

вин, С. А. Соколов [и др.] // Промышленный транспорт. — 1988. — № 1.

7. Брауде В. И. Нагрузки порталных кранов / В. И. Брауде, Н. В. Звягинцев, Ю. В. Силиков // Тр. ЛИВТа. — Л.: Транспорт, 1969. — Вып. 123.

8. Андрианов Е. Н. Определение эквивалентных нагрузок и надежности элементов порталных кранов / Е. Н. Андрианов, В. И. Брауде // Тр. ЛИВТа. — Л.: Транспорт, 1984.

УДК 629.12,697.9

С. Н. Безпальчук,

инженер,
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»;

К. А. Васильев,

аспирант,
ФГБОУ ВПО «СПбГАСУ»

А. К. Наумова,

заведующий сектором Учебного отдела,
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ СУДОВОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

THE USE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS FOR FABRICATION OF PIPING SYSTEMS OF SHIP VENTILATION

В статье рассмотрены вопросы использования полимерных композиционных материалов при изготовлении арматуры судовой вентиляции. Приведены разные конструкции трубопроводов и особенности технологии производства изделий из композиционных материалов.

In the article the questions of the use of polymeric composite materials in the manufacture of armature ship ventilation. There are a variety pipe work design and technological features of manufacture of goods from composite materials.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, реактопласт, матрица, наномодификатор, конструкция воздуховода, футеровка термопластом.

Key words: polymeric composite material, thermosetting, matrix, modifier necessary, the design of the ventilation duct liner thermoplastic.



При проектировании современных судов уделяют большое внимание системам мощной и развитой вентиляции. На судах различного назначения применяют разные системы вентиляции [1–5]. При этом в практике судостроения наметились следующие тенденции: для судов малого водоизмещения с энергетическими установками небольшой мощности пригодны низкоскоростные системы, для судов большого водоизмещения (свыше 5000 т) — среднескоростные системы, а в последнее время — высокоскоростные централизованные вытяжные системы. На судах может насчитываться до нескольких десятков километров трубопроводов вентиляционных систем разного профиля и назначения. Разветвленная сеть воздухопроводов с большим количеством арматуры и вентиляторов существенно усложняет эксплуатацию системы и ее общую

эффективность. На фоне общих трудностей, возникших при эксплуатации систем современной судовой вентиляции, в мировой практике судостроения наметились две основные линии дальнейшего усовершенствования. Так *первый путь* — увеличение скорости в воздухопроводах, снижение энергопотребления, повышение общего ресурса и срока службы отдельных элементов и системы в целом. Задачи данного направления могут решаться комплексно, за счет использования новых инженерных решений и конструкционных материалов. *Второй путь* — комплексная автоматизация механических устройств арматуры, вентиляторов и программное управление системой вентиляции в целом. Задачи направления могут решаться за счет использования возможностей силовой электроники, выполненной на современной базе электронных компонентов и пакетов специальных прикладных программ.

К элементам судовой вентиляции, в силу конструктивного исполнения и специфических моментов эксплуатации, предъявляются несколько иные требования, чем к аналогичным системам вентиляции портовых сооружений или промышленных объектов [1]. Так, повышенные требования по пожарной безопасности, экологичности, химической стойкости и стойкости к агрессивным средам и морской воде, долговечности, неприхотливости в эксплуатации, технологичности и сравнительно простому ремонту существенно ограничивают выбор конструкционных материалов. В настоящее время активно используются металлы и эластомеры в виде резиновых уплотнений.

Современный судостроительный российский рынок недостаточно знаком с трубопроводной арматурой для системы вентиляции из композиционных материалов. Между тем потенциальный спрос на данную продукцию в судостроении огромен. В качестве потенциальных производителей изделий из реактопластов могут рассматриваться производители композитных материалов.

Мировым лидером в производстве и потреблении изделий из подобных материалов являются США, где их промышленное производство было налажено еще в конце 1940-х гг. [5; 6]. Стеклопластиковые трубы были впервые использованы в системах вентиляции в конце 1950-х. В 1970-х гг. в Западной Европе для химических производств они стали стандартным решением проблемы коррозии и катастрофического износа трубопроводов систем вентиляции.

Ниже в статье рассмотрены вопросы, связанные с перспективами использования новых композиционных материалов (КМ) — реактопластов (стеклопластиков, углепластиков, боропластов) и полимерных композиционных материалов (ПКМ) с термофиксированной матрицей в трубопроводах системы вентиляции.

1. Использование композиционных реактопластов в трубопроводах системы вентиляции в судостроении.

Для изготовления трубопроводной арматуры из ПКМ [6; 7] в зависимости от назначения, места и способа расположения элементов системы вентиляции могут применяться различные материалы:

- базальтовые, стеклянные или углеродные волокна;
- синтетические волокна из различных материалов;
- резины, полиуретаны и фторопласты различных марок;
- связующие материалы на базе различных смол и клеевых композиций.

В судостроении композиционные реактопласты, в частности стеклопластики, используются для производства корпусов яхт, катеров, лодок, гидроциклов, маломерных судов, спасательных шлюпок, мачт и надстроек, резервуаров, обтекателей, буев и др. Реактопласты и ПКМ как новые конструкционные материалы находят широкое применение в судостроении благодаря эффективному и рациональному сочетанию физико-химических, физико-механических и эксплуатационных свойств, таких как:

- высокое соотношение прочностных характеристик к массе и удельной плотности (показатель предела прочности металлической арматуры из углеродистой конструкционной стали — 390 МПа, композитной — не менее 1000 МПа);
- химическая стойкость и инертность к большинству наиболее активных агрессивных сред;

- долговечность и стойкость изделий к водной среде, в первую очередь к морской воде (до 30–50 лет);
- относительная простота эксплуатации изделий и технологичный ремонт;
- низкая (по сравнению с металлами) теплопроводность;
- низкий тепловой коэффициент линейного расширения;
- широкий диапазон рабочих температур (–50 до 100 °С);
- устойчивость к воздействию микроорганизмов, биоразрушению, ультрафиолетовых лучей и неблагоприятных факторов окружающей среды;
- хорошие диэлектрические свойства, исключают необходимость защиты от электрохимической коррозии;
- радиопрозрачна;
- магнитоэнертна (не меняет свойства под воздействием электромагнитных полей).

2. Виды трубопроводной арматуры системы вентиляции из ПКМ, производимых в мире.

Типы трубопроводов из ПКМ различных производителей можно разделить на три группы по следующим признакам [5–7]:

- 1) тип связующего (матрицы): эпоксидное, полиэфирное, полимерные;
- 2) тип волокна и армирования;
- 3) тип соединения трубопроводной арматуры: клеевое (неразъемное) или механическое (рас-труб–ниппель, бандажное, фланцевое);
- 4) конструкция стенки трубопроводной арматуры: чистый ПКМ (без футеровки), ПКМ с пленочным слоем (футерованные трубы), многослойные конструкции.

Существенным различием между трубами из ПКМ различных производителей является конструкция стенки (см. рис. 1).

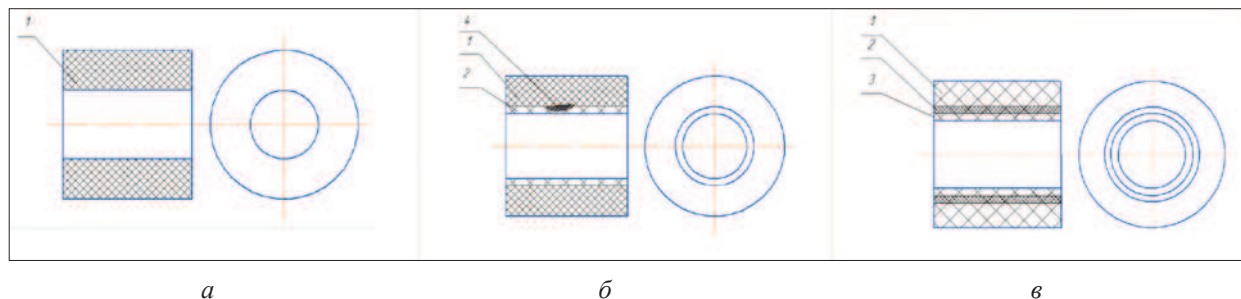


Рис. 1. Схема конструкции стенки трубы системы вентиляции из ПКМ:

- а* — однослойная (1 — основа ПКМ);
б — двухслойная (2 — внутренняя футеровка, 4 — дефект, отслоение, каверна);
в — трехслойная (2 — внутренняя и 3 — наружная футеровка, пропитанный слой ПКМ)

Однослойная труба системы вентиляции из ПКМ, выполняемая без футеровки, является классическим примером применения композитных труб. Имеется внутренний слой — модифицированный лайнер (толщина лайнера может составлять от 0,2 до 0,8 мм). Однако применение такой конструкции в жестких и сложных условиях (например, в системе вытяжной вентиляции машинного отделения) осложнено повышенными температурами окружающей среды, внешними механическими воздействиями на трубопровод от вибраций и агрессивным воздействием газовой среды. Для снижения влияния этих факторов требуется уделять особое внимание дополнительной защите вентиляции: дополнительное лакокрасочное покрытие, эпоксидные компаунды и т. п. Стоимость однослойных воздуховодов может быть несколько ниже стоимости труб, футерованных пленочными материалами, и многослойных труб, однако стоимость выполнения дополнительных

работ значительно выше. Кроме того, воздуховоды, изготовленные из однослойных труб, менее надежны в эксплуатации. Эти обстоятельства существенно снижают технико-экономический эффект от применения воздуховодов однослойной конструкции.

Воздуховоды из ПКМ двухслойной конструкции, футерованные изнутри пленочными материалами, менее подвержены потере герметичности в условиях негативного воздействия машинного зала и ДВС. Толщина защитного слоя может составлять от 1 до 3 мм. Однако за время эксплуатации двухслойных воздуховодов в условиях системы вентиляции химического и нефтегазового производства был выявлен ряд серьезных недостатков, требующих изменения конструкции и технологии изготовления воздуховодов:

- недостаточная адгезия между футеровочным и слоем основы ПКМ, что не позволяет обеспечить монолитность стенки трубопровода;
- нарушение эластичности материала футеровки при повышенных температурах окружающей среды (машинного зала);
- отслоение футеровки от оболочки ПКМ трубопровода при транспортировке по трубам газосодержащих сред, например из машинного зала, — CO, CO₂, CN (кессонный эффект).

Обеспечение достаточной адгезии к ПКМ и эластичности внутреннего слоя является взаимно противоположной проблемой. Лучшая адгезия к слою ПКМ обеспечивается химической сшивкой двух материалов, и для этого в качестве футеровки целесообразно применять материал термореактивной природы [6; 7]. Однако такой материал теряет эластичность при низких и течет при высоких температурах (плюсы двухслойной конструкции трубы теряются). Напротив, лучшую эластичность при низких температурах имеет термопластичный материал — полиэтилен, однако осуществить его химическую сшивку со стеклопластиковой оболочкой проблематично. При транспортировке по трубопроводу из двухслойных труб среды, содержащей газ, происходит так называемый кессонный эффект, заключающийся в отслоении внутреннего пленочного слоя от основы ПКМ. При разгазировании или растворении газа из транспортируемой среды создаются условия, когда газ проходит через внутренний пленочный слой, скапливается между ПКМ и футеровочным слоем и создает давление на футеровку снаружи. Под действием давления газа между слоями пленочный слой отслаивается от ПКМ, в результате чего конструкция трубопровода нарушается. Данное явление не происходит, если в среде, импортирующейся по трубопроводу, отсутствует газ, содержащий агрессивные компоненты, которые при наличии паров воды образуют кислоты и агрессивные щелочи.

Двухслойные трубопроводы предназначены для эксплуатации в системах вентиляции, транспортирующих разгазированные среды: трубопроводы системы приточной вентиляции. Внутренний слой воздуховодов может быть выполнен из полиэтилена высокого давления (ПВД) — материала, считающегося наиболее химически стойким в средах вентиляции химических предприятий. Адгезия полиэтилена к ПКМ обеспечивается за счет использования специальной марки полиэтилена, сшивающегося в процессе отверждения трубы, рецептуры эпоксидного связующего и режима термообработки труб. В процессе термообработки обеспечивается одновременная сшивка полиэтилена и отверждение эпоксидного связующего. В результате этого отслоить внутренний полиэтиленовый слой трубы от ПКМ без разрушения последнего практически невозможно.

Конструкция трехслойных трубопроводов отличается от двухслойных наличием внутренней оболочки ПКМ, конструктивно раскрепленной с футеровочным слоем. Толщина внутренней оболочки может составлять от 0,5 до 6 мм в зависимости от внутреннего диаметра трубы. Внутренняя оболочка не несет нагрузок вдоль оси трубы, и ее конструкция оптимизирована для большей прочности в окружном направлении. Внутренняя оболочка предназначена для сглаживания циклически изменяющегося внутреннего давления в трубе возникающего при растворении или разгазировании содержащегося в транспортируемом продукте газа. Транспортируемая газовая среда проникает в область между внутренней оболочкой и пленочным слоем, создавая тем самым область постоянного давления вблизи футеровки, которое равно рабочему давлению в трубопроводе. За счет этого кессонный эффект не происходит. Вместе с этим внутренняя оболочка допол-

нительно повышает жесткость труб и уменьшает температурное воздействие среды на несущий ПКМ, что также повышает долговечность их использования.

При производстве воздуховодов из ПКМ с внутренней футеровкой целесообразно использовать наномодифицирование поверхностей основы ПКМ и материала футеровки. Так, имеется положительный опыт использования фуллероидных наномодификаторов в матрице для повышения общей адгезии и когезии футерованного слоя (см. рис. 2) [8].

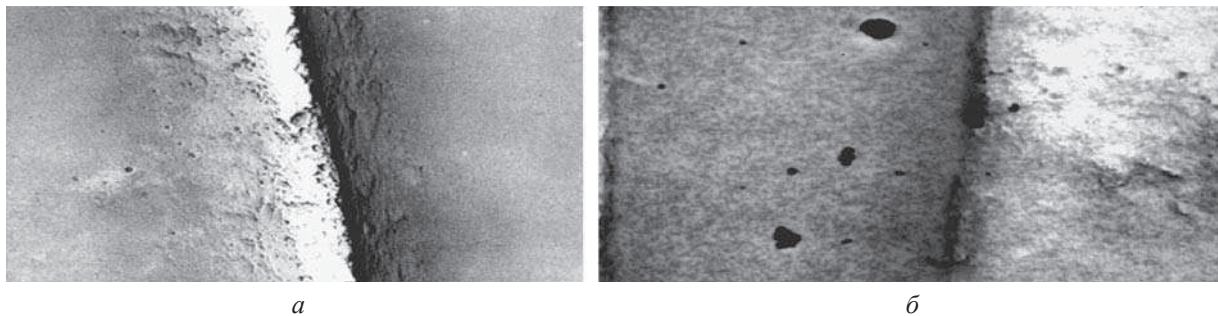


Рис. 2. Микрофотография ($\times 3000$) явления модификации межфазных границ в многослойном углепластике УГЭТ (материал ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» [8]):

а — зазор межфазного раздела шлиф углепластика без фуллероидного наномодификатора в матрице;
б — отсутствие межфазного зазора между волокнами углеволокна после модификации эпоксидной матрицы

3. Повышение огнестойкости и пожарной безопасности композиционных реактопластов.

При использовании ПКМ в трубопроводной арматуре системы судовой вентиляции важно решить вопрос повышения огнестойкости и пожарной безопасности системы в целом. При термическом разложении реактопласты выделяют большое количество токсичных материалов. Это является крайне негативным и ставит под сомнение любое применение подобных материалов в замкнутых помещениях судовых надстроек. Однако есть пути существенного повышения пожарной безопасности данных композиционных материалов. Имеется ряд решений проблемы, оформленных в виде патентов. Так, патент RU 2161520 предполагает использование микрокапсулированных пожаротушащих агент [9], вводимых в матрицу холодного отверждения. В качестве пожаротушащих агент используют вещества класса галогензамещенных углеводородов, имеющих формулу C_3F_7I либо C_nF_{2n+2} , где $n = 5 - 7$, либо $(C_2F_5)_2N(C_mF_{2m+1})$, где $m = 1 - 2$. Компоненты входят в состав композиции в соотношении, мас. %: микрокапсулированный пожаротушащий агент 40–51,4, полимерное связующее — остальное. Матрицу холодного отверждения выбирают из класса полиэпоксидов на основе диановых или алифатических эпоксидных смол, или смеси диановых и алифатических эпоксидных смол, или класса полиуретанов. Пожаротушащий агент выполнен в виде микрокапсул, каждая из которых представляет собой микросферы диаметром 100–400 мкм, состоящие из сферической полимерной оболочки, и заключенного внутри оболочки жидкого пожаротушащего агента. Микрокапсулы вскрываются в интервалах температур 130–149 °С и 166–190 °С. В зависимости от используемой технологии микрокапсулы могут встраиваться в футеровочный или наружный слой трубопровода и арматуры, выполненной из ПКМ. Материал обеспечивает автоматическое подавление зарождающихся очагов пожара и может быть эффективно использован в судостроении для защиты наиболее уязвимых узлов и агрегатов корабельной системы вентиляции.

Заключение

Таким образом, в трехслойной конструкции воздуховодов, выполненных из ПКМ, может решаться большой круг вопросов обеспечения работоспособности и надежности системы судовой вентиляции:

— механическая прочность и долговечность воздухопроводов и арматуры достигается применением ПКМ на эпоксидном, фенольном или полимерном связующем;

— надежная стыковка элементов системы вентиляции обеспечивается применением разных типов механического (раструб–ниппельного, фланцевого, бандажного) соединения, соответствующего требованиям международных стандартов в данной отрасли;

— герметичность системы вентиляции, выполненной из ПКМ, при возникновении внешних нагрузок в процессе эксплуатации и монтаже воздухопроводов обеспечивается применением эластичного футеровочного пленочного слоя, химическая стойкость которого является эталонной в нефтяных, кислотных и щелочных средах;

— использование наномодификаторов позволяет решить вопрос сохранения эластичности футеровки при пониженных и повышенных температурах эксплуатации при одновременном обеспечении ее адгезии к основе ПКМ;

— для экстремальных условий возможно повышение огнестойкости и пожарной безопасности ПКМ за счет микрокапсулированных пожаротушащих агент, вводимых в матрицу холодного отверждения.

Список литературы

1. ГОСТ 24389-89. Системы кондиционирования воздуха, вентиляции и отопления судов. Расчетные параметры воздуха и расчетная температура забортной воды. Взамен ГОСТ 24389-80.
2. Суда внутреннего и смешанного (река–море) плавания. Санитарные правила и нормы СанПин.2.5.2-703-98 Минздрав России. — 1998. — 144 с.
3. *Петров Ю. С.* Вентиляция и кондиционирование воздуха: учебник / Ю. С. Петров. — Л.: Судостроение, 1984. — 160 с., ил.
4. *Мундингер А. А.* Судовые системы вентиляции и кондиционирования воздуха: справ. пособие по проектированию / А. А. Мундингер [и др.]. — Л.: Судостроение, 1974. — 406 с.
5. *Баженов С. Л.* Полимерные композиционные материалы. Прочность и технологии / С. Л. Баженов [и др.]. — М.: Интеллект, 2009. — 352 с.
6. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина, пер. с англ. под ред. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта, Б. Э. Геллера. — М.: Машиностроение, 1988. — 448 с.
7. *Михайлин Ю. А.* Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы / Ю. А. Михайлин. — 2006. — 624 с.
8. Пат. № 2188834 РФ. Антифрикционная композиция / Рыбин В. В., Пономарев А. Н., Петров В. М., Абозин Ю. В., Бахарева В. Е., Малинок М. В., Никитин В. А. — Оpubл. 10.09.2002.
9. Пат. № 2161520 РФ. Огнегасящий полимерный композиционный материал / Вилесова М. С., Босенко М. С., Вилесов А. Д., Марей В. А., Суворова О. М., Ткачев Б. И., Халтуринский Н. А. — Оpubл. 10.01.2001.