

УДК 620.179.112

Ягнюков В.Ф.

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЗИНОВЫХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛКОВЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ ОТ ИХ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Розглядається питання зносостійкості гум залежно від їхнього напруженого стану, для обґрунтування конструктивних особливостей робочих органів валкових класифікаторів. Показано доцільність засобу кріплення робочої поверхні на робочих органах класифікаторів без нанесення адгезійних покриттів шляхом запресування з натягом 10-15 % від різниці діаметрів робочої поверхні і вала.

DEPENDENCE OF WEAR RESISTANCE OF RUBBER EFFECTIVE SURFACES OF THE ROLL QUALIFIERS ON THEIR STRESSED STATE

The question of wear resistance of gums is considered depending on their stressed state, for a substantiation of design features of actions of the roll qualifiers. The expediency of a resort of fastening of an effective surface on actions of qualifiers without drawing anchor coats is shown by a pressing on with a tension of 10-15 % from a difference of diameters of an effective surface and the arbor.

Целью работы является определение износостойкости резин в зависимости от их напряженного состояния и обоснование конструктивных особенностей рабочих органов валковых классификатора (ВК).

Рабочий орган схематично показан на рис. 1 и представляет собой вал, выполненный в виде профильной или круглой трубы, и рабочую поверхность, закрепленную на нем.



Рис. 1 – Рабочий орган ВК

Диаметры рабочих органов ВК лежат в пределах 30-300 мм, а длина рабочих органов ВК, как правило, на порядок больше их диаметра.

Вал рабочего органа концевыми частями шарнирно закреплен и работает в условиях интенсивных поперечных динамических нагрузок. Он должен обладать достаточной поперечной и продольной жесткостью для передачи вращательного момента от приводного механизма на вал по всей его длине, для обеспечения стабильного зазора между двумя соседними рабочими органами и обеспечивать надежность при его длительной непрерывной эксплуатации.

Рабочая поверхность рабочего органа представляет собой резиновый цилиндр, крепящийся к валу. Толщина слоя рабочей поверхности определена, как правило, гарантийным сроком непрерывной эксплуатации и обусловлена:

- износостойкостью резиновых смесей;
- свойствами классифицируемых материалов;

- динамикой взаимодействия материала с рабочей поверхностью для эффективной классификации;
- режимами эксплуатации;
- надежностью крепления рабочей поверхности к валу.

Перечисленные технологические параметры рабочего органа определяются экономической целесообразностью и всегда соответствуют отношению цена/качество изделия, но вместе с тем, на себестоимость ВК оказывает существенное влияние технология крепления рабочей поверхности к валу:

- способом обрешивания валов;
- способом крепления к валу экструдированных цилиндрических резиновых поверхностей.

Известно, что первый способ по надежности крепления превосходит второй, но по стоимости на порядок выше второго, что обусловлено сложностью применяемого оборудования, непроизводительностью техпроцесса. Это является основанием для выбора простых и надежных способов крепления на валу предварительно экструдированных цилиндрических резиновых рабочих поверхностей, для снижения себестоимости и расширения практики реализации ВК.

В результате интуитивно-стоимостного анализа, путем выбора одного из множества вариантов за основу взят способ посадки рабочей поверхности на вал с натягом, без его предварительной обработки, без нанесения адгезионных покрытий.

Варианты сечений рабочих поверхностей представлены на рис. 2, им соответствуют гостированные типоразмеры профилей.

Но, при реализации способа возникает техническое противоречие, заключающееся в том, что с одной стороны, надежность соединения рабочей поверхности с валом требует предварительно напряженного состояния рабочей поверхности, а со второй стороны, предварительно напряженное состояние, обусловленное растяжением рабочей поверхности снижает ее износостойкость. Решение технического противоречия сводится к поиску оптимальной величины предварительного растяжения, для обеспечения надежности соединения рабочей поверхности к валу, без значительного снижения ее износостойкости. Прямой зависимости износостойкости используемых резин от их напряженных состояний, в открытых публикациях автором не обнаружено, в связи с чем сделана попытка разобраться в сути вопроса, если не аналитически, то экспериментально.

Основные понятия, термины и определения в области изнашивания регламентированы ГОСТ 23.002-78. В частности, по этому ГОСТУ результат изнашивания определен термином износ. Износостойкость деталей есть величина обратная изнашиванию и среди ресурсных характеристик имеет важнейшее значение и состоит в сохранении ими размеров, формы и прочностных свойств в ходе эксплуатации. Оста-

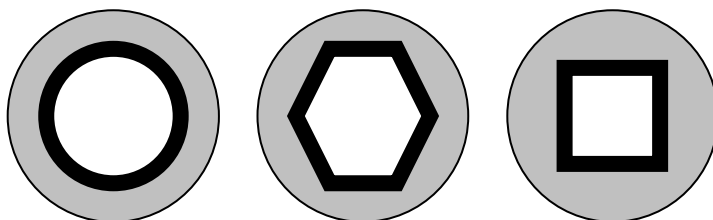


Рис. 2 – Сечения рабочих поверхностей ВК

новимся кратко на основных характеристиках и видах изнашивания.

Изнашивание, как категория трибологии, характеризует физические процессы протекающие в материале поверхностного слоя за счет относительного перемещения контактирующих поверхностей и их механические взаимодействия под действием трения, ведущие к его разрушению. Обычно разрушение происходит в форме отделения от поверхностей трения мелких частиц материала, что приводит с течением времени к изменению размеров и формы контактирующих деталей. Это явление и называют изнашиванием. Следует иметь в виду, что изнашивание является сложным многоуровневым процессом.

Основным фактором изнашивания является деформация материала контактирующих поверхностей под действием контактных напряжений и температурные флуктуации. Их следствием является накопление дефектов структуры с концентрацией в поверхностном слое: текстурирование материала в направлении скольжения; химические реакции материала пары с активными компонентами среды; перенос вещества с поверхности трения в глубину, либо обратно, и обмен веществом контактирующих тел и т.д. Величину износа определяют в единицах длины, объема, массы, а износ за единицу времени – как скорость изнашивания, м/ч:

$$J = \Delta h / t,$$

где Δh – величина износа (линейный износ) или толщина удаленного слоя, м;
 t – время, ч.

Широко распространена другая характеристика изнашивания – интенсивность изнашивания:

$$J_h = \Delta h / L,$$

где Δh – величина износа, м;
 L – путь трения, м.

В трибологии принято за основу классификации видов изнашивания принимать отчетливо наблюдаемый, или иным образом установленный, преобладающий вид разрушения поверхностей трения.

К основным видам изнашивания относят:

- усталостное изнашивание, к которому относят случаи, когда при работе узлов трения отсутствуют аномальные повреждения (схватывания, задиры, микрорезание, прижоги поверхностей и т.п.); трение протекает в нормальных условиях, имеется смазка, но тем не менее вследствие трения материал поверхностного слоя «устаёт» и начинает отделяться в виде частиц износа, здесь как бы проводится аналогия с понятием «усталостная прочность»;
- абразивное изнашивание, при котором абразивные частицы производят на поверхностях трения разрушительное действие в двух основных формах. Острые абразивные частицы царапают, совершают хаотический процесс микрорезания, что наблюдается при работе горных машин. Второй характерный механизм изнашивания – деформационное действие «тупых» абразивных частиц, которые не царапают, а выдавливают лунки или бороздки и вызывают при многократном повторении локальные усталостные разрушения;

- коррозионно-механическое изнашивание, к которому относят окислительный износ, фреттинг-коррозию и водородный износ. Окислительный износ связан с активацией окислительных процессов поверхностных слоев трущихся поверхностей за счет пластической деформации, повышенной температуры, действия циклических нагрузок и наличия кислорода в окружающей среде.

Однако, несмотря на большую специфику, у всех видов изнашивания имеются общие закономерности. Остановимся отдельно на формировании фактической площади контакта (ФПК) резины. Резины, независимо от природы (на основе натуральных или искусственных каучуков), имеют чрезвычайно низкий модуль упругости (порядка 5-30 МПа). Коэффициент Пуассона у них близок к 0,5, следовательно, даже при небольших давлениях они подчиняются закону Паскаля, ведут себя как жидкости. В отличие от твердых тел, уже при давлении порядка значения модуля упругости, ФПК у них приближается по величине к номинальной площади. На рис. 3 показан график зависимости ФПК от номинального давления. Величину ФПК можно рассчитать по уточненной формуле Бартенева Г.М. – Лаврентьева В.В.:

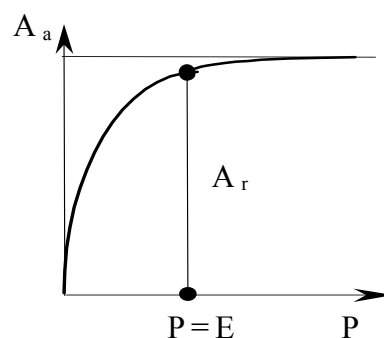


Рис. 3 – Зависимость площади фактического контакта резины от номинального давления

$$A_r = A_a \left[1 - K_1 e^{-\delta(N/A_a E)^{2/3}} \right],$$

где A_a – номинальная площадь контакта;

$$K_1 = 0,8 \div 1;$$

$$\delta \cong 1,2(\alpha_r/R_z)^{1/3};$$

$\alpha = n_0/n_m$, n_m – число оснований выступов в расчете на единицу номинальной площади контакта; n_0 – число выступов, пересеченных средним уровнем;

r – средний радиус вершины выступов;

R_z – параметр, характеризующий среднее расстояние между пятью высшими вершинами выступов и пятью низшими точками впадин;

N – нормальное усилие действующее на контакте;

E – модуль упругости резины.

Приведенная формула для расчета ФПК не учитывает влияния времени действия нагрузки и температуры. Все материалы в большей или меньшей степени обладают вязкоупругостью и вязкопластичностью, т.е. упругая и пластическая деформации возникают не мгновенно после нагружения, а развиваются во времени. Скорость нарастания деформации увеличивается с повышением температуры. Такое поведение материалов, приводящее к изменению ФПК в зависимости от температуры и времени, описывается с помощью реологических моделей в реологии. В зависимости от реологической модели, описывающие отдельные стороны поведения материалов, можно получить связь между напряжением (σ) и деформацией (ϵ). Для простейших моделей

с идеальной упругостью, вязким течением, пластической деформацией, вязкопластичной деформацией связь между напряжением (σ) и деформацией (ϵ) определены аналитически. Многочисленные исследования показали, что для металлов деформационная составляющая коэффициента трения примерно в 100 раз меньше, чем адгезионная. Поэтому коэффициент трения в первом приближении равен адгезионной составляющей. Для резин различие снижается более чем на порядок, и, если резина скользит по грубо обработанной поверхности, деформационной составляющей пренебрегать не следует.

Важной особенностью резин является быстрое насыщение площади контакта при сравнительно низкой нагрузке. При низком номинальном давлении, благодаря высоким значениям коэффициента гистерезисных потерь, коэффициент трения резин велик и может превышать единицу. Однако с ростом давления он быстро снижается, особенно, когда ФПК становится равна НПК и при давлении порядка 50-100 МПа составляет 0,05-0,02.

Следует отметить, что в чистом виде каждый из отмеченных механизмов изнашивания практически не встречается, чаще всего преобладает ведущий механизм изнашивания и сопутствующие формы в зависимости от особенностей конструкции и условий работы узла трения.

Для рассматриваемого случая просеивающая поверхность ВК состоит из совокупности вращающихся рабочих органов, контактирующих всегда только половиной рабочих поверхностей с многофазной средой сыпучего липкого абразивного материала, находящегося в состоянии виброкипящего слоя. В связи с тем, что износ носит комплексный характер, а характер силового взаимодействия на рабочую поверхность представляет сложный нестационарный процесс, его случайный характер не позволяют практически создать реологическую модель для описания поведения рабочей поверхности на данный тип воздействия. Поэтому зависимость износостойкости резин от напряженного состояния будем определять экспериментальным путем с учетом определений феноменологического и концептуального подхода.

Для этого создана экспериментальная модель рис. 4, имитирующая рабочий орган ВК и состоящая из вращающегося вала с изменяемым диаметром D и посаженным на него с натягом резиновым полым цилиндром. Напряженное состояние имитировалось посадкой на различные по диаметру D валы одинаковых резиновых полых цилиндров с внутренними диаметрами d . Скорость вращения вала была постоянной и определена реальными скоростями вращения рабочих органов ВК. Силовое воздействие на рабочую поверх-

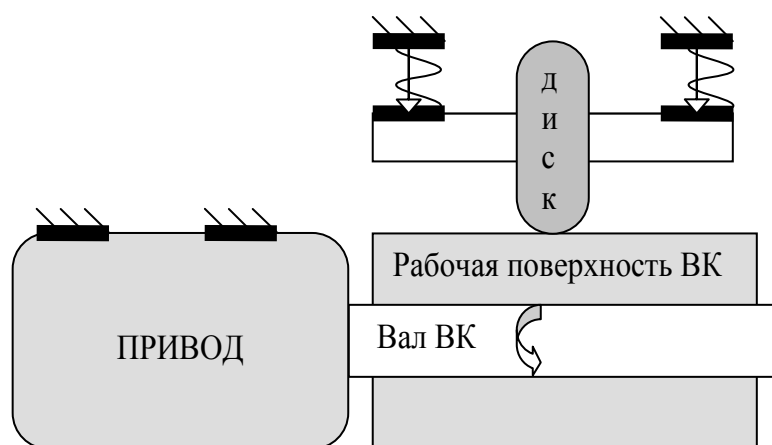


Рис. 4 – Экспериментальная модель для определения износостойкости рабочего органа ВК

ность модели формировалось абразивным диском с зерном 2,5 мм, со сферической поверхностью контакта, свободно вращающимся на оси поджатой постоянной силой к рабочей поверхности.

Таблица 1 – Результаты испытаний

d , мм	40	40	40	40	40
D , мм	40	42,5	45,0	47,5	50,0
Δh , мм	1,42	1,44	1,49	1,55	1,64

Износ определялся скоростью изнашивания различных по D образцов валов при фиксированном времени испытаний. Результаты испытаний представлены таблицей. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что:

- износостойкость резиновых рабочих поверхностей ВК от их предварительно напряженного состояния выражена зависимостью близкой к линейной;
- реальный предел посадок рабочих поверхностей на вал, определяемый отношением D/d и лежащий в диапазоне 10-20 %, не приводит к значительной потере износостойкости рабочих поверхностей ВК, и составляет не более 10-12 % и может быть всегда восполнен увеличением толщины рабочего слоя поверхности рабочего органа ВК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бартеньев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров. –Л.: Химия, 1972. –240 с.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. –М.: Машиностроение, 1977. –526 с.
3. Физическая природа разрушения / Куликов Д.В., Мекалова Н.В., Закиричная М.М.; Под ред. проф. И.Р. Кузеева. –Уфа, 1999.
4. Чичинадзе А.В., Матвиевский Р.М., Браун Э.Д. Материалы в триботехнике нестационарных процессов. –М.: Наука, 1986. –248 с.

УДК 678.074:539.3

Овчаренко Ю.Н., Бондаренко Л.Н.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЭЛАСТОМЕРОВ

Розглядається задача знаходження коефіцієнта подолання опору коченню для деталей, виготовлених із еластомерних матеріалів.

TO A QUESTION OF DEFINITION OF FACTOR OF ROLLING RESISTANCE FOR DETAILS FROM ELASTOMERS

The problem of a determination of factor of overcoming of rolling resistance for the details made of elastomeric materials is considered.

Во второй половине 19 века (1882) немецкий ученый Г. Герц опубликовал теорию контактных деформаций. Это событие, скорее всего, и натолкнуло его современника, английского инженера О. Рейнольдса, на мысль о том, что причиной сопротивления качению является скольжение в месте контакта.