

УДК 621.793

**И. О. Сокоров**, кандидат технических наук, доцент (БНТУ);  
**З. Э. Газбан**, аспирант (БНТУ); **О. Ю. Пискунова**, инженер (БГТУ)

### УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

В статье проанализированы условия работы валов деревообрабатывающего оборудования, в результате выявлено, что лимитирующей ресурс валов является опорная поверхность, подвергающаяся фреттинг-коррозии. Результаты исследования позволили определить эффективный способ повышения ресурса опорной поверхности нанесением износостойкого газотермического покрытия при условии обеспечения достаточной прочности сцепления с основой.

The article analyzes the conditions of the shaft woodworking equipment, as a result found that the limiting resource is the shaft bearing surfaces subjected to fretting corrosion. Results of the study to determine effective ways to increase the resource bearing surface wear-resistant thermal coatings, provided that sufficient adhesion to the substrate.

**Введение.** Деревообработка – одна из быстроразвивающихся и перспективных отраслей промышленности страны. И не менее значимый фактор – это то, что древесина – сырье, запасы которого могут непрерывно восстанавливаться в отличие от невозобновляемых (газа, угля, руды, нефти, торфа и др.). Из этого следует вывод – для того чтобы деревообработка в Республике Беларусь динамично развивалась, не нужно стоять на месте, необходимо внедрять новые технологии, вводить в эксплуатацию новое оборудование, повышать квалификацию персонала.

Перспективным планом развития деревообрабатывающей отрасли страны предусмотрено увеличить объемы производства продукции, повысить производительность труда, более полно использовать лесосырьевые ресурсы. Один из путей повышения эффективности деревообработки – концентрация и специализация лесопильного производства, ввод в эксплуатацию новых технологий деревообработки, а также увеличение ресурса работы оборудования.

Повышение износостойкости и коррозионной стойкости, антифрикционных свойств и сопротивления усталостным процессам поверхностей трения актуально для различных отраслей техники. Не менее важной является проблема упрочнения и восстановления деталей деревообрабатывающего оборудования, на замену которых ежегодно расходуются миллиарды рублей. Наиболее характерными из таких деталей являются различные валы деревообрабатывающего оборудования. Масса этих валов достигает нескольких тонн при стоимости до нескольких десятков тысяч долларов. Одним из эффективных способов повышения долговечности деталей, работающих в условиях трения, является напыление на их рабочие поверхности прочных износостойких газотермических покрытий, позволяющих экономить дорогостоящие легированные и другие дефицитные мате-

риалы, повышать ресурс и надежность механизмов, снижать энергоемкость производства, успешно решать проблемы восстановительного ремонта в целях повторного использования изношенных деталей.

**Основная часть.** Из анализа условий работы деталей был сделан вывод о том, что на изнашивание трибопар, таких как «опорная поверхность вала – буксовая втулка (или кольцо подшипника)» (рис. 1), оказывает немаловажное влияние процесс фреттинг-коррозии. Так как указанные сопряжения являются номинально неподвижными, при воздействии на них высоких удельных нагрузок и вибраций передаваемых, в частности от подшипников качения, в этих соединениях происходят относительные знакопеременные (силы инерции при запуске-остановке машины, действие крутящих моментов) колебательные перемещения контактирующих поверхностей, что приводит к разрушению как оксидных пленок, так и поверхностных слоев, а образующиеся продукты износа, окисляясь, превращаются в абразив. Кроме того, в номинально неподвижных соединениях затруднен вывод продуктов износа.

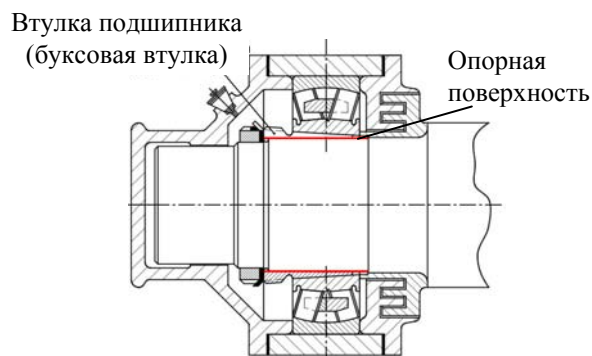


Рис. 1. Схема подшипникового узла

Вышесказанное свидетельствует о том, что на разрушение опорных поверхностей валов первостепенное влияние оказывает фреттинг-

коррозия, это наглядно демонстрирует рис. 2, на котором представлены фотографии опорных поверхностей различных валов, поврежденных фреттинг-коррозией.

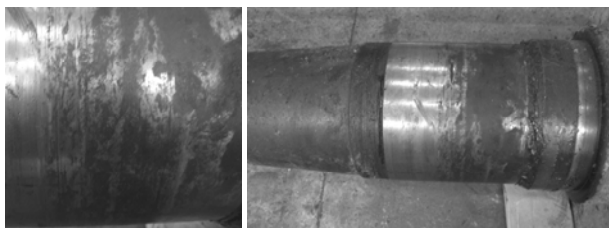


Рис. 2. Примеры повреждения опорных поверхностей валов при фреттинг-коррозии

Повреждение контактирующих поверхностей в условиях фреттинг-коррозии определяется в основном рядом ведущих процессов – коррозионно-усталостными процессами, схватыванием и микрорезанием. Хотя эти процессы развиваются в поверхностном слое одновременно, однако с учетом свойств контактирующих материалов и условий нагружения один из этих процессов становится ведущим, и именно он в основном лимитирует ресурс работы контактирующих деталей. Такая дифференциация ведущих процессов позволяет рационально классифицировать методы защиты от того или иного ведущего процесса. Все способы защиты поверхностей условно подразделены на четыре основные направления [1]:

- 1) конструктивно-технологические приемы;
- 2) защита от схватывания;
- 3) защита от усталостно-окислительного разрушения;
- 4) защита от абразивного разрушения.

К первой группе относятся такие конструктивные и технологические решения, которые исключают микросмещение поверхностей (увеличение натяга для пресовых посадок, использование демпфирующих устройств для гашения вибраций, улучшение подвода смазочного материала, усовершенствование конструкций и т. д.).

Третья группа методов защиты – упрочнение контактирующих поверхностей механической, термической и химико-термической обработкой. Методы этой группы эффективны, когда в качестве ведущего фактора выступают усталостно-окислительные процессы. К ней относятся методы, уменьшающие коэффициент трения и исключающие окислительную среду в зоне контакта (применение смазок, металлических мыл, нанесение пленок и покрытий и др.).

На основе проведенного анализа составлена классификация методов защиты поверхности от разрушения при фреттинг-коррозии. Опираясь на данную классификацию, учитывая условия работы и характер повреждения поверхностей,

определив предварительно ведущий процесс, можно наметить оптимальный метод защиты от фреттинг-коррозии.

Внешними признаками, указывающими на приоритет процессов схватывания при развитии фреттинг-коррозии, являются образование вырыва на одной поверхности и налипание частиц в виде наростов на другой. При дальнейшем перемещении наросты могут, подобно абразиву, диспергировать и деформировать сопряженную поверхность, а также способствовать образованию и развитию новых узлов схватывания.

Выявить ведущий процесс можно с достаточной степенью точности в результате микроскопического исследования поверхностей трения. При этом следы пластического течения металла, вырывы и налипание частиц металла, следы оплавления и размазывания, надрывы металла, следы окисления и хрупкого разрушения поверхностей и т. д. – характерные изменения внешнего вида контактных поверхностей в процессе эксплуатации в условиях фреттинг-коррозии.

После анализа условий работы различных валов деревообрабатывающего оборудования, характера повреждений их опорных поверхностей, которые являются лимитирующими срок службы данных деталей, было сделано предположение, что ведущую роль при их разрушении играет фреттинг-коррозия.

На основе проведенного анализа литературных данных по исследованию фреттинг-коррозии, влияния различных факторов (механического воздействия, химической активности окружающей среды, природы контактирующих материалов) на интенсивность изнашивания при фреттинг-коррозии, а также методов защиты от нее можно сделать вывод о том, что для обеспечения долговечности деталей, работающих в условиях фреттинг-коррозии и высоких удельных нагрузок, наиболее рациональным является нанесение на их рабочие поверхности покрытий с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Учитывая специфику таких деталей, как крупногабаритные тяжелонагруженные валы для нанесения покрытий на их рабочие поверхности, можно применять методы газотермического напыления покрытий. Технологический процесс нанесения газотермического покрытия на металлическую поверхность включает следующие стадии: 1) подготовку поверхности перед нанесением покрытия с целью повышения энергии активации основы; 2) напыление покрытия; 3) последующую термическую и (или) механическую обработку.

Однако для определения работоспособности таких валов с защитными покрытиями це-

лесообразно определять удельную нагрузку, действующую на опорную поверхность. Номенклатуру деталей, для которых возможно применение газотермического напыления (плазменного, газопламенного) без последующего оплавления, можно определить исходя из того, что прочность сцепления покрытий с основой должна превышать максимальную удельную нагрузку, т. е.  $\sigma_{\text{сц}} > p_{\text{max}}$ . Для валов, удельная нагрузка которых превышает прочность сцепления, необходимо применять источники концентрированной энергии (плазменные, микроплазменные, лазерные) для повышения прочности сцепления покрытия с основой, что не всегда эффективно с точки зрения дороговизны оборудования и проблем, связанных с нагревом крупногабаритных деталей, – возникающие остаточные напряжения могут привести к деформации детали и ее поломке. Поэтому для гарантии работоспособности вала с покрытием очень важно правильно определить максимальную удельную нагрузку [2].

**Заключение.** Анализ условий работы валов деревообрабатывающего оборудования позволили сделать следующие выводы.

1. Валы деревообрабатывающего оборудования работают в условиях высоких нагрузок и вибраций, передаваемых, в частности от подшипников качения. Лимитирующими срок работы валов являются опорные поверхности, т. е. сопряжения «шейка вала – втулка подшипника». Данная трибопара, являясь номинально неподвижным соединением, под воздействием высоких удельных нагрузок и вибраций подвергается фреттинг-коррозии, которая приводит к возникновению схватывания и абразивного изнашивания опорной поверхности.

2. Процесс изнашивания контактирующих поверхностей при фреттинг-коррозии в значительной степени определяется механическими и термодинамическими свойствами поверхностных слоев взаимодействующих тел.

3. При фреттинг-коррозии усталостные процессы могут иметь первостепенное значение, однако их роль в процессе разрушения контактирующих поверхностей недостаточно ясна.

4. Так как при фреттинг-коррозии можно ожидать предельного разрушения кристаллической решетки металла, то развитая в дефектном отношении структура материала может значительно интенсифицировать протекание механохимических (трибохимических) процессов (например, образование при фреттинг-коррозии сталей  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ).

5. Изнашивание при фреттинг-коррозии зависит от внешнего механического воздействия, химической активности окружающей среды, природы контактирующих материалов,

свойств продуктов износа и т. д. Параметрами внешнего механического воздействия являются продолжительность нагружения, удельная нагрузка, амплитуда скольжения и частота колебания. Они в основном определяют характер и интенсивность разрушения контактирующих металлических поверхностей при фреттинг-коррозии.

6. Интенсивность изнашивания при фреттинг-коррозии в значительной степени определяется прочностными характеристиками материала (твердостью, микротвердостью, усталостной прочностью) и его склонностью к окислению.

7. Существует зависимость между демпфирующей способностью металлов и склонностью к фреттинг-коррозии. Однако однозначной связи между свойствами рассеяния энергии колебаний и износостойкостью при фреттинг-коррозии в настоящее время не установлено. Это объясняется тем, что интенсивность разрушения при фреттинг-коррозии определяется комплексом физико-химических свойств материала.

8. Одним из перспективных методов защиты поверхности от изнашивания и коррозионных процессов при фреттинг-коррозии и повышения долговечности деталей машин является нанесение покрытий с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами газотермическими методами – газопламенным, плазменным с применением последующего оплавления напыленных покрытий. Для крупногабаритных тяжело нагруженных деталей, какими являются валы деревообрабатывающего оборудования, применение последующего оплавления затруднено вследствие их габаритных размеров и массы, а также возможность возникновения остаточных напряжений, снижающих усталостную прочность, что недопустимо для тяжело нагруженных деталей. Решение проблемы упрочнения крупногабаритных тяжело нагруженных валов заключается в разработке технологии получения износостойких покрытий с прочностью сцепления не менее 50–60 МПа, при условии соблюдения интервала температур нагрева основы (150–200°C), не приводящего к ее перегреву и развитию процессов усталостного разрушения.

Поэтому для повышения прочности сцепления предлагается наносить промежуточный слой (подслой) плазменным напылением из термореагирующего материала NiAl с практически одновременным напылением основной части газотермического покрытия из разрабатываемых композиций газопламенным методом. Это позволит, во-первых, получить промежуточный слой с высокой прочностью сцепления за счет высоких скорости и температуры

частиц при плазменном напылении, а также свойств терморезирующего материала (экзотермической реакции), что способствует увеличению времени протекания химической реакции, во-вторых, получить высокую прочность сцепления основного покрытия с подслоем и основой за счет сокращения времени между операциями напыления (отпадает необходимость перенастройки плазменной установки на напыление основной части газотермического покрытия), это снизит количество образовавшихся окисных пленок на поверхности и даст возможность напылять основную часть газотермического покрытия на подогретую основу после плазменного напыления. Кроме того, применение газопламенного метода не приведет к катастрофическому перегреву основы и сведет к минимуму вероятность развития усталостных процессов разрушения.

9. Несмотря на интенсивное развитие технологий газотермического напыления покрытий, по-прежнему остается актуальной задача снижения себестоимости данных процессов при увеличении качества покрытий. Основным направлением удешевления напыления является разработка новых композиционных материалов, заменяющих дорогостоящие без потери качества. В настоящее время для нанесения покрытий широко применяются самофлюсующиеся по-

рошки на основе никеля, недостатком которых является высокая стоимость. Порошки на железной основе обладают стоимостью в 2–4 раза меньшей, но вследствие более высокой температуры плавления, низкой пластичности и высокой окисляемости их технологичность ниже. Такие порошки целесообразно применять либо при введении в них большого количества легирующих элементов, пластификаторов, либо как основу для механических смесей.

10. Создание композиции из самофлюсующихся материалов на основе железа, терморезирующих и медьсодержащих порошковых материалов, позволит получить покрытия с необходимыми физико-механическими, эксплуатационными свойствами при невысокой стоимости относительно материалов на никелевой основе.

### Литература

1. Уотерхауз, Р. Б. Контактная коррозия // Усталость металлов / Р. Б. Уотерхауз. – М.: ИНОГИЗ, 1961. – С. 109–141.

2. Определение максимальной удельной нагрузки в паре «опорная поверхность вала – втулка подшипника» / Н. В. Спиридонов [и др.] // Машиностроение: республик. межведомств. сб. науч. трудов / под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск, 2007. – Вып. 23. – С. 243–254.

*Поступила 21.02.2013*