

Тополянский П.А., Соснин Н.А., Ермаков С.А. Разработка технологии плазменной наплавки вилки карданной муфты. //Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. Материалы 4-й Всероссийской практической конференции 16-18 апреля 2002 г. Санкт-Петербург. Изд. СПбГТУ, 2002, С. 76-83

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ВИЛКИ КАРДАННОЙ МУФТЫ

ТОПОЛЯНСКИЙ П.А., СОСНИН Н.А., ЕРМАКОВ С.А.
СПбГТУ, НПФ «Плазмацентр», Санкт-Петербург, Россия

Описание работы узла трения

Карданная муфта является шарнирным звеном, связывающим вал тягового двигателя с валом малой шестерни редуктора. Она предназначена для передачи крутящего момента от двигателя на редуктор колесной пары.

Одной из изнашиваемых деталей карданной муфты является вилка, поверхности пазов которой контактируют с роликом кулачка. Трущиеся поверхности, где происходит контакт ролика с вилкой, имеют наплавленные и шлифованные площадки из твердого сплава сормайт Пр-С1, ГОСТ 21449-75 (газовая наплавка материалом в виде литого прутка по инструкции № ИП-142М3) или наплавленные методом плазменно-дуговой наплавки материалом ПР-НХ16СР3, ТУ 14-22-33-90. Согласно требованиям чертежа допускается после шлифовки поверхности наплавленной сормайтом наличие пор диаметром до 1 мм в количестве не более 4 шт. на 1 см². Допустимый износ опорных поверхностей вилки во время эксплуатации (при необходимом ресурсе 360000 км) – 0,3 мм, фактический износ поверхностей вилки, наплавленных материалом ПР-НХ16СР3, составляет более 1 мм. Рассматриваемый узел трения эксплуатируется в смеси консистентной смазки 1-13 или ЛЗ-ЦНИИ с маслом для гипоидных передач или ТАП-13 в сочетании 3:2.

Материал ролика контактируемого с наплавленными поверхностями вилки – сталь 18Х2Н4ВА ГОСТ 4543-71 цементированная с твердостью HRC \geq 58. Внутренний диаметр кольца контактирует с сорока двумя иглами, выполняя роль наружного кольца подшипника качения.

Химический состав сормайта (У30Х28Н4С3): С - 2,5-3,5; Cr - 25-31; Ni - 3-5; Mn - до 1,5; Si - 2,8-4,2; Fe - остальное. Твердость сормайта - HRC 48-54. Микроструктура сормайта состоит из твердого раствора с включениями избыточных карбидов. Сормайт представляет собой высоколегированный заэвтектический чугун.

Основное применение сормайта - наплавка деталей испытывающих абразивное изнашивание и коррозию в среде нефтепродуктов, пара, наплавка рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Химический состав порошка ПР-НХ16СРЗ: С - 0,6-0,9; Cr -15-17; Si - 2,7-3,7; В - 2,3-3,0; Fe - до 5,0; Ni - остальное. Твердость ПР-НХ16СРЗ – не менее HRC 47-57. Микроструктура сплавов на основе “никель-хром-бор-кремний” состоит из твёрдого раствора на основе никеля (HV 1500-2400), никелевой эвтектики (HV 565-820), карбидов хрома (HV 1080-1450), боридов хрома и никеля (HV 1500-2400) и соединений типа карбоборидов (HV 2800-3800). Этот сплав имеет повышенную прочность (временное сопротивление σ_B не менее 400 МПа), более низкую температуру плавления, чем основной металл (1020-1100°С), обладает прекрасной текучестью, способностью удерживать частицы твёрдой фазы, высокой устойчивостью к воздействию кислот, щелочей и других активных веществ. Наличие в его составе таких элементов-раскислителей, как бор и кремний способствует самофлюсованию (при плавлении они связывают кислород, образуя боросиликатные шлаки B_2O_3 , SiO_2 , легко всплывающие на поверхность покрытия) и хорошей смачиваемости поверхности. Основное применение порошка ПР-НХ16СРЗ - в качестве покрытий поверхностей деталей работающих в условиях абразивного износа и умеренных ударных нагрузок.

Классификация вида изнашивания рассматриваемой пары трения

Вид износа опорных поверхностей вилки карданной муфты - изнашивание при хрупком разрушении. Оно наблюдается в тех случаях, когда поверхностный слой одной из деталей в результате трения сопровождающегося пластическими деформациями, интенсивно наклепывается и становится хрупким. Хрупкий слой разрушается, обнажая лежащий под ним менее хрупкий слой металла. Затем это явление повторяется, придавая, таким образом, изнашиванию циклический характер. Хрупкость может возникнуть также вследствие поверхностной усталости или при обогащении поверхности твердыми структурными составляющими наплавляемого материала ПР-НХ16СРЗ, что наблюдается вследствие разных скоростей изнашивания микрообъемов металла, а также структурных превращений металла поверхности от нагрева при трении. При трении качения, а также при совмещенном трении, когда наблюдаются многократно повторяющиеся высокие контактные напряжения, возникает усталость металла поверхностных слоев с последующим образованием микротрещин, единичных или групповых впадин. Такое изнашивание также называют контактной усталостью. Допустимость по чертежу

минимальной пористости, а также повышенная склонность при плазменно-дуговой наплавке материала ПР-НХ16СРЗ к образованию сетки трещин способствует ускоренному возникновению усталостных трещин. Благоприятным фактором для развития усталостных трещин и последующего разрушения покрытия являются и образуемые на рабочих поверхностях после наплавки и окончательной операции шлифования растягивающие напряжения.

Основные критерии (параметры) узла трения, отвечающие за износостойкость и рекомендуемые материалы для наплавки

К основным критериям оптимального выбора материалов пар трения и технологии его нанесения относятся:

- химический состав, структура и фазовый состав материала покрытия;
- твердость поверхности наплавленного слоя (в зависимости от количества слоев наплавки и скорости охлаждения она может быть различной);
- параметры шероховатости поверхности после шлифования;
- знак остаточных напряжений на рабочих поверхностях (остаточные напряжения сжатия уменьшают образование усталостных трещин).

Условия работы рассматриваемой пары трения могут быть отнесены к следующим трем группам по международной классификации:

- качение металла по металлу (вид изнашивания - трение качения, пример аналога - подшипники качения, колесные пары);
- трение металла по металлу со смазочным материалом (вид изнашивания - изнашивание сопряженных пар, пример аналога - валы, оси, кулачек-распределительный вал);
- износ при граничной смазке (вид изнашивания - контактная усталость, пример аналога - зубья шестерен).

Известно, что свойства наплавленного металла определяются составом материала и наличием в нем упрочняющих фаз. Феррит - наименее благоприятная фазовая составляющая основы, поскольку имеет невысокие твердость, износостойкость, вязкость и сопротивление разрушению. Он может находиться в износостойком наплавленном металле при наличии мартенсита и небольшого количества упрочняющей фазы. Наилучшей основой наплавленного металла при абразивном, ударно-абразивном, газоабразивном, гидроабразивном изнашивании, кавитации, коррозионно-механическом разрушении является смесь аустенита с

мартенситом. При этом в зависимости от ударных нагрузок количество аустенита и мартенсита должно быть различным. Чем больше ударных нагрузок, тем больше в сплаве должно быть аустенита. В этом случае желательно, чтобы мартенсит был низкоуглеродистым (может быть благодаря связыванию углерода карбидообразующими элементами). Количество и тип карбидов или других твердых составляющих влияет на абразивное изнашивание. При отсутствии абразива в сопряженных парах трения (в том числе и для рассматриваемой пары трения) износостойкость может быть обеспечена при наличии в структуре наплавленного металла мартенсита или мартенсита с небольшим количеством мелких карбидов.

Исходя из приведенных положений, а также отечественного и зарубежного опыта рекомендуется следующий ориентировочный фазовый и химический состав наплавленного металла в зависимости от условий работы конкретной пары трения (выбор конкретного материала покрытия определяется после проведения испытаний работоспособности детали с покрытием в условиях эксплуатации):

- применительно к первой группе: фазовый состав – 90 % мартенсита и 10 % карбидов; химический состав - $C \leq 1$, $Cr \leq 15$, Ni , Mo , W . Пример электродов для ручной дуговой сварки - ОМГ-Н (65Х11Н3), проволоки для сварки в CO_2 ПП-АН103 (200Х12М);

- для второй группы: фазовый состав - 90-100 % мартенсита и 0-10 % карбидов; химический состав - $C \leq 0,5$; $Cr \leq 5$; $Mn \leq 3$; Ni . Пример электродов - ЭН-60М (70Х3СМТ), проволоки - ПП - 25Х5ФМС, ПП- АН122 (30Х5Г2СМ);

- для третьей группы: фазовый состав - 90-100 % мартенсита, 0-10 % карбидов или 70-80 % феррита и 20-30 % карбидов; химический состав - $C \leq 0,5$, Cr , Mn ; для ферритной матрицы - $C \leq 1,2$; Cr , Mn . Пример электрода - НР-70 (30Г2ХМ), ОЗИ-3 (90Х4М4ВФ), проволоки - ПП-АН126 (20Х2Г2СТ).

Применяемые в настоящий момент материалы для наплавки, а именно сормайт Пр-С1 и ПР-НХ16СР3, не удовлетворяют указанным требованиям по фазовому и химическому составу наплавленного металла. Данные материалы не обеспечивают при плазменно-порошковой наплавке заявленной в ТУ твердости наплавленных покрытий. Они также неэффективны в связи с допустимостью получаемой сетки трещин и пористости при применении существующей технологии.

В качестве материала для плазменной наплавки вилок карданной муфты может быть рекомендован порошковый материал Х5, имеющий состав по ТУ 348-90: C 0,7 %; Cr 4,8-5,5 %; V 1,0-1,3 %;

Mo 3,5-4,2 %; Mn 0,9-1,2 %; Si 0,6-0,8 %; Nb -0,3-0,5 %; В 0,2-0,35 %; твердость по ТУ348-90 HRC 60-62. Возможно также применение порошкового материала ПР-Х4ГСР (ПР-Х4Г2Р4С2ФЮД) ТУ 14-22-33-90; твердость по ТУ HRC 58-60.

Твердость детали, сопряженной с роликом (имеющим твердость цементированной поверхности HRC 60-62), должна быть на несколько единиц HRC меньше. Этим условиям отвечает рекомендуемые выше порошковые материалы.

С точки зрения образования усталостных трещин, способствующих разрушению восстановительной наплавки, на поверхности необходимо обеспечить создание сжимающих остаточных напряжений. После предшествующих операций наплавки и шлифования на поверхности образуются растягивающие напряжения. С целью перевода их в сжимающие напряжения предусматривается финишная упрочняющая обработка, например, с использованием процессов поверхностного пластического деформирования или рекомендуемого в последнее время процесса финишного плазменного упрочнения.

Сравнительные характеристики и свойства восстановительной наплавки применительно к вилкам карданной муфты

Ниже представлены некоторые результаты проведенных экспериментальных исследований по наплавке образцов. При этом применялись используемые наплавляемые материалы - порошок ПР-НХ16СР3 и прутки сормайта Пр-С1. На ряде образцов были смоделированы условия и режимы используемых процессов плазменной и газовой наплавки, в частности плазменная наплавка велась наклонной дугой с дистанцией 14-16 мм.

Измерения твердости наплавленного слоя проводились на стандартном приборе ТР-5006 по методу Роквелла.

Исследования показали следующее.

При использовании газовой наплавки прутками сормайта Пр-С1 в образцах наблюдались поры (см. рис. 2, 4). Применение сормайта в качестве абразивостойкого покрытия допускает наличие некоторой пористости в наплавленном слое. Для рассматриваемых условий эксплуатации вилки карданной муфты, подверженной усталостному разрушению, дефекты в виде пористости провоцируют образование трещин в наплавленном слое и разрушение покрытия.

Замеры твердости наплавленного сормайтом слоя показали среднее значение HRC 52.

При плазменной наплавке образцов с использованием порошка ПР-НХ16СР3 наблюдалось удовлетворительное

формирование наплавленного слоя (рис.1, 3). В то же время, при рассмотрении и анализе реальных вилок карданной муфты, наплавленных данным порошком, визуально (с увеличением $\times 7$) отмечена сетка мелких трещин, что объясняется значительной чувствительностью данного материала к термическому циклу наплавки. Выдержать оптимальный термический цикл при ручной плазменной наплавке весьма сложно, что предопределяет опасность образования трещин в наплавленном слое в условиях производства. Образующаяся сетка трещин способствует разрушению покрытия в процессе эксплуатации. Замеры твердости наплавленных образцов показали большой разброс результатов (в ряде случаев твердость составляла порядка HRC 30), что связано с различием в термических циклах и неравномерностью фазового состава покрытия.

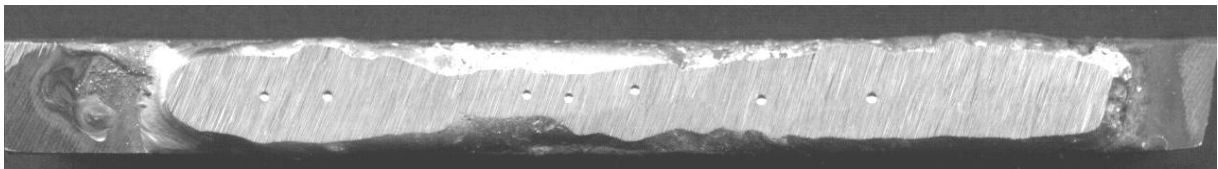
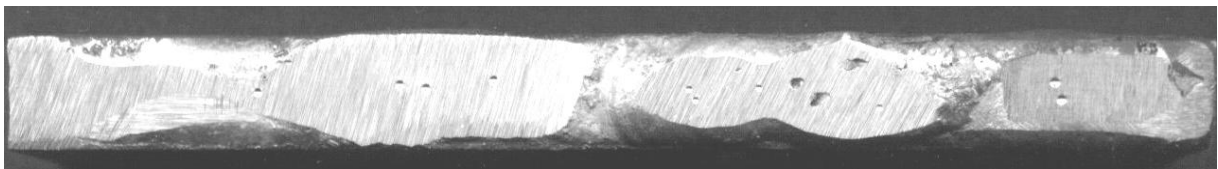


Рис. 1. Поверхность образца, наплавленного порошком ПР-НХ16СР3 методом плазменной наплавки

а)



б)

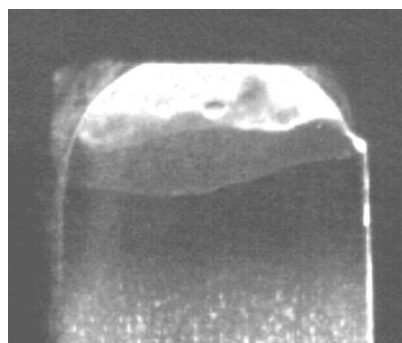


Рис. 2. Поверхность (а) и поперечный шлиф (б) образца, наплавленного прутком сормайта Пр-С1 (газовая наплавка) по слою, наплавленному порошком ПР-НХ16СР3 (плазменная наплавка)

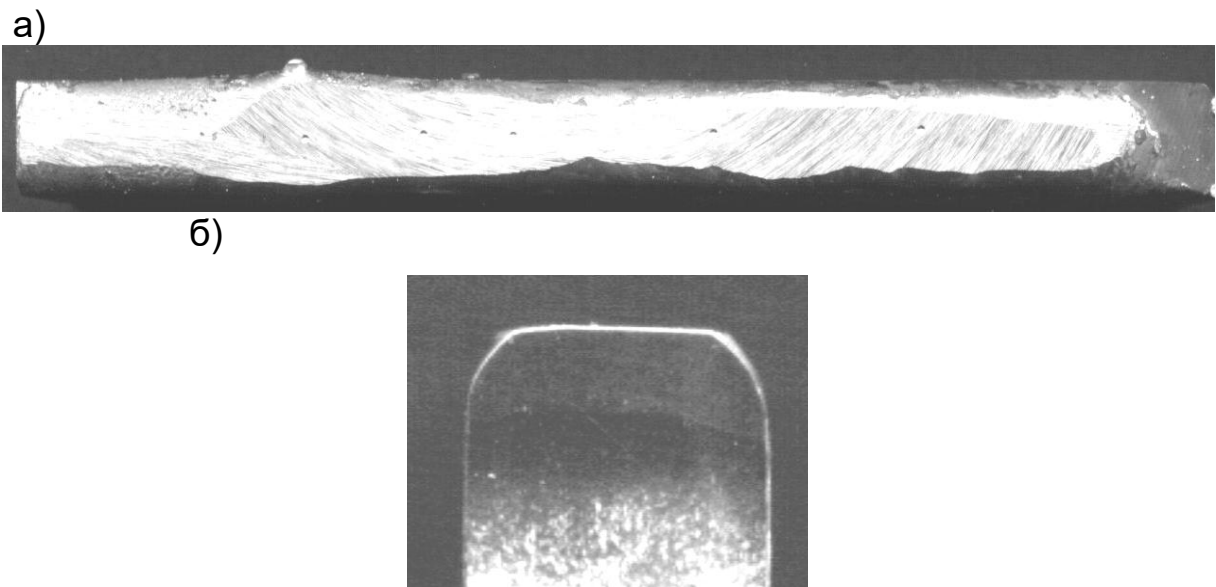


Рис. 3. Поверхность (а) и поперечный шлиф (б) образца, наплавленного порошком ПР-НХ16СР3 методом плазменной наплавки

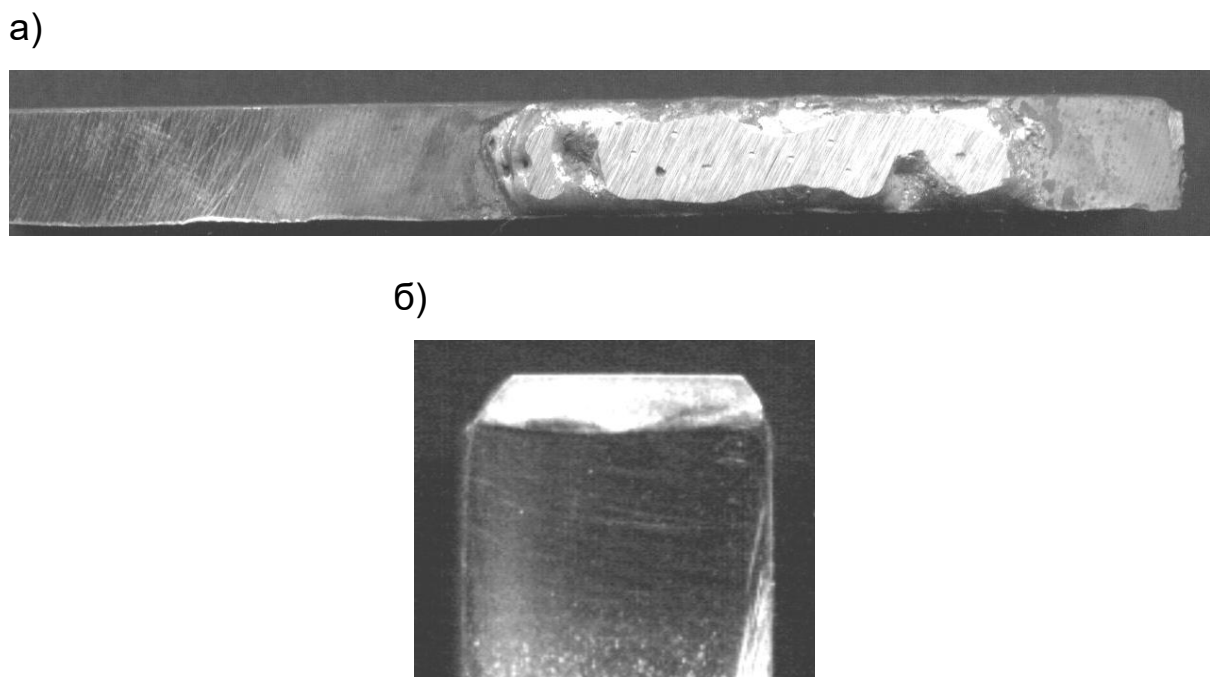
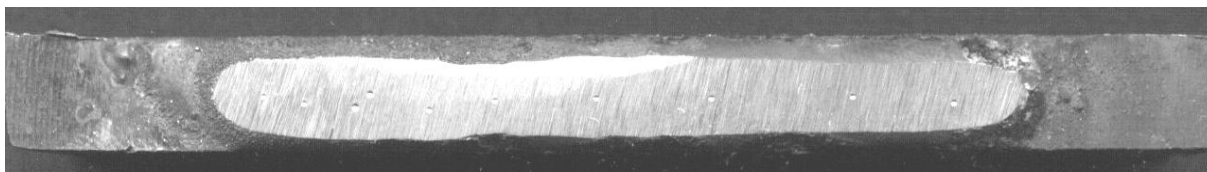


Рис. 4. Поверхность (а) и поперечный шлиф (б) образца, наплавленного прутком сормайта Пр-С1 методом газовой наплавки

а)



б)

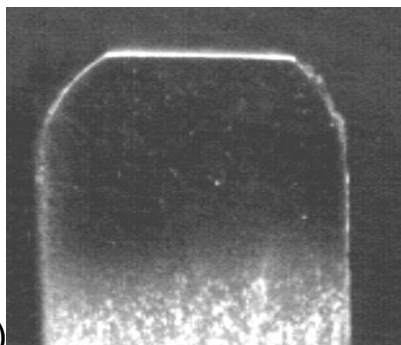


Рис. 5. Поверхность (а) и поперечный шлиф (б) образца, наплавленного порошком X5 методом плазменной наплавки

Плазменная наплавка порошка X5 (рис. 5) показала хорошее формирование покрытия. Замеры твердости дали сравнительно небольшой разброс результатов, среднее значение HRC 58.

Выводы

1. С точки зрения условий эксплуатации рассматриваемой пары трения необходимо использовать материал для восстановительной и первоначальной наплавки характеризующийся повышенной твердостью не менее HRC 55-60, имеющий небольшое количество хрупких карбидных фаз и равномерное распределение твердых структурных составляющих в матрице.
2. Для восстановительной наплавки обязательным условием является полное снятие (удаление) предыдущего наплавленного слоя.
3. В качестве рекомендуемого материала может быть использован порошковый материал X5 (C 0,7 %; Cr 4,8-5,5 %; V 1,0-1,3 %; Mo 3,5-4,2 %; Mn 0,9-1,2 %; Si 0,6-0,8 %; Nb -0,3-0,5 %; B 0,2-0,35 %) ТУ 348-90 или ПР-Х4ГСР (ПР-Х4Г2Р4С2ФЮД) ТУ 14-22-33-90.
4. Исключить из технических требований чертежа на вилку карданной муфты допустимость пористости, способствующей повышенной склонности к образованию усталостных трещин.
5. Обеспечить проведение финишной операции, способствующей созданию сжимающих напряжений на рабочих поверхностях - технологии финишного плазменного упрочнения.