

УДК 621.789

А. В. Попрукайло, аспирант, **Г. А. Костюкович**, канд. техн. наук, проф.,
Е. В. Овчинников, д-р техн. наук, проф., **М. Е. Кипнис**, инженер,
В. Т. Дудко, инженер
Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Беларусь
Тел./Факс: +375 (152) 684108; E-mail: ovchin@grsu.by

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИЗНАШИВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ШАРНИРОВ

В связи с совершенствованием транспортных средств, энергетических установок, увеличение их мощности, эксплуатационного ресурса, требований по надежности и безопасности использования обуславливают необходимость разработки новых модификаций основных узлов и агрегатов, в т.ч. приводных валов. В данной работе проведен анализ основных типов изнашивания карданных передач, эксплуатирующихся в различных условиях. Показано, что основными видами изнашивания универсальных шарниров являются: усталостный и абразивный износ, ложное бринеллирование, питтинг, фреттинг. Для снижения влияния данных видов изнашивания предложен комплексный подход, заключающийся в разработке высокоэффективных методов упрочнения рабочих поверхностей деталей, создания тонкопленочных композиционных покрытий для деталей трения, разработке новых составов смазочных материалов нового поколения на основе минеральных и синтетических масел.

Ключевые слова: конструкция, карданная передача, износ, трение, материалы

A. Poprukaila, G. Kostyukovich, Y. Auchynnikau, M. Kipnis, V. Dudko

MAIN TYPES OF WEAR OF UNIVERSAL JOINTS

In connection with the improvement of vehicles, power plants, an increase in their power, operational life, requirements for reliability and safety of use necessitate the development of new modifications of the main components and assemblies, incl. drive shafts. In this paper, an analysis of the main types of wear of cardan gears operating in various conditions is carried out. It is shown that the main types of wear of universal joints are: fatigue and abrasive wear, false brinelling, pitting, fretting. To reduce the effect of these types of wear, a comprehensive approach has been proposed, which consists in the development of highly effective methods for hardening the working surfaces of parts, the creation of thin-film composite coatings for friction parts, the development of new compositions of new generation lubricants based on mineral and synthetic oils.

Keywords: design, cardan shaft, wear, friction, materials

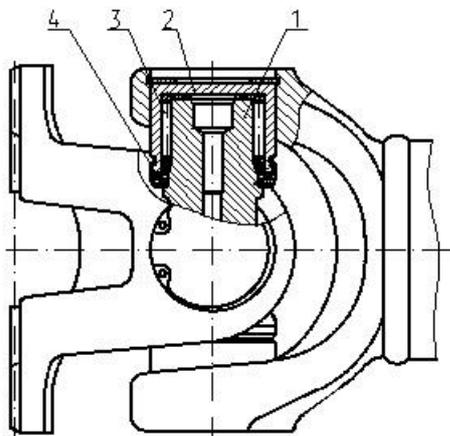
Введение. Карданные передачи в настоящее время являются неотъемлемой частью трансмиссии современных транспортных средств, таких как автомобили, тракторы, тяжелые мотоциклы, тепловозы и т.п., а также некоторых стационарных установок, например, прокатных станков и других, у которых необходимо осуществить передачу крутящего момента между агрегатами, имеющими в процессе эксплуатации относительные перемещения.

Надежность карданной передачи определяется в основном надежностью и сроком службы шарнира (рис. 1), т.е. сроком службы сопряжения игольчатый подшипник – шип крестовины. В связи с этим, вопросом повышения ресурса карданных шарниров должно уделяться большое внимание [1-5].

Целью данной работы является определение механизма изнашивания игольчатого подшипника карданной передачи.

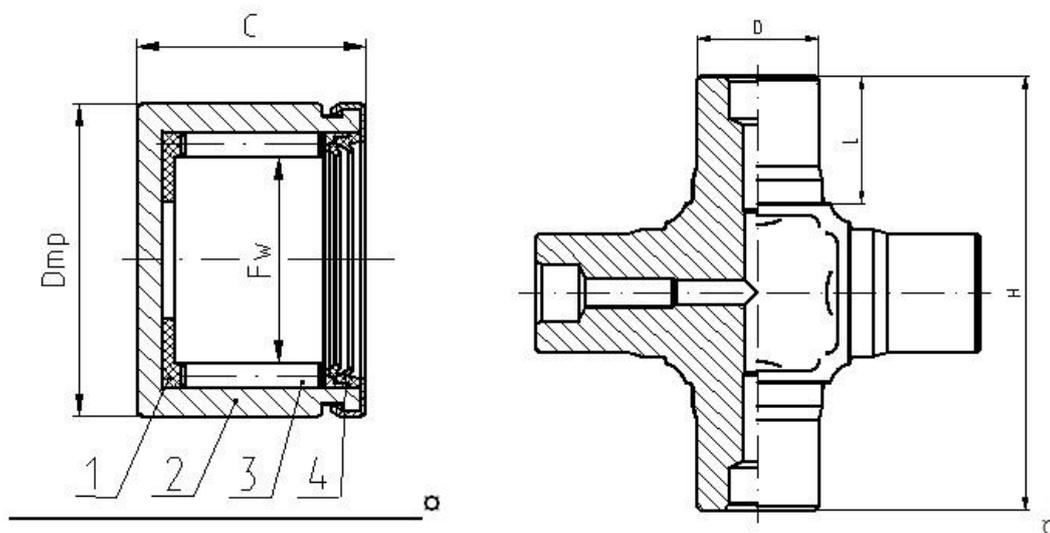
Методика эксперимента. Конструктивно карданный игольчатый подшипник выполнен в виде стакана, являющегося наружным кольцом, и набора игольчатых роликов (рис. 2). Внутренним кольцом служит шип крестовины (рис. 3). Кольца подшипников изготавливаются из стали 15Г1 ТУ 14-1-3938-85, ШХ15 (ШХ15СГ) ГОСТ 801-78;

игольчатые ролики из стали ШХ15 ГОСТ 801-78. Крестовина изготавливается из стали 20ХГНТР ТУ 14-1-704-72, 60ПП ТУ 14-1-1926-76. Твердость поверхностей колец, игольчатых роликов, шипов крестовин должна быть 62...66 HRC. Шероховатость до-рожки качения должна быть не более Ra 0,63 мкм, игольчатых роликов не более



1 – крестовина; 2 – корпус подшипника; 3 – игло ролики; 4 – уплотнение.
Рисунок 1. Шарнир карданной передачи.

Ra 0,16 мкм, шипов крестовины не более Ra 0,32 мкм. Разноразмерность игольчатых роликов в подшипнике должна быть не более 2 мкм.



F_w - диаметр отверстия по игольчатым ролика; D_{mp} - наружный диаметр; C - ширина подшипника; 1 - шайба; 2 - наружное кольцо; 3 - игольчатый ролик; 4 - уплотнение.

Рисунок 2. Подшипник шарнира карданной передачи.

D - диаметр шипа крестовины; L - длина шипа крестовины; H - расстояние между торцами шипов крестовины.

Рисунок 3. Крестовина шарнира карданной передачи.

Результаты исследований. Особенностью кинематики игольчатого подшипника является то, что характер движения роликов по беговым дорожкам при качательном движении определяется тем, что ролики и скользят и катятся, причем качение имеет место главным образом в нагруженной зоне. На характер движения иглы сильное влияние оказывает вязкость смазки. Вязкая смазка «тушит» инерцию вращения иглы, при смазках обладающих малой вязкостью иглы обнаруживают тенденцию к проворачиванию и в ненагруженной зоне.

Игольчатый подшипник имеет большое количество мелких элементов (игл), образующих узкие щели, что способствует капиллярности всей системы и удержанию смазки вблизи точек контакта элементов подшипника. Масляная подушка между иглами и беговыми дорожками под нагрузкой непрерывно раздавливается, в результате чего в подшипнике преобладает полусухое трение и гидродинамическое плавание слоя игл отсутствует. Этому способствуют условия работы при качательном движении с небольшими углами качания, а также соотношения между размерами элементов, что делает маловероятной возможность образования масляных подушек между иглами и дорожкой качения.

Нагруженность карданных игольчатых подшипников определяется величиной и характером крутящего момента карданного вала, изгибными колебаниями, вызванными дисбалансом карданного вала, крутильными колебаниями трансмиссии, а также усилениями, возникающими в шлицевом соединении карданного вала при перемещениях.

При работе карданных игольчатых подшипников имеет место качение, качение с проскальзыванием и осевые микросмещения деталей подшипников друг по отношению к другу под нагрузкой в присутствии смазки, причем не исключено проникновение влаги, абразивных частиц, а также доступа атмосферного воздуха в зону контакта.

При относительном перемещении тел, находящихся под действием сжимающей нагрузки, возникает сопротивление их взаимному перемещению, т.е. имеем внешнее трение. При работе карданных игольчатых подшипников в нормальных эксплуатационных условиях в зоне контакта имеет место два вида внешнего трения:

1. Сухое трение, когда поверхности покрыты твердыми пленками, менее прочными, чем основной материал;
2. Граничное трение, когда поверхности покрыты жидкими пленками.

Трение имеет двойственную молекулярно-механическую природу. Оно обусловлено преодолением адгезионной связи между двумя поверхностями, обычно между пленками, которыми покрыты твердые тела, и объемным деформированием материала (взаимным внедрением), происходящим в тонком поверхностном слое на глубине, сопоставимой с глубиной внедрения.

В зависимости от величины сил адгезии и глубины внедрения можно выделить пять видов нарушения фрикционных связей, имеющих место в процессе трения:

1. Скол-срѐз материала;
2. Пластическое оттеснение;
3. Упругое деформирование;
4. Разрушение пленок (адгезионное разрушение);
5. Разрушение основного материала (когезионное разрушение).

Множественное нарушение фрикционных связей вызывает процесс разрушения материала. Преобладающий вид разрушения при трении зависит как от свойств тру-

щихся тел, так и от внешних условий (нагрузки, скорости и амплитуды перемещений, среды и т.д.). В связи с этим имеется возможность классификации видов износа. Основными видами износа игольчатого подшипника являются:

1. Схватывание 1 -го рода;
2. Окислительный износ;
3. Тепловой износ;
4. Абразивный износ;
5. Осповидный (усталостный) износ.

Рассмотрим более подробно виды износа, встречающегося при эксплуатации игольчатых подшипников.

Износ схватыванием 1-го рода представляет собой процесс разрушения трущихся поверхностей, выражающийся в пластической деформации поверхностных слоев и возникновении местных металлических связей, мостиков сварки с их последующим разрушением, сопровождающемся переносом, намазыванием металла на более твердую поверхность и отделение в виде частиц износа этого перенесённого слоя металла.

Окислительное изнашивание в условиях граничной смазки при сухом трении представляет собой процесс постепенного разрушения поверхностей игольчатого подшипника при трении, выражающийся в сложном сочетании явлений адсорбции кислорода на поверхностях трения, диффузии кислорода в поверхностных слоях, одновременным протеканием пластической деформации металла с образованием химически адсорбированных пленок, пленок твердых растворов и химических соединений металла с кислородом и отделением их с поверхностями трения.

Окислительный процесс на поверхностях игольчатого подшипника происходит при совместном протекании пластических деформаций порядка 0,1...0,01 мкм тончайших поверхностных слоев металла и явлений химической адсорбции и диффузии кислорода в пластически деформированные поверхностные слои. Образующаяся при этом новая структура при многократном повторном деформировании хрупко разрушается, после чего в процесс вступают новые слои нижележащего металла.

При работе с малыми углами наклона карданных передач в условиях вибрации, циклических нагрузок, наличия микроперемещений и проскальзывания тел качения, а также имеющем место в силу конструктивных особенностей системы смазки шарнира затруднении в удалении продуктов износа из зоны контакта, характерным видом изнашивания карданных игольчатых подшипников является фреттинг - коррозия.

Фреттинг можно определить как разновидность изнашивания, возникающего в случаях, когда две соприкасающиеся поверхности, номинально неподвижные одна по отношению к другой, периодически немного смещаются друг по отношению к другу. Особенностью фреттинга является то, что продукты не удаляются из зоны контакта. Необходимым условием возникновения фреттинга является наличие относительного смещения или скольжения поверхностей с определенной величиной амплитуды. Величина повреждения для сталей прямо пропорциональна величине амплитуды проскальзывания в пределах 0,010...0,229 мм. Величина частиц износа для сталей лежит в пределах 0,1... 1,0 мкм. Частицы, образующиеся в присутствии воздуха, имеют красно-коричневый цвет. Химический анализ показал, что продукт контактной коррозии (фреттинга) представляет собой окись железа Fe_2O_3 , также обнаружено присутствие закиси железа FeO и магнетита Fe_3O_4 . В первоначальных продуктах износа имеется и металлическое железо. Установлено также значительное увеличение (в 12 раз) поглощения азота воздуха поверхностями трения при фреттинге: При отсутствии кислорода

и влаги фреттинг имеет много общего с износом при трении, таким как схватывание 1 - го рода.

Тепловой износ или износ схватыванием 2-го рода - это процесс интенсивного разрушения поверхностей игольчатого подшипника при трении скольжения, обусловленный местным разогревом и размягчением металла, десорбцией и сгоранием смазки, в результате чего происходит схватывание с последующим вырывом металла, его размазывание и отделение микрочастиц с поверхности трения. Тепловой износ имеет место в карданных игольчатых подшипниках только при эксплуатации подшипников, имеющих уже выработочный износ и не имеющих встроенной полимерной шайбы между торцом крестовины и донышком подшипника.

Абразивный износ представляет собой процесс разрушения поверхностей трения игольчатого подшипника, обусловленный наличием абразивной среды в зоне трения и выражающийся в местной пластической деформации, наличии микроцарапин, микро-резаний абразивными частицами поверхностей трения. Абразивный износ имеет место при эксплуатации карданных игольчатых подшипников в условиях запыленности при нарушении герметичности уплотнений.

Осповидный (усталостный) износ - это процесс разрушения поверхностей трения игольчатого подшипника, обусловленный пластическими деформациями, внутренними напряжениями, явлениями усталости металла и выражающийся в образовании на поверхности трения микротрещин, трещин, впадин и т.д.

В большинстве случаев усталостное разрушение игольчатых подшипников не может быть объяснено каким-либо одним механизмом и является результатом воздействия нескольких самостоятельных процессов, в том числе коррозии, абразивного износа и др. Усталостное разрушение в условиях контактных напряжений есть следствие совместного действия нескольких видов разрушений, которые возникают и распространяются с разными скоростями и независимо друг от друга. Рассмотрим некоторые из видов разрушений игольчатых подшипников.

Разрушение от оксидных неметаллических включений, вызывающих концентрацию напряжений. Разрушения характеризуются:

- подповерхностным распространением от источника;
- выкрашиванием (питтингом) после выхода усталостного разрушения на поверхность с небольшой глубины;
- распространением усталостной трещины под воздействием нагрузок.

Разрушение от геометрической концентрации напряжений, происходящее вследствие:

- малой вязкости смазки;
- касательных сил преобладающего скольжения.

Шелушение (питтинг) характеризуется ограниченной глубиной проникновения усталостных трещин под поверхность и преимущественным их распространением по поверхности на глубину не более 0,013 мм.

Питтинг возникает вследствие:

- малой вязкости смазки;
- большого количества выступов, высота которых превышает толщину смазочного слоя.

Подкорковая усталость цементованных деталей игольчатого подшипника возникает вследствие:

- недостаточной, твердости сердцевины;

– недостаточной толщины цементованного слоя по сравнению с кривизной контактирующих элементов.

Трудности, связанные с обнаружением начальной стадии развития разрушения сопряжений крестовины – игольчатый подшипник, особенно в процессе эксплуатации, а также многообразие эксплуатационных, технологических и нагрузочных факторов, оказывающих влияние на работоспособность карданных шарниров, делают задачу изучения видов изнашивания и причин их вызывающих достаточно трудной. В связи с этим, в настоящее время, в литературе встречаются различные, часто противоречивые, представления о механизме образования и развития разрушений деталей карданных шарниров, особенно при рассмотрении начальных стадий разрушений.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся виды разрушений карданных игольчатых подшипников, шипов крестовин и уплотнений, а также причины их вызывающие.

Вид износа, характер повреждения, его интенсивность зависят от типа автомобиля, угла установки карданной передачи, условий эксплуатации. Наиболее распространенными видами повреждений деталей карданных шарниров можно назвать появление следов ложного бринеллирования на цилиндрических рабочих поверхностях шипов крестовин и стаканов подшипников и усталостные разрушения рабочих поверхностей.

Как правило, при нормальных условиях эксплуатации разрушение элементов шарнира начинается не с износа уплотнений и проникновения в сопряжение игольчатого подшипника с шипом крестовины абразивных частиц и влаги, а с разрушения рабочих поверхностей крестовин, тел качения и стаканов подшипников при нормальном состоянии системы смазки. До появления видимых признаков разрушения происходит износ элементов шарнира, приводящий к увеличению зазора и искажению формы рабочих поверхностей. Затем появляются следы вдавливания концов игл на доньшках стаканов, что объясняется наличием осевых составляющих усилий, возникающих при работе иглы с перекосом, из-за наличия межигольного зазора и деформации узла под нагрузкой. Осевые усилия приводят к периодическому смещению (проскальзыванию) игл вдоль осей. Далее происходит образование начальных вмятин на поверхностях шипов и стаканов, после чего наступает интенсивное развитие канавок ложного бринеллирования, усталостное выкрашивание, интенсивный износ игл, при котором иглы могут приобретать квадратное сечение или ломаться. [5-7]

Первоначальный износ уплотнений и поверхности шипов под уплотнениями значительно уменьшает исходный натяг. После развития значительных разрушений элементов шарнира уплотнение теряет способность удерживать внутреннее давление и предотвращать проникновение в сопряжение абразивных частиц и влаги, нарушается температурный режим. В результате наступивших изменений, а также накопления продуктов износа, происходит окисление и загустевание смазки.

Конечный этап разрушения характеризуется обширными сколами и задирами на рабочих поверхностях.

Заключение.

Таким образом, целесообразно искать пути увеличения ресурса на первом этапе образования повреждений, т.е. предотвратить возникновение пластических деформаций в поверхностных слоях металла, обеспечить герметичность соединения. Следовательно, для повышения ресурса необходимо уменьшение нагруженности рабочих поверхностей карданных игольчатых подшипников, повышение сопротивляемости по-

верхностного слоя пластическим деформациям и контактно-усталостным повреждениям, снижение осевых составляющих усилий перемещения в шлицевом соединении, создание новых конструкций уплотнительных элементов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Беркер А. Х. [и др.] Проектирование универсальных шарниров и ведущих валов / Беркер А. Х., Вагнер И. Р., Вебстер Н. В., Додж Д. Х., Жиманский Л. В., Зейглер С. М., Койнис Дж., Куни С. И., Лайонс Д. М., Миллер Ф. Ф., Нейджел Ф. С., Пауэрс Р. В., Трояновский Т. С., Холзингер Д. В.; ред. К. И. Москвина. – Ленинград: Машиностроение, Ленинградское отделение. - 1984. – 463с.

2. Малаховский Я. Карданные передачи. / Малаховский Я. Э., Лапин А. А., Веденеев Н. К., ред. Липгарт А. П. – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – 1962. – 155 с.

3. Справочник по триботехнике. В 3-х т. Т.2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общей ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. - М.:Машиностроение, 1992. – Т. 2 – 416 с.

4. Богданович, П. Н. Трение и износ в машинах / Богданович, П. Н. Прушак В. Я. – Мн.:Высшая школа, 1999. – 374 с.

5. Карданные валы нового поколения серии «Белкард-2000» / В. И. Кравченко, В. А. Струк, Г. А. Костюкович, Е. В. Овчинников // Проблемы и пути реализации научно-технического потенциала военно-промышленного комплекса: Тезисы докладов международной конференции, Киев, 15-17 марта 2000 г. – Киев, 2000. – С. 83-84.

6. Новые материалы и технологии, применяемые при производстве карданных передач / В. И. Кравченко, В. А. Струк, Г. А. Костюкович, Е. В. Овчинников // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 4 (13). – С.91-99.

7. Карданные валы нового поколения серии «Белкард-2000» / В. И. Кравченко, В. А. Струк, Г. А. Костюкович, Е. В. Овчинников // Проблемы и пути реализации научно-технического потенциала военно-промышленного комплекса: Тезисы докладов международной конференции, Киев, 15-17 марта 2000 г. Киев, 2000. – С. 83-84.

Поступила в редколлегию 24.03.2022 г.