

ЛИТЕРАТУРА

1. Kesteliman V.N., Marian G.F., Kolesko I.V., Verwendung eines Ultraschallfelds zur Verbesserung der Haftung von Polymerbeschichtungen bei der Regenerierung von Laderbohrungen in Gehäuseteilen // Plaste und Kautschuk (mit fächteilanstrichstoffe), 37 (1990) Deutschland.
2. Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin aşchiere: Man. de proiectare: În 2 vol. Vol. 2 / C. Picoş, O. Pruteanu; C. Bohosevski ş. a. – Chişinău: Universitas, 1992.
3. Мосталыгин Г.П., Толмачевский Н.Н. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1990.
4. Marian Grigore. Interschimbabilitate, standardizare şi metrologie. Chişinău: Centrul Ed. al UASM, 2004.

САМОСМАЗЫВАЮЩИЕСЯ ПОДШИПНИКИ КАРДАННЫХ ШАРНИРОВ

В.К. Ярошевич, д-р техн. наук, профессор; М.М. Болбас,
канд. техн. наук, профессор
УО «БГАТУ»

(г. Минск, Республика Беларусь)

A method is introduced for substitution in cardan shafts joints of needle bearing ones whose antifriction materials are based on polytetrafluorethylen. A cardan sliding joint has been elaborated and technology to manufacture it, the joint consisting of a new or else restored by method of gas-thermal sputtering cross-piece covered with antifriction self-lubricant organo-fiber plastics, a special technology employed. The plastics assure providing long and continuous exploitation of the frictional pair.

Анализ нагруженности существующих конструкций карданных валов транспортных средств указывает на возможность возникновения на поверхностях шипов крестовин (эксплуатирующихся в контакте с иголками подшипника) давлений, на 30% превышающих используемые в расчетах параметры [1].

Материалы, применяемые при изготовлении и восстановлении шипов крестовин, не в состоянии обеспечить комплекс физико-механических свойств, необходимых для длительной эксплуатации карданных шарниров качения. Наиболее высокой износостойкостью среди серийно выпускаемых материалов, наносимых метода-

ми наплавки или напыления, обладают покрытия из самофлюсующихся сплавов. Уступая по пределу контактной выносливости на 20 – 25% закаленным и цементированным сплавам, они по износостойкости значительно превосходят стали 18ХГТ, 15ХГН2ТА, 55ПШ, традиционно применяемые при изготовлении крестовин карданного шарнира (в 2 – 4 раза в условиях граничного трения и на 25 – 50% – при абразивном изнашивании).

При выборе рационального способа нанесения покрытий из самофлюсующихся сплавов на изношенные поверхности шипов крестовины карданного шарнира учитывались следующие параметры: качество получаемого покрытия (прочность сцепления), сохраняемость наследственных свойств исходного порошка в оплавленных слоях, технико-экономические показатели плазменного и газопламенного методов нанесения этих материалов. Результаты измерения плотности, прочности сцепления, металлографические исследования структуры и микротвердости были практически идентичными для слоев, полученных обоими методами после оплавления. При сравнении плазменного и газопламенного напыления принимались во внимание производительность, коэффициент использования порошка, время и стоимость восстановления крестовины карданного шарнира автомобиля.

Технико-экономический анализ показал, что оптимальным методом нанесения покрытий из самофлюсующихся сплавов на поверхности крестовин карданного шарнира как в условиях восстановления, так и при изготовлении новых деталей является газопламенное напыление с использованием универсального термораспылительного оборудования «ТЕРКО» конструкции Института механики и надежности машин Национальной академии наук Беларуси [2].

Технологический процесс восстановления крестовин включает следующие операции: отжиг детали, удаление изношенного слоя, нарезание «рваной резьбы» или дробеструйную обработку, газотермическое напыление самофлюсующимся сплавом, предварительное шлифование для уменьшения припуска на механическую обработку, оплавление нанесенного покрытия, термическую и окончательную механическую обработку восстановленной детали [3].

Для обеспечения необходимых прочностных показателей сердцевины крестовины после нанесения износостойкого покрытия детали подвергались термической обработке. Вследствие различных коэффициентов линейного расширения основы крестовины (цементируемых сталей) и покрытия в последнем из-за резкого градиента температуры

при закалке на масло возникали микротрещины шириной до 0,08 мм. В целях предотвращения этого явления определены оптимальные режимы изотермической закалки, обеспечивающие сохранение высокой износостойкости напыленных покрытий без микротрещин, и необходимые прочностные показатели основного металла крестовины карданного вала (от 1110 – 1130 К до 630 – 770 К в зависимости от материала крестовины) [4].

Разработка конструкции самосмазывающегося карданного подшипника скольжения осуществлялась следующим образом: рассчитывались максимально возможные значения давлений, скоростей и температур, возникающих на трущихся поверхностях карданного шарнира, определялся материал рабочей поверхности подшипника скольжения и разрабатывалась технология его изготовления.

Расчет показал, что максимальные значения давлений находятся в пределах 30–85 МПа и зависят от геометрических параметров и нагруженности карданной передачи отечественных автомобилей (см. таблицу 1).

Таблица 1. Результаты расчета максимального давления и максимальной скорости скольжения карданных шарниров отечественных автомобилей

Автомобиль	Крутящий момент, Н·м	Максимальная скорость вращения кард. вала, 1/мин	Размеры шарнира скольжения		Давление, МПа	Максимальная скорость скольжения, м/с
			диаметр шипа, мм	длина, мм		
ВАЗ-2111	116	5600	14,725	10	50,4	0,22
Москвич-2140	116	5800	15,230	14	31,9	0,23
ГАЗ-3110	182	5300	16,300	14	38,6	0,23
ГАЗ-3307	300	3200	22,00	18	69,8	0,25
ЗИЛ-534330	716	3300	25,00	18	78,9	0,29
КамАЗ-53215	834	2600	33,65	18	80,6	0,31
МАЗ-5336	667	3462	33,65	18	61,2	0,41
МАЗ-6303	1225	3239	33,65	18	84,0	0,38
БелАЗ-7540	1550	3300	45,00	24	47,9	0,38
БелАЗ-7547	1960	3300	45,00	24	60,4	0,52

Формула для определения скорости скольжения в карданном шарнире выведена при дифференцировании функции угла относительного перемещения шипов крестовины по отношению к вилке ведущего вала. Расчетная величина скоростей скольжения у карданных шарниров отечественных автомобилей составляет 0,2 – 0,4 м/с.

Нормальный тепловой режим при установившейся работе подшипника обеспечивает стабильность физико-механических свойств материалов пары трения и геометрических размеров подшипника. Максимальную температуру на рабочей поверхности определяли как сумму средней температуры поверхности трения и температурной вспышки на пятне контакта. Так как максимальная скорость скольжения трущихся поверхностей не превышает 0,4 м/с, то значениями температурных вспышек можно пренебречь.

Температуру в рабочей зоне подшипника определяли из уравнения теплового баланса

$$Q = Q_k + Q_b, \quad (1)$$

где Q – количество тепла, выделившегося на поверхности трения в единицу времени при эксплуатации шарнира; Q_k и Q_b – количество тепла, отводимого через корпус подшипника и вал в единицу времени соответственно.

Температура в рабочей зоне подшипника при отводе тепла через корпус

$$t_{нк} = \frac{8,43 \cdot l \cdot d \cdot f}{\kappa \cdot F} \cdot p \cdot V + t_a \quad (2)$$

и при отводе через шип крестовины

$$t_{нк} = \frac{8,43 \cdot l \cdot d \cdot f \cdot T}{G \cdot c + 0,5 F_1 \cdot \kappa T_1} \cdot p \cdot V + t_a, \quad (3)$$

где l – длина подшипника, мм; d – диаметр шипа крестовины, мм; f – коэффициент трения; κ – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К; F – наружная теплоотводящая поверхность корпуса подшипника, м²; p – среднее давление, МПа; V – скорость скольжения, м/с; t_b – температура окружающей среды, К; G и F_1 – масса (кг) и площадь поверхности (м²) той части длины шипа, которая расположена по обе стороны от подшипника соответственно; c – теплоемкость материала вала, кДж/кг·К; T – время непрерывной работы подшипника, ч; T_1 – общее время работы подшипника с перерывами смены, ч.

Подставляя численные значения в (2) и (3), получим

$$t_{нк} = 349,2 \text{ К}; \quad t_{нк} = t_{нк} = 349,2 \text{ К}; \quad t_{нк} = 362,6 \text{ К}.$$

Таким образом, как в случае втулки с антифрикционным самосмазывающимся органоволокнитом, запрессованной в корпус подшипника, так и «плавающей» втулки, максимально возможная температура в зоне контакта меньше предельно допустимой для этого материала (480 К).

В результате анализа численных значений давлений, скоростей и температур в зоне трения и с учетом физико-механических свойств отечественных самосмазывающихся материалов установлено, что такие условия работы в состоянии выдержать композиции на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ). В настоящее время среди серийно выпускаемых этих материалов наилучшими свойствами обладают металлофторопластовая лента (МФЛ) и антифрикционные самосмазывающиеся органоволокниты (АСО).

Исследование деформации этих материалов в зависимости от контактных давлений, а также температур и коэффициентов трения от нагрузки и скорости показало, что покрытия из органоволокнитов имеют в 1,4 – 1,6 раз более высокие характеристики, чем металлофторопластовая лента. Изучение изнашивания образцов при постоянной скорости скольжения 0,1 м/с и давлениях 30 и 60 МПа (значения pV равны 3 и 6 МПа·м/с соответственно) показало, что поверхностный слой металлофторопластовой ленты полностью изнашивается после 4 – 5 км пути трения. Органоволокниты на первом этапе (в период приработки) изнашиваются интенсивнее, чем МФЛ, затем износ стабилизируется, а его интенсивность значительно ниже, чем у металлофторопластовой ленты (рис. 1). В этих условиях покрытия из АСО оставались работоспособными достаточно длительное время.

Таким образом, покрытия из антифрикционных самосмазывающихся органоволокнитов имеют более высокие характеристики и являются лучшими из серийно выпускаемых материалов для подшипников скольжения карданных шарниров. Их износостойкость определяется условиями нагружения, свойствами материала, геометрией узла трения и шероховатостью поверхности контртела. Исследования изнашивания покрытий при скоростях скольжения 0,2 – 0,5 м/с и давлениях 30 – 60 МПа показали, что для обеспечения минимального износа АСО шероховатость поверхности контртела должна быть не более 0,1 – 0,2 мкм (рис. 2).

Анализ существующих технологических процессов получения покрытий из органоволокнитов на деталях машин позволил выбрать оптимальную технологию изготовления подшипников скольжения карданных шарниров.

Подготовительные операции включают обработку антиадгезивом оправки, формирующей рабочую поверхность подшипника, создание шероховатости поверхности (R_z 40), обезжиривание ее бензином или ацетоном, нанесение слоя клея ГИПК – 114А.

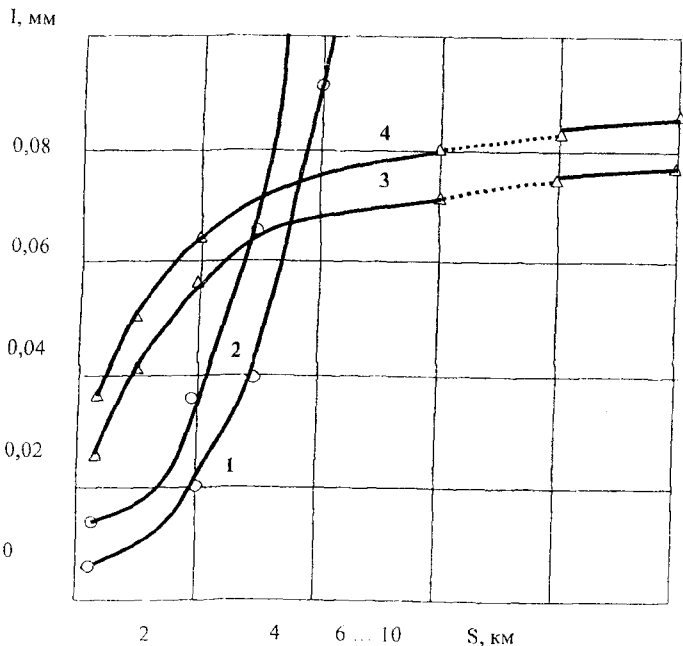


Рис. 1. Износ образцов из МФЛ и АСО от пути трения ($V=0,2$ м/с): 1, 2 – МФЛ; 3, 4 – АСО; 1, 3 – 30 МПа; 2, 4 – 60 МПа

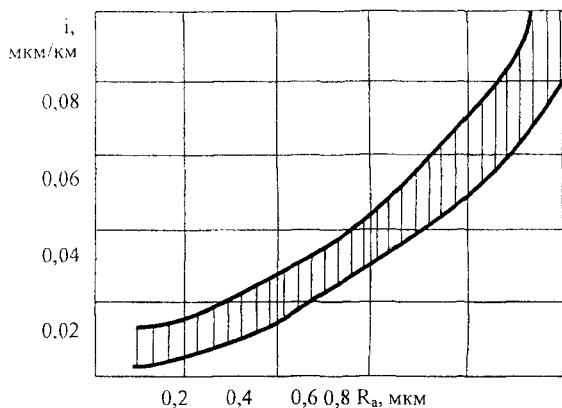


Рис. 2. Интенсивность изнашивания АСО в диапазоне давлений 30–60 МПа и скоростей скольжения 0,2 – 0,5 м/с в зависимости от шероховатости поверхности

Основная операция технологического процесса заключается в приклеивании предварительно вырезанной по шаблону технической ткани (ТУ 37.006-141-85) на внутреннюю поверхность втулки. При этом ткань укладывается на несущую основу таким образом, чтобы темные нити политетрафторэтилена, образующие лицевую сторону, формировали рабочую поверхность. Затем ткань фиксируется на несущей основе оправкой под давлением 0,3 – 0,5 МПа и выдерживается в течение 2 – 2,5 часов при температуре 473 К. Готовое покрытие должно иметь толщину $0,5 \pm 0,01$ мм. Заключительная операция состоит в охлаждении детали с покрытием, распрессовке изделия, обрезке краев организоволокнита и контроле качества подшипника скольжения.

Изучение работоспособности шарниров качения и скольжения проводилось на стенде для испытания карданных валов в сборе на изнашивание по замкнутому контуру. Установлено, что по сравнению с новыми шарнирами качения традиционно применяемая технология восстановления наплавкой проволокой 65Г с последующей термообработкой по работоспособности уступает ей (на 45 %), а восстановленные крестовины методом напыления самофлюсующимися сплавами с последующим оплавлением находятся на уровне серийных карданных шарниров, что позволяет рекомендовать эту технологию для легковых

автомобилей ВАЗ, АЗЛК и др. Наибольшая работоспособность (минимальное значение температуры трущихся поверхностей) получена при испытаниях карданных шарниров скольжения, состоящих из запрессованных втулок, с внутренней стороны которых нанесены покрытия антифрикционных самосмазывающихся органоволокнистов, и крестовин, упрочненных напылением самофлюсующимся сплавом ПП-10Н-01.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савич Е.Л., Болбас М.М., Ярошевич В.К. Техническое обслуживание и ремонт легковых автомобилей. – Мн.: Выш. шк., 2001.
2. Белоцерковский М.А. Разработка экономичного и высокоэффективного оборудования для газопламенного напыления// Наука производству. – 1999. – № 6 (19).
3. M.Bolbas, V.Iaroshevich, G.Koralevski. Restoring and hardening of car cardan joints// Folia Societatis Scientiarum Lublinensis. Vol. 7. 1998.
4. Ярошевич В.К., Вираватна Дж.Г. Повышение долговечности крестовин карданных передач автомобилей // Конструирование и эксплуатация автомобилей и тракторов. Вып.1. – Мн.: Выш. шк., 1986.

УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОТОКОМ ЧАСТИЦ И НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ, УСКОРЕННЫХ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА

О.В. Роман, Е.А. Дорошкевич, В.И. Овчинников, О.И. Коваль
БГНПК ПМ НАНБ НИИ импульсных процессов с ОП
(г. Минск, Республика Беларусь)

Steel reinforcement by high-energy pulse loading method

Results of hardness and wear resistance of composite materials on basis steels 10, 40, P6M5, received by a dynamic doping method are submitted. Increase of wear resistance of strengthened tool steel P6M5 in 1,6-1,8 times in comparison with not processed is registered. The new