

УДК 674.81.0182.666.189.211:621

**РЕАКТОПЛАСТЫ НА ОСНОВЕ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ И АРМИРУЮЩИХ ВОЛОКОН И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В МАШИНОСТРОЕНИИ****А.Н. ЕКИМЕНКО***(Институт инновационных исследований, Гомель)*

*Рассмотрены реактопласты на основе измельченных отходов древесины и армирующих волокон и их применение в машиностроении. Показано, что армированные древесные пластики являются новыми высокопрочными конструкционными материалами, пригодными для изготовления различных сложнонагруженных деталей машин, работающих в условиях абразивно-агрессивных сред.*

Ограниченное применение масс древесных прессовочных (МДП) в машино- и станкостроении для изготовления сложнонагруженных деталей машин объясняется прежде всего низкой прочностью их при работе на ударный изгиб. Для увеличения ударной вязкости МДП в настоящее время применяются различные способы армирования их металлом.

Однако при формовании изделий из МДП и металлических элементов нарушается их гомогенность и монолитность вследствие различного коэффициента линейного расширения и неравномерной усадки разнородных материалов системы древесина – связующее – металл. При этом могут возникать значительные внутренние напряжения, трещины и коробления, которые отрицательно сказываются на работе конструкций.

Таким образом, применение металлической арматуры в качестве упрочняющего средства для материалов из измельченной древесины приводит к значительному удорожанию изделий, увеличению веса и усложнению технологического процесса.

В Институте инновационных исследований выполнены работы по армированию МДП полиоксидиозольным и углеродным волокнам.

Структурная механика, рассматривая композиционные материалы как системы, состоящие из двух или нескольких компонентов, объясняет, что прочность композиционных материалов определяется прочностью и адгезионным взаимодействием контактирующих тел.

Согласно теории склеивания, адгезионное взаимодействие тел есть функция нескольких факторов:

$$F_a = f(N, m, S, h, D),$$

где  $N$  – межмолекулярные силы взаимодействия, отнесенные к одной точке контакта;  $m$  – число точек контакта;  $S$  – истинная площадь контакта;  $h$  – расстояние между контактирующими точками;  $D$  – диэлектрическая проницаемость среды между контактирующими поверхностями.

На основании этой теории адгезионное взаимодействие древесного наполнителя, армирующих волокон и связующего в композиционном материале, а следовательно и прочность материала, тем выше, чем выше площадь контакта между склеиваемыми волокнами.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что армирующие волокна, сопряженные между собой посредством связующего, образуют каркас, который будет вовлекать в работу через контактные точки все составляющие монолита пластика. Поскольку полиоксидиозольное и углеродное волокна обладают высокой прочностью и низкой деформативностью, следует ожидать, что они будут воспринимать на себя всю или большую часть нагрузок.

В результате проведенного комплекса исследований на основе измельченной древесины и армирующих волокон разработан ряд конструкционных материалов (ДПКА – древесные пластики конструкционные армированные).

В статье приведены результаты исследований, отражающих зависимость физико-механических свойств ДПКА от вида и содержания связующего, толщины и материала промежуточного слоя между полиоксидиозольным волокном и связующим; приведены длины армирующих волокон и их количества в пресскомпозиции, а также составы некоторых марок материала; отражена работоспособность деталей машин из ДПКА в производственных условиях.

Для изготовления армированного древесного пластика были использованы следующие материалы:

- в качестве армирующего материала – отходы полиоксидиозольного и углеродного волокна;
- в качестве основного наполнителя – отходы деревообрабатывающих производств в виде опилок и стружек, прошедшие через сито с диаметром отверстий 6 мм и оставшиеся на сите с диаметром отверстий в 1 мм.

В качестве связующего использовались спиртовые растворы фенолформальдегидной смолы ЛБС-СТП Н05-02-91 и кремнийорганической смолы К-9-Б. Бинарное связующее включало в своем составе 75 % смолы ЛБС и 25 % смолы К-9-Б. Импрегнирование наполнителей связующим осуществлялось в четырех вариантах:

- 1) оба наполнителя импрегнировались бинарным связующим;
- 2) оба наполнителя импрегнировались фенолформальдегидной смолой;
- 3) древесный наполнитель обрабатывался фенолформальдегидной смолой, а армирующий – кремнийорганической;
- 4) оба наполнителя обрабатывались кремнийорганической смолой.

Количество связующего в пресскомпозиции изменялось в пределах от 10 до 30 % с интервалом в 2,5 %.

В процессе исследований полиоксидиозольное и углеродное волокна подвергались бинарному импрегнированию, т.е. первоначально на их поверхности из раствора поливинилового спирта или латекса формировалась адгезионно связанная «демпфирующая» оболочка, а затем они обрабатывались бинарным связующим. Было изучено влияние вида материала промежуточного слоя между полиоксидиозольным, углеродным волокнами и связующим и его толщины на механические свойства ДПКА. При этом содержание латекса в композиции изменялось в пределах от 1 до 3 %, а поливинилового спирта от 2 до 3 %. Для сшивки молекул латекса в процессе вулканизации применяли раствор диметилдитиокарбоната натрия. Толщина полимерной оболочки на поверхности волокон изменялась в пределах от 2 до 15 мк. Регулирование ее толщины осуществлялось путем изменения концентрации растворов исследуемых материалов при нанесении их на поверхность армирующих волокон. Сплошность и толщина пленки определялись на микроскопе МБИ-11.

С целью определения оптимального принципа адгезионного соединения разнополярных материалов в одном монолите, обеспечивающего высокую прочность ДПКА при сравнительно невысокой его стоимости, был проведен ряд экспериментов по исследованию зависимости механической прочности (ударной вязкости, предела прочности при растяжении, твердости) от вида и содержания связующего.

Исследованиями установлено, что наилучшими показателями механических свойств обладает ДПКА при толщине промежуточного слоя между волокнами и связующим в пределах 3...5 мкм. Оптимальная толщина пленки достигается при импрегнировании волокон раствором поливинилового спирта 5...6 % концентрации.

На рисунке 1 приведены результаты зависимости ударной вязкости, прочности при растяжении и твердости ДПКА от вида (варианта) связующего и его процентного содержания в материале.

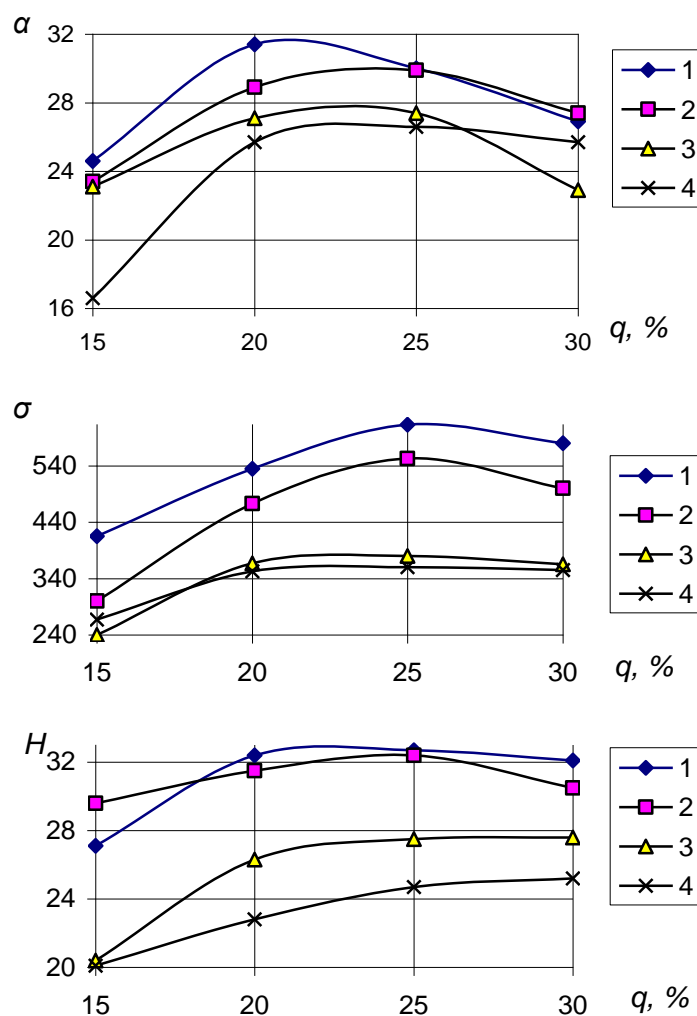


Рис. 1. Зависимость физико-механических свойств ДПКА от содержания и вида (варианта) связующего:  
 $\alpha$  – ударная вязкость, КДж/м<sup>2</sup>;  $\sigma$  – прочность при растяжении, Н/м<sup>2</sup>;  
 $H$  – твердость, МПа;  $q$  – массовая доля, %; 1, 2, 3, 4 – варианты обработки наполнителей связующим

Как видно из графиков, наибольшей ударной вязкостью обладает ДПКА, оба наполнителя которого импрегнированы бинарным связующим при содержании его около 20 % (1-й вариант).

Дальнейшее увеличение количества связующего снижает ударную вязкость материала. Несколько меньшей прочностью на ударный изгиб характеризуется ДПКА на основе одной фенолформальдегидной смолы. Наилучшими показателями твердости и при растяжении обладают ДПКА на основе бинарного связующего, при этом оптимальное количество связующего составляет 24...25 %.

На рисунке 2 приведены результаты зависимости физико-механических свойств ДПКА от содержания армирующих волокон.

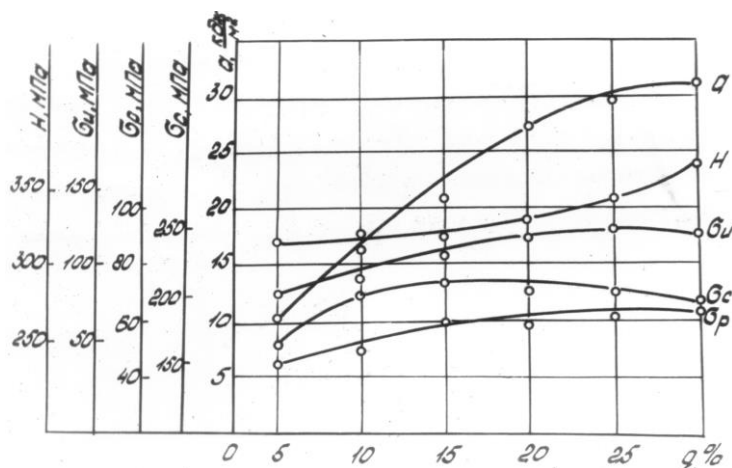


Рис. 2. Зависимость физико-механических свойств ДПКА от содержания армирующих волокон:

$\alpha$  – ударная вязкость;  $H$  – твердость;  $\sigma_{и}$  – прочность при статическом изгибе;

$\sigma_{р}$  – прочность при растяжении;  $\sigma_{с}$  – прочность при сжатии

Анализ полученных зависимостей показал, что с увеличением содержания армирующих волокон от 5 до 20 % наблюдается интенсивное повышение механической прочности материала, а при дальнейшем увеличении свыше 20 % прочность ДПКА изменяется незначительно.

Введение в состав пресскомпозиции 10...15 % полиоксидозольного и 5...8 % углеродного волокон увеличивает прочность при растяжении в 2 раза, статическом изгибе – на 60...70 %, сжатии – на 35...40 %, ударную вязкость – в 4...5 раз и твердость на 15...20 %.

В результате проведенных исследований особенностей физического и механохимического взаимодействия ингредиентов в композиционных материалах разработан научно обоснованный метод получения новых композиций на основе полярных и неполярных материалов, таких как полиоксидозольное и углеродное волокна и полимерное связующее. Сущность его заключается в том, что на поверхности неполярных и малополярных материалов предварительно перед импрегнированием их связующим с жесткой сетчатой структурой из эластичных полимеров (поливинилового спирта, латекса и др.) создается адгезионно связанная «демпфирующая» оболочка, способствующая снижению свободной поверхностной энергии на границе раздела и уменьшению внутренних напряжений в зоне контакта связующего с армирующими элементами из полиоксидозольного и углеродного волокон или других волокнистых материалов.

Проведенный комплекс исследований позволил на основе отходов древесины, полиоксидозольного и углеродного волокон разработать новые конструкционные материалы, состав которых приведен в таблице.

Состав материалов ДПКА

Наименование компонентов	Содержание ингредиентов, масс. %	
	ДПКА-1	ДПКА-2
1	2	3
Измельченная древесина	60,6...44,8	56,5...38,5
Полиоксидозольное волокно	10...15	–
Углеродное волокно	5...8	15...20
Фенолформальдегидная смола (сухой остаток)	16,5...21	22...27
Кремнийорганическая смола (сухой остаток)	5,5...7	–
Синтетический латекс (сухой остаток)	–	1...3

Продолжение таблицы

1	2	3
Поливиниловый спирт	2...3	–
Мочевина	0,1...0,4	–
Поливинилбутираль	0,2...0,5	–
Стеарат алюминия	0,1...0,3	–
Йодистый кадмий	–	0,3...0,7
Стеарат цинка	–	1,1...2,5
Изобутиловый спирт	–	0,4...0,9
Диметилтетрахлортерефталат	–	0,7...2,4
Графит	–	3...5

Для использования отходов полиоксидиозольного и углеродного волокна в качестве армирующих элементов при изготовлении армированных древопластов нами разработана установка, позволяющая перерабатывать такие отходы (в виде путанки) на отрезки заданной длины.

На рисунке 3 приведена принципиальная схема установки, которая состоит из станины 1, внутри которой смонтирован привод, состоящий из электродвигателя 2 и редуктора 3; подающего устройства 4; нижнего опорного ножа 5, набранного из отдельных секций 6, разделенных прокладками 7, заключенных в подпружиненных прижимах 8; ножа 9 поперечной резки; ножей 10 продольной резки, которые закреплены с помощью пластин 11 на траверсе 12, скользящей по направляющим 13.

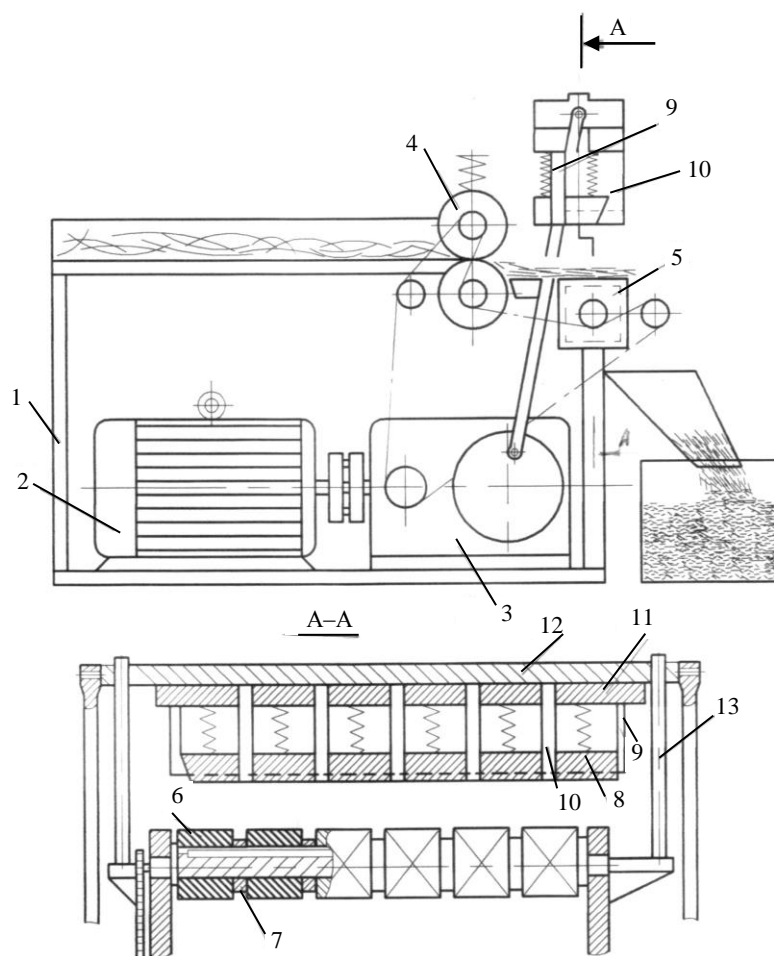


Рис. 3. Схема установки для измельчения отходов полиоксидиозольных и углеродных волокон

Установка работает следующим образом. Расположенный в станине 1 редуктор 3, приводимый в движение электродвигателем 2, заставляет совершать возвратно-поступательные движения траверсу 12, скользящую по направляющим 13. От редуктора приводится также в пульсирующее движение подающее устройство 4 и кинематически связанный с траверсой нижний опорный нож 5, набранный из отдельных секций 6, разделенных прокладками 7. Каждая из секций и прокладок имеют квадратное поперечное сечение, поэтому нож в сборе имеет вид параллелепипеда с квадратным сечением и пазами на каждой грани для входа ножей продольной резки материала.

Путаное полиоксидиозольное или углеродное волокно укладывается на поддон и захватывается роликами подающего устройства. Когда траверса с ножами идет в верхнее положение, подающее устройство толчком переносит волокно в зону резания. В это время нижний опорный нож, кинематически связанный с траверсой, поворачивается на  $80^\circ$  и сбрасывает волокно, измельченное в предыдущем цикле. Поданное волокно попадает на грань нижнего опорного ножа. Затем траверса перемещается вниз, смонтированные на ней подпружиненные прижимы 8 зажимают волокно на грани нижнего опорного ножа. При дальнейшем ходе траверсы вниз вначале нож 9, расположенный перпендикулярно подаче, отрезает часть волокна от общей массы, а затем ножи 10 разрезают отрезанную часть волокна на короткие отрезки, входя при этом своими лезвиями в пазы опорного ножа, образованные прокладками. Затем цикл повторяется.

Для регулирования степени измельчения волокна подбираются соответствующей длины набранные секции для нижнего опорного ножа и равные им по длине пластины 11, с помощью которых ножи крепятся на траверсе.

Кроме лабораторных исследований разработанные материалы были всесторонне испытаны в производственных условиях. На рисунках 4 и 5 приведены фланцы катушек прядильно-отделочного агрегата АВК-0,6 и штуцер с гайкой машины К-4 для изготовления искусственного волокна, эксплуатируемые на Балаковском заводе «Химволокно».

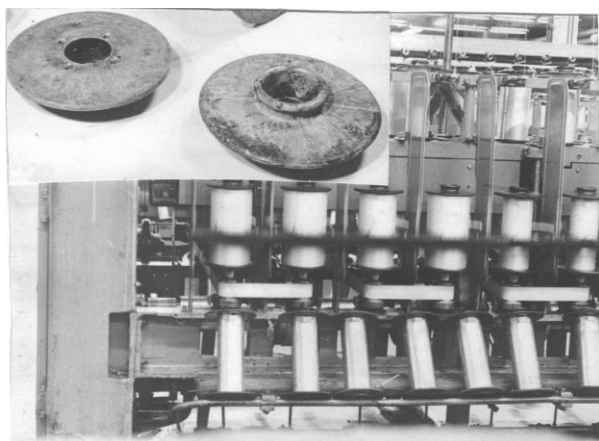


Рис. 4. Фланцы катушек из ДПКА прядильно-отделочного агрегата АВК-0,6

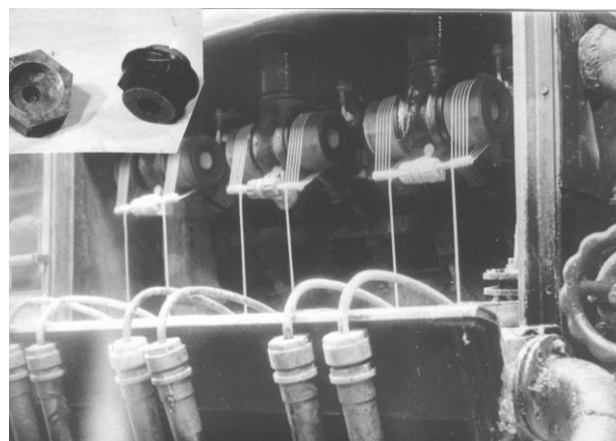


Рис. 5. Штуцер с гайкой из ДПКА машины К-4 для изготовления искусственного волокна

### Выводы

Фланцы катушек, изготовленные из армированного древопласта, по ударной вязкости в 5 раз прочнее волокнистых.

При транспортировке катушек с намотанными нитями возможны частые падения их и поломка фланцев, что приводит к порче основного продукта – намотанного на катушки волокна или нитей.

Штуцер с гайкой машины К-4 работают в агрессивной среде и подвергаются разрушительному действию коррозии. Замена металлических деталей деталями из ДПКА позволяет в 2 раза увеличить срок их службы.

Проведенные лабораторные и производственные испытания показали, что армированные древесные пластики являются новыми высокопрочными конструкционными материалами, пригодными для изготовления различных сложнагруженных деталей машин, работающих в условиях абразивно-агрессивных сред. Использование ДПКА в машино- и станкостроении позволяет увеличить срок службы машин и механизмов, снизить их вес и сэкономить значительное количество цветных и черных металлов.