

УДК 621.791:678.029.43

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕМОНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Л.С. ДЕНИСОВ, И.А. ТАРАНЕНКО, Д.Г. ЧАЛАПОВ  
(Белорусская инженерная академия, ИТЦ СД ОАО «Химремонт», Минск)

Проведены исследования по ремонту сварных соединений и металла при восстановлении эксплуатирующихся резервуаров, трубопроводного транспорта и металлоконструкций, с применением химической холодной сварки. Разработаны технологические процессы по ремонту сквозных, внутренних и поверхностных дефектов, сварных соединений и металла.

Представляет интерес применение при ремонте холодной безогневой сварки на основе новых композиционных материалов металлополимерных систем. Двухкомпонентные материалы состоят из измельченных металлов с содержанием до 90 % и химических добавок в объеме 8... 10 %.

Стандартная группа наиболее распространенных композитов (I):

1. Компонент А (активатор) в виде пасты, состоящий из фенола 10... 18 % и триметилэксаметиленамина - 28...40 %.
2. Компонент В (база) в виде пасты, состоящий из бисфенола А - эпихлоргидриновая смола - 25...50 %; бутандиол-диглицид — 2,5... 10 %.

Время подготовки материала для этой группы композитов составляет 40...50 минут. Полная полимеризация заделки (исправления) дефекта составляет £ 24 часа.

Стандартная группа композитов (II):

1. Компонент А (отвердитель) - жидкий стирол - 25...35 %.
2. Компонент А (отвердитель стандартный) - жидкий (бисфенол А 25...50 %; бутандиол-доглицид - 2,5... 10%).
3. Компонент В (база) - порошок (перекись дибензоила < 2,5 %; перекись бензоила).
4. Группа однокомпонентных материалов (III).

Дихтоль - бесцветный жидкотекучий материал. Состав: бутанон - концентрация 19,5 %; этилацетат - концентрация 27,5 %; ацетон - концентрация 44,0 %.

Дихтоль обладает превосходными капиллярными свойствами, глубоко проникает в мельчайшие микропоры и микротрещины без дополнительного воздействия вакуума или давления и быстро отвердевает при комнатной температуре (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики материалов «Дихтоль» фирмы «Диамант», рекомендуемых для проведения ремонтных работ

Тип Дихтоля	Стандарт	Макро	ВФ	ВФ Макро	500
Толщина поверхностной пленки, мкм	3	10	4	10	4
Время высыхания, мин	1	1	1	1	-
Время отверждения при 20 °С, ч					1 ч
- при толщине стенки до 10 мм	24	24	24	24	(после отжига при 250 °С в течение 3 ч)
- свыше 10 мм	48	48	48	48	
Размеры пористости, мм	до 0,1	0,1...0,5	до 0,1	0,1...0,5	до 0,1
Температурные пределы, длительного сохранения, прочностных показателей, °С	-40 +120	-40 +120	-40+120	-40 +200	-40 +500
Допустимое рабочее давление внутри герметизируемой детали, бар	350	300	350	300	300
Вязкость при 20 °С, с*	10...12	90... 100	14...16	20...22	12...14

Композитные материалы обладают следующими положительными свойствами:

- высокой термостойкостью (до 250 °С);
- отсутствием изменения объема в ходе отвердевания (полимеризации) металлополимеров;
- легкостью перемешивания основы и активатора, а также благодаря контрастному цвету обоих компонентов - простым оптическим контролем качества перемешивания;
- хорошей адгезией к стали, чугуну, цветным металлам, стеклу, древесине, бетону и пластмассам, за исключением тефлона и полиэтилена;

- диапазоном температур от минус 50 до плюс 250 °С;
- высокой стойкостью против давления и вибрации, ударопрочностью;
- эластичностью, исключаяющей негативное влияние коэффициента расширения разных металлов;
- большим допуском смешиваемых компонентов. Зрительная оценка объема обоих компонентов обеспечивает получение полноценного материала;
- отсутствием токсичности, подтвержденным допуском к контакту с питьевой водой;
- стойкостью против коррозии и эрозии в среде с повышенной кавитацией, высокой химической и абразивной стойкостью.

Композитные материалы для производства холодной сварки и ремонта поставляются рядом зарубежных фирм Германия, Россия, Польша и др.

Фирмы предлагают полный ассортимент двухкомпонентных химически отверждающихся композитов и эластомеров, предназначенных для регенерации металлических конструкций, деталей машин, емкостного оборудования и др.

Проблема устранения трещин, свищей, отпотин, раковин, пор и прочих дефектов, выполнение аварийных работ при утечках продукта без остановки технологических процессов, ремонт корпусных деталей, задвижек и кранов методом наращивания изношенного металла является актуальной и востребованной.

Для этих целей были необходимы высоконаполненные композитные материалы с высоким содержанием металлов и керамики. Для галогенных пастообразных композитов необходимо было тонкое измельчение титана, специальных сталей и алюминия, доля которых в композиции достигает 85 %.

Природа взаимодействия полимеров с частицами измельченных металлов состоит в обволакивании их полимерами, которые образуют сложные полимерные цепи, обеспечивая высокую адгезию композитов с ремонтируемым элементом за счет молекулярных связей.

Путем нанесения пастообразных композитов на металлы, пластмассы, керамические изделия за счет адгезивных свойств удается герметизировать повреждения, нарастить изношенный металл, ликвидировать коррозионные и эрозионные дефекты и другие нарушения. Пастообразные композиции твердеют в естественных условиях за 2...3 мин (материал Рапид) или в течение 2. ..4 ч (материалы - Пластикметаллы «ДИАМАНТ»), После отвердевания высоконаполненные композиты приобретают основные свойства металлов (цвет, структуру), возможность механической обработки - шлифования, сверления, фрезерования, полирования, нанесения различных покрытий). При этом материалы приобретают новые качества, главное из которых - антикоррозионное свойство.

В лаборатории сварки ИТЦ СД ОАО «Химремонт» совместно с группой «Таллен-групп» и научно-технической секцией сварки 00 «Белорусская инженерная академия» в 2003 - 2005 гг. выполнен большой объем исследований по использованию композитных материалов. На основе исследований и опыта применения материалов разрабатывается производственная инструкция по холодной ремонтной сварке.

Исследованы сквозные плоскостные (линейные) дефекты с целью их устранения. При этом выполняли инструментальную оценку размеров дефекта и толщины стенки ремонтируемого элемента конструкции в зоне дефекта; подготовку дефекта к ремонту с помощью механизированного или ручного инструмента, химическим способом ортофосфорной кислотой с промывкой обработанного участка водой.

Исследовали поверхность и форму дефектов, необходимую для адгезии шероховатость. Это было необходимо для снижения концентрации напряжения и увеличения сцепления ремонтных материалов с металлической поверхностью на ремонтируемом участке.

Установлено наличие большого количества дефектов, различной формы. Распределение дефектов сварки металла представлено на рис. 1.

Исследовали механическую и химическую очистку и обезжиривание подготовленной поверхности дефектов. Для требуемой адгезии и прочности исследовали толщину грунтования (адгезионный слой) поверхности дефекта композитным материалом, заполнение дефекта композитом, грунтование композитом металлической накладки.

Исследовали нанесение слоя композита 4...5 мм на ремонтируемый участок с установкой усиливающей металлической накладки (металлической сетки), выдавливание избыточного композита из-под накладки.

Установлено, что заделка должна перекрывать края металлической накладки не менее чем на 15 мм; при применении вместо металлической накладки (стеклоткани, металлической сетки) требуется после укладки армирования нанесение слоя композита толщиной 3...4 мм.

Исследовали несквозные дефекты. Проводили оценку ремонтируемого участка с применением ультразвукового толщиномера, подготовку поверхности дефекта, заполнение дефекта композитом: 1 слой - адгезионный, 2 слой толщиной 4. . .5 мм.

Исследовали технологию пропитки металла для устранения пористости до 0,5 мм материалом «Дихтол». Проводили очистку поверхности изделия, удаляя следы коррозии и оксидирования, обезжириванием поверхности.

Проводили нанесение Дихтоля кистью, распылением и окунанием в него изделия. Определяли скорость проникновения импрегирующего материала «Дихтоль» в поры металла 1 мм/мин. Исходя из проведенных исследований, при пропитке пористости металла наиболее экономичный метод - окунание.

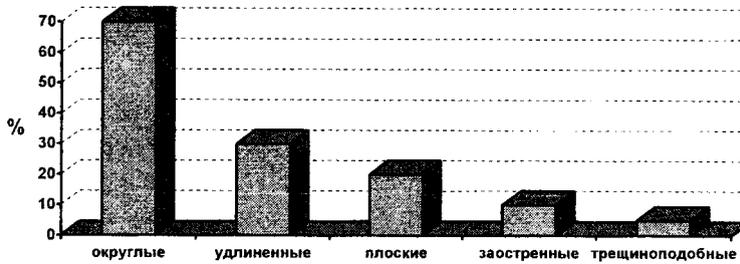


Рис. 1. Распределение дефектов сварки металла

Исследовали течи труб, сетей центрального отопления, магистральных газонефтепроводов, резервуаров. Как показали опыты работ, устранять течи можно после предварительного отключения давления и не требуется осушения восстанавливаемого дефекта.

- + По нефтепродуктам - «Диамант» Металлополимер ММ Rapid.
- + По воде - «Диамант» Пластикметалл РМ W- Metall.

Проверка прочности и герметичности ремонтных участков проводилась в лаборатории ИТЦ СД на трубных образцах, имеющих сквозные дефекты в виде отверстия диаметром 4 мм.

Ремонт сквозных отверстий выполняли холодной сваркой по эксклюзивной технологии, разработанной коллективом авторов (рис. 2).

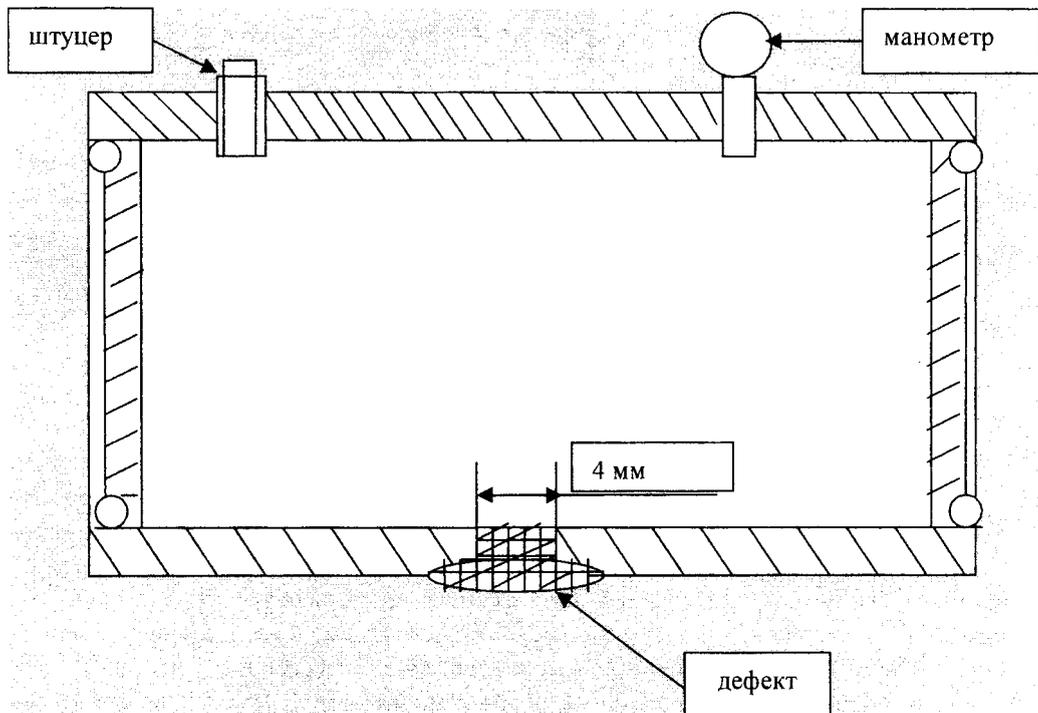


Рис. 2. Образец для испытания прочности, плотности и качества ремонта с применением холодной сварки

При испытании образцы выдержали давление более 320 МПа. Величину адгезии проверяли на плоских образцах ГОСТ 6996 с дефектами 3, 4 и 5 мм, путем растяжения на испытательной машине. Величина адгезии оставалась удовлетворительной до начала разрыва (220...240 МПа).

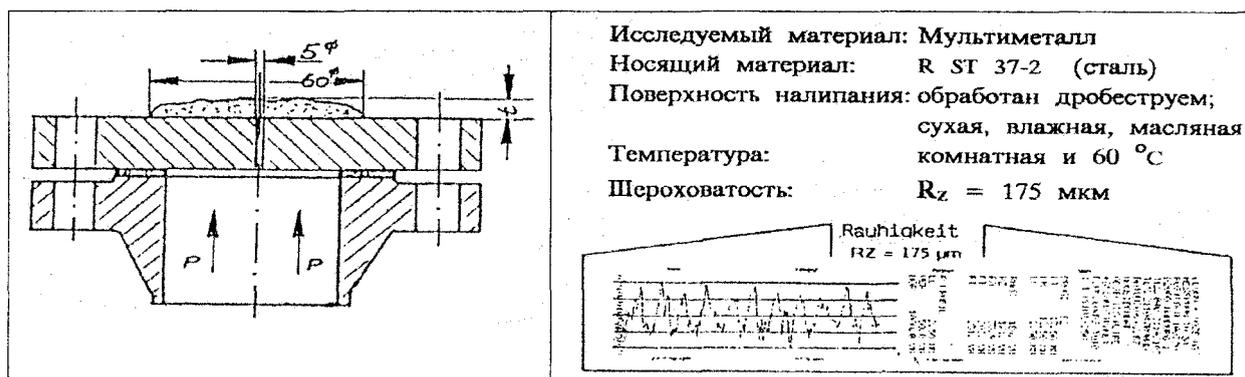
Экспериментальные ремонты резервуаров (см. разд. 4 объекты № 2, 3) обеспечивают удовлетворительную их надежность и работают без отказов.

Все соединения дополнительно проверялись методом цветной дефектоскопии СТБ 1172-99 и визуальном-оптическим методом СТБ 1133-38.

**Примеры практического ремонта дефектов, результаты и их обсуждение.** Основные технологии ремонта и восстановления деталей и оборудования, были исследованы и применены на предприятиях Республики Беларусь в период с 2002 по 2005 г.

1. Аварийный и быстрый ремонт технических систем находящихся под давлением (водогазонефтепроводы, баки, емкости и т.д.) безогневым методом:

- устранение течи масляного бака трансформатора, без демонтажа оборудования.
- устранение сквозных пор на сварном шве резервуара РГС-75, установленного на автоматической заправке. Общая площадь ремонтируемого участка - 0,2 м<sup>2</sup> <sup>3 4</sup>, ремонт проводился безогневым методом с применением металлополимерных систем немецкой фирмы «DIAMANT» Metallplastic GmbH. Температура окружающего воздуха составляла - 7 °С.
- устранение течи дизельного топлива на резервуаре РВС-1000 на нижнем поясе, коррозионный дефект (сквозные поры диаметром до 0,8 мм). Работы проводились без слива нефтепродукта, безогневым методом с применением материалов «DIAMANT» (рис 3).



Поверхность налипания	Толщина, мм	Время отвердевания, ч	Температура отвердевания, °С	Время нагрузки (П > 50 бар)	Максимальное давление P, бар
Влажная	10	6	комнатная	2 мин 30 с	> 150*
Сухая	10	6	комнатная	3 мин	> 150*
Масляная	10	6	комнатная	3 мин 40 с	> 150*
Масляная	10	24	60	2 мин 40 с	> 150*

\* При испытании трещины не возникли

Рис. 3. Протокол испытания на давление при сухой, влажной и масляной поверхностях (морской судовой регистр)

2. Устранение кавитационного износа корпуса вакуумного циркуляционного насоса «SIEMENS», а также восстановление и защита корпусов и рабочих колес различного насосного оборудования от абразивного и кавитационного износа. Выравнивание сварных швов и всех неровностей.

3. Восстановление посадочного места под подшипник качения в корпусе, без механической обработки - на валу с последующей механической обработкой. Ремонт изношенных резьбовых соединений.

4. Устранение литьевых дефектов (раковины, пористость, сколы, трещины); пористости до 0,5 корпуса редукторов, насосов, а также газовой арматуры.

5. Закрепление металлических, керамических и пластмассовых деталей между собой и друг к другу при монтаже различного оборудования. Температурная стойкость материалов «DIAMANT» Metallplastic GmbH (Германия) - от минус 50 до плюс 500 °С.

6. Восстановление запорной арматуры (задвижек). Восстановление износа корпуса задвижки, внутренних поверхностей прилегающих к клину, без механической обработки. Кроме этого, устранение износа на поверхности клина задвижки с последующей механической обработкой.

7. Устранение трещины, (зона дефекта до 4,0 см) водяной рубашки дизельного двигателя МТЗ. Ремонт микротрещин, сквозных пор радиаторов, а также трещин на поддоне картера двигателя различной автотехники.

Применение материалов «ДИАМАНТ» позволяет проводить ремонт и восстановление деталей оборудования при низких температурах до минус 30 °С. Технология ремонта аналогична технологии ремонта емкостного оборудования, кернение можно заменить на механическую очистку электроинструментом (рис. 4 - 5).

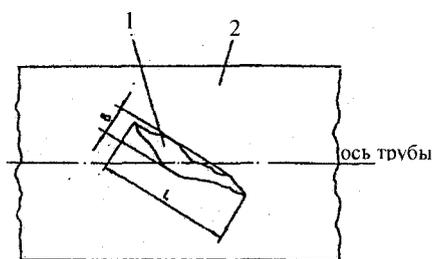


Рис. 4. Схема измерений максимальных размеров дефекта при определении его площади:  
L – длина дефекта; B – ширина дефекта;  
1 – дефект; 2 – корпус

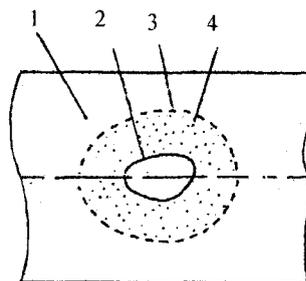


Рис. 5. Схема разметки и кернения в зоне устраняемого дефекта:  
1 – восстанавливаемая деталь; 2 – дефект;  
3 – линия, эквидистантная контуру дефекта; 4 – зона кернения

#### Технология ремонта стальных резервуаров, цистерн и емкостей для хранения нефти и нефтепродуктов.

Для ремонта стенок, днищ, крыш стальных резервуаров, цистерн и емкостей используют следующие материалы:

- мультиметалл - применяют сталь Рапид для заделки корневой части дефекта при утечке продукта из резервуара в сочетании с мультиметаллом Сталь-паста для заполнения дефекта и формирования заделки (заплаты);

- при отсутствии утечек ремонт сквозных и несквозных дефектов следует полностью выполнять мультиметаллом сталь-паста.

При ремонте сквозных плоскостных или линейных дефектов выполняют следующие операции:

- инструментальную оценку размеров дефекта и толщины стенки ремонтируемого элемента конструкции в зоне дефекта (рис. 4);

- подготовку дефекта к ремонту;

- разметку ремонтируемого участка (рис. 5);

- грунтование мультиметаллом ремонтируемого участка;

- заполнение корневой части дефекта;

- послойное заполнение полости дефекта мультиметаллом;

- грунтование мультиметаллом металлической накладки;

- нанесение слоя мультиметалла толщиной 4...5 мм на ремонтируемый участок и установка с натягом усиливающей металлической накладки на ремонтируемом участке;

- формирование заделки из мультиметалла на ремонтируемом участке в соответствии со схемой (рис. 7). Заделка должна перекрывать края металлической накладки не менее чем на 15 мм;

- при температуре окружающего воздуха ниже +5 °С проводятся дополнительные мероприятия по поддержанию необходимой температуры и влажности в процессе отверждения материала.

**Сравнительный анализ ремонта, способом безогневой холодной сварки с дугowymi методами.** Применение холодной сварки на основе металлополимерных композитных материалов при ремонте резервуаров, цистерн и емкостей взамен «огневой» электродуговой сварки позволяет быстро и экономично выполнять ремонт сквозных и несквозных дефектов типа газовые поры, свищи, трещины, коррозионные язвы и другие дефекты металла и сварных соединений [2-5].

В табл. 2 приводится сравнение метода холодной сварки и дуговых способов сварки.

Таблица 2

Сравнительная таблица методов холодной и дуговой сварки

Операции и материалы	Требуется при устранении дефектов	
	Электродуговой сваркой	Холодной сваркой
При устранении дефектов	Электродуговой сваркой	Холодной сваркой
Сварочное оборудование	Аппарат В Д-3 00	Не требуется
Подключение к сети	Кабель длиной 15...25 м	Не требуется
Сварочный кабель для сварки	Сварочный кабель длиной 35... 50 м	Не требуется
Стоимость электроэнергии	При сварке 0,5 м шва	Только для шлифмашинки
Сварочные материалы	Электроды У ОНИ-13/5 5	Мультиметалл типа «Рапид»
Исправление дефекта шлифмашинкой или газовым резаком	Пост газокислородной резки, шлифмашинка	Не требуется
Подготовка кромок: слесарь 4-5 разряда	0,5 м	Не требуется
Очистка кромок и прилегающей зоны шириной 20 мм перед сваркой	0,5 м	Очистка дефекта и прилегающей зоны шириной 20 мм
Технология ремонта дефектов	Электродуговая сварка. Температура нагревала плавления (1450 °С)	Заделка дефекта мультиметаллом без нагрева
Очистка сварного шва и прилегающей зоны от шлака и брызг металла после сварки	0,5 м шва	Не требуется
Контроль качества сварного соединения	УЗК или РГГ и ЦД	Только ЦД
Квалификация сварщика	Сварщик электродуговой сварки 5-6 разряда	Сварщик 2-3 разряда
Вспомогательные работы	Слесарь-сборщик 4-5 разряда	Слесарь 4 разряда
Вспомогательные работы	Электрик 4 разряда	Не требуется

Применение холодной сварки позволяет резко на 70...80 % сокращать сроки ремонта, экономить электроэнергию до 90... 100 % и получать высокий экономический эффект [6].

Особенно эффективно применение металлополимерных систем при устранении течей различной эффективности.

Метод холодной сварки позволяет в ряде случаев проводить техническую диагностику и ремонтные работы в процессе эксплуатации емкостного оборудования.

**Выводы и предложения.** Исследованы особенности поведения металлополимерных систем при ремонте дефектов сварных соединений металлоконструкций, резервуаров и трубопроводов.

Разработаны технологические процессы на ремонт сквозных и несквозных дефектов.

Проведены лабораторные испытания и объектные эксперименты по надежности холодной сварки, прочности и герметичности ремонта, получены удовлетворительные результаты.

Особенностью стандартных групп компонентов является различное время отверждения, а для отдельных компонентов и влияние температуры воздуха, что необходимо учитывать в практике ремонтных работ.

Существенной особенностью является обеспечение абсолютной адгезии компонента с ремонтируемой поверхностью дефектов, которая достигается тщательной технологической подготовкой непосредственно перед нанесением ремонтных материалов.

На основании проведенных работ рекомендуется широкое внедрение холодной сварки на основе металлополимерных систем в практику ремонта емкостного и другого оборудования, металлоконструкций и трубопроводов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Применение композитных материалов фирмы «Диамант» для ремонтных работ на объектах нефтяной и газовой промышленности. РД РАО «ГАЗПРОМ». -М., 1998.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (МНПА ГПАН-5.01.98).
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды (МНПА ГПАН-518).
4. Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов (РЛ12-411 -01).
5. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции / ИНТБ, Госстрой СССР.
6. Расчет экономической эффективности от применения холодной (безогневой) сварки при ремонте резервуаров, цистерн и емкостей. - Мн.: Химремонт, 2004.