

УДК 629.3.033:621.891

Попов С. Н., Грицкевич А. А.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАР ТРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНО-НАГРУЖЕННОГО КОНТАКТА

Самоходные гусеничные подъёмные машины являются важным средством механизации строительного-монтажных работ и широко применяются при возведении мостовых переходов. Перемещение такой техники зачастую осуществляется по неподготовленным грунтам, что делает возможным попадание абразивных частиц в зазоры между сопрягающимися деталями гусеничного движителя, и как результат, увеличение интенсивности их изнашивания. В частности, зубья ведущих колёс движителя (рис. 1), работая в таких условиях, могут приобретать износ, который ухудшает КПД всего гусеничного обвода. При этом может теряться точность и плавность работы техники, уменьшаться межремонтный термин её эксплуатации и увеличиваться вероятность аварийных ситуаций.

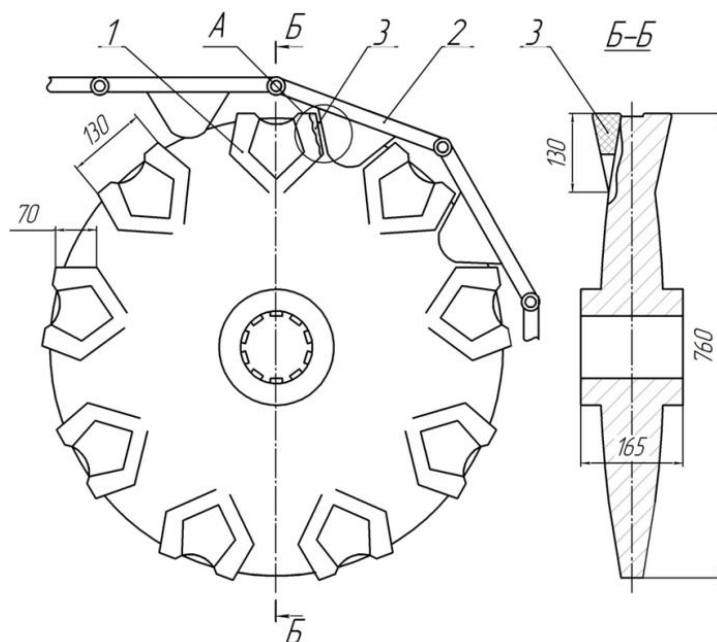


Рис. 1. Схема ведущего колеса и его зацепления с зубом гусеницы:

1 – зуб ведущего колеса, 2 – трак гусеницы, 3 – рабочая поверхность ведущего колеса

Поэтому, по нашему мнению, решение проблем надёжности гусеничных движителей крана уместно начинать с разработки оптимальной технологии восстановления и упрочнения ведущего колеса.

Современные немногочисленные научные достижения [1–3] по данной тематике являются несистемными в анализе механизма разрушения рабочих поверхностей данной детали и имеют весомое различие в своих результатах. Существующие отрывочные сведения не учитывают совместного влияния основных трибоматериаловедческих факторов и не позволяют выработать критерии оценки изнашивания детали.

Таким образом, в настоящий момент не сформирован четкий и развёрнутый алгоритм определения механизма изнашивания ведущего колеса движителя гусеничного крана, вследствие чего перед нами возникла первоочередная задача в осуществлении комплексного анализа условий эксплуатации и изнашивания рассматриваемой детали, что является основой для сознательной разработки технологии восстановления и упрочнения [4].

Целью данной работы стало проведение сравнительного анализа априорных данных и исследование механизм изнашивания рабочей поверхности ведущего колеса движителя гусеничного крана типа Sumitomo Link-Belt LS 418 А, в условиях строительства моста через реку Днепр в городе Запорожье, а также выделение основных направлений и рекомендаций для разработки технологии восстановления и упрочнения данной детали.

Исследование поверхности трения в зоне контакта зубьев колеса и гусеницы (рис. 2, поверхность № I – рабочая поверхность колеса) регистрируется множество царапин (рис. 2, отметка (а)), что в одном случае может быть связано с взаимодействием сопрягающихся деталей, имеющих определённый рельеф наплавки и наличия продуктов окисления на контактирующих поверхностях. В другом случае – может быть последствием попадания в зазор между зубьями абразивных частиц и их закреплённым или полужакреплённым контактом с поверхностью трения. Так происходит одноцикловое изнашивание данной поверхности: вдавливание в материал детали более твёрдого тела и нарезание микростружки, как результат относительного перемещения детали и более твёрдого тела. Кроме этого, рабочая поверхность (рис. 2, (в)) имеет выбоины и лунки, что характерно для случаев заклинивания и возможного дробления частиц абразива в зазоре между зубьями деталей.

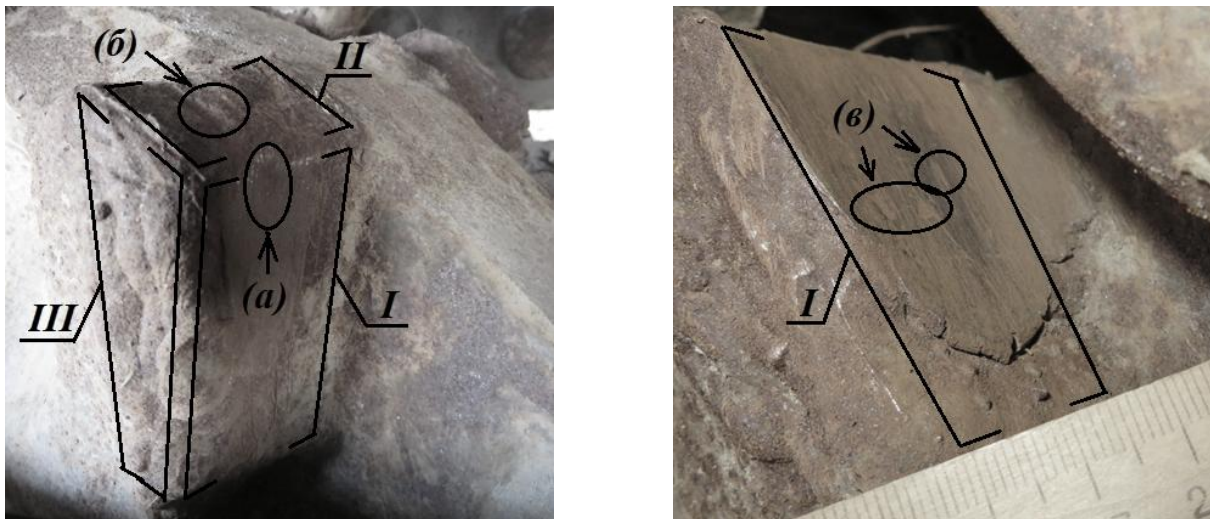


Рис. 2. Характер изнашивания рабочих поверхностей зубьев (1) и (2) ведущего колеса: I – III – условные поверхности зуба; (а–в) – повреждения поверхностей зуба

Поверхность № II (рис. 2) является не рабочей поверхностью и не контактирует с другими деталями движителя. Но стоит отметить, что наличие на ней повреждений в виде царапин и канавок, а также формирование ограниченного зазора между данной поверхностью и траком гусеницы в рабочем цикле колеса (рис. 2), даёт возможность предполагать, что в образовавшийся зазор также могут попадать абразив и частично или полностью закрепляться, разрушая рассматриваемую поверхность.

Зона № III (рис. 2) также не осуществляет рабочих контактов, при этом необходимо отмечать её высокое поражение коррозией.

Исходя из анализа поверхностей рабочего органа рассматриваемой детали, стоит отметить, что приобретение значительного (по критерию потери работоспособности детали) износа приходится на поверхность № I, так как она принимает воздействие сразу трёх фактор: коррозия, взаимодействие металл – металл и металл – абразивная частица.

Поверхность № II разрушается коррозией и редким воздействием абразивных частиц, при этом поверхность № III подвержена только коррозионному фактору. Поэтому величины и интенсивность износа поверхностей № II и № III не вызывают проблем с эксплуатацией ведущего колеса и движителя в целом.

Наличие поврежденных рабочих поверхностей зафиксированной формы и размеров (рис. 2) говорит о значительном вкладе абразивных частиц в изнашивание детали, что объясняется высокой вероятностью попадания абразива из грунта в зазоры между деталями и дальнейшим его там механическим закреплением, связанным с рельефом поверхности трения, а также с наличием на поверхности влаги, масляных или других загрязнений.

Стоит также отметить, что нами было зафиксировано дефекты выкрашивания наплавки рабочей поверхности зуба колеса и рабочей поверхности зуба гусеницы. Это указывает на значительные контактные нагрузки на рабочие поверхности деталей, которые увеличиваются и концентрируются в результате дополнительного воздействия абразива, и обосновывает уместность закладывания определённого уровня пластичности в последующих разработках восстановительных и упрочнительных наплавки.

Таким образом, по нашему мнению, весомым вкладом в разрушение поверхности трения такого рода является то, что в условиях промышленных и строительных площадей, в зацеплении между парой колесо – гусеница, попадают абразивные частицы, увеличивая при этом интенсивность изнашивания рассматриваемой детали. При разработке технологий ремонта и упрочнения детали необходимо учитывать данный фактор, не забывая про то, что зубья колеса работают в паре с зубьями гусеницы.

Анализ величины линейного износа (Δl , мм) детали после эксплуатации крана (рис. 3) показал увеличение неравномерности износа по длине зуба, а именно превышение величины износа зуба у широкой части зуба (ближе к зоне № II, рис. 2) почти в два раза по сравнению износом тонкой части.

Это может объясняться тем, что конфигурация и кинематика формирования зазора между контактирующими деталями, при наличии в зоне контакта абразивных зёрен, способствует выталкиванию зёрен из зоны утонения зуба в зону его утолщения. Данная приобретаемая неравномерность рабочей поверхности зуба является дополнительным фактором концентрации эксплуатационных нагрузок в определённых зонах поверхности.

Также, спустя семь месяцев эксплуатации величина износа большинства зубьев колеса достигла граничной отметки в 6 мм, после чего по техническим нормам для подъёмного крана эта деталь не может эксплуатироваться и требует ремонта. В то время как рекомендованный срок эксплуатации до ремонта ведущего колеса – девять месяцев при интенсивной эксплуатации данной строительной техники.

Таким образом, было отмечены преждевременный выход из строя детали и потеря 22% межремонтного времени эксплуатации подъёмного крана.

Как уже отмечено, наблюдение за деталью и измерение величины износа происходило на протяжении 7 месяцев, а именно от апреля до сентября (включительно). За выделенный период среднемесячная температура окружающей среды не опускалась ниже 10 °С, что дало возможность не учитывать негативного влияния низких климатических температур на изнашивание рассматриваемой детали на данном этапе работы.

В процессе фиксирования величин изнашивания узлов крана был предложен способ определения наработки деталей движителя с помощью электронного гаджета и программы расчёта пройденного расстояния на основе GPS навигации.

Далее, из известного [8] перечня внешних и внутренних условий изнашивания были выбраны наиболее значимые, а именно соотношение механических свойств сопряженных поверхностей, степень коррозионного влияния и соотношение показателей твёрдости абразива и материала детали.

Стоит отметить, что влияние первого фактора учитывалось конструкторами подъёмного крана. Поэтому взаимодействие зубьев колеса и гусеницы вызывает вялотекущее усталостное изнашивание деталей, в результате многоциклового передеформирования микрообъёмов рабочих поверхностей. Второй фактор, коррозионное влияние, обусловлен погодными условиями, в которых работает строительная техника. А взаимодействие детали с абразивом, как уже было указано, связано с возможностью попадания в зазор колесо-гусеница абразивных частиц.

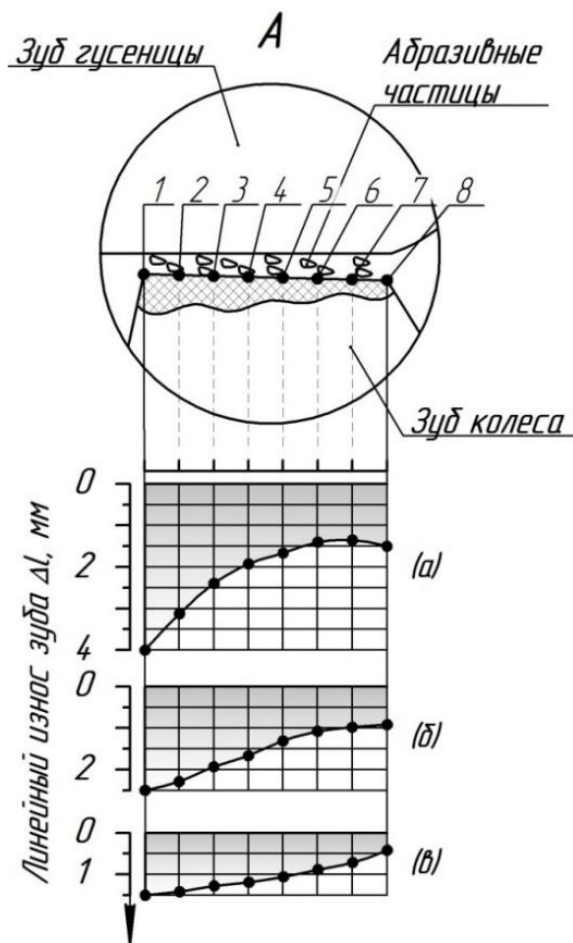


Рис. 3. Эпюры линейного износа рабочей поверхности зуба колеса после определённых периодов эксплуатации:

- 1–8 – точки измерения линейного износа Δl , мм;
- Наработка, согласно показаниям одометра подъёмного крана:
- а) 300 моточасов, б) 200 моточасов, в) 300 моточасов

Для оценки третьего фактора были проведены эксперименты на изнашивании различными видами абразивных материалов образцов из стали 45 (в отожжённом состоянии).

Учитывая широкий спектр гранулометрического и физико-химического состава грунтов, возникает необходимость в проведении экспериментов по изучению влияния различных абразивных материалов на интенсивность изнашивания ведущего колеса движителя подъёмного крана.

Из состава грунта рабочей площадки были выделены твёрдые частицы с наибольшей степенью абразивности, а именно: песок кварцевый, гранит и диабаз. Основным фактором при этом служил показатель твёрдости данных материалов. Абразивные частицы именно этих материалов были взяты для проведения эксперимента.

По результатам эксперимента (табл. 1) можно сделать выводы об особенностях и степени влияния того или иного вида абразивных частиц, входящих в состав грунта рабочей площадки, на величину изнашивания материала: величина интенсивности изнашивания материала детали резко увеличивается при переходе в абразивной среде от кварцевого песка к более твёрдым и абразивным материалам. Это может объясняться тем, что форма абразивной частицы песка (рис. 4 (а)) имеет близкую к сферической форме, в отличие от частиц гранита (рис. 4 (б)) и диабаза, чьи частицы более неправильной и грубой формы с наличием острых углов, что способствует увеличению интенсивности одноциклового изнашивания материала.

Учитывая такой результат и несмотря на тот факт, что кварцевый песок имеет большую распространённость как природный абразивный материал в сравнении с другими, был сделан вывод, что для разработки технологии упрочнения колеса крана необходимо ориентироваться на потенциальное негативное влияние на данную трибосистему такого абразивного материала, как частицы гранита различной фракции, как материала, который является наиболее абразивным.

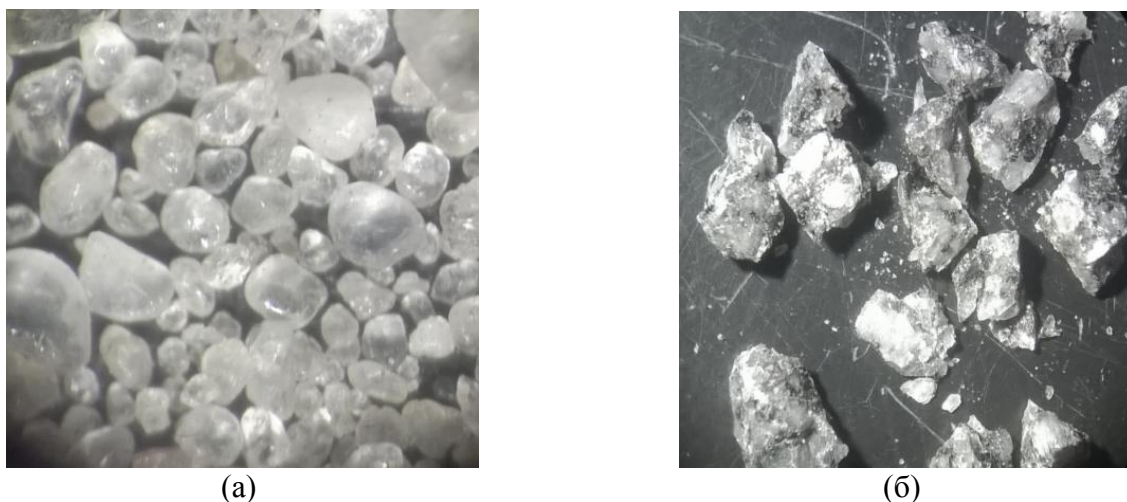


Рис. 4. Песок кварцевый (а), зёрна гранита (б) (x50)

Таблица 1

Результаты экспериментов на изнашивание

Материал	Величина массового износа, %		
	Песок кварцевый (SiO ₂)	Гранит (K[AlSi ₃ O ₈], Na[AlSi ₃ O ₈])	Диабаз (CaAl ₂ Si ₂ O ₈)
Сталь 45	7	75	64

Стоит отметить, что при проведении эксперимента на изнашивание с образцами из стали 45 также испытывались и образцы из стали 55 (поверхностная закалка) и сплава 180X12P4. Выбор таких материалов основывался на том, что термически обработанная сталь 55 является материалом рассматриваемой детали, а сплав 180X12P4 по данным [8] имеет высокую сопротивляемость изнашиванию при контактировании с закреплённым и полужакеплённым абразивом.

Таблица 2

Результаты дополнительных экспериментов на изнашивание

Материал	Величина массового износа, %		
	Песок кварцевый (SiO ₂)	Гранит (K[AlSi ₃ O ₈], Na[AlSi ₃ O ₈])	Диабаз (CaAl ₂ Si ₂ O ₈)
Сталь 45	1	1	1
Сталь 55 (поверхностная закалка)	2,1	1.6	1.8
180X12P4	4,7	3.0	3.5

ВЫВОДЫ

1. Детализированы особенности негативного влияния приобретаемого износа ведущего колеса подъемного крана: акцентировано внимание на проблемах увеличения степени повреждений рабочих поверхностей колеса при воздействии абразива и концентрации рабочих нагрузок на поверхностях трения вследствие приобретения неравномерности геометрии рабочих поверхностей в процессе эксплуатации; подчеркнут факт выкрашивания рабочих наплавленных слоёв по перечисленным выше причинам совместно с недоработкой в осуществлённой технологии восстановления детали.

2. Предложен способ определения наработки деталей движителя с помощью электронного гаджета и программы расчёта пройденного расстояния на основе GPS навигации.

3. Выявлено, что механизм изнашивания рабочей поверхности ведущего колеса подъемного крана состоит на 75% из усталостного изнашивания при наличии на поверхности трения канавок и навалов, в результате контакта Ме – Ме; на 20% из одноциклового изнашивания при наличии на поверхности трения царапин, выбоин и лунок, в результате контакта Ме – абразивная частица; на 5% из коррозионного изнашивания в результате взаимодействия детали с окружающей средой.

4. Даны рекомендации по целесообразности учета фактора влияния абразива на процессы изнашивания колеса при оптимизации способов восстановления и упрочнения детали. При этом, показано, что ориентироваться уместно на потенциальное негативное влияние абразивных частиц такого материала, как гранит.

5. Отмечено учитывать позитивные показатели по износостойкости в рассмотренных условиях изнашивания материала с системой легирования С-Сг-В.

6. Результаты работы дают основу для разработки технологии восстановления и повышения износостойкости ведущего колеса подъемного крана, а также деталей со сходными условиями эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Черняк Я. П. Опыт наплавки деталей и узлов строительной и дорожной техники / Я. П. Черняк // Автоматическая сварка. – 2013. – № 3. – С. 56–60.
2. Иншаков С. В. Износ и восстановление зубьев ведущего колеса гусеничного движителя / С. В. Иншаков // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ – 2010. – № 1. – С. 89–92.
3. Григоров О. В. Современные гусеничные краны / О. В. Григоров // Строительная техника – 2008. – № 1. – С. 1–9.
4. Попов С. М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні.: навчальний посібник / С. М. Попов, Д. А. Антонюк, В. В. Нетребко. – Запоріжжя: ЗНТУ, АО «Мотор Січ», 2010. – 368 с.
5. Попов С. М. Дослідження механізму руйнування поверхні тертя ведучого колеса гусеничного вантажопідіймального крана та розробка технології відновлення і відновлення даної деталі на прикладі крану марки Sumitomo Link – Belt LS – 418 A / С. М. Попов, А. А. Грицькевич, К. В. Трубочанінова // Тиждень науки – 2014. – Запоріжжя, 2014. – Т.1 – С.177–179. – Бібліогр.: 3 назв.
6. Крагельский И. В. О механизме абразивного износа / И. В. Крагельский, Ямпольский В. А. // Изв. ВУ-Зов. Физика. – 1968. – № 11. – С. 81–87.
7. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с.
9. Jankauskas V. Strengthening machine elements working under abrasive environment by alloying with hard layers and their estimation / V. Jankauskas // Mechanika. – 2006, № 1(57). – P. 55–60.
10. Stachowiak G. W. Engineering tribology (2nd ed.) / G. W. Stachowiak, A. W. Batchelor, 2000. – 769 p.