

УДК 669.017.621.044.2

Р. П. Дидык, д.т.н., проф., Национальный горный университет, Украина,
г. Днепропетровск

E-mail: didyk@nmu.org.ua

Проблемы повышения ресурса горно-металлургического оборудования на пути преодоления трибологического барьера

Показаны пути повышения ресурса горно-металлургического оборудования на основании фундаментальных исследований и создании эффективных технологий модифицирования рабочих поверхностей деталей с использованием природных материалов – геомодификаторов трения и применения энергии высокой плотности для упрочнения и производства многослойных износостойких материалов. Приведенные результаты исследований получили начало и дальнейшее развитие в Днепропетровском горном институте им. Артема, ныне Национальном горном университете.

Ключевые слова: ударно-волновая обработка, геомодификатор, природные минералы, трение, трибология, биметаллические трубы, износостойкость, модифицирование рабочих поверхностей.

R. P. Didyk

Problems of Increasing Endurance of Mining and Metallurgical Equipment by Overcoming the Tribological Barrier

The ways of improving the resource mining and metallurgical equipment on the basis of fundamental research and establishing an effective technology of modifying surfaces of the parts working with natural materials - geomodifikatorov friction and energy of high-density multi-layer hardening and wear resistant materials. These studies were the beginning and further development of the Dnepropetrovsk Mining Institute. Artyom, now the National Mining University.

Keywords: shock wave treatment, geomodifier, natural minerals, friction, tribology. Bimetallic pipes, wear resistance, modification of the working surfaces.

*Памяти Григория Ивановича Солода
основоположника науки о качестве горной техники*

Увеличение срока службы основных видов горных машин и металлургического оборудования, снижение их металлоемкости, сокращение численности рабочих, занятых ремонтом, повышение производительности безопасности техники зависит в значительной степени от решения трибологических проблем, включающих задачи оптимизации

трения, износа, смазки, а также использования новых технологий производства, обработки и модифицирования рабочих поверхностей деталей машин. Высокие нагрузки, экстремальные скорости и широкий диапазон изменения температур, а также наличие агрессивных сред определяют новые требования к функционированию и эксплуатации узлов трения современного горно-металлургического оборудования. Обеспечение нормальной работы зубчатых передач, опор качения и скольжения, кулачковых механизмов, направляющих, уплотнительных элементов, шарниров, замков, стыковочных узлов требует создания специальных самосмазывающихся материалов и покрытий, модификаторов трения, способов обработки узлов трения, создания износостойких покрытий с высокой химической стойкостью.

Условия работы трибоузлов как и их конструктивное исполнение столь многообразны, а требования к конструкции настолько жесткие, что выбор материалов и технологических способов повышения износостойкости весьма затруднен и всегда является компромиссом. В мировой трибологической практике просматривается тенденция развития функционально ориентированных методов исследований с последующей их коррекцией по данным, полученным в натуральных условиях.

В основе методов упрочнения трущихся поверхностей элементов машин лежат различные физико-химические и механические процессы, приводящие к повышению износостойкости, прочности, твердости, коррозионной стойкости, обеспечивающие заданный ресурс и минимизацию потерь энергии при работе узлов трения.

Анализ отечественных и зарубежных работ показывает четко ориентированные пути исследований и их практическую реализацию, в области повышения ресурса различных видов механического оборудования.

В связи с отсутствием универсальных методов упрочнения необходимо в каждом конкретном случае учитывать многие сопутствующие факторы, например, допустимое коробление деталей машин, возникновение и характер остаточных напряжений, влияние технологической среды, экологичность и стоимость производства. Широко известны химико-термические методы упрочнения, диффузионные способы, наплавки, химическое осаждение из газовой среды, термовакuumные, ионно-плазменные и лазерные методы, имплантация. Повышенные эксплуатационные характеристики имеют покрытия, полученные детонационным методом. Каждый из этих методов имеет определенные достоинства, недостатки и свою область применения.

Настоящая работа, целью которой является решение научно-технической проблемы повышения ресурса горного и металлургического оборудования на пути преодоления трибологического барьера, посвящена фундаментальным исследованиям и разработке на их основе технологий

модифицирования рабочих поверхностей трибосопряжений, производству износостойких металлических конструкций и упрочнения ответственных узлов горно-металлургического оборудования. Актуальность и жизненная необходимость в решении этой проблемы связана с тем, что физический износ основных видов горно-металлургического оборудования, характеризующегося наиболее высокой материало- и энергоемкостью в машиностроении, достиг критического значения и составил 80-85%. Ежегодны потери из-за износа узлов трения, расходы на восстановление и ремонт оборудования в Украине составляют 2 – 2,5% стоимости валового национального продукта. В работе реализована концепция и методология построения интеллектуальной системы, основными задачами, которой являлись:

- создание материалов с заданным комплексом свойств, включая триботехнические;
- выбор упрочняющих технологий по критериям надежности, износостойкости и прочности;
- модифицирование рабочих поверхностей, с возможностью манипулирования природными материалами модификаторов на наноуровнях.

Задачи модифицирования рабочих поверхностей трибоузлов горно-металлургического оборудования природными минеральными материалами решена в едином контексте:

1. Поиск и освоение месторождений минерального сырья;
2. Переработка и обогащение;
3. Технология и технический регламент модифицирования трибосопряжений.

Создано новое научное направление в области трибологии, которое основано на фундаментальных исследованиях механохимических процессов, протекающих *in situ* в зоне рабочих поверхностей деталей машин под действием комплекса природных материалов, измельченных в зоне контакта до наноуровня – геомодификаторов трения [1]. Впервые доказано, что в таком процессе трения на контактных поверхностях формируется специфический защитный слой, обладающий уникальными триботехническими характеристиками: антифрикционными, противоизносными и противозадирными. Происходит восстановление функционального состояния узла трения за счет инициирования самоорганизующихся трибопроцессов. Доказательство низкого трения и изнашивания, восстановления (регенерации) поверхности трения основывается на исследовании кинетики структурных, фазовых и диффузионных превращений, прочностных и деформационных свойств активных микрообъемов поверхности, элементарных актов деформации разрушения, поиска числовых критериев оптимального структурного состояния, многопараметрической оценки качества поверхности, что

явилось фундаментальной базой для разработки технологического процесса, обеспечивающего восстановление и повышение ресурса тяжело нагруженных узлов металлургического и горного оборудования. В работе использована сканирующая туннельная электронная микроскопия, компьютерные технологии для измерения топографии поверхности трения, износа, адгезии, состава модифицированных слоев наноразмеров, что позволило определить условия, приводящие к предельно низким величинам трения и износа (рис. 1).

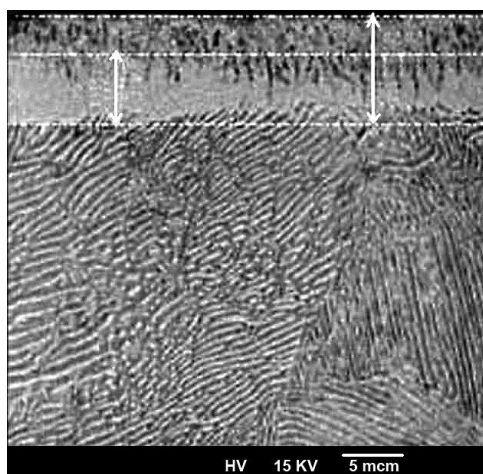


Рис. 1. Микрофотография поперечного шлифа образца из СЧ поверхности трения приработанного с ГМТ, х4000

В процессе разработки технологии получения геомодификаторов трения решена задача механоактивации природных минералов с высоким адсорбционным потенциалом при их измельчении струйным и виброударным способами, а также разработаны технологические процессы их селективного обогащения.

Эффективность восстановления поверхностей трения при эксплуатации за счет использования геоактиваторов подтверждается следующими примерами.

На объединении «Криворожсталь» обработке геоактиваторами были подвергнуты подшипники роликовых коробок прокатного стана ПС-150-1. Количество прокатываемого металла от установки до замены подшипников значительно возросло. Сравнительный анализ расхода подшипников показал, что после применения геоактиваторов срок службы подшипников увеличился в 2 - 5 раз

На Никопольском заводе ферросплавов обработке геоактиватором подверглись редукторы дробилок. Обработка редукторов геоактиватором дала следующие результаты: значительно снизился шум, возникающий при работе редуктора, на 12% снизилась токовая нагрузка, пятно контакта

увеличилось с 60 до 90%, исчез питтинг на поверхности зубьев, температура нагрева подшипников снизилась с 45 до 24 °С.

При длительных ресурсных испытаниях узлов трения, приработанных с геоактиватором, отмечается дальнейшее постепенное уменьшение коэффициента трения во времени. Это можно объяснить продолжающимся после обработки формированием структуры поверхности. Общее увеличение ресурса узлов трения, обработанных геоактиватором, возрастает в 3 - 5 раз.

Происходящие при этом изменения приводят к значительному увеличению линейных размеров деталей. На Басанском карьере была проведена обработка открытой зубчатой передачи тяговой лебедки шагающего экскаватора ЭШ-15/90. Замер зубьев через 2 месяца после обработки показал прирост толщины зуба на 0,14 мм (с 31,64 мм – до 31,78 мм), тогда как износ зубьев не обработанных колес за эти 2 месяца составил 0,04 мм.

Впервые в мировой практике для повышения ресурса ответственных узлов горно-металлургического оборудования (шарниры тяговых цепей вскрышных комплексов, зубья ковшей экскаваторов, стрелочные крестовины, валки прокатных станков) с высокой эффективностью использована энергия взрыва [2]. Разработанные условия ударно-волнового нагружения позволили преодолеть противоречия между прочностью и пластичностью материалов, что предопределило его высокие эксплуатационные характеристики. Раскрыт механизм упрочнения металлов в зависимости от интенсивности ударно-волнового нагружения, заключающийся в увеличении плотности дислокаций, создании дислокационных барьеров, уменьшении размеров зерен, образования субструктуры с заблокированными дислокационными границами, наличием фазовых превращений, перераспределением остаточных напряжений. Установлены критерии и границы повреждаемости материалов, связанные с образованием субмикротрещин в диапазоне реализуемых давлений при обработке металлических сплавов. Разработаны физические условия создания ударно-волновой конфигурации, использование которой для цели упрочнения наиболее эффективно и признано приоритетным в мировой практике. Разработаны технические условия упрочнения взрывом деталей горно-металлургического оборудования. Определен критерий слоистых зарядов, используемых для упрочнения, а также особенности взрывной обработки при различных углах падения детонационного фронта по отношению к металлической преграде, что позволило оптимизировать параметры упрочнения. Впервые исследовано влияние остаточных напряжений, формирующихся под действием ударных волн на процессы износа. Показано, что снижение уровня напряжений растяжения в поверхностном слое существенно повышает износостойкость трибологических узлов.

Современная техника основана на применении многофункциональных материалов, сочетающих в себе высокую прочность, жаро- и коррозионную стойкость, стойкость против истирания, малый удельный вес, электро- и теплопроводность и т.д. Помимо резерва огромной экономии дефицитных, дорогостоящих черных и цветных металлов и сплавов, весь этот комплекс может быть интегрирован в одном материале. Производство таких материалов – необходимое условие прогресса науки и техники. Примеров использования таких «слоистых пирогов» в промышленности более чем достаточно. Прокатные валки – «сердце» прокатного стана, вкладыши подшипниковых опор, к ним предъявляются жесткие требования эксплуатации: рабочие поверхности должны обладать высокой стойкостью против истирания, а внутренние – гарантированным ресурсом длительной прочности. Совместить эти свойства в одном металле сложно, а иногда просто невозможно. Производство двухслойных деталей, слои которых наделены указанными свойствами, существенно повышает качество прокатной продукции, увеличивает ресурс работы оборудования. Если стальную трубу покрыть тонким слоем коррозионно-стойкого сплава, то жизненный цикл такой трубы можно увеличить в 50 и более раз по сравнению с моносталльными трубами. В ракетно-космической технике целый ряд конструктивных элементов выполнен из разных материалов, каждый из которых наделен определенными функциональными свойствами. Поэтому жизненность и плодотворность идеи использования полиметаллических композиций в различном их наборе очевидна и в полной мере определена в настоящей работе, в которой решена проблема создания научных и технологических основ производства многослойных трубных конструкций сваркой взрывом [2].

Соединение металлов взрывом осуществляется в режиме высокоскоростного соударения взаимодействующих металлов без предварительного нагрева при высоких энергетических показателях источника и условий деформирования. В основе схватывания металлов при сварке взрывом лежит интенсивная пластическая деформация контактных поверхностей, сопровождающаяся образованием устойчивой либо неустойчивой кумулятивной струи, причем этот процесс сопровождается волнообразованием на границе сварки.

Особенностями теоретических и экспериментальных работ в области сварки взрывом являются фундаментальные исследования и разработка на их основе технологии производства многослойных труб, как основного вида биметаллической продукции. Плодотворность идей, приведенных в исследованиях, которые относятся к сварке труб взрывом, заключалась в принципиальной оценке гидродинамической модели для расчета начальных параметров соударения твердых тел, разработке программ численных методов исследований динамики цилиндрических оболочек, выбором приоритетного направления в области конструирования

технологического оборудования, критериальной оценке ресурса его работы, а также обоснование типов используемых взрывчатых материалов.

Уровень научно-технических решений и промышленного освоения сварки взрывом позволили создать высокоэффективную технологию изготовления многослойных конструкций в трубном производстве, образцы которых представлены на рис. 2.



Рис. 2. Образцы биметаллических труб полученных сваркой взрывом

Масштабные исследования по износу с привлечением современных средств регистрации трибологических параметров и анализа, выполненные в организациях Украины и России.

Результаты исследований внедрены на крупнейших горно-металлургических предприятиях Украины (Трубопрокатный завод Интерпайп, Южный горнообогатительный комбинат (ЮГОК), Криворожсталь, Донецкий металлургический завод, Завод Промпластик, Марганецкий ГОК) с высокой экономической эффективностью.

Список литературы

1. Дидык Р.П., Аратский П.Б. Увеличение ресурса горно-металлургического оборудования на пути преодоления трибологического барьера // Металлургическая и горнорудная промышленность, №2, 2011. – С. 86-90.

2. Дидык Р.П. Рождено взрывом в Национальном горном университете // Науковий вісник НГУ, №5, 2009, С. 91-96.