



УДК 621.86/87.002.5:621.22-237

© С. П. Захарычев, В. А. Иванов, 2008

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ РАДИАЛЬНОЙ НАМОТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Захарычев С. П. – канд. техн. наук, доц. кафедры «Машины и оборудование лесного комплекса»; *Иванов В. А.* – д-р техн. наук, проф. завкафедрой «Машины и оборудование лесного комплекса» (ТОГУ)

Применение новых антифрикционных полимерных композиционных материалов (ПКМ) для использования в узлах трения – одно из направлений повышения надежности машин. Они должны обладать требуемыми физико-механическими и специальными триботехническими свойствами, обеспечивающими долговечность эксплуатации различных деталей трения машин в заданных условиях.

Using of new antifriction polymeric composite materials for application in friction units is one way of increasing the reliability of machines. They must feature required physico-mechanical and special tribotechnical properties providing long service life for the parts of friction of different machines.

Введение. ПКМ, имеющие специфическое свойство самосмазываемости, получили название материалов антифрикционных самосмазывающихся (МАС). Основой этих материалов является термопластичная матрица – эпоксидная смола, связывающая комплекс специальных антифрикционных наполнителей - фторопласт, твердые смазки, армирующие волокнистые компоненты и дисперсные порошки. Разработанные в НИЛ «Композиционные материалы» ТОГУ составы ПКМ получили обозначения ЭФЛОНГ, ЭФЛАСТ. Материалы марок ЭФЛОНГ – это литые композиты, изделия из которых получают методами центробежного формования или прессованием [1]. Материалы марок ЭФЛАСТ – это армированные тканями ПКМ. Изделия из них отличаются более высокой прочностью и ударной стойкостью [2]. В зависимости от требуемой конфигурации армированных изделий их целесообразно получать прессованием (для плоских или криволинейных по-

верхностей) или методом радиальной намотки армирующих тканей с одновременной пропиткой их композиционным составом. При этом можно изготовить втулки и кольца требуемых диаметров и толщины.

Для получения качественных армированных композиционных самосмазывающихся подшипников скольжения (СПС) и деталей уплотнительных систем (УПС) узлов гидропривода машин, кроме разработки оптимальных составов материалов, требуется создание специального технологического оборудования. Уже на стадии проектирования установки необходимо предусмотреть возможность автоматизированного управления, позволяющего задавать, контролировать и регулировать технологические условия процесса изготовления.

Рассмотрим факторы, которые необходимо учитывать для реализации данного вида технологии.

1. Эксплуатационные факторы. К этой группе относятся факторы, определяющие время эксплуатации деталей узлов трения машин и вызывающие изменения свойств материалов и деталей. Прежде всего, это вид нагружения, цикличность, условия среды (температура эксплуатации, влажность, вибрационные нагрузки, режимы смазки). Эксплуатационные факторы определяют условия выбора материала с соответствующими требуемыми заданными свойствами под характеристики несущей способности для каждой конкретной детали узла трения. Следует отметить, что принятая в инженерной практике методика проектирования подшипников скольжения по допускаемым удельным давлениям и производству их на скорость сдвига не учитывает особенностей сложного деформирования слоев антифрикционных материалов в зоне трения, вызывающего усталость материалов.

2. Факторы, определяющие свойства ПКМ. Эту группу факторов можно объединить общим термином – состав. Для армированных ПКМ к факторам состава относятся: состав матрицы и армирующего наполнителя. Природа армирующих волокон оказывает большое влияние на адгезию компаунда к материалу. Диаметры волокон, их ориентация в армирующем полотне и чередование слоев в материале, пористость материала, состав и количественные соотношения специальных дисперсных антифрикционных наполнителей, входящих в связующий компаунд, режим и степень отверждения во многом определяют эксплуатационные характеристики ПКМ.

Анализ работ в области армированных ПКМ показывает, что прочностные свойства армированных материалов в первую очередь определяются свойствами армирующих волокон (нитей, жгутов, ровинга или тканей). Диаметр волокон и объемное содержание их в материале имеют свой оптимум для каждого заданного вида нагружения, который зависит от величины поверхности волокон и адгезионных свойств свя-



зующего компаунда. Для стеклопластиков, например, содержание волокна колеблется от 70 до 84 % по массе, для углепластиков и органо-волоконитов – в пределах 55–70 %, для боропластиков – 75–86 % [4, 5]. Увеличение адгезии компаунда к волокнам вызывает увеличение сдвиговой прочности материала, прочности на растяжение и сжатие.

3. Факторы, характеризующие процессы формообразования и отверждения деталей. Эта группа технологических факторов определяет структуру получаемых материалов в процессе изготовления. Свойства армированных деталей из ПКМ, изготавливаемых методом намотки, зависят от величины и равномерности натяжения волокон, траекторных отклонений волокон (текстуры полотна и схемы его переплетения), величины давления наматываемых слоев и их количества, равномерности пропитки, скорости намотки и ширины пропитанной ленты армирующего материала, габаритов деталей, температуры формообразования, временем гелеобразования, режимов последующей термообработки. Ориентация волокон, текстура тканей, плотность укладки и напряжения в материале должны строго соответствовать расчетной схеме нагружения детали, чтобы механические свойства ПКМ достигали максимально возможных величин.

С повышением степени отверждения матрицы возрастают механические свойства материала, т.к. в полимерной сетке возрастает количество поперечных связей, а повышение пористости материала вызывает снижение механической прочности (в первую очередь, прочности межслоевого сдвига) и может являться причиной преждевременного разрушения материала.

ПКМ МАС могут наилучшим образом отвечать требованиям, предъявляемым к деталям узлов трения машин. Однако свойства ПКМ, являющегося сложной гетерогенной системой, зависят от большого числа факторов. Поэтому чтобы получить материал с требуемыми свойствами, необходимо изучить влияние различных факторов процесса формирования на организацию его внутренней структуры.

Анализ вышеизложенного показывает, что при совмещенной с пропиткой прямой радиальной намотки на показатели прочности и несущей способности армированных антифрикционных ПКМ в первую очередь оказывает натяжение армирующего материала при укладке его на образующую поверхность.

Для изготовления деталей методом радиальной намотки с пропиткой антифрикционным компаундом с композитными наполнителями в НИЛ «Композиционные материалы» ТОГУ была разработана опытная установка намотки УН-1, позволяющая получать заготовки изделий с диаметрами и шириной до 300 мм (рис. 1). В данной конструкции в приводе оправки, на которой формируется антифрикционное покрытие

тие, использовался электродвигатель постоянного тока 3, соосно со-
 вмещенный с трехступенчатым планетарным редуктором. Для контро-
 ля натяжения ткани использовался механический датчик 8, измеряв-
 ший реактивный крутящий момент. Валки 6-7 блока пропитки распо-
 лагались между шпулей 4 и формообразующей оправкой 1 на линии
 подачи ткани.

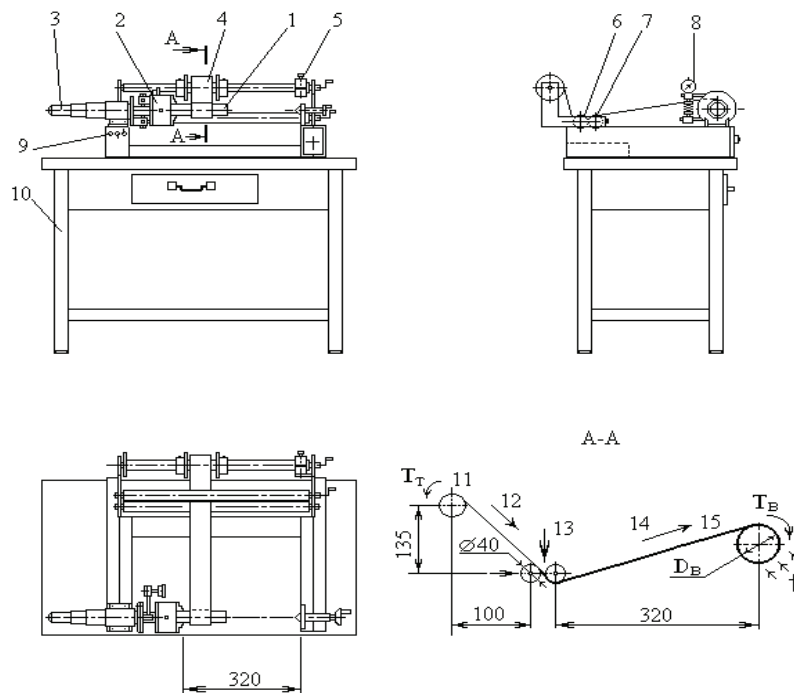


Рис. 1. Установка намотки УН-1 и кинематическая схема:

1 – оправка, 2 – шпиндель, 3 – мотор-редуктор, 4 – шпуля с тканью, 5 – тормоз, 6,7 –
 пропиточные валки, 8 – индикатор датчика вращающего момента, 9 – рама, 10 – стол,
 11 – разматываемый рулон ткани, 12 – подача сухой ткани, 13 – пропитка компаун-
 дом с отвердителем, 14 – подача пропитанной ткани, 15 – формирование армированной
 втулки; T_T – тормозной момент, T_B – момент вращающий, D_B – диаметр втулки,
 t – температура

Предварительное натяжение армирующего материала при радиаль-
 ной намотке вызывает уплотнение наполнителя в композиционном ма-
 териале. Повышенная прочность намотанных пластиков связана с соз-
 данием предварительного натяжения волокон в композиции, которое
 не должно превышать 20–30 % разрывной нагрузки. Степень уплотне-
 ния армирующих наполнителей, обеспечивает, например, в стеклопла-
 стиках до 95 % прочности [3].



Натяжение армирующей ткани во многом определяет достигаемую степень уплотнения волокнистого наполнителя. Давление на цилиндрическую оправку q связано с усилием натяжения ленты ткани F_{mk} при прямой радиальной намотке:

$$q = \frac{m \cdot F_{mk}}{r \cdot b},$$

где m – количество слоев; r – радиус заготовки; b – ширина ленты (для нитей и жгутов, плотно упаковываемых в пределах слоя; для отдельной нити или жгута-ровинга – b – шаг намотки).

Из условия равенства моментов вращения T_{ep} и момента натяжения пропитанной ткани T_{mk} , наматываемой на оправку, определяется сила натяжения ткани

$$T_{ep} = T_{mk}; \quad F_{np} \cdot l = F_{mk} \cdot r; \quad F_{mk} = \frac{F_{ep} \cdot l}{r} = \frac{k \cdot F_{ep} \cdot l}{r},$$

где k – тарировочный коэффициент преобразователя датчика натяжения армирующей ленты; l – плечо рычага датчика давления.

Взаимосвязь степени уплотнения с давлением формования q материала устанавливается экспериментально и выражается зависимостями вида

$$V_n = f(q),$$

где V_n – объемное содержание наполнителя (отношение объема, занимаемого волокнами, ко всему объему, занимаемому намотанным материалом, включая объем межволоконных промежутков).

В полулогарифмических координатах эти зависимости содержат три характерные области (рис. 2).

С достаточной для инженерной практики точностью каждая область может описываться эмпирической формулой вида

$$V_n = A_q \cdot \lg q + B_q,$$

где A_q и B_q – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа наполнителя.

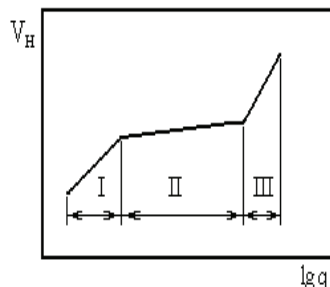


Рис. 2. Зависимость степени уплотнения от давления формования $V_n = f(q)$:
I – уменьшение пор, II – область упругой деформации,
III – контакт и разрушение волокон

Для практического использования рекомендуется использовать только первую область зависимости для конкретного материала [3].

Давление на оправку изменяется не только в процессе намотки, но и в процессе отверждения (рис. 3).

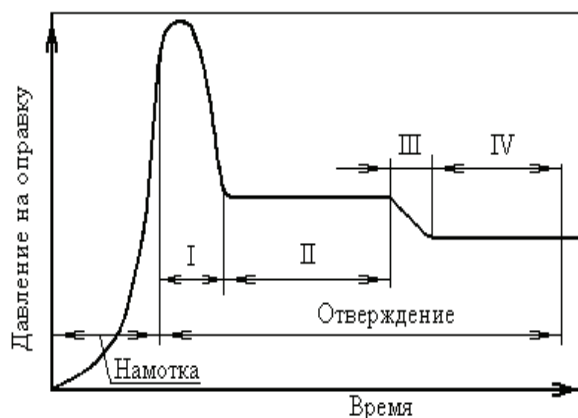


Рис. 3. Изменение давления на оправку в процессе намотки и отверждения:
I – подъем температуры в печи; II – выдержка температуры в печи;
III – охлаждение; IV – выдержка при 20 °С

Особенно интенсивному давлению подвержена оправка в начальный период отверждения, когда действующие давления в 2-4 раза превосходят нагрузки от натяжения волокнистого наполнителя при намотке. К моменту окончания термообработки давление армированного композиционного полимерного материала на оправку падает до 30–60 % от начального, а при небольшом исходном натяжении давление может падать до нуля. При намотке на холодную оправку остаточное давление составляет не более 10 % начального натяжения, более того, возможно даже отслоение стенки изделия от оправки. В стеклопластиках



малое натяжение приводит к более высокому уровню остаточных напряжений из-за термической усадки связующего [3].

Для композиционных антифрикционных материалов необходимо проведение специального исследования влияния натяжения армирующего полотна и температурного режима отверждения на уровень напряжений в материале, т.к. наличие специальных наполнителей несомненно будет сказываться на характере полимеризации. Отработка оптимальных технологических режимов для различных армирующих материалов позволит улучшить их эксплуатационные свойства.

4. Разработка конструкции установки для намотки. Известные кинематические схемы станков для изготовления деталей вращения постоянных сечений методом радиальной намотки тканей с пропиткой их различными компаундами различаются между собой расположением основных блоков: размотки ткани, пропитки и намотки ткани на формообразующую оправку [3-5]. Прежде всего, станки, специализирующиеся на определенных видах ПКМ, различаются устройством блоков пропитки ткани компаундами. Компаунды специального назначения имеют определенные композиции связующих (матрицы), наполненные самыми разнообразными наполнителями, придающими специфические свойства получаемым ПКМ. Разнородные высоконаполненные полимерные массы обладают весьма широким спектром динамической вязкости, изменяющейся с различной скоростью при варьировании температуры пропитки. Скорость пропитки определяет скорость намотки, т.к. процесс здесь совмещенный. На скорость пропитки и производительность процесса формования в целом влияют многие факторы, в числе которых существенная роль отводится проницаемости армирующих волокнистых наполнителей. Проницаемость является технологической характеристикой каждого наполнителя, зависящей от природы волокон, их ориентации и степени уплотнения, диаметров волокон ткани, структуры переплетения и пористости материала, определяющих суммарное гидравлическое сопротивление и скорость пропитки. Кроме того, на скорость пропитки влияет конструкция пропиточного узла, геометрия и конфигурация зон давления, определяющих градиенты стесненного течения компаундов в арматуре, и, конечно, реологические свойства компаунда при заданной температуре процесса. Отработка оптимального режима автоматической пропитки – задача многофакторная, требующая гидродинамического моделирования стесненного течения при определенных граничных условиях.

Разработанная конструкция блока пропитки должна учитывать все отмеченные выше специфические факторы процесса и обеспечивать требуемые давление, скорость и равномерность пропитки при использовании армирующих материалов определенного плетения и тек-

стуры с различной природой волокон, обладающих различными свойствами смачиваемости и гидравлическими сопротивлениями.

Анализ технологических факторов, схем и конструкций промышленных станков и опытных установок показывает, что для изучения влияния параметров процессов пропитки и армирования на качество структуры и свойства антифрикционных ПКМ в зависимости от их составов необходимо применение автоматизированной установки намотки для максимального исключения влияния “человеческого фактора” и обеспечения стабильности процессов во время производства изделий. Необходимо использовать современные датчики натяжения, частоты вращения и температуры, позволяющие задавать, контролировать и регулировать все требуемые технологические параметры процесса формирования армированных ПКМ. Кинематическая схема установки (см. рис. 1) должна включать блоки размотки, пропитки и намотки и предусматривать возможность трансформации устройства блока пропитки с целью оптимизации технологии изготовления. В НИЛ «Композиционные материалы» заканчивается изготовление новой автоматизированной установки намотки УН-2 (рис. 4).



Рис. 4. Установка намотки УН-2

5. Схема автоматизации установки намотки. Для контроля натяжения армирующей ткани при намотке применен тензодатчик Д1, разработанный фирмой «Сименс» (Германия) изготовления фирмы «SI-WAREX R» (Нидерланды) марки «BB – 100 kg – С3» (рис. 5).

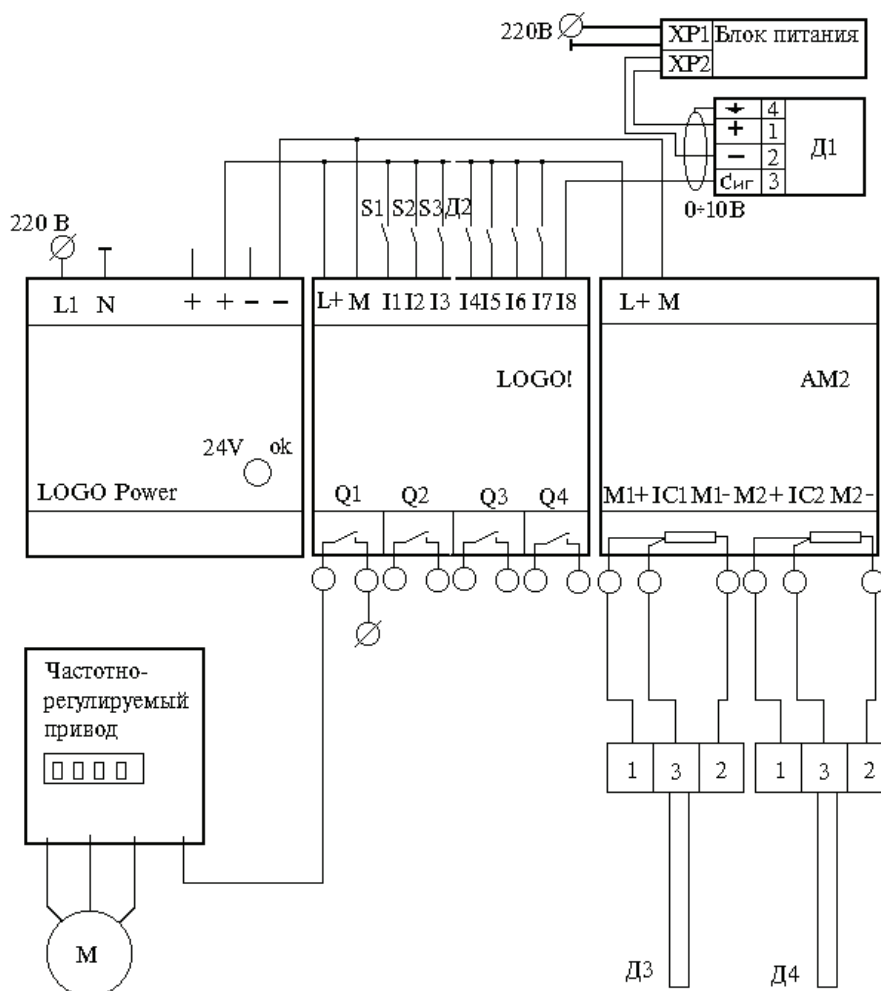


Рис. 5. Блок-схема электрическая для контроля и управления:

S1 – пуск; S2 – стоп; S3 – количество оборотов заготовки; Д1 – датчик крутящего момента; Д2 – датчик частоты вращения втулки; Д3, Д4 – датчики температуры (термопары)

Система управления, кроме частотного электронного управления двигателем и промышленного контроллера «LOGO!», включает кнопочный пульт, источник питания на 24 В, приборы электрозащиты. Контроллер позволяет управлять скоростью процесса намотки, изменяя частоту вращения заготовки, фиксирует и обрабатывает необходимое натяжение армирующего полотна, контролирует температуру пропитки и полимеризации заготовки изделия. Предусмотрен контроль числа оборотов ткани. Преобразователь контроллера имеет интерфейс RS-485, ModBUS-RTU, с помощью которого могут быть подключены до 32 устройств, скорость обмена с которыми составляет 19,2 кб/с. При



этом используется программное обеспечение, предназначенное для управления технологическим процессом от ЭВМ через USB-порт до персонального компьютера, на котором программа составляется в виде схемы функциональных блоков. После того как схема контроля и управления составлена и отлажена программным симулятором, код программы с помощью USB-PPI адаптера загружается в контроллер и можно выполнять цикл изготовления изделия в заданных технологических параметрах процесса. Автоматизация установки позволяет не только контролировать требуемые параметры технологического процесса, но, прежде всего, исследовать влияние технологических факторов на свойства ПКМ и деталей из них с целью отладки управляющих программ.

Работа выполняется по инвестиционному проекту – тема № 15-И-23.

Библиографические ссылки

1. *Иванов В. А., Ри Хосен.* Прогрессивные самосмазывающиеся материалы на основе эпоксиэфторопластов для триботехнических систем. Владивосток; Хабаровск, 2000.
2. *Иванов В. А., Захарычев С. П.* Самосмазывающиеся подшипники скольжения и технология их производства // Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов (ТПКММ). М., 2004.
3. *Калинчев В. А., Макаров М. С.* Намотанные стеклопластики. М., 1986.
4. *Технология* производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении / А. Г. Братухин, В. С. Боголюбов, О. С. Сироткин. М., 2003.
5. *Головкин Г. С., Дмитренко В. П.* Научные основы производства изделий из термопластичных композиционных материалов. М., 2005.