

Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. Материалы 9-й научно-практической конференции 10-13.04.2007 г. Санкт-Петербург, Изд. Политехнического ун-та. Санкт-Петербург. 2007. Ч. 2. - С. 285-289

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ГРУЗОПОДЪЁМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**ХМЕЛЕВСКАЯ В. Б., ТОПОЛЯНСКИЙ А.П., КОЗЛОВ Ф. В.,
АЛЕКСЕЕВ С. Б., ПОРОЗОВ В.А.**

**Санкт-Петербургский государственный университет водных
коммуникаций, Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия**

Рассмотрены методы повышения износостойкости зубчатых передач портового перегрузочного оборудования, приведены результаты испытаний на трение и износ.

The methods of improving wearing qualities of harbor trans-shipping gearing is considered, the results of abrasive and friction tests is presented.

Одним из видов грузоподъемного оборудования на портовых объектах являются лебёдки, кран-балки с лебёдками с тяговым усилием от 5 до 15 т. и мощностью от 1,5 до 5 кВт, порталные краны типов Ганц, Кировец, Альбатрос, Аист и т.п. грузоподъемностью от 5 до 20 т. Используемые в данных механизмах такие рабочие детали как зубчатые передачи редукторов, механизмов изменения вылета стрелы, поворота и передвижения подвержены износу. В большинстве случаев износ зависит от вида изнашивания материалов, коэффициента трения контактных поверхностей сопряжения и нагрузки.

Применяемые зубчатые колеса имеют диаметр от 180 до 600 мм. В качестве материалов колес, как правило, используются стали Ст. 45 и Ст. 40Х. Шестерни в редукторах подвергаются химико-термической обработке (азотированию или цементации).

Теоретической основой изучения факторов и критериев износа зубчатых передач являются фундаментальные исследования трения и износа материалов. Использование их результатов при расчетной оценке сопротивления соприкасающихся поверхностей зубьев контактным разрушениям, возможно при условии учета условий нагружения в различных фазах зацепления.

В связи с этим необходимо знать: причины разрушения контактирующих поверхностей зубьев и критерии отказов; критические точки на активной части поверхности (линии зацепления) по разным критериям отказов; методы оценки основных расчетных параметров, определяющих сопротивление поверхностей зубьев контактному разрушению; влияние

конструктивных и технологических факторов на сопротивление износа зуба.

Известна расчетная оценка износа зубьев по Крагельскому:

$$I/\Delta L = (\text{const}) 3 \cdot 10^3 \text{ HB},$$

где $I/\Delta L$ – величина износа, const – коэффициент, учитывающий свойства материала, HB – твердость исходного материала.

Отсюда следует, что при неизменной конструкции зубчатых передач, наибольшее влияние на их износостойкость имеют свойства поверхности материала зуба. При этом для повышения износостойкости зубчатых передач, в том числе, находящихся в эксплуатации, целесообразно на их рабочие поверхности наносить покрытия, имеющие повышенные триботехнические характеристики, что позволяет резко снизить интенсивность изнашивания и на длительный период законсервировать состояние эксплуатируемой зубчатой передачи.

Основными видами повреждений поверхности при износе зубчатых колёс являются: питтинг, возникающий с появлением масляного клина и являющийся основой развития трещин зуба (эффект Ребиндера); микропиттинг, возникающий на вершинах микронеровностей шероховатых поверхностей зуба; заедание, возникающее в связи с нагрузкой схватывания и пластической деформацией; отслаивание частиц поверхности, связанное с появлением касательных напряжений и свойствами поверхности материала; общий износ контактирующих поверхностей, связанный с триботехническими параметрами контактирующих поверхностей.

Необходимо отметить, что расчетная оценка износов, разработанная и введенная в ГОСТ, недостаточна. В стандартах ISO пользуются физико-экспериментальными данными по оценке износа зубчатых колес. Важным элементом при определении безотказной работы зубчатых передач является определение максимальной величины износа и толщины зуба. В ряде отраслей устанавливается допустимая величина толщины зуба.

Анализ типовых видов разрушений зубчатых колес и шестерен в эксплуатации показал, что основными повреждениями являются общий износ и разные виды питтинга. Абразивный износ в открытых передачах обычно имеет незначительное влияние. При малых величинах износа изгибная прочность обеспечивается с большим запасом. Таким образом, все виды повреждений зубьев связаны с контактными напряжениями, трением и характерными свойствами поверхностного слоя. Для повышения эксплуатационных характеристик зубчатых колес целесообразно повышать нагрузку схватывания, снижать коэффициент трения, повышать усталостную

прочность. Это возможно при нанесении покрытий из материалов, обладающих необходимыми свойствами.

В настоящее время основными технологическими операциями, повышающими надежность деталей и механизмов, являются технологии нанесения минеральных покрытий, технологии ультразвуковой обработки, электроискровое легирование электродами с введенными в них наноматериалами, процесс финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного покрытия, газотермические покрытия с их послойной обработкой ультразвуком.

Ниже приводятся исследования, проведенные СПбГУВК, СПбГПУ, Морской академии им. Кузнецова и фирмой «Розмысел».

Испытания на трение и износ проводились на машине трения СМЦ-2. Замеры остаточных напряжений с использованием аппаратуры «Ситон». На рис.1 приведена схема триботехнических испытаний.

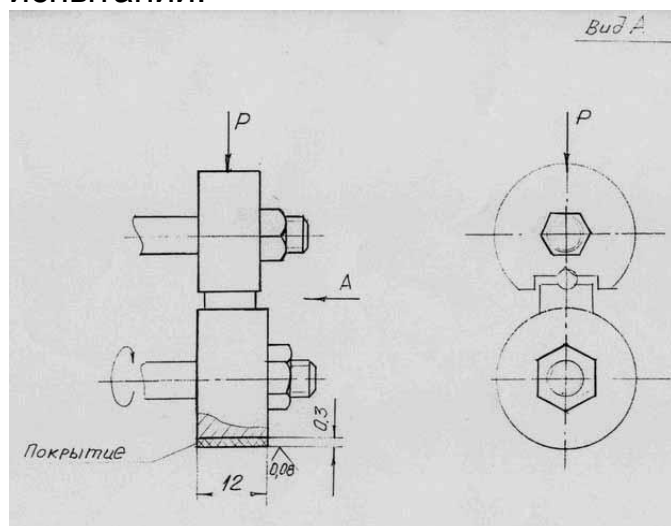


Рис. 1. Схема триботехнических испытаний

Результаты триботехнических испытаний приведены в табл. 1-3.

Таблица 1

Изменение коэффициента трения сопряженной пары при различных методах обработки и нагрузках

Материал зубчатых колес	Материал исследуемого образца	Ктр	Ктр	Ктр	Ктр	Ктр
Р, кг	нагрузка	0	10	25	50	100
Ст. 40Х	Ст40Х+геоматериалы	0,02	0,02	0,068	0,068	0,068
Ст. 40Х	Ст40Х+ФПУ	0,05	0,056	0,065	0,02	0,02
Ст. 40Х	Ст40Х+плазменное напыление+УЗО	0,064	0,06	0,05	0,05	0,05
Ст. 40Х	Ст40Х+азотирование	0,08	0,08	0,075	0,07	0,07
Ст. 40Х	Ст40Х без покрытия	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

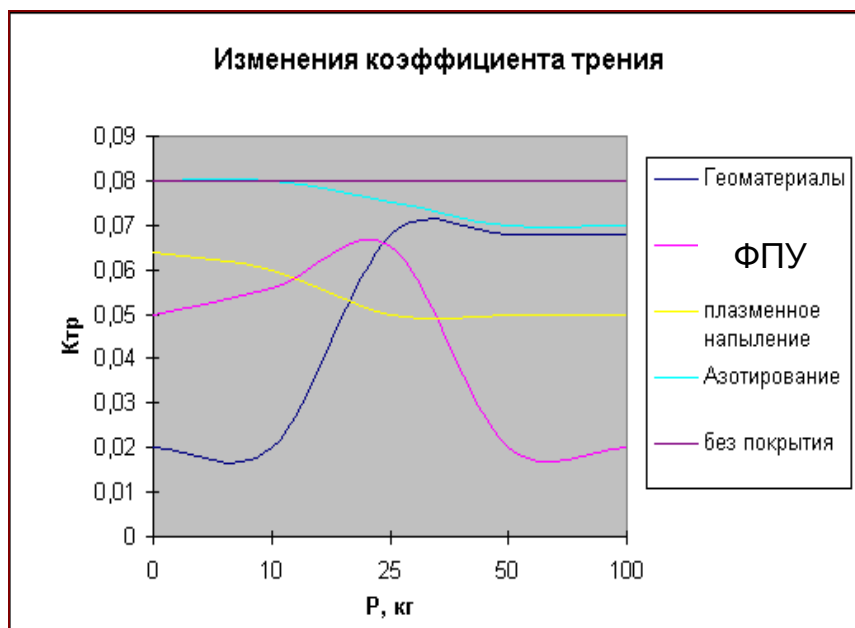


Рис. 2. Изменение коэффициента трения от вида обработки

Таблица 2

Износ сопряженной пары при различных методах обработки и нагрузках

Материал зубчатых колес	Материал исследуемого образца	Изн. СП, мм	Изн. СП, мм	Изн. СП, мм	Изн. СП, мм	Изн. СП, мм
P, кг	нагрузка	10	25	50	100	150
Ст40Х	Ст40Х+геоматериалы	0	0	0	0	0
Ст40Х	Ст40Х+ФПУ	0	0	0	0	0,01
Ст40Х	Ст40Х+плазменное напыление+УЗО	0	0	0	0	0,01
Ст40Х	Ст40Х+азотирование	0	0,02	0,02	0,03	0,05
Ст40Х	Ст40Х без покрытия	0,02	0,04	0,04	0,05	0,07

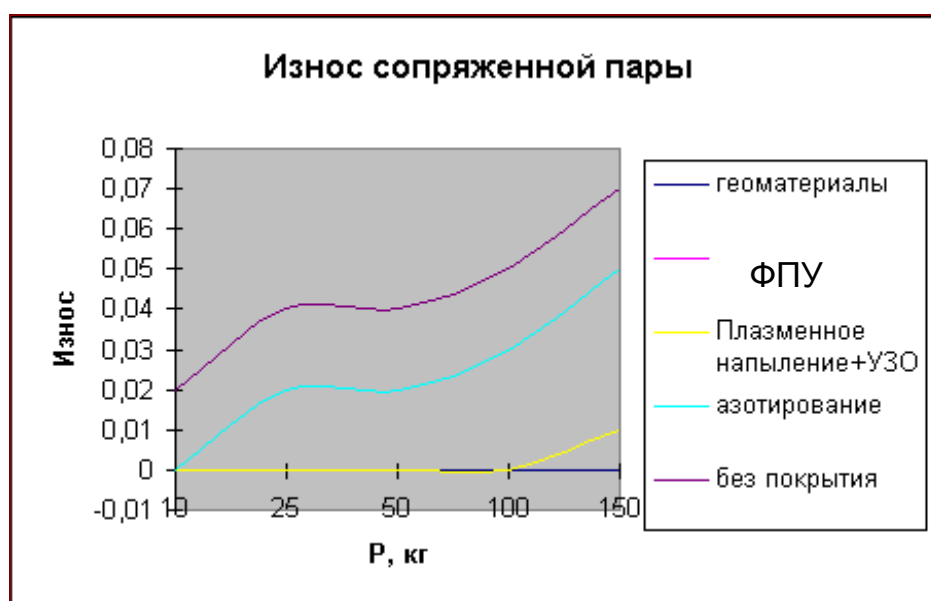


Рис.3. Износ сопряженной пары от вида обработки

Таблица 3

Изменение характеристик материала в результате обработки различными методами

Материал зубчатых колес	Технология	Материалы покрытий	Рсх, кг	Ктр	$\sigma(n)$, Мпа	Рраз	Изн	Изн (СП)
Ст40Х	нанесение геоматериалов	серпантинит	0	0,083	-50	200	0,2	0,08
Ст40Х	ФПУ	алмазоподобное	300	0,06	-50	300	0	0,02
Ст40Х	плазменное напыление+УЗО	ВСНГН+УЗО	350	0,06	-350	350	0	0,01
Ст40Х	азотирование		200	0,08	-300	300	0	0,08

Выводы

1. По результатам исследований (рис. 2), видно, что геоматериалы способствуют уменьшению коэффициента трения при работе сопряженной пары при малых нагрузках. При больших нагрузках оптимальные результаты получены при нанесении покрытия плазменным напылением с их ультразвуковой обработкой и при использовании процесса финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного покрытия.

2. При использовании азотирования коэффициент трения незначительно уменьшается при постепенном повышении нагрузки, что делает данный метод малоэффективным.

3. При испытаниях сопряженной пары на износ (рис. 3) было экспериментально установлено, что износостойкость материала после азотирования почти не повышается, нанесение покрытий плазменным напылением и при финишном плазменном упрочнении дают лучшие результаты.

4. Наиболее эффективно с экономической точки зрения нанесение геоматериалов на обе контактирующие поверхности сопряженной пары, что ведет к повышению триботехнических характеристик материала. В настоящее время обработанные геоматериалами зубчатые колеса успешно эксплуатируются на Апатинской ГЭС и др. объектах.

Литература

1. Хмелевская В.Б., Леонтьев Л.Б. Повышение надежности судового оборудования технологическими методами. Современные методы восстановления деталей. Владивосток, Морской государственный университет Дальнаука, 2003. – 283 с.
2. Инструкция по монтажу и эксплуатации 10- и 16-тонных порталных кранов, В/О «Машиноэкспорт», СССР, Москва