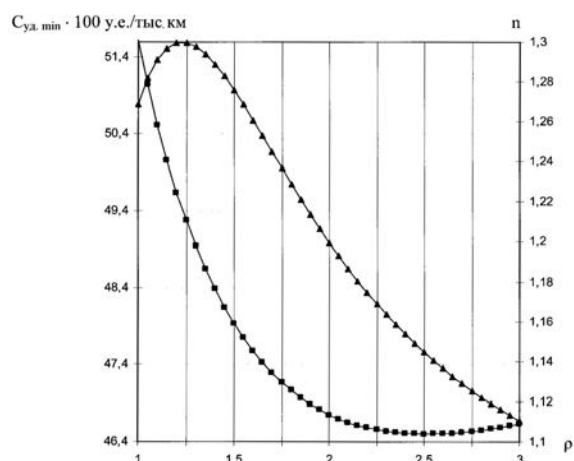


Рисунок 2 – Зависимость уровня надежности n и суммарных средних удельных минимальных затрат $C_{уд. min}$ ГМП от повышения долговечности диска двойного фрикциона

Состав и свойства износостойких покрытий в значительной степени зависят от техники и технологии их нанесения. Методы нанесения путем осаждения делятся на две большие группы: физические (ФОП, или PVD) и химические (ХОП, или CVD). Внутри этих двух основных групп существует довольно большое количество разновидностей. Кроме того, применяются комбинированные методы или методы с поддержкой или активацией от других источников энергии. Как следует из названия, процессы основаны на различных по сути явлениях. Конечный результат и в том, и в другом случае – осаждение материала покрытия на материал подложки из газовой фазы.

Энергия, распределение и плотность потока частиц определяется методом нанесения, параметрами процесса и формой источника частиц. При физическом осаждении (метод PVD) материал покрытия переходит в газовую фазу из твердого состояния в результате испарения под воздействием тепловой энергии или в результате распыления за счет кинетической энергии столкновения частиц материала. Одними из основных факторов, определяющих качество покрытия, нанесенного методом физического осаждения, являются чистота исходных материалов, необходимый уровень вакуума и чистота реакционного газа. Нанесение покрытий методом PVD происходит при невысокой температуре (до 450°C), что не приводит к термическим ограничениям по материалам, на которые наносится покрытие. Все процессы PVD происходят в вакууме или в атмосфере рабочего газа при достаточно низком давлении (около 10^{-2} Мбар). Это необходимо для облегчения переноса частиц от источника (мишени) к изделию (подложке) при минимальном количестве столкновений с атомами или молекулами газа. Это же условие определяет обязательность прямого потока частиц. В результате покрытие наносится только на ту часть изделия, которая ориентирована к источнику частиц (рис. 3).

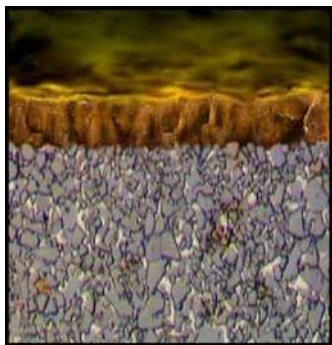


Рисунок 3 - Срез образца с покрытием, нанесенным методом PVD

Скорость осаждения (скорость нанесения покрытия) зависит в этом случае от относительного расположения источника и материала. Для равномерного нанесения покрытия необходимо систематизированное движение материала или применение нескольких, определенным образом расположенных источников. В то же время покрытие наносится только на поверхности «в прямой видимости источника», оставляя другие без покрытия.

Метод химического осаждения (метод CVD) практически не имеет ограничений по химическому составу покрытий. Все присутствующие частицы могут быть осаждены на поверхность материала. Вид покрытия, который при этом образуется, зависит от комбинации материалов и параметров процесса. Если процесс протекает при заполнении простран-

ства реакционным газом (кислородом, азотом или углеводородом), то происходит нанесение оксидных, нитридных и карбидных покрытий. При этом происходит химическая реакция между атомами осаждаемых металлов и молекулами реакционного газа. Состав покрытия зависит от парциального давления реакционного газа и скорости осаждения покрытия. При химическом осаждении происходят химические реакции на или около поверхности покрываемого материала. В противоположность процессам PVD, при которых твердые материалы покрытия переводятся в газообразную фазу путем испарения или распыления, при процессе CVD в камеру покрытия подается смесь газов. Процессы CVD происходят в менее глубоком вакууме при давлениях между 100 Па и 1000 Па. В результате обеспечивается нанесение покрытия на всю поверхность изделия. Отпадает необходимость вращения изделия, как при методе PVD. Это одно из преимуществ метода CVD. Однако для протекания необходимых химических реакций требуется температура до 1100 °С. Благодаря высокой температуре нанесения, обеспечивающей частичную диффузию материала покрытия в материал основы, покрытия CVD характеризуются лучшей адгезией покрытия и основного материала. Но необходимость нагрева до указанной температуры существенно ограничивает перечень материалов, на которые можно нанести покрытие методом CVD. Если твердые сплавы выдерживают такой нагрев практически без последствий, то термообработанные стали теряют все свои свойства в результате отпуска.

Области применения двух основных методов нанесения покрытия определяются их указанными выше свойствами. При нанесении покрытий методом PVD имеют место сжимающие напряжения, а при нанесении методом CVD – растягивающие. Растягивающие напряжения улучшают адгезию покрытия и основы. Необходимо также всегда принимать во внимание, что методы CVD менее чувствительны к подготовке материала перед покрытием, в то время как при использовании метода PVD материал должен подвергнуться долговременной многоступенчатой очистке, иначе нельзя гарантировать качество покрытия. Поскольку процессы CVD протекают при высоких температурах и при более высоком давлении, данный метод нанесения покрытий непригоден для изделий из углеродистой и инструментальной стали.

Таким образом, для повышения долговечности на 150 % (в 2,5 раза) необходимо нанесение на поверхность дисков износостойкого покрытия методом PVD. В качестве покрытия возможно использование карбидов или нитридов следующих металлов: титана, хро-

ма, вольфрама. Наиболее распространенным является нитрид титана, поэтому примем его в качестве основного материала для покрытия дисков. Ввиду отсутствия полной информации по износостойкости нитрида титана примем гипотезу, что долговечность работы детали зависит от поверхностной твердости материала, оцениваемого величиной σ , ГПа. Тогда повышение ресурса предполагаем пропорциональным повышению поверхностной твердости:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cong \frac{t_2}{t_1} = \rho, \quad (1)$$

где $t_2/t_1 = \rho$ – значение повышения долговечности.

Преобразовав формулу (1), получим:

$$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \rho. \quad (2)$$

Для закаленной стали (HRC 45...46) $\sigma_1 = 1,48$ ГПа, тогда минимальная твердость поверхности составит $\sigma_2 = 3700$ ГПа. Твердость нитрида титана имеет твердость поверхности не менее 20 ГПа. Следовательно, покрытие из нитрида титана позволяет с запасом обеспечить требуемое повышение долговечности диска. Толщина покрытия должна составлять в пределах от 9 до 12 микрон. Окончательную толщину покрытия необходимо уточнить после проведения доводочных испытаний. Покрытие необходимо наносить на поверхности дисков, прошедших предварительно нитроцементацию, т.к. нанесение покрытия на плохо обработанную поверхность приведет к преждевременному его разрушению.

На основании результатов моделирования разработано техническое задание на модернизацию диска двойного фрикциона ГМП. Расчеты показали, что экономический эффект модернизации диска фрикциона ГМП модели 19.17 составит 10,6 тыс. тенге/агрегат. Разработанные рекомендации и техническое задание на модернизацию диска фрикциона как наименее надежного элемента ГМП транспортной машины переданы для внедрения в АО «Востокмашзавод» г. Усть-Каменогорска.

Список литературы

1. Гнеденко Б.В. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т. – Т.2: Математические методы в теории надежности и эффективности / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 2. – 280 с.
2. Шейнин А.М. Основные принципы управления надежностью машин в эксплуатации. – М.: Знание, 1977. – Ч.1. – 68 с., Ч.2. – 43 с.
3. Кульсеитов Ж.О. Математические модели и поддержание надежности машин / Ж.О. Кульсеитов, В.П. Лисьев. – Алматы: Гылым, 1996. – 222 с.
4. Крагельский И.В. Трение и износ машин. – М.: Машиностроение, 1968. – 482 с.

Получено 15.02.11

УДК 656.2

А.Н. Немасипова