

Г.М. Волков

(Университет машиностроения; e-mail: recom@list.ru)

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Показано экологически безопасное связующее на основе неорганических полимеров для производства негорючих композиционных материалов. Проведён анализ экологически безопасных композитов, позволяющих восстанавливать работоспособность машиностроительной продукции во взрывоопасных помещениях.

Ключевые слова: неорганические полимеры, композиционные материалы, жаростойкость, связующее, холодная молекулярная сварка, расходные материалы, изношенная техника.

G.M. Volkov

MATERIALS SCIENCE ASPECTS OF TECHNOSPHERE SAFETY

Presented environmentally safe binder based on inorganic polymers for production the non-combustible composite materials. Analysis of environmentally safe composite for recovery of machinery products in explosive environment.

Key words: inorganic polymers, composite materials, heat resistance, binder, cold molecular welding, expendable materials, wornout machinery.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 23 октября 2013 г.

Техносферная безопасность не в последнюю очередь зависит от материалов, используемых для строительства зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения, производства машин и оборудования, а также обустройства всей инфраструктуры окружающей среды. Между тем уровень востребованности промышленностью существующих материалов, которые позволяют снизить, а в некоторых случаях полностью исключить вероятность возникновения аварийных ситуаций, не соответствует технико-экономическому потенциалу этих материалов и основанных на них технологиях. Такой перекокс между потенциальными возможностями современных материалов и уровнем их потребления можно объяснить только отсутствием доступной для потенциальных потребителей информации. Большая загруженность текущей производственной деятельностью не позволяет инженерно-техническому персоналу потенциально опасных предприятий активно следить за последними достижениями в области современного материаловедения.

Автором предпринята попытка восполнить данный информационный пробел путём анализа результатов многолетнего сотрудничества с промышленностью в области **нетрадиционных машиностроительных материалов и технологий**.

Реновация изношенных или повреждённых металлических деталей техники традиционно выполняется преимущественно методами **термической сварки и наплавки**, температурный режим которых исключает возможность их применения для ремонтных работ во взрывоопасных помещениях и делает их пожароопасными во всех других случаях.

Предлагается обратить внимание на достаточно простой способ обеспечить работоспособность имеющейся в распоряжении потребителей изношенной техники, полностью исключая пожаровзрывоопасность технологии.

Нагрев в традиционных способах ремонта необходим для того, чтобы расплавить металл. В *расплавленном металле* атомы сближаются друг с другом до расстояния, на котором проявляются *межатомарные силы взаимодействия*, обеспечивая прочность соединения наплавляемого металла с металлом ремонтируемой детали.

При использовании принципов не атомарного, а *молекулярного контакта*, когда функциональные группы высокомолекулярного соединения взаимодействуют с активными точками металла ремонтируемой детали, *необходимость плавления металла отпадает*. Сварка не требует нагрева, почему названа холодной. Технология получила название – *холодная молекулярная сварка*. Она исключает пожаровзрывоопасность ремонтных работ.

Научные основы процесса и его технические преимущества рассмотрены автором ранее [1]. Для ремонтно-восстановительных работ предлагаемым методом доступен большой арсенал отечественных *ремонтных композиционных материалов (Реком)*, которые по техническим и технологическим характеристикам не уступают более дорогим зарубежным аналогам [2]. С целью определения оптимальной номенклатуры расходных материалов холодной молекулярной сварки автором проведён маркетинг производственного спроса промышленных предприятий на отечественные марки Реком.

Маркетинг проводился с 1993 г. и охватил 25 *тыс.* функционирующих предприятий всех регионов России и отраслей производств, что является достаточно представительным объёмом выборки генеральной совокупности и позволяет надеяться на объективность полученных результатов. Всем предприятиям была доставлена информация о предлагаемой технологии и технико-экономических преимуществах отечественных марок Реком для её осуществления.

Первичный отклик составил 4,6 % от объёма выборки. С откликнувшимися предприятиями проводилась активная работа по выявлению сферы технико-экономически эффективного использования предлагаемой технологии.

Научно-техническая продукция поставлена 39,4 % от количества предприятий, откликнувшихся на первичную рассылку информационных сообщений. Поставка сопровождалась консультациями по организации ремонтно-восстановительных работ в производственных условиях данного предприятия и регламенту работ по ремонту конкретной детали. По виду ремонтных работ поставленная продукция распределилась следующим образом (см. табл. 1).

Поставка базового расходного материала универсального назначения марки Реком-Б составляет 85,6 % от общего объёма поставок.

Основные расходные материалы холодной молекулярной сварки

Характеристика	Реком-Б	Реком-И
Предел прочности при сдвиге по стыку со сталью	25 МПа	20 МПа
Предел прочности при сжатии	135 МПа	100 МПа
Температура эксплуатации: рабочая кратковременно	150 °С 200 °С	150 °С 200 °С
Коэффициент трения по стали	0,06	0,035
Время: жизни смеси полного набора прочности	1 час 24 часа	1 час 24 часа
Обрабатываемый инструмент	углеродистая сталь	твёрдый сплав
Назначение	корпусные детали, радиатор, бензобак, кузов, косметический ремонт	поверхности трения, подвижные посадки, разъёмные соединения
Адгезия	обладают хорошим сцеплением с сухой обезжиренной поверхностью всех черных (углеродистые и легированные стали и чугуны) и цветных металлов и сплавов (силумины, дюралюминий, латуни, бронзы и др.), большинства полимеров, а также практически всех других неметаллических материалов (стекло, керамика, дерево и др.)	

Рекомендуемые виды ремонтных работ сознательно указаны применительно к автомобильной технике, поскольку ни одно предприятие или учреждение не обходится без услуг автотранспорта, а многие сотрудники этих организаций имеют личные автомобили. Хотя с не меньшим успехом Реком-Б используется для ремонтов широкой номенклатуры машиностроительной продукции разнообразного назначения.

Следующим по рангу распределения идет расходный материал марки Реком-И (износостойкий) с частотой 5,6 %.

Отмеченные марки рекомендованы для обеспечения работоспособности автотранспорта, а также основного производственного оборудования и инфраструктуры промышленных предприятий любого профиля, то есть для этих целей востребовано 91,2 % предложенной продукции. Оставшаяся часть поставок представлена Реком специального назначения (табл. 2), в которых усилена одна из эксплуатационных или технологических характеристик Реком универсального назначения.

Расходные материалы специального назначения

Маркировка	Назначение
Реком-А	Для восстановления деталей, работающих в абразивной среде. Обрабатывается алмазным или боразоновым инструментом
Реком-Б+	Для полевых условий (любые плюсовые температуры, туман и дождь)
Реком-В	Схватывается с мокрой поверхностью. Для ремонта инженерного оборудования систем тепло- и водоснабжения
Реком-Д	Обладает демпфирующими свойствами. Для восстановления деталей гидромашин, изнашиваемых в условиях кавитационной эрозии и ударного воздействия частиц суспензии
Реком-НП	Схватывается с поверхностью неорганических материалов. Для ремонта огнеупорных деталей теплового оборудования
Реком-ПМ	Схватывается с поверхностью полимеров. Для ремонта стеклопластиковых и полиэтиленовых деталей, полиэтиленовой изоляции металлических трубопроводов
Реком-Р	Схватывается с сухой ржавой поверхностью. Для ремонта прокорродированных труб и резервуаров. Возможна упрочняющая пропитка любых пористых материалов для придания им герметичности и коррозионной стойкости
Реком-У	Допускает деформирование металлической подложки без нарушения адгезионной прочности покрытия. Для ремонта крупногабаритных металлических конструкций, испытывающих деформации в процессе эксплуатации
Реком-Х	Обладает повышенной стойкостью к химически активным средам. Для ремонта деталей машин и оборудования химических производств
Реком-Э	Относительное удлинение 400 %. Бензо-, кислото-, водостоек. Для обрешивания металлических поверхностей и герметизации резервуаров
Реком-ЭИ	Обладает электроизоляционными свойствами. Для ремонта токонесущих деталей машин и оборудования

Новейшей разработкой является расходный материал нового поколения марки Реком РА-У, который не только заменяет большинство Реком специального назначения, но и может быть использован в качестве быстроотверждаемого композита аварийного назначения, поскольку время отверждения смеси его компонентов не превышает 15 мин.:

- позволяет выполнять аварийный ремонт в полевых условиях при любых плюсовых температурах, в туман, дождь, заменяя **Реком-Б+**;
- схватывается с мокрой поверхностью, заменяя **Реком-В**. Рекомендуется для аварийного ремонта инженерного оборудования систем тепло- и водоснабжения;
- схватывается с ржавой поверхностью металлов и сплавов, заменяя **Реком-Р**. Рекомендуется для аварийного ремонта прокорродированных труб и резервуаров;
- обладает повышенной стойкостью к химически активным средам, заменяя **Реком-Х**. Рекомендуется для аварийного ремонта деталей машин и оборудования химических производств;

- является электроизолятором, заменяя **Реком-ЭИ**. Рекомендуется для аварийного ремонта токонесущих деталей машин и оборудования;
- схватывается с поверхностью, загрязнённой нефтью, маслом и другими нефтепродуктами. Рекомендуется для аварийного ремонта ёмкостей и трубопроводов нефти и нефтепродуктов.

Технологически Реком скомпонованы в двух упаковках, содержимое которых смешивают в определённом соотношении. После нанесения на ремонтируемую поверхность пастообразная смесь затвердевает. Процесс твердения не требует термического и механического воздействия. Свойства затвердевшей смеси зависят от свойств компонентов, использованных для создания конкретной марки Реком.

Реком состоит из полимерной матрицы, в которой равномерно распределены дисперсные частицы наполнителя. Полимерная матрица обеспечивает адгезию Реком к ремонтируемой поверхности, то есть является клеевой основой композиционного материала. Введение наполнителя обеспечивает синергический эффект и придаёт Реком новые свойства, предопределяющие их технологические и технические преимущества как перед термическими, так и клеевыми способами соединения деталей в ремонтно-восстановительных работах.

Немаловажным условием выбора оптимальной технологии ремонтно-восстановительных работ в современных условиях является экологическая безопасность технологических процессов, поскольку обеспечение работоспособности изношенной инфраструктуры технической деятельности носит вынужденно массовый характер и затрагивает практически всю территорию страны. Вследствие всем известных причин в России сложилась такая экономическая ситуация, что как промышленные предприятия, так и население с переменным успехом эксплуатируют огромный парк изношенной техники самой различной номенклатуры. Степень изношенности техники практически всех отраслей промышленности, начиная от наиболее массовой отрасли сельскохозяйственного производства до самой элитной отрасли специального машиностроения составляет от 60 % до 80 % и более [3, 4].

Термические методы экологически характеризуются интенсивным тепловым излучением в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра, которые воздействуют преимущественно на исполнителя данной технологии. Кроме того, термические процессы протекают с выделением вредных для здоровья химических элементов в виде пыли, паров и аэрозолей, которые воздействуют не только на непосредственного исполнителя ремонтных работ, но и загрязняют окружающую среду.

Предлагаемая **технология холодной сварки** исключает экологическое загрязнение окружающей среды, чем выгодно отличается от термических способов ремонтно-восстановительных работ. Экологическая безопасность обеспечена исключением из состава Реком органических растворителей и отсутствием выделений побочных продуктов молекулярного взаимодействия компонентов Реком в процессе затвердевания сварного шва. Все компоненты Реком без остатка участвуют в формировании прочного сварного шва. Экологические преимущества предлагаемой технологии очевидны.

Пожаровзрывоопасность материалов и технологий производственной деятельности и среды обитания чревата как большим материальным ущербом, так и возможными жертвами людей в результате пожаров и взрывов. Чрезвычайная актуальность данной тематики стимулирует рост внимания исследователей к области повышения жаростойкости существующих материалов и создания безопасных условий осуществления потенциально взрывоопасных технологий. Между тем, было бы более продуктивно сосредоточить усилия на разработке материалов и технологий, исключающих их пожаровзрывоопасность. Ниже представлены практические результаты некоторых работ в данном направлении.

В отделке интерьера зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения широко используют неметаллические материалы на основе органических полимеров. Обратим внимание, что при пожаре большинство жертв погибает не от воздействия высокой температуры, а задыхаются ядовитыми продуктами пиролиза органических полимеров.

Органические полимеры являются производными простейших углеводов, вследствие чего обязательными компонентами органических полимеров являются углерод и водород. В процессе термического воздействия они химически взаимодействуют с другими компонентами полимера, образуя летучие вещества. Выделяемые при нагреве органического полимера летучие вещества, большинство которых токсично, загрязняют окружающую среду. Кроме того, деструкция полимера приводит к снижению его прочности. Температурный предел работоспособности большинства материалов на основе органических полимеров, используемых в отраслях массового машиностроения, не превышает 200 °С.

Модифицирование органических полимеров атомами титана, алюминия, кремния и других металлов позволяет существенно повысить их жаростойкость. На основе элементоорганических полимеров созданы клеи, стойкие к термоокислительной деструкции в условиях длительного воздействия температуры до 1000 °С [5], что, однако, не позволяет им противостоять воздействию температуры пожара, которая может достигать существенно больших значений. Дальнейшему повышению жаростойкости элементоорганических полимеров препятствует наличие в их структуре присоединённых к основному молекулярному звену органических радикалов. Для кардинального повышения жаростойкости целесообразно обратиться к неорганическим полимерам, поскольку они не имеют в своем составе органических радикалов.

Неорганические полимеры являются самыми распространёнными соединениями в природе. Наиболее распространены полимерные соединения кремния в виде оксидов и силикатов. Содержания кремния в доступной исследованию части земной оболочки достигает 26 %. Полимерные оксиды кремния, алюминия и магния составляют около 80 % земной коры. Они служат исходным сырьём для производства огнеупоров. Однако их полимеризация для превращения в целевой продукт происходит только в результате длительной высокотемпературной обработки, которая осуществляется в специальных печах обжига. Такая технология при большой длительности процесса и хрупкости ко-

нечного продукта не может претендовать на приоритет в производстве машиностроительных материалов конструкционного назначения.

Ниже показана принципиальная возможность разработки простой технологии синтеза материалов, которые по жаростойкости многократно превосходят существующие материалы конструкционного назначения.

Основой технологии является мономер, который позволяет получать полимеры принципиально нового класса со следующими свойствами:

- химическая инертность в окислительных средах при нормальной и повышенных температурах, рабочая температура до 2000 °С;
- низкая плотность, он легче алюминия и его сплавов в 1,5 раза;
- затвердевание не требует последующей термической обработки;
- компоненты не токсичны, технология экологически безопасна.

На основе данного мономера создано жаростойкое связующее *Хайпол (ХП)*. Технологически оно скомпоновано в двух упаковках. Смесь компонентов (порошок + наноразмерные добавки + жидкость) затвердевает в результате химической реакции при цеховой температуре.

Материалы с использованием ХП изготавливают по традиционной технологии композиционных материалов на стандартном оборудовании. Прессованием получают панели, блоки различной конфигурации и трубы. Трубы могут быть изготовлены также путем намотки волокнистого наполнителя. Литьевые составы на основе ХП позволяют изготавливать более широкий ассортимент продукции, включая крупногабаритные конструкции.

В качестве примера простейшего композиционного материала отметим негорючий стеклопластик, который изготавливается по стандартной технологической схеме производства традиционного стеклопластика, дополненного узлом введения ХП. Замена негорючим стеклопластиком используемых в настоящее время стеклопластиков со связующим на основе органических полимеров обеспечивает полную экологическую безопасность в процессе эксплуатации конструкций из стеклопластика, а при пожаре – исключает жертвы от воздействия ядовитых продуктов пиролиза органического связующего.

Наиболее массовое применение негорючего стеклопластика было бы целесообразным в строительстве для интерьера зданий гражданского и промышленного назначения. Не менее эффективно применение негорючих материалов для интерьера воздушных, наземных и подземных, водных и подводных транспортных устройств.

Использование предлагаемого неорганического связующего ХП вместо традиционных органических связующих позволяет решить наиболее актуальные экологические проблемы загрязнения окружающей среды.

Жилые помещения большинства городских и, частично, сельских жителей, а также административные учреждения оборудованы *мебелью из древесно-волокнистых и древесно-стружечных плит*, которые изготавливают на основе фенолформальдегидных связующих. В процессе эксплуатации такой мебели окружающая среда загрязняется *токсичными выделениями* фенола и формальдегида, систематически *отравляя практически все население страны*.

Замена фенолформальдегидного связующего в производстве столярных материалов на ХП исключит экологическое загрязнение окружающей среды токсичными выделениями в процессе производства и эксплуатации изделий из них, например, в интерьере жилых помещений и мебели.

Общеизвестно, что *асфальт* в процессе эксплуатации выделяет *канцерогенный бензпирен*, особенно в жаркое время года. Городские пешеходы и все автомобилисты подвергаются систематическому воздействию канцерогенов. Состав на основе ХП может заменить канцерогенный битум в производстве асфальта. Он представляет собой концентрированную многокомпонентную эмульсию. Из нее готовят рабочий раствор прямо на месте работы. После механического уплотнения дорожное покрытие становится плотным и прочным.

Предлагаемая технология нечувствительна к качеству сырья, что позволяет *утилизировать почти все промышленные отходы* независимо от их химического состава, влажности, консистенции и др. Это позволяет перерабатывать промышленные отходы *в огнеупорные материалы* различного назначения и широкий ассортимент строительных материалов (стеновые крупногабаритные изделия, высокопрочный кирпич, кислотоупорные покрытия, теплоизоляционные материалы, огнезащитные краски, ультралёгкий наполнитель, лёгкие бетоны, высокотемпературные клеи, ремонтные составы, негорючие пластики и многое другое...). Использование ХП в технологии строительных материалов позволит исключить экологическое загрязнение окружающей среды как в процессе производства, так и в процессе эксплуатации зданий и сооружений из этих материалов.

В области разработки нового класса жаростойких композиционных материалов Россия обладает несомненным приоритетом. Научные основы и технологические принципы их создания ещё во времена СССР были реализованы в опытно-промышленном производстве жаростойких композитов с использованием ХП в качестве связующего. За рубежом такое производство отсутствует [6].

Сложившейся ситуацией целесообразно воспользоваться для создания тепловых машин с техническими характеристиками выше мирового уровня. Как показывает авторская практика, существует большой спрос на жаростойкие композиты на уровне предприятий, однако их материально-технические возможности не позволяют финансировать развитие производственных мощностей для удовлетворения спроса. Вопросы развития производства жаростойких композитов находятся в компетенции государственных структур, до настоящего времени не проявивших своей заинтересованности.

Отсутствие финансово обеспеченного спроса на жаростойкие композиты может привести к утере приоритета в данной области научно-технических знаний и, в конечном итоге, стимулировать приобретение тепловых машин нового поколения у зарубежного производителя. Пагубность такой стратегии рассмотрена нами ранее [7].

Выводы

1. Работоспособность изношенного оборудования и инфраструктуры предприятий любого профиля может быть обеспечена тремя марками расходных материалов холодной молекулярной сварки отечественного производства в следующем соотношении: Реком-Б 85 %, Реком-И 5 % и Реком РА-У 10 %, которые исключают пожаровзрывоопасность ремонтно-восстановительных работ.

2. Неорганическое связующее Хайпол позволяет производить при цеховой температуре негорючие композиционные материалы, работоспособные до 2000°C без выделения токсичных летучих веществ.

Литература

1. **Волков Г.М.** Особенности холодной молекулярной сварки как ключевой технологии реновации действующих машин и оборудования // Ремонт, восстановление, модернизация. № 8, 2002.
2. **Волков Г.М.** Расходные материалы нового поколения для холодной молекулярной сварки // Конверсия в машиностроении. № 1, 1999.
3. **Черноиванов В.И.** Сельское хозяйство – что нас ждёт? // Мы – россияне. № 2, 2012.
4. **Змиевский В.И.** Техническое обслуживание и ремонт оборудования в системе менеджмента качества предприятия // Технология машиностроения. № 7, 2013.
5. **Петрова А.П.** Клеящие материалы. Справочник. М.: "К и Р", 2002.
6. **Фишер Р.** Загадки мистера Уорда // New Scientist. № 7-8, 2012.
7. **Волков Г.М.** Материаловедческие предпосылки создания машиностроительной продукции нового поколения // Известия МГТУ "МАМИ". Т. 2, № 2, 2012.