

**В.Н. Кропивный, проф, канд. техн. наук, Ю.В. Кулешков проф, канд. техн. наук,
В.В. Русских, инж.**

Кировоградский национальный технический университет

Основные принципы выбора материала для восстановления и упрочнения шестерен насосов НШ контактной наваркой износостойких композиционных порошковых материалов

В статье предложен принцип выбора материалов для восстановления шестерен насосов НШ под увеличенный ремонтный размер контактной наваркой износостойких композиционных материалов на цементированные поверхности шестерен.

материал, контактная наварка, износостойкий композиционный порошковый материал, микротвердость, прочность сцепления, ударная вязкость, износостойкость, совместимость компонентов, адгезионная связь, активирующие факторы наварки, структура наваренного материала

Исследованиями технического состояния шестерен насосов НШ установлено, что ведущим видом износа является износ абразивными частицами, внедряющимися в более мягкие поверхности сопрягаемых с шестернями деталей.

Традиционно используемые материалы не в полной мере удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, в частности, по износостойкости. Для работы в условиях интенсивного абразивного износа, покрытия должны иметь высокую твердость, сравнимую с твердостью абразива [1]. Создание таких покрытий является, в ряде случаев, наиболее перспективным, а иногда и единственно возможным средством позволяющих увеличить долговечность машин.

Одним из путей решения этой проблемы является контактная наварка износостойких композиционных порошковых материалов (КН ИКПМ), в которых вязкая матрица упрочняется высокоизносостойкими компонентами. Металлокерамические материалы типа карбидов, боридов, нитридов или оксидов, обладая уникальными свойствами в отношении износостойкости, обладают рядом неудовлетворительных качеств, таких как высокая хрупкость, высокое удельное электросопротивление, плохая свариваемость с основой и др.

Цель исследования – предложить принцип выбора материалов для существенного повышения прочности сцепления наваренного покрытия с основой и увеличения ударной вязкости покрытия при КН ИКПМ на цементированные поверхности, в частности вершины зубьев шестерен.

Объект исследования - износостойкие композиционные порошковые материалы для их контактной наварки на цементированные поверхности, в частности на вершины зубьев шестерен.

Предмет исследования - прочность сцепления и ударная вязкость покрытия, нанесенного контактной наваркой из ИКПМ на цементированные поверхности вершин зубьев шестерен.

Для компенсации хрупкости упрочняющей составляющей ИКПМ используют более мягкую и вязкую матрицу [2, 3].

Для повышения электропроводности высокоизносостойких компонентов предлагается использовать частицы порошка, плакирование металлом с высокой электропроводностью [4].

Для повышения качества наносимого покрытия, повышения прочности сцепления и ударной вязкости предлагается использовать ТЦО, которая органично вписывается в предлагаемую технологию КН ИКПМ [5].

Из вышеизложенного следует, что ставится задача нанесения упрочняющего высокоизносостойкого покрытия КН ИКПМ на изношенные вершины зубьев шестерен, способного противостоять абразивному износу и обеспечить необходимую прочность сцепления и ударную вязкость. Указанная задача распадается на две подзадачи - это выбор оптимального состава компонентов матрицы и наполнителя: их соотношения, порядка расположения фаз в наваренном ИКПМ и совместимости компонентов и разработка технологии нанесения ИКПМ.

В данной работе рассмотрены основные принципы выбора материала, которые заложены в основу разрабатываемой технологии восстановления и упрочнения шестерен насосов НШ под увеличенный ремонтный размер.

Системный подход к проектированию состава ИКПМ и КН его на поверхности детали предполагает получение покрытий, обладающих свойствами лучшими по сравнению со свойствами составляющих его компонентов [6].

Проблема совместимости компонентов ИКПМ предусматривает решение двух противоречивых задач: обеспечение высокой адгезии между компонентами предполагает определенное их взаимодействие на стадии КН, и недопустимости интенсивного взаимодействия в условиях последующей эксплуатации, при более низких температурах, зачастую приводящее к взаимному растворению компонентов, возникновению хрупких промежуточных фаз, к потере твердости, прочности и других уникальных свойств составляющих ИКПМ [4, 6].

Совместимостью можно управлять, изменяя состав компонентов, их поверхностными свойствами, технологическими режимами и приемами нанесения ИКПМ, в частности ТЦО покрытия.

Увеличение температуры процесса КН ИКПМ ведет к усилению реакций межфазного взаимодействия, что приводит к интенсивному разрушению упрочняющего наполнителя и негативно влияет на структуру основного металла детали.

Общей тенденцией в развитии КН ИКПМ является применение более низкотемпературных процессов нанесения покрытий, при которых наблюдается твердофазное взаимодействие компонентов ИКПМ, а также использование специальных технологических приемов активизирующих процесс наварки таких, как силовое, температурное, химическое, структурное - плакирование частиц упрочняющей фазы ИКПМ металлами [4, 6], дисперсионное с одновременной ТЦО наваренных покрытий [7].

Согласно современным представлениям, процесс образования адгезионной связи между компонентами протекает в три стадии.

1. Образование физического контакта сближением достаточно большого числа атомов поверхностных слоев соединяемых материалов пластической деформацией их на расстояние, при котором возникает взаимодействие атомов.

2. Активация контактных поверхностей, образование активных центров.

3. Объемное взаимодействие, которое начинается с момента образования активных центров на соединяемых поверхностях, в дальнейшем развивается, как в плоскости контакта с образованием прочных химических или металлических связей, так и в объеме зоны контакта [4].

Замена при КН ИКПМ жидкостных реакций твердофазными - один из путей уменьшения вредного технологического взаимодействия между матрицей и наполнителем. Следует отметить, что нагрев при ТЦО, не превышает 850...900°.

Большое значение на ограничение интенсивного химического взаимодействия, которое приводит к образованию хрупких фаз, оказывает длительность контактирования компонентов. Предпочтительны высокоскоростные технологии

нанесения ИКПМ. Использование ТЦО способствует протеканию диффузионных процессов, помимо этого происходит неоднократная перестройка кристаллической решетки матрицы, результатом чего является измельчение зерна, повышение прочности сцепления и ударной вязкости покрытия.

Для повышения качества нанесенного покрытия: прочности сцепления, ударной вязкости и износостойкости, при разработке технологии КН ИКПМ были реализованы максимальное количество факторов, активирующих процессы КН ИКПМ.

В технологическом аспекте все активирующие факторы, позволяющие влиять на возможность получения покрытия из ИКПМ из разнородных компонентов и их совместимость при КН, можно разделить на пять групп: механические, температурные, химические структурные и дисперсионные [4].

Механические факторы предполагают силовое активирование процесса спекания и наварки ИКПМ. При этом используются различные технологические приемы с применением давления, ультразвуковых колебаний, вибрации, взрыва, центробежных сил, силового активирования сдвигом и т. д.

Температурное активирование может заключаться в быстром, ускоренном нагреве контактным, индукционным и др. методами, изменении тепло-физических свойств компонентов, возбуждении экзотермических реакций.

Химическое активирование состоит во введении в состав покрытий активных присадок, в частности введение в зону КН бора, никеля, кремния изменение химических свойств поверхности компонентов травлением или нанесением покрытий, применение активных атмосфер, в частности использование галогенов [8].

Структурное активирование, под которым будем понимать такое взаимное расположение компонентов, которое способствует необходимых свойств (качеств). Этот фактор решает важнейшую проблему обеспечения электропроводности твердых износостойких компонентов путем плакирования их металлами, например никелем.

Интенсивно разрабатывается новый активизирующий фактор – дисперсионный, под которым понимают использование ультрадисперсных порошковых фракций, порядка 1...10 мкм, обладающих рядом уникальных свойств касающихся повышения способности к спеканию и наварке. Эти свойства объясняются огромной суммарной площадью и высокой поверхностной энергией ультрадисперсного порошка. Одним из способов использования этого феномена является реализация его в качестве плакирующих покрытий, что существенно улучшает электро- и теплопроводность порошка и усиливает их способность к спеканию и наварке [4].

Одновременное применение в технологиях нанесения ИКПМ механического, температурного химического и дисперсионного активирования, а также их многократное повторное использование при ТЦО резко повышает эффективность и качество КН.

Теория трения и износа и экспериментальные исследования рекомендует следующие принципы проектирования износостойких материалов [6].

1. Структура материала должна быть гетерогенной и состоять из твердых зерен, равномерно распределенных в упругопластической матрице. В этом случае приложенная нагрузка действует в основном на включения твердой фазы, а в матрице происходит релаксация напряжений.

2. Структура материала не должна существенно изменяться в процессе трения. Такие изменения допустимы только при повышении ее износостойкости.

3. Между структурными составляющими материала должна существовать адгезионная связь.

4. Коэффициент трения твердых включений между собой и по материалу матрицы должен быть, по возможности, минимальным.

Материалы с гетерогенной, а лучше с неравновесной структурой обладают очень высокой износостойкостью в условиях абразивного изнашивания [9, 10], что обусловлено прочной связью частиц упрочняющих твердых включений с упруго-

пластичной, достаточно износостойкой металлической матрицей [11].

Требования, предъявляемые к упрочняющей фазе в структуре ИКПМ в условиях абразивного изнашивания состоят в высоком содержании в ИКПМ упрочняющей фазы - не менее 50 %, заданная дисперсность порошка в пределах до 100 мкм, ее равномерное распределение в ИКПМ. При этом, твердость частиц в упрочняющей фазе должна быть выше твердости абразива. Расстояние между частицами упрочняющей фазы должны быть меньше размера частиц абразива. Должна быть высокой когезионная связь между компонентами ИКПМ.

Резерв повышения износостойкости наваренных материалов - многокомпонентное легирование твердыми частицами: карбидами, оксидами, боридами, силицидами и нитридами. С точки зрения уровня свойств и доступности более перспективны для использования в качестве наполнителей износостойких ИКПМ карбиды и оксиды [12].

После выбора материалов, исходные свойства которых должны обеспечить получение износостойких ИКПМ, необходимо, рассмотреть вопросы совместимости выбранных компонентов и их термодинамической стабильности. Но помимо этого необходимо обеспечить прочную связь между компонентами ИКПМ. В этом плане не возникает особых проблем для систем «металл – карбид», так как взаимодействие между ними возможно даже при твердофазных процессах.

Использование в качестве наполнителей ИКПМ, предназначенных для КН карбидов металлов объясняется высокой их твердостью и износостойкостью, а также гораздо более высокой электропроводностью по сравнению, например, с оксидами или нитридами. Достаточно высокая электропроводность является одним из основных требований, предъявляемых к материалам, навариваемых КН. Учитывая дефицитность карбида вольфрама, в наших экспериментах в качестве высокоизносостойкого компонента использовали карбиды хрома и титана.

Карбид хрома является одним из самых эффективных материалов, используемых в качестве износостойкого компонента [13] его отличает: высокая износостойкость и твердость, хорошая химическая стабильность, небольшой коэффициент трения, хорошее сцепление с поверхностью материала основы, способность не разрушаться под действием механических и тепловых нагрузок.

Карбид хрома предлагается вносить в состав ИКПМ в виде порошка КХНП-20 (ТУ 48-19-381-85), состоящий из 80% карбида хрома Cr_3C_2 , плакированного 20% никеля, производства НПО «Тулачермет». Микротвердость карбидов хрома составляет $H_{\mu} = 13...19 ГПа$ [12, 14].

Никель способствует упрочнению матрицы и увеличению ее вязкости, выступает, как химический и дисперсионный активатор процесса КН, поскольку находится на поверхности частичек карбида хрома в ультрадисперсном и очень активном состоянии [4] и, наконец, находясь на поверхности частичек карбида хрома резко повышает их электропроводность, что крайне важно для стабильности протекания процесса КН на цементированные поверхности зубьев шестерен. Наличие никеля позволяет снизить растворение карбидов хрома в матрице, улучшить процессы сцепления наполнителя с основой, способствует уменьшению пористости в процессе спекания.

Однако высокая твердость упрочняющей фазы, как правило сопровождается высокой хрупкостью, которая должна компенсироваться более мягкой и вязкой матрицей. По современным представлениям, твердость пластичной матрицы должна быть порядка 4,0...6,0 ГПа, а разница в микротвердости упрочняющих и связующих фаз ИКПМ должна составлять 5,0...7,0 ГПа [2, 3]. Только в этом случае в матрице будет происходить релаксация возникающих напряжений.

Для повышения твердости и прочности матрицы в качестве легирующих элементов чаще всего используются бор, хром и углерод. Структура матрицы должна соответствовать структуре аустенитно-мартенситной стали с твердостью 4,0...4,6 ГПа.

Хром является прекрасным карбидообразующим элементом. Во время спекания углерод из карбидов диффундирует в матрицу и может образовывать новые мелкие карбиды с металлом матрицы и, в первую очередь, с хромом [15, 16, 17]. Опираясь на данные [18, 19] о влиянии хрома на прочность и износостойкость порошков, рекомендуемая концентрация хрома составляет 15...28 %.

Объемное содержание керамического наполнителя для условий абразивного изнашивания, может изменяться в широких пределах - от 20 до 85 % [6]. При этом малый объем твердых фаз в структуре (до 15 %) не обеспечивает существенного повышения износостойкости материала. Кроме того, необходимым свойством использования ИКПМ для КН является достаточный уровень его электропроводности, иначе процесс просто будет невозможен.

Для исследования процесса КН ИКПМ способных успешно противостоять абразивному износу в качестве металлической матрицы наваренного покрытия использовали порошки ПГ-УС-25 ПГ-С27 и ПГ-ФБХ - 6-2, торезского завода наплавочных твердых сплавов, с размером фракции – 30...40 мкм. Химический состав порошков представлен в таблице. Следует отметить, что в состав порошков матрицы в качестве упрочняющего элемента матрицы и химического активатора процесса КН входит бор, который обеспечивает увеличение ее прочности на 15%, микротвердости на 25% и прочности сцепления с основой на 15% . Образование карбидов бора ведет к существенному упрочнению покрытия, ведь микротвердость карбида бора лежит в пределах $H_{\mu} = 42...57 \text{ ГПа}$ [12, 14].

Таблица - Химический состав порошка матрицы

Марка порошка	Содержание элементов в порошке, %										
	C	Cr	Si	Mn	Ni	B	W	Mo	S	P	Fe
ПГ-УС-25	4,5...5,5	38...44	1,5...2,8	менее 2,5	1,0...1,8		-	-	не более 0,07	не более 0,06	остальн 55...43
ПГ-С27	3,6...4,5	25...28	1,0...2,0	0,8...1,5	1,5...2,		0,2...0,4	0,1...0,15	не более 0,07	не более 0,06	остальн 61,5...68
ПГ-ФБХ - 6-2	4,0...4,5	30,0...34,	1,5...1,75	2,0...2,7	-	1,0...1,6			не более 0,07	не более 0,06	остальн 61,5...68

В качестве высокоизносостойкой упрочняющей фазы использовали карбиды титана, микротвердость которого $H_{\mu} = 31...34 \text{ ГПа}$. Автором [20] установлена прямая зависимость между энергоемкостью компонентов, чем отличается карбид титана, и получаемой износостойкостью покрытия. Исследованиями [21] показано, что сплавы, в составе которых карбиды хрома занимают большую долю объема, не обнаружены следы микрорезания при гидроабразивном изнашивании.

Выводы:

1. В статье определены основные принципы выбора материалов для формирования состава ИКПМ для КН на цементированные поверхности, в частности вершины зубьев шестерен при их упрочнении и восстановлении под увеличенный ремонтный размер.

2. Для повышения качества нанесенного покрытия: прочности сцепления, ударной вязкости и износостойкости, при разработке технологии КН ИКПМ были выявлены пять групп факторов, активизирующих процесс наваривания ИКПМ на цементированные поверхности - это механические, температурные, химические структурные и дисперсионные факторы.

3. Эти факторы могут быть легко реализованы при КН ИКПМ и усилены при использовании такого технологического приема, как ТЦО.

4. Определены основные компоненты, из которых предстоит подобрать состав ИКПМ для КН на цементированные поверхности, в частности вершины зубьев шестерен при их упрочнении и восстановлении под увеличенный ремонтный размер.

Список литературы

1. Хрущов М.М. Сопротивление металлов абразивному изнашиванию в зависимости от их твердости Международная конференция по смазке и износу машин. Под ред. А.И. Петрусевича. М.: Машгиз, 1962. – 236 с.

2. Амелин Д.В., Рыморов Е.В. Новые способы восстановления и упрочнения деталей машин электроконтактной наваркой. - М.: "Агропромиздат", 1987. -151 с.

3. Радомысельский И.Д., Сердюк Г.Т., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы. - К.: Техника 1985. -152 с.

4. Черновол М.И. Технологические основы восстановления деталей сельскохозяйственной техники композиционными покрытиями. Дисс. докт. техн. Наук, Кировоград, 1992 г. - 501 с.

5. Патент України № 73242 В23Р6/00, В23К11/06 Спосіб електроконтактного наварювання зносостійких порошкових матеріалів на цементовані клиноподібні поверхні / В.М. Кропивний, В.В. Руських, Ю.В. Кулешков, М.В. Красота, В.В. Саловський, С.О. Магопєць. Опубл. 15.06. 2005. Бюл. № 6.

6. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями; Учебное пособие - К.: Вища школа, 1992. –С. 79-112.

7. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989.- 255 с.

8. Шведков Л.Е., Денисенко Є.Т., Ковенский И.И. Словарь-справочник по порошковой металлургии. К.: Наукова думка. 1982. – 270 с.

9. Николаенко М.Р., Рыморов Е.В., Кузнецов Л.Д. и др. Новые технологические процессы электродуговой и электроконтактной наплавки быстроизнашивающихся деталей строительных и дорожных машин. - М.: ЦНИИТЭИстроймаш, 1976. - 61 с.

10. Радомысельский И.Д., Рыморов В.Е. Уплотняемость и электросопротивление металлических порошков и их смесей при низких давлениях холодного прессования. -Порошковая металлургия, 1976, № 11, с.8 - 12.

11. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник/ И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский и др. - Киев: Наукова думка, 1985, - 624 с.

12. Сайфулин Р.В. Неорганические композиционные материалы. М.: Химия, 1983. – 304 с.

13. Н.Т. Иванов Исследование работоспособности шестеренчатых гидронасосов тракторов. Дис. канд. техн. наук. - Елгава, 1967 -186 с.

14. Добровольский А.Г. Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. -К.: Техника, 1989.-128 с.

15. Власюк Р.З. Грипачевский А.Н., Радомысельский И.Д. Изменение химического и фазового состава частицы Cr_3C_2 находившейся в контакте с железной матрицей при спекании//Порошковая металлургия, 1984. - № 8. с. 28 - 33.

16. Особенности взаимодействия карбидов хрома с матричной фазой на основе железа. / Чепелева В.П., Делеви ВТ., Людвинская Т.А. и др. Порошковая металлургия, 1982. - № 7. - С. 80 - 82.

17. Радомысельский И.Д., Дыменко В.А. Механизм и кинетика растворения Cr_3C_2 находившейся в железе //Порошковая металлургия, 1971. - № 3. С.88 - 92.

18. Кулу П. Износостойкость порошковых материалов и покрытий. - Таллин: Валгус, 1988.-120с.

19. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. - Машиностроение. 1967. - 798 с.

20. Попов Б.С. Исследование изнашивания легированных сплавов. Дис. д.т.н. М. 1973 - 539 с.

21. А.Г. Суслов. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М. «Машиностроение», 1987 – 208 с.

В статті запропоновано принцип вибору матеріалів для відновлення шестерень насосів НШ під збільшений ремонтний розмір контактною наваркою зносостійких композиційних порошкових матеріалів на цементовані поверхні шестерень.

In the article is proposed the principle of materials choice for pumps gears reconstruction of gear pumps for increased repair size used the contact welding of wear-stability composite powder materials on the cemented gears surfaces.

Получено 3.10.05