

№	Машины, оборудование	Узлы трения	Что применено	Где используется (один из примеров)	Руководители работ
41	Машины трения вращательного и возвратно-поступательного движения	а) роликоподшипник-ролик б) колодка-ролик; в) палец-пластина (диск)	Новый способ испытания жидких и пластичных смазочных материалов с присадками без присадок на термостойкость (а.с. 2378637)	МГТУ им. Н.Э. Баумана. Методика №01-13-ОД-2011	Гаркунов Д.Н. Мельников Э.Л. Бодарева А.В.
42	Железнодорожный транспорт	Рельсы, колесные пары, подшипники качения	Металлоплакирующая смазка «Пума» с присадкой «Валена»	Московская железная дорога	Бабель В.Г. Мамыкин С.М.
43	Горно-обогатительное оборудование	Подшипники шаровых мельниц	Металлоплакирующая смазка «Литол-24» с присадкой «Валена»	«Казахмыс» Джезказган, ОАО «Надежность и долговечность»	Корник П.И.
44	Металлообрабатывающее оборудование	Фильеры	Присадка «Валена» к смазочным материалам	Кольчугинский завод	Щедрин А.В.

## Повышение износостойкости деталей и инструментов деревоперерабатывающего оборудования\*



### Г.А. Пилюшина

к.т.н., доцент  
кафедры  
«Технический  
сервис» Брянской  
государственной  
инженерно-  
технологической  
академии

*Рассмотрены возможности повышения износостойкости деталей машин, оборудования и режущего инструмента на основе комплексных подходов, включающих конструкторско-технологические и эксплуатационные мероприятия с учетом осо-*

*бенностей изнашивания изделий в конкретных условиях их работы. Представлен обзор результатов теоретических и прикладных исследований выполнявшихся в течение ряда лет.*

**Ключевые слова:** износостойкость, деревоперерабатывающее оборудование, режущий инструмент, изнашивание, трение, функциональные поверхности, упрочняющая обработка.

Перспективы развития и обеспечения конкурентоспособности предприятий лесного комплекса неразрывно связаны с необходимостью повышения работоспособности используемой техники и достижения тем самым условий для осуществления высокопроизводительной заготовки и переработки древесины за счет увеличения надежности используемых машин. Поэтому достижение высокой эксплуатаци-

\* Работа выполнена под руководством и редакцией заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Памфилова Е.А.



онной надежности рассматриваемой техники является актуальным как при разработке новых перспективных образцов техники, так и при модернизации машин уже осуществляющих технологический процесс на промышленных предприятиях.

По многим литературным и производственным данным, уровень надежности машин и инструментов в значительной степени определяется показателями износостойкости ряда ответственных узлов машин и инструментов, применяемых при осуществлении технологических операций. Наиболее эффективным для повышения их износостойкости является использование комплексных подходов, включающих конструкторско-технологические и эксплуатационные мероприятия, в полной мере учитывающие особенности изнашивания изделий в конкретных условиях их работы, а именно динамико-скоростной характер нагружения, особенности температурного воздействия, наличие активных химических и абразивных сред, и многие другие факторы.

Материалы, представленные в настоящей статье, являются результатом исследований, выполнявшихся в Брянской государственной инженерно-технологической академии и в Брянском государственном техническом университете в течение ряда лет и частично представленных в многочисленных описаниях изобретений и патентов, публикациях, приведенных в прилагаемом библиографическом списке, а также в докторских и кандидатских диссертациях.

Основными объектами указанных исследований являлись исполнительные рабочие органы машин, различные инструменты и детали неподвижных разъемных соединений, широко представленные в конструкциях лесозаготовительного и деревоперерабатывающего оборудования.

Для решения задач повышения их износостойкости и оптимизации других триботехнических параметров теоретически и экспериментально устанавливались закономерности фрикционного взаимодействия сопрягаемых поверхностей, оценивалось влияние на протекание процессов поверхностного разрушения микро- и макрогеометрии поверхностных слоев, физико-химических свойств используемых материалов и ряда других факторов. При этом рассматривались не только исходные свойства материалов, но и особенности их трансформации в процессе контактного взаимодействия, приводящей либо к структурной приспособляемости и повышению за счет этого сопротивляемости изнашиванию поверхностей, либо, наоборот, к разупрочнению поверхностных слоев и их ускоренному разрушению.

С учетом полученной информации ставились и решались научно-технические задачи комплексного обеспечения повышенной работоспособности изде-

лий на основе направленной оптимизации конструкторских и технологических решений, способствующих минимизации изнашивания функциональных поверхностей инструментов и деталей машин.

### Создание и использование новых упрочняющих технологий для повышения износостойкости дереворежущих инструментов и рабочих органов лесозаготовительных и деревоперерабатывающих технологических машин

Для разработки новых и обеспечения возможности эффективной модернизации существующих процессов упрочняющей обработки были выявлены механизмы и установлены теоретические закономерности протекания изнашивания рассматриваемых объектов. Далее были разработаны модели реализации процессов поверхностного и микро-объемного разрушения режущих устройств, в основу которых были положены основные закономерности механики хрупкого разрушения, коррозионно-механического, усталостного и водородного видов изнашивания. Также были использованы современные синергетические подходы создания прогностических оценок закономерностей изнашивания.

Использование полученных зависимостей позволило выработать основы проведения мероприятий по минимизации износа дереворежущих устройств [3, 4, 8, 9 и др.]. Анализ разработанных моделей изнашивания указанных устройств и результаты проведенных нами экспериментальных исследований показали, что наибольшей эффективностью в плане повышения износостойкости обладают комплексные упрочняющие обработки, сочетающие, наряду с выбором оптимальных конструкционных или инструментальных материалов, совместное или последовательное энергетическое воздействие на формируемые функциональные поверхности.

При этом наиболее эффективным является использование концентрированных потоков энергии [3, 5]. В качестве высокоэнергетических источников создания таких потоков рационально использовать лазерное, плазменное и электроискровое воздействие. В ряде случаев после их реализации целесообразным является выполнение дополнительных финишных операций абразивной обработки или поверхностное деформирование, которые могут существенно улучшить достигаемые показатели работоспособности.

Для надежной оценки результатов такого рода упрочняющих обработок чрезвычайно важно использовать эффективные методы испытаний и соответствующее лабораторное оборудование.

Поэтому одной из важных задач постановки исследования являлась разработка и применение новых методов исследований: а.с. 1658024 СССР, пат. 2323428 РФ, [3, 7, 8 и др.]. Созданные нами методики и техника испытаний успешно использовались нами при изучении возможностей и эффективности предложенных упрочняющих технологий.

При разработке таких технологий полагалась необходимостью формирование благоприятных уровней микротвердости и пластичности поверхностных функциональных слоев, повышение сопротивляемости развитию микротрещин в зоне режущего лезвия, увеличение стойкости к действию активных сред, в том числе водорода, оптимизация уровня остаточных напряжений, а также показателей микрорельефа поверхностей. Существенных результатов можно достигнуть также за счет снижения потерь на трение, возникающее при эксплуатации рассматриваемых режущих устройств, путем создания локальных антифрикционных поверхностных слоев [6, 9 и др.]

Для достижения благоприятных уровней указанных выше параметров был предложен ряд новых способов упрочняющей обработки, в основу которых было положено лазерное воздействие: а.с. 1481259 СССР, а.с. 1739642 СССР, пат. 2058400 РФ, пат. 2162111 РФ, пат. 2186670 РФ и др. Достижимые результаты по формированию благоприятных уровней состояния поверхностных слоев дереворежущих устройств и их технико-экономическая эффективность подробно описаны в публикациях [4, 5 и др.].

Существенное повышение износостойкости поверхностей, подвергаемых лазерному упрочнению, может быть достигнуто за счет дополнительного магнитного воздействия в зоне действия луча вследствие формирования в функциональных слоях ориентированных анизотропных структур: пат. 2162111 РФ, пат. 2186670 РФ, пат. 2238986 РФ, пат. 2224826 РФ [5, 10].

Следует отметить также высокую степень повышения износостойкости дереворежущих устройств за счет упрочняющего воздействия на функциональные поверхности электрических разрядов. Однако при реализации этого способа по известным схемам обработки далеко не всегда обеспечивается получение желаемых результатов, прежде всего, по причине неблагоприятного уровня шероховатости, малой сопротивляемости действию активных сред и ряда других причин. Для исключения этих недостатков электроискрового упрочнения были предложены новые способы его реализации: а.с. 1259147 СССР, а.с. 1369115 СССР, [4]. В частности, использование некоторых тугоплавких металлов в качестве электродов позволило существенно повысить со-

противляемость упрочненным поверхностным слоям действию активных сред при обработке древесины и древесных материалов, а также снизить величину их шероховатости и уровень дефектного состояния.

Весьма перспективным является сочетание легирующего действия электроискровых разрядов с деформационным воздействием твердосплавных роликов. Повышенная износостойкость поверхностей, упрочненных таким образом, связана с тем, что деформация, непосредственно следующая за упрочняющим разрядом (электродеформационная обработка), позволяет в существенной степени избежать в поверхностных слоях опасных микротрещин и достигнуть дополнительного эффекта термомеханического упрочнения.

Эластичное шлифование поверхностей, подвергнутых электроискровому упрочнению, позволяет в существенной степени оптимизировать совокупность параметров микрорельефа получаемых поверхностей, а также обеспечить удаление дефектного поверхностного слоя и за счет этого повысить износостойкость и снизить энергозатраты на трение в процессе эксплуатации упрочненного инструмента. Аналогичные результаты достигаются и при алмазном выглаживании поверхностей после их электроискрового упрочнения.

Важнейшей задачей является повышение износостойкости инструментов и рабочих органов при эксплуатации их в условиях действия низких климатических температур.

Необходимость решения этой задачи обусловила создание новых методик проведения низкотемпературных исследований на изнашивание, в том числе необходимость их государственной стандартизации, выбор перспективных материалов для изготовления рабочих органов и инструментов техники северного исполнения и способов их упрочняющей обработки [6–9].

### Повышение работоспособности неподвижных разъемных соединений

К неподвижным разъемным соединениям относятся уплотнительные элементы, детали арматуры и соединительные части трубопроводов, крепежные соединения, посадки подшипников качения, различного рода переходные посадки и некоторые другие аналогичные конструкции. В этих соединениях должна обеспечиваться точность взаимного положения деталей в процессе их работы, а также выполнение ими ряда функциональных требований, таких как недопущение смещений деталей относительно друг друга, жидкостная и газовая герметичность и т.д.

Характерной особенностью эксплуатации таких соединений является то, что их контактирующие



поверхности испытывают очень малые относительные микроперемещения, поэтому их следует рассматривать лишь как условно неподвижные. Таким образом, они представляют собой особый вид трибосопряжений, для которых характерны высокие удельные нагрузки, малые скорости и перемещения, что обуславливает характер их изнашивания, который классифицируется как фреттинг-коррозия.

Среди параметров, обеспечивающих работоспособность условно неподвижных соединений, важными являются физико-химические характеристики материалов соединяемых деталей, их макро- и микрогеометрия, а также параметры внешнего силового, скоростного и температурного воздействия, наблюдающиеся в процессе эксплуатации рассматриваемых изделий. К существенным факторам, обеспечивающим стабильность работы таких соединений, относится и коэффициент трения, реализующийся на площадках фрикционного контакта сопрягаемых поверхностей. Его величина, в частности, определяет прочностные показатели рассматриваемых соединений.

В процессе эксплуатации на показатели работоспособности этих соединений существенное влияние оказывает наличие различных промежуточных слоев между функциональными поверхностями сопрягаемых деталей. В качестве таких слоев могут выступать специально создаваемые тонкие металлические или полимерные покрытия, которые в существенной степени способствуют регламентированной трансформации физико-химических характеристик исходных поверхностей и изменению их функциональных показателей, в том числе обеспечивают частичную или полную замену внешнего трения на поверхностях деталей на внутреннее в создаваемых промежуточных слоях.

Для решения задачи формирования защитно-герметизирующих промежуточных слоев весьма перспективным является возможность направленного создания на функциональных поверхностях неподвижных соединений защитных пленок, называемых сервоитными. Такие пленки обладают особой структурой, образующейся и существующей в процессе трения, вследствие протекания в зоне фрикционного контакта сложных физических и химических явлений [1, 2 и др.].

Характерной особенностью таких слоев является то, что при эксплуатационном деформировании они не разрушаются. Это связано с тем, что действующие на соединение нагрузки локализируются в образовавшемся промежуточном слое, покрывающим микронеровности и волны поверхностей трения стальных деталей, которые вследствие реализации указанного явления практически не участвуют в процессе микротрения, а основные трибологические явления развиваются в самой сервоитной пленке.

В этих условиях мягкий материал, нанесенный на рабочую поверхность одной детали, взаимодействует с покрытием, нанесенным на соответствующую поверхность другой. Поэтому нагрузка достаточно равномерно распределяется по всей поверхности контактного взаимодействия. Это способствует повышению уровня эксплуатационных характеристик и продлению ресурса работы узла, в котором реализуются явления контактного взаимодействия при наличии промежуточных слоев.

Сервоитная пленка может образовываться в соединении сталь – сталь, как при трансформации структуры специально наносимых медесодержащих покрытий, так и при введении в контакт металлоплакирующих материалов, содержащих мелкие частицы меди, бронзы, латуни, свинца, серебра и др.

Создание условий для обеспечения формирования защитных промежуточных слоев может быть достигнуто и при контактировании стальных поверхностей с медно-фторопластовыми композициями при трении без смазочного материала за счет образования координационных соединений с двухвалентной медью.

Анализируя явления, протекающие на фрикционном контакте, можно полагать, что материал сервоитной пленки находится в состоянии, подобном квазирасплаву. Такая пленка имеет малое сопротивление сдвигу и обеспечивает относительные микроперемещения контактирующих деталей без образования повреждений.

То есть трение в таких условиях может быть представлено как относительные колебательные перемещения поверхностей, разделенных квазиджидкой пленкой, образующейся за счет направленного структурирования металла, создаваемых исходных покрытий. Кроме того, исключительно пластичный материал в условиях такого рода контактного взаимодействия обладает способностью, перемещаясь в пределах контактной зоны, устранять возможные места протекания рабочей среды (жидкости или газа), заполняя поры, капилляры и другие пустоты.

Для обеспечения заполнения дегазирующих пустот требуется создание пленок, по толщине превышающих 4...5 мкм, а также обеспечить возможность перемещения в контактной зоне материала, наносимого на функциональные поверхности.

Для формирования функционального защитного герметизирующего промежуточного слоя возможно использование различных способов нанесения исходных покрытий на поверхности, образующие соединение. Наиболее перспективным для достижения поставленной цели является предложенный нами способ, сочетающий химическое осаждение на охватываемой поверхности и газопламенное напыление на охватывающей.

После нанесения указанных покрытий на контактирующие детали необходимо выполнять приработку, позволяющую осуществить совместную направленную реструктуризацию материалов с образованием функционального промежуточного слоя. Такая приработка, выполняемая применительно к неподвижному герметизирующему соединению штуцер-ниппель силовой гидравлической системы, представлена на рис. 1. В процессе выполненных исследований были установлены рациональные режимы указанной приработки, включающей возвратно-вращательное перемещение на 3...5 оборотов в каждую сторону, и осциллирующее движение с частотой 10...12 Гц на угол 3...5° при приложении осевой нагрузкой 30...50 Н в течение 8–12 минут.

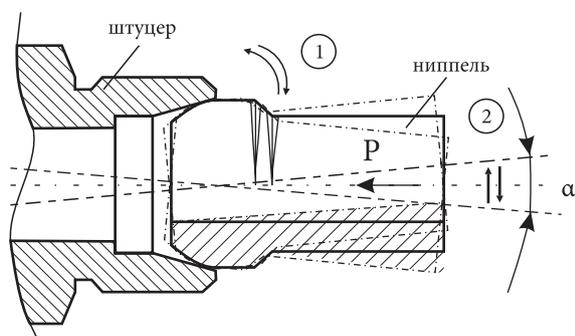


Рис. 1. Схема создания герметизирующего соединения: 1 – возвратно-вращательное перемещение, 2 – угловое осциллирующее перемещение, Р – осевая нагрузка

Проведенными лабораторными исследованиями и производственными испытаниями показали, что работоспособность по показателям износостойкости и герметичности соединений, сформированных предложенным способом, существенно повышается по сравнению с другими видами упрочняющей обработки.

### Оптимизация геометрии рабочих органов и инструментов

При применении конструктивных методов повышения работоспособности узлов машин и инструментов, используемых при лесопилении и деревопереработке, важную роль играет задание рациональной геометрической формы функциональных поверхностей. Целесообразность такого подхода подтверждают результаты исследований, выполненных применительно к вальцовым подающим механизмам лесопильного оборудования, направляющим устройствам пильных цепных аппаратов, некоторым конструкциям дереворежущих инструментов.

В результате анализа работы подающих вальцов лесопильного оборудования было установлено, что эффективность их работы в основном определяется показателями износостойкости шипов. Износ рабочих элементов вальцов приводит к уменьшению степени сцепления шипов с древесиной, их проскальзыванию и потере вследствие этого подачи бревен. Это приводит к снижению точности получаемых изделий и интенсификации изнашивания используемых инструментов. При этом отмечается, что в результате изнашивания шипов значительно изменяется их исходная геометрическая форма. Учитывая стабильность формирования эксплуатационной геометрии изнашиваемых поверхностей шипов, полагалось, что существует форма шипа, при задании которой износ боковых поверхностей в различных ее точках будет примерно одинаков, что позволит минимизировать общую величину износа.

Для расчета благоприятной геометрии шипа подающего вальца был использован принцип оценки минимума производства энтропии, а механической моделью изнашивающей среды была принята реологическая модель, состоящая из последовательно соединенных моделей упругого тела Гука и эластического тела Кельвина [2, 11].

В результате теоретически была установлена приближенная геометрия шипа, к которой стремится поверхность при контакте с древесиной в процессе эксплуатации подающих вальцов и их изнашивания. Задание при изготовлении такой формы позволяет сократить энергозатраты при перемещении заготовки и повысить ресурс работы шипов.

В данном случае, помимо конструктивных путей повышения износостойкости шипов, чрезвычайно важен целесообразный выбор марки материала и его упрочняющей обработки. Учитывая требования, предъявляемые к материалу шипов по изгибной прочности и ударной вязкости, было предложено для изготовления шипованных колец использовать высокопрочный чугун с шаровидным графитом, обеспечивающий в сочетании с высокой прочностью достаточную пластичность и вязкость, а также повышенную сопротивляемость действию активных сред, например, такими свойствами обладает высокопрочный чугун марки ВЧ60.

В качестве упрочняющей обработки было обосновано применение поверхностной закалки с нагревом токами высокой частоты, которая обеспечивает формирование перлитно-мартенситной структуры на глубину, равную допустимой величине износа рабочих поверхностей шипов.

Для подтверждения целесообразности предлагаемых научно-инженерных решений и уточнения теоретических предпосылок о рациональной



форме шипов были выполнены экспериментальные исследования, которые показали, что шипы спараболической формой боковых поверхностей, помимо повышенной износостойкости, отличаются более высокими значениями коэффициента сцепления по сравнению с шипами, выполненными в форме трехгранной и четырехгранной пирамид.

Производственные испытания шипованных колец подающих валцов проводились при установке их в нижних подающих валцах лесопильной рамы. Отмечено, что благодаря предложенной геометрии шипов резко снижаются случаи проскальзывания распиливаемых бревен в подающих валцах, а срок службы опытных образцов шипованных колец подающих валцов оказался в 1,7...1,8 раза выше, чем серийных.

Аналогичные задачи решались для повышения износостойкости направляющих устройств цепных пильных аппаратов мотоинструмента и многооперационных лесозаготовительных машин. В данном случае позитивный эффект был достигнут за счет минимизации действующих динамических нагрузок, что обеспечивает снижение интенсивности изнашивания за счет меньшего проявления склонности к хрупкому разрушению используемых конструкционных материалов.

Также было установлено, что повышение износостойкости деревообрабатывающих фрез с плоскими режущими ножами может быть достигнуто за счет изменения их макрогеометрии путем использования специальных устройств. Эти устройства обеспечивают упругую деформацию режущих ножей в процессе работы и приводят к созданию благоприятного уровня технологических напряжений сжатия в зоне режущей кромки [9 и др.].

В целом, выполненный обзор показывает, что наиболее эффективные решения задач повышения работоспособности машин и оборудования лесного комплекса могут быть достигнуты только за счет комплексного использования современных инновационных технологий, для чего на всех стадиях подготовки к производству новой продукции необходима направленная проработка всех возможных путей повышения качества и конкурентоспособности создаваемой техники.

## Литература

1. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Пыриков П.Г., Тяпин С.В. Обеспечение работоспособ-

ности соединений гидросистем технологических машин // Системы. Методы. Технологии. – Братск, 2012. – №1 (13). – С. 33-38.

2. Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А. Повышение работоспособности лесопильного оборудования // Известия вузов «Лесной журнал». – АГТУ, 2007. – № 4 – С. 85-91.

3. Зотов Г.А., Памфилов Е.А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента – М., 1991. – 304 с.

4. Повышение износостойкости некоторых режущих устройств путем создания антифрикционных поверхностных слоев / Е.А. Памфилов // Надежность и контроль качества. – 1988. – № 4. – С. 17-21.

5. Памфилов Е.А., Пыриков П.Г. Применение управляемых магнитных полей в функциональных узлах деревообрабатывающего оборудования // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2006. – № 2 – С. 84-90.

6. ГОСТ 23.212-82. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на изнашивание при ударе в условиях низких температур / [авт. : Е.А. Памфилов, В.А. Ковальчук, С.С. Грядунов, В.В. Майоров]; Гос. комитет СССР по стандартам. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 11 с.

7. Памфилов Е.А., Грядунов С.С., Сиваков В.В. Повышение износостойкости дереворежущего инструмента методом комплексного упрочнения // Вестник машиностроения. – 2000. – № 3. – С. 45-46.

8. Памфилов Е.А. Оптимизация упрочняющих технологий и их реализация с целью существенного повышения износостойкости штампового и дереворежущего инструмента: автореф. дис... докт. техн. наук: 05.02.04 и 05.02.01; Москва. – 1988. – 24 с.

9. Памфилов Е.А. Особенности изнашивания и повышения стойкости дереворежущих инструментов // Изв. вузов. Лесной журнал. – 1997. – № 1-2. – С. 142-146.

10. Пыриков П.Г. Разработка научных основ повышения работоспособности рабочих органов и инструментов машин и оборудования лесного комплекса: автореф. дис... доктора техн. наук: 05.21.05, 05.21.01; Воронежская государственная лесотехническая академия. – Брянск., 2009. – 36 с.

11. Пилюшина Г.А. Повышение работоспособности деталей подающих устройств лесопильного оборудования: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.04; Брянский государственный технический университет. – Брянск, 2005. – 20 с.