

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

Кировоградский национальный технический университет

Выбор материала для восстановления и упрочнения шестерен насосов НШ контактной наваркой износостойких композиционных порошковых материалов

В статье предложен состав компонентов износостойких композиционных порошковых 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, износостойкость, состав компонентов, математическое планирование эксперимента

Исследованиями технического состояния шестерен насосов НШ установлено, что ведущим видом износа является абразивный износ частицами, закрепленными в более мягких поверхностях сопрягаемых с шестернями деталей.

Традиционно используемые материалы уже не 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]. Микротвердость абразива оценивается в зависимости от состава и лежит в пределах 6...16 ГПа. 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 хрупкость нанесенных покрытий.

Цель исследования – определить состав износостойкого композиционного порошкового материала для обеспечения повышения качества восстановления и упрочнения цементированных поверхностей вершины зубьев шестерен при контактной наварке, в частности прочности сцепления и микротвердости.

Объект исследования – состав износостойких композиционных порошковых материалов для восстановления цементированных поверхностей вершин зубьев шестерен насосов НШ.

Предмет исследования прочность сцепления и микротвердость нанесенного контактной наваркой покрытия из ИКПМ на цементированные поверхности вершин зубьев шестерен насосов НШ.

Для компенсации хрупкости упрочняющей составляющей ИКПМ использовали 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 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].

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

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.

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 представлены результаты выбора состава ИКПМ для восстановления и упрочнения цементированных вершин зубьев шестерен контактной наваркой.

Требования, предъявляемые к упрочняющей фазе в структуре ИКПМ в условиях абразивного изнашивания состоят в следующем: высокое содержание в ИКПМ, не менее 50 %, заданная дисперсность до 100 мкм и ее равномерное распределение, твердость частиц упрочняющих компонентов должна быть выше твердости абразива, расстояние между частицами 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 [6].

Одной из основных задач являлся выбор составляющих ИКПМ, при которых наваренное покрытие способно противостоять абразивному износу.

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 [7] 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 $H_{\mu} = 13...19 \text{ ГПа}$ [7, 8].

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...6 ГПа, а разница в микротвердости упрочняющих и связующих фаз ИКПМ должна составлять 5...7 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...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 [9, 10, 11]. Опираясь на данные [12, 13] 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 % [14]. 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 1.

Вначале выбрали состав матрицы. В качестве параметра оптимизации была принята прочность сцепления покрытия с основой – цементированной вершиной зуба шестерни. Контактную наварку проводили при следующих режимах: величина импульса тока - $I=16,0$ кА, давление прессования ИКПМ - $P=35$ МПа, продолжительности импульса $t = 0,45$ с и число циклов при термоциклической обработке (ТЦО) – $n = 5$.

Таблица 1 - 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

Результаты экспериментальных исследований КН ИКПМ на цементированные поверхности вершин зубьев шестерен, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что в качестве матрицы предпочтительнее оказался порошок ПГ-ФБХ -6-2. Покрытия, наносимые КН ИКПМ, в состав которого в качестве матрицы выбран порошок ПГ-ФБХ-6-2 обладают прочностью сцепления на 12,5% выше по сравнению с ИКПМ с матрицей из порошка ПГ-С27.

Таблица 2 - Результаты исследований ИКПМ на прочность сцепления при КН на цементированные зубья шестерен в зависимости от состава матрицы

Марка порошка матрицы ИКПМ	Процентное содержание порошка матрицы в ИКПМ %	Состав упрочняющей фазы в %		Прочность сцепления с основой МПа
		КХНП-20	TiC	
ПГ -УС-25	50	35	15	165
ПГ- С27	50	35	15	175
ПГ-ФБХ -6-2	50	35	15	200

Следует отметить, что в состав порошков матрицы ПГ-ФБХ -6-2 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 $H_{\mu} = 42...57 \text{ ГПа}$ [6, 7].

Выбрав матрицу покрытия, дальнейшие исследования были направлены на определение процентного содержания упрочняющей фазы в составе ИКПМ методом математического планирования многофакторного эксперимента.

В качестве высокоизносостойкой упрочняющей фазы помимо карбида хрома использовали карбиды титана, микротвердость которого $H_{\mu} = 31...34 \text{ ГПа}$. Автором [16] установлена прямая зависимость между энергоемкостью компонентов, чем отличается карбид титана, и получаемой износостойкостью покрытия. Исследованиями [16] показано, что сплавы, в составе которых карбиды хрома занимают большую долю объема, не обнаружены следы микрорезания при гидроабразивном изнашивании.

Гранулометрический состав порошков вносимых в состав ИКПМ лежит в пределах 30...40 мкм.

Процентное содержание упрочняющих компонентов определяли методом математического планирования эксперимента.

В качестве независимых факторов было выбрано процентное содержание порошка, используемого в качестве матрицы - ПГ-ФБХ -6-2 и упрочняющих порошков – порошка КХНП-20 состоящего из 80% карбида хрома Cr_3C_2 , плакированного 20% никеля и карбида титана TiC в составе ИКПМ.

В качестве параметра оптимизации был выбран параметр, во многом определяющий износостойкость покрытия при восстановлении и упрочнении зубьев шестерен такие - среднее значение микротвердости.

Уровни варьирования порошков, входящих в состав ИКПМ лежат в следующих границах:

- матрица порошок ПГ-ФБХ-6-2 40...60 %
- КХНП-20 30...50 %
- TiC 10...30 %

При математическом планировании эксперимента в качестве модели была

выбрана специальная кубическая модель, часто используемая при проведении математического планирования экспериментов, связанного с определением составов [17].

Была получена модель зависимости микротвердости Н от составляющих ИКПМ вида:

$$H = 9,0107 * Matriza + 10,9198 * Cr_2C_3 + 24,0107 * TiC + 3,86101 * Matriza * Cr_2C_3 - 17,9572 * Matriza * TiC + 21,861 * Cr_2C_3 * TiC \quad (1)$$

Статистическая проверка подтвердила значимость всех коэффициентов при независимых факторах, кроме коэффициента при тройном взаимодействии, которое не вошло в модель (1). Модель адекватна об этом свидетельствуют такие статистики, как $R^2=99,9474$ $R^2=99,8419$ [17], средняя абсолютная погрешность составляет 0,0791, а также традиционная проверка по критерию Фишера.

Поверхность отклика представлена на рис. 1. А на рис. 2 представлен график равных уровней микротвердости покрытия.

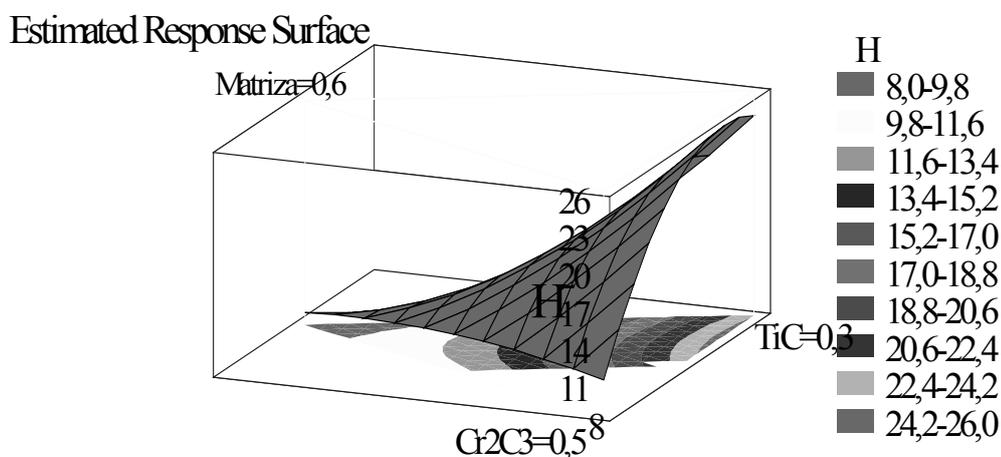


Рисунок 1 – Поверхность отклика зависимости микротвердости покрытия нанесенного на цементированные поверхности зубьев шестерен насосов НШ

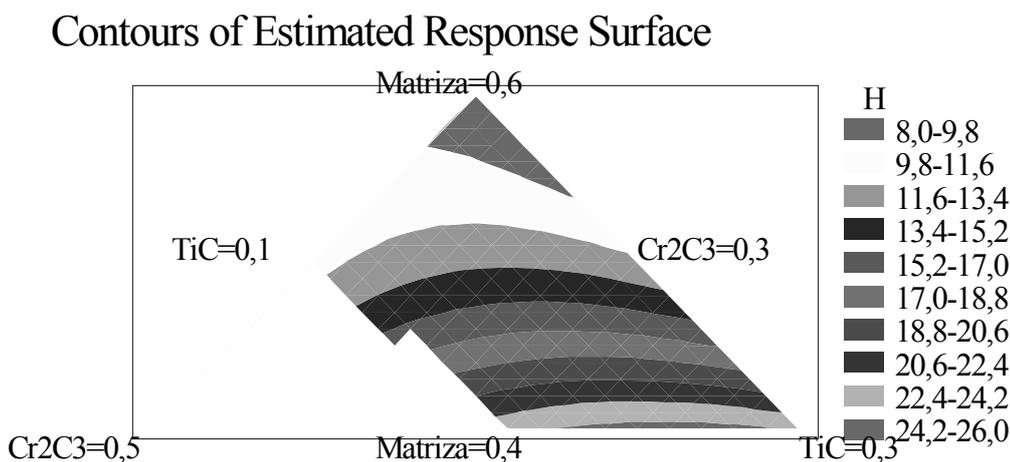


Рисунок 2 – График равных уровней микротвердости покрытия, нанесенного на цементированные поверхности зубьев шестерен насосов НШ

Из рис.1 и рис.2 видим, что максимальная средняя микротвердость соответствует составу ИКПМ:

- матрица порошок ПГ-ФБХ -6- 2 40 %

- КХНП-20	35 %
- TiC	25 %

Выводы:

1. В статье предложен состав износостойкого композиционного порошкового материала, нанесение которого на цементированные поверхности вершин зубьев шестерен контактной наваркой позволяет получить покрытия, средняя микротвердость которого превосходит микротвердость абразива.

2. Предлагаемый износостойкий композиционный порошок материала состоит из матрицы - порошка ПГ-ФБХ -6-2 -40% и упрочняющей фазы состоящей из двух компонентов –порошка - КХНП-20 - 35 %, состоящего из 80% карбида хрома, плакированного 20% никеля и карбида титана - 25 %

Список литературы

1. Хрушов 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. Кропівний, В.В. Руських, Ю.В. Кулешков, М.В. Красота, В.В. Саловський, С.О. Магопець. Опубл. 15.06. 2005. Бюл. № 6.
6. Сайфулин Р.В. Неорганические композиционные материалы. М.: Химия, 1983. – 304 с.
7. Добровольский А.Г. Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. -К.: Техника, 1989.-128 с.
8. Сайфулин Р.В. Неорганические композиционные материалы. М.: Химия, 1983. – 304 с.
9. 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.
10. 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.
11. Радомысельский И.Д., Дыменко В.А. Механизм и кинетика растворения Cr_3C_2 находившейся в железе //Порошковая металлургия, 1971. - № 3. С.88 - 92.
12. Кулу П. Износостойкость порошковых материалов и покрытий.- Таллин: Валгус, 1988.-120с.
13. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. - Машиностроение. 1967. - 798 с.
14. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями; Учебное пособие - К.: Вища школа, 1992. – С.79-112.
15. Попов Б.С. Исследование изнашивания легированных сплавов. Дис. д.т.н. М. 1973 - 539 с.
16. А.Г. Суслов. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М. «Машиностроение», 1987. – 208 с.
17. В. Дюк. Обработка данных на ПК в примерах - СПб.: Питер, 1997. – 240 с.

В статті запропоновано склад компонентів зносостійких композиційних порошкових матеріалів для відновлення шестерень насосів типу НШ під збільшений ремонтний розмір контактною наваркою зносостійких композиційних порошкових матеріалів на цементовані поверхні шестерень

In the article is proposed the components composition of wear-stability powder materials 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.