

## Уважаемые читатели!

Важность промышленного неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД) в различных отраслях деятельности человека приобретает все большее значение во всем мире, и особенно возросла в век техногенных катастроф. Сейчас многие промышленные отрасли остро нуждаются в современных приборах и оборудовании для неразрушающего контроля. К настоящему времени НК превращается в самостоятельную отрасль промышленности, решающую задачи обследования и создания аппаратуры, методик контроля, проведения научных исследований, сертификации, стандартизации и обучения.

Развитие неразрушающего контроля (НК) имеет важное значение для России, учитывая сеть трубопроводов, частично выработавших проектный ресурс или находящихся в близком к этому состоянию, так и потребности энергетики, тепло- и гидроэлектростанций, АЭС, газовой, химической, металлургической и горной промышленности, авиации, судостроения, автомобилестроения, транспорта, станкостроения, машиностроения, промышленного и гражданского строительства, приборостроения и пр. Безопасная эксплуатация промышленного оборудования и трубопроводных сетей требует наличия качественной исходной информации о состоянии систем и их элементов. Именно эти задачи решают неразрушающий контроль (НК) и техническая диагностика.

ООО «Контроль. Измерение. Диагностика.» начинает ежемесячный выпуск кратких электронных обзоров оборудования, представленного на современном рынке НК. Кроме того, мы будем стараться представить Вашему вниманию наиболее интересные статьи, обзорающие проблемы контроля, задачи, стоящие перед специалистами Вашего профиля и пути решения этих вопросов. Надеемся, что наши обзоры станут для Вас интересны и полезным источником информации.

С уважением, коллектив компании ООО «Контроль. Измерение. Диагностика».

## Темы текущего выпуска:

- Как выбрать толщиномер покрытий?
- Контроль лакокрасочных покрытий.
- Композиционные материалы и неразрушающий контроль. В. И. Павлов «В мире неразрушающего контроля», 2003, №3
- Низкочастотные акустические дефектоскопы для контроля композиционных материалов.

## Как выбрать толщиномер покрытий?

Покрытия защищают металлы от коррозии, выполняют теплозащитные, электроизоляционные, декоративные функции. Среди показателей качества покрытий одним из важнейших является толщина, допустимые пределы изменения которой определяются нормативно-технической документацией. Разрушающие методы измерения толщины покрытий, например весовой метод, методы травления и микро-шлифов не позволяют реализовать 100% контроль продукции, малопроизводительны и неэкономичны. Для неразрушающего измерения толщины покрытий применяются разные методы и приборы, называемые толщиномерами.

Что необходимо знать для того, чтобы правильно выбрать толщиномер? Как минимум четыре параметра - материал основания, материал покрытия, диапазон измерений, требуемую точность измерений, конфигурацию и размеры контролируемой детали.

### Магнитные толщиномеры

Толщина немагнитных покрытий (краска, лак, эмаль и др.), а также никель на стали может быть измерена магнитными толщиномерами. Магнитные толщиномеры можно разделить на **магнитоотрывные** и **индукционные**. Работа **магнитоотрывных толщиномеров** основана на измерении силы отрыва постоянного магнита от объекта контроля. Такие толщиномеры просты, не требуют источника питания, применяются для измерений на деталях различной конфигурации. Измеряются толщины до 20 мм при погрешности измерения от 5% до 10% в зависимости от модели толщиномера.

Действие **индукционных толщиномеров** основано на влиянии толщины покрытия на магнитное сопротивление магнитной цепи основание-покрытие-датчик. Достоинства этих приборов - широкий диапазон измерений (до 50 мм), низкая погрешность измерений (2-3%), высокую производительность контроля (время одного измерения 2-3 сек), возможность запоминания результатов измерения, а также их дальнейшей статистической обработки. Возможно подключение различных датчиков для контроля деталей различных конфигураций (в том числе малых размеров) и в труднодоступных местах.

### Вихретоковые толщиномеры

Для измерения толщины диэлектрических покрытий (краска, эмаль, лак, анодирование и др.) на немагнитных металлических основаниях (алюминий, медь, бронза и др.) используют вихретоковые цифровые толщиномеры. Они имеют широкий диапазон измерений (до 100 мм) и позволяют быстро, с погрешностью до 2-3% проводить измерения. Подключение различных датчиков дает возможность контроля деталей различных конфигураций (в том числе малых размеров) и в труднодоступных местах.

### Толщиномеры комбинированного действия

Толщиномеры этого типа позволяют производить измерения как магнитных, так и на немагнитных металлах. Некоторые из них имеют функцию автоматического определения типа основания, что упрощает работу. Если планируется измерять толщину покрытий на магнитных и немагнитных металлах, приобретение толщиномеров комбинированного действия может быть экономически более целесообразно.

В настоящее время наша компания предлагает магнитные и вихретоковые толщиномеры покрытий, оптимально сочетающие качественные характеристики и низкую цену.

## Магнитные толщиномеры покрытий МТ-101 и МТ-201



### Назначение и применение

- Магнитный толщиномер покрытий предназначен для измерения толщины немагнитных покрытий (хром, медь, краска, эмаль, пластик и т.д.) на ферромагнитном основании.
- Имеется режим "HOLD" - удержание последнего измеренного значения.
- Автоматическое выключение питания через 20 минут.

Технические характеристики	МТ-101	МТ-101М	МТ-201	МТ-201М
Диапазон измеряемых толщин, (мкм):	10 - 2100	50 – 5000	5 - 2100	20 - 5000
Основная погрешность:	5%		3%	
Питание:	1 батарея типа "Крона"			
Время непрерывной работы от одной батареи:	25 часов		75 часов	

## Вихретоковый толщиномер покрытий ВТ-201

- Вихретоковый толщиномер покрытий предназначен для измерения толщины неметаллических покрытий (краска, эмаль, пластик и т.д.) на немагнитном основании (алюминий, медь, титан).
- Имеется режим "HOLD" - удержание последнего измеренного значения.
- Автоматическое выключение питания через 20 минут.

Технические характеристики	
Диапазон измеряемых толщин:	5 - 1100 мкм
Основная погрешность:	3%
Питание:	1 батарея типа "Крона"
Время непрерывной работы от одной батареи:	25 часов

## Контроль лакокрасочных покрытий.

Комплекс приборов, относящихся к этой категории, можно разделить на 2 группы:

- Приборы для проведения испытаний и контроля лакокрасочных материалов и покрытий.
- Приборы для настройки и контроля технологических режимов подготовки, нанесения и отверждения покрытия непосредственно на участках и линии окраски изделий.

Первая группа приборов применяется для проведения входного контроля лакокрасочных материалов и выходного контроля готового покрытия изделий.

Вторая группа приборов применяется для настройки технологических параметров отдельного оборудования и линии окраски в целом.

Как первая, так и вторая группы приборов необходимы для производства высококачественного покрытия.

На большинстве предприятий в системе контроля качества продукции входной контроль поступающих материалов, как правило, организован на должном уровне. Во-первых, это связано с широким спектром предложений материалов российского и зарубежного производства на рынке лакокрасочной продукции. Во-вторых, времени для проведения входного контроля материалов достаточно, так как задел материалов на складе предприятия всегда несколько опережает объемы его потребления производством.

Чуть меньше внимания уделяется выходному контролю готового покрытия изделий, так как ошибочно считается, что если материал прошел с положительным заключением входной контроль, то качество готового покрытия обеспечено.

Меньше всего внимания уделяется выполнению и поддержанию требуемых технологических параметров режимов линии окраски при производстве изделий. От строгого выполнения требуемых технологических режимов зависит все физические, эксплуатационные и декоративные показатели формируемого покрытия.

В первую очередь необходимо настроить и постоянно контролировать основные технологические параметры линии окраски. Чем выше производительность линии (особенно конвейерной), тем к большим объемам бракованных изделий и, следовательно, финансовым потерям приведет возникновение брака из-за несоблюдения режимов линии окраски.

Ниже представлены приборы, позволяющие решить широкий круг задач, связанных с нанесением лакокрасочных покрытий.



**Адгезиметр ОР** измеряет усилие отрыва – адгезию полимерных, порошковых, жидких лакокрасочных покрытий, дорожной разметки, клеев, паркетных лаков, грунтовок, шпаклевок и др. покрытий по ИСО 4624.



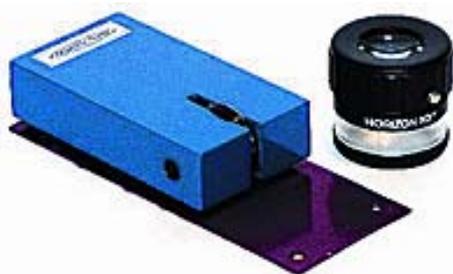
**Адгезиметр РН** измеряет адгезию покрытий методом решетчатого надреза покрытия до основания, сдвигая его вдоль поверхности изделия, на которое оно нанесено.



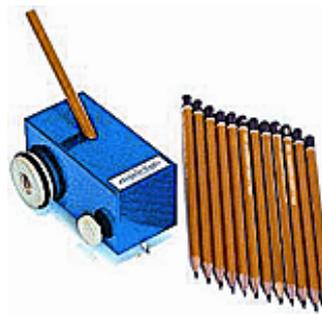
**Прибор БФ5-45/0** предназначен для измерения коэффициента яркости поверхности дорожной разметки по ГОСТ Р 51256, лакокрасочных, эмалированных и других покрытий при углах освещения-наблюдения  $45^{\circ}/0^{\circ}$ , направленного светового потока в видимой области спектра с целью количественной оценки зрительного восприятия человеческим глазом степени яркости указанных покрытий. Прибор используется для определения укрывности лакокрасочных материалов по ГОСТ 8784.



**Прибор блескомер БФ-5** предназначен для измерения блеска поверхности лакокрасочных, эмалированных и других покрытий при углах освещения – наблюдения  $20^{\circ}/20^{\circ}$ ,  $45^{\circ}/45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}/60^{\circ}$  направленного светового потока в видимой области спектра с целью количественной оценки зрительного восприятия человеческим глазом степени блеска указанных покрытий.



**Прибор Бухгольца** измеряет твердость покрытий методом вдавливания индентора Бухгольца в покрытие. Твердость покрытия по Бухгольцу определяется по величине длины отпечатка от вдавливания индентора. Измерение длины вдавливания индентора прибора производится специальной измерительной лупой с увеличением  $6 \cdot 10^x$  и точностью измерения длины не более 0,1 мм. Результат испытаний выражается в виде функции обратной величине длины вдавливания.



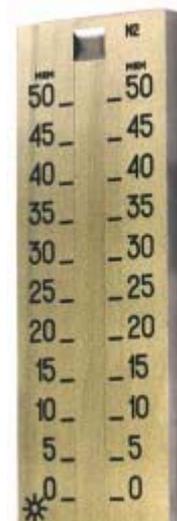
**Твердомер** измеряет твердость покрытия методом сравнения их твердости с твердостью грифелей фирмы KOH-I-NOOR тип 1500 фирмы HARDMUTH (Czech Republic) по ИСО 15184, ASTM D 3363. Прибор состоит из станции с держателем карандашей, боковых направляющих колес для передвижения прибора по поверхности исследуемого покрытия, и винта фиксации в держателе карандаша. Грифель имеет цилиндрическую форму и заточен под углом  $90^{\circ}$ . Прибор прокатывается по поверхности покрытия и при определенной твердости грифеля карандаша оставляет или не оставляет след.



**Твердомер** быстро измеряет твердость лакокрасочных, порошковых, мастичных, пластиковых покрытий по отпечатку сферического наконечника диаметра 1 мм. Твердомер состоит из пружинного механизма для создания тарированного давления на покрытие, фиксирующего давления на покрытие механизма и индентора с диаметром сферического наконечника 1 мм.



Измеритель прочности покрытий при ударе **ИПУ/ Удар-Тестер** является универсальным прибором и позволяет измерить прочность покрытий при ударе одновременно по требованиям ГОСТ 4765 и ИСО 6272, т.к. комплектуется двумя наборами ударников и матриц. Прибор снабжен механизмом прижима и фиксации образца с покрытием. Глубина проникновения ударников в основание с покрытием при проведении испытаний регулируется при помощи набора специальных шайб в диапазоне от 2 до 10 мм.



**Гриндометр/Клин** предназначен для анализа размеров частиц и агломератов при определении степени перетира при испытании пигментированных лакокрасочных материалов и масляных красок в различных диапазонах измерения.

Бывают пяти модификаций:

- Гриндометр 150 мкм, ГОСТ 6589
- Гриндометр 100 мкм, ГОСТ 6589
- Гриндометр 50 мкм, ГОСТ 6589
- Гриндометр 25 мкм, ГОСТ 6589
- Гриндометр 15 мкм, ГОСТ 1524



**Прибор Эриксона** измеряет прочность, эластичность и стойкость полимерных, порошковых и жидких лакокрасочных покрытий к растяжению, растрескиванию и отслаиванию от металлической поверхности изделий при их деформации, при вдавливании в матрицу на измеряемую глубину пуансона со сферическим наконечником диаметром 20 мм по ГОСТ 29309, ИСО 1520 и диаметром матрицы 27 мм (инструмент №1). Применяется с прибором Удар-Тестер.



**Прибор «Изгиб»** измеряет эластичность покрытий методом изгиба вокруг цилиндрических стержней и пластин. Прибор состоит из станины с углублениями для установки стержней и набора металлических цилиндрических стержней разного диаметра и пластины. Количество испытательных цилиндрических стержней – 10 шт. Количество испытательных пластин – 1 шт.



Типовая серия компактных **спектрофотометров SP60 (SP62, SP64)** предназначены для измерения цветовых характеристик образцов покрытий, как в лабораторных, так и прямо на месте производства. В памяти прибора сохраняются 1024 цветовых эталона в виде спектральных характеристик, буквенно-цифровых названий и значений цветовых допусков, а также 2000 измерений.



Прибор "**Трибоэлектротестер**" предназначен для качественного контроля степени заряда порошковой краски при ее нанесении электростатическим или трибостатическим распылителем по ходу производственного процесса ГОСТ 9.410-88



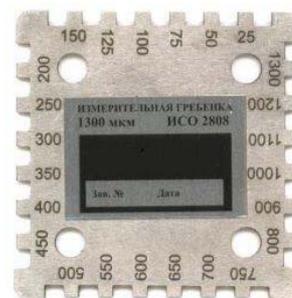
**Вязкозиметр ВЗ - 246** предназначен для быстрого определения условной вязкости (времени истечения) лакокрасочных материалов или относящихся к ним продуктов - ньютоновских или приближающихся к ним жидкостей в соответствии со стандартом ГОСТ 9070-75.



**Пикнометр** металлический вместимостью 100 мл. предназначен для определения плотности лакокрасочных материалов пикнометрическим методом по ГОСТ 28513, ИСО 2811. Материалы лакокрасочные. Метод определения плотности.



**Апликаторы стержневые** – инструменты для нанесения жидких лакокрасочных материалов. Предназначены для нанесения на ровную поверхность жидких лакокрасочных материалов равномерным слоем заданной толщины.



**Измерительная гребенка (калиброванный гребень)** предназначен для измерения толщины жидких лакокрасочных материалов на плоских и цилиндрических поверхностях изделий.

**Композиционные материалы и неразрушающий контроль.****В. И. Павлов В мире неразрушающего контроля, 2003, №2**

Настоящая статья посвящена вопросам НК композиционных материалов. Несколько слов о самом термине «композиционные материалы» (КМ). В его трактовке, как показывает анализ большого количества статей и монографий, существуют значительные разногласия. Одни авторы считают, что это обязательно неметаллические материалы искусственного происхождения (например, стеклопластики, углепластики, органопластики); другие относят к ним и материалы естественного происхождения с явно выраженной структурой (например, дерево); третьи – и большинство строительных материалов (бетон, железобетон); четвертые же относят к КМ металлы и сплавы и утверждают, что все материалы являются на микроуровне композиционными. В последнем случае понятие КМ вообще теряет смысл.

Попробуем разобраться в сложившейся ситуации. Авторы капитальной монографии на эту тему [1] определяют КМ как гетерофазные системы, полученные из двух или более компонентов с сохранением индивидуальности каждого отдельного компонента, которые характеризуются следующими признаками:

- Состав и форма компонентов определены заранее;
- Компоненты присутствуют в количествах, обеспечивающих заданные свойства материалов;
- Материал является однородным (или слоистым) в макромасштабе и неоднородным в микромасштабе (компоненты различаются по свойствам, между ними существует явная граница раздела).

В большинстве случаев компоненты композиции различны по геометрическому признаку. Один из компонентов, обладающих непрерывностью по всему объему, является матрицей; компонент прерывный считается усиливающим или армирующим. Матричными материалами могут быть полимеры, металлы и их сплавы, керамика и другие вещества. Усиливающими или армирующими компонентами чаще всего являются тонкодисперсные порошкообразные частицы или волокнистые материалы различной природы.

КМ чаще всего не существуют самостоятельно, а формируются в процессе создания конкретной конструкции, и для наиболее эффективного использования свойств армирующий материал располагается по линиям действия наибольших нагрузок. Поэтому КМ могут быть как изотропными или анизотропными, так и трансверсально изотропными или многослойными с различной ориентацией наполнителя (и различным наполнителем) в каждом слое.

В зависимости от вида армирующего компонента КМ могут быть разделены на две основные группы: дисперсно-упрочненные и волокнистые, которые отличаются структурой, механизмами образования высокой прочности.

Дисперсно-упрочненные КМ представляют собой материал, в матрице которого равномерно распределены мелкодисперсные частицы второго вещества. При нагружении таких материалов всю нагрузку воспринимает матрица, в которой с помощью множества практически не растворяющихся в ней частиц второй фазы создается структура, эффективно сопротивляющаяся пластической деформации.

Известно, что вязкий, лишенный хрупкости материал перед разрушением претерпевает значительную деформацию. Причем пластические деформации в реальных кристаллических материалах начинаются при напряжениях, которые меньше, чем теоретически рассчитанные для идеальных материалов, примерно в 1000 раз.

Такая низкая по сравнению с теоретической прочность объясняется тем, что в пластической деформации активно участвуют дислокации – локальные искажения кристаллической решетки. При деформировании благодаря дислокациям сдвиг атомов в соседнее положение происходит не одновременно по всей по всей поверхности скольжения, а растягивается во времени. Такое постепенное

скольжение за счет не больших смещений атомов в области дислокаций не требует значительных напряжений, что и проявляется при нагружении пластичных материалов. Резко повысить прочность таких материалов возможно при создании в них структуры, препятствующей движению и развитию дислокаций, для чего в них вводится в дисперсном виде вторая фаза, обладающая высокой прочностью. Расчетная прочность обеспечивается только при достижении заданного структурного состояния, способствующего торможению дислокаций. При применении волокнистых армирующих материалов пластическая деформация матрицы тормозится переключением значительной части поля напряжений на высоко модульные армирующие волокна.

Механические свойства высокопрочных материалов в значительной мере определяются поверхностными дефектами (трещины, посечки, вырывы). При малом радиусе кривизны вершины трещины даже при незначительных общих полях напряжений развиваются высокие местные напряжения, которые приводят к разрушению материалов. Из хрупких, высокопрочных материалов наименее чувствительны к трещинам тонкие волокна. В силу их незначительных поперечных размеров трещины имеют ничтожно малую длину, либо ориентированы по оси волокна и не опасны при приложении напряжений. Более эластичная матрица при нагружении через касательные напряжения, возникающие на границе раздела с волокном, передает на него значительную часть напряжений.

Табл.1. Механические свойства волокон

Вид волокна	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Модуль упругости, ГПа	Средняя прочность на базе 10мм, ГПа	Предельная деформация, %
Стекловолокно ВМ-1	2,58	95	4,2	4,8
Стекловолокно (М-стекло, США)	2,89	110	3,5	4,8
Плавленый кварц	2,21	74	6,0	-
Арамидное волокно Терлон	1,45	160	3,6	3,5
Арамидное волокно Кевлар-49 (США)	1,45	140	3,8	3,5
Углеродное волокно Кулон	1,9	600	2,0	0,4
Углеродное волокно Целион G4-70 (США)	1,77	530	4,3	1,8
Углеродное волокно М-50 (Япония)	1,9	500	2,35	0,5
Борное волокно В/В	2,5	394	3,5	0,9
Борное волокно Avco (США)	2,5	400	3,5	0,9
Борное волокно Wacker-Chimie (ФРГ)	2,5	420	3,1	0,7
Алюминиевое волокно	2,7	70	0,29	-
Бериллиевое волокно	1,85	310	1,1	-
Вольфрамовое волокно	19,3	410	3,3	-

Прочность КМ определяется высокими механическими характеристиками армирующих волокон, прочностными свойствами матрицы, качеством связи волокна с матрицей и совпадением ориентирования волокон с приложенным полем напряжений. Следовательно появляется возможность, варьируя преобладающим направлением армирования, создавать анизотропные материалы с различными по осям прочностными и деформативными характеристиками.

При применении тонких волокон диаметром в несколько микрон и менее можно получить высокую прочность, характерную для тел с совершенной структурой. В качестве волокнистых наполнителей можно применять различные органические волокна естественного происхождения и гораздо более прочные волокна искусственного происхождения: стекловолокна, углеродные, металлические волокна, и так называемые «усы» - специально выращенные высокопрочные монокристаллические волокна на основе графита, окиси алюминия и т.д. Усы имеют механическую прочность, эквивалентную прочности связи между атомами. Прочность усов обусловлена бездефектностью структуры кристаллов. Усы карбида кремния, например, имеют прочность более 30ГПа и модуль упругость при растяжении более

690 ГПа. Эти волокна обладают фантастическими, недостижимыми для традиционных конструкционных материалов свойствами. Проанализируем некоторые их характеристики.

Стекланные волокна наиболее дешевые и широко применяются при изготовлении конструкционных стеклопластиков, из которых изготавливают корпуса небольших морских судов (тральщики), ракет, торпед, мин, самолетов. При сравнительно малой плотности (1,8-2,6 г/см<sup>3</sup>) они имеют высокую прочность, низкую теплопроводность, немагнитны, радиопрозрачны, сравнительно недороги. Получают стекловолокно экструдированием расплава под давлением до 300 кг/м<sup>2</sup> через фильеры диаметром 2-0,8 мм с последующим вытягиванием до диаметра 2-20 мкм. В виде отдельных волокон не применяются, а формируются в нити (150-200 элементарных волокон), жгуты (2000-10000 элементарных волокон), а также используются в виде тканых армирующих материалов различной толщины и переплетения (полотняное, ситцевое, сатиновое, саржевое, трикотажное). В дальнейшем стеклоармирующие материалы соединяются с полимерным связующим на эпоксидной, эпоксидиановой, полиэфирной, кремниорганической основе методом пропитки и перерабатываются в изделия методом ручного контактного формования, прессования, намотки и т.д. В зависимости от типа применяемого связующего делятся на стеклопластики холодного (полимеризация происходит при комнатной температуре) и горячего отверждения (полимеризация происходит при температуре 150-170С). В процессе полимеризации связующее превращается в полимерную матрицу. Наиболее уязвимым местом стеклопластиков является их низкая тепловая и эрозийная стойкость, что определяется применяемой полимерной матрицей. Лучшими удельными прочностными характеристиками обладают углепластики – конструкционные материалы, изготовленные на основе высокопрочных углеродных волокон и эпоксидных, эпоксифенольных, полиамидных и других смол. Качественно новый уровень свойств материала позволяет получить карбонизация полимерной матрицы, реализуемая при образовании углерод-углеродных КМ, представляющих собой систему, сочетающую углеродное волокно и углеродную матрицу. Эти материалы при сохранении большинства положительных свойств стеклопластиков работают при повышенных температурах (в инертной среде до 2500 К). Углепластики находят широкое применение в самолето- и ракетостроении, военной технике, при производстве профессионального спортивного инвентаря (рамы велосипедов, теннисные ракетки). Углепластики имеют схожую со стеклопластиками технологию изготовления, более высокие удельные прочностные и деформативные характеристики и большую (иногда в 10-1000 раз) себестоимость. Еще лучшие удельные характеристики (и себестоимость) имеют боропластики. Борные волокна относятся к числу полупроводников, что ведет к появлению в пластике электропроводности и повышенной (по сравнению со стеклопластиком) теплопроводности. Удельные характеристики вышеперечисленных композитов приведены в табл.2.

Табл. 2. Характеристики композиционных материалов с полимерной и металлической матрицей

Армирующие волокна и структура армирования	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, МПа
Однонаправленный стеклопластик на основе волокон из стекла ВМ-1	2,2	2100	70
Ортогонально-армированный стеклопластик на основе волокон из стекла Е (США)	1,9	500	26
Органопластик на основе ткани из арамидных волокон Кевлар-49	1,31	561	40,8
Однонаправленный углепластик на основе углеструты ВМН-1	1,55	1000	180
Однонаправленный КМ на основе борного волокна	-	1200	250
Трехкомпонентный КМ на основе борных (83,5%) и стеклянных (16,5%) волокон	1,8	1090	152
Трехкомпонентный однонаправленный КМ на основе углеродного (50%) и арамидного (50%) волокна	-	570	51
Бороалюминий ВКА-1 (50% борных волокон в алюминиевой матрице АД-33)	-	1200	250
Углеалюминий	2,2	1000	168

Необходимо учитывать, что данные, приведенные в табл. 2, не являются исчерпывающими, так как в них не указаны виды полимерной матрицы, особенности армирования материала и т.д., но они дают представление о высоких удельных характеристиках, достижимых при использовании КМ.

Если сравнить данные табл. 1 и 2 видно, что хотя КМ на основе различных волокон и имеют высокие удельные характеристики, они значительно хуже, чем у первоначальных волокон. Это объясняется несовершенством технологии изготовления и, следовательно, наличием большого количества дефектов. Как уже отмечалось, КМ формируются в процессе создания конкретной конструкции, на свойства готового изделия оказывает влияние большое количество разнообразных факторов, взаимное влияние которых учесть часто просто невозможно. Здесь и условия и сроки хранения исходных компонентов, и температура в цехе при изготовлении, и влажность исходных компонентов и воздуха в процессе переработки, и скорость выполнения технологического процесса, и мастерство изготовителей. Производство большинства сложных конструкций из КМ проходит с привлечением большой доли ручного труда и даже без механической обработки может занимать несколько дней. Технология изготовления часто разрабатывается применительно к конкретному уникальному изделию и не может быть формально перенесена на другие изделия. Все это также ведет к значительному разбросу свойств изделий и требует для создания высоконадежных конструкций привлечения различных видов НК на всех стадиях технологического процесса: от подготовки исходных компонентов до контроля прочностных и деформативных свойств готовых изделий.

Разрабатывая и применяя методы и методики НК композитов и выходя на конкретные численные значения параметров, необходимо помнить, что для всех материалов вообще, а для КМ в особенности, значения прочностных и деформативных параметров в значительной степени зависят от характера нагружения, скорости приложения нагрузки, температурно-влажностного режима и многих других параметров.

У металлов при стандартных испытаниях довольно четко выделяется предел текучести, и разрушение происходит без сколь-нибудь значительных изменений структуры материала всего образца. Здесь мы имеем дело с более или менее детерминированными прочностными характеристиками. Однако, многие материалы, в частности мягкие полимерные, имеют очень сложную связь между предельной деформацией и прочностными характеристиками. Предел текучести не выражен, при деформировании настолько сильно меняется структура материала, что к моменту разрушения мы фактически имеем дело с совершенно другим материалом. Это характерно для большинства КМ, имеющих полимерную, а часто и металлическую матрицу.

Полимерные КМ в изделиях являются сложным объектом контроля вследствие естественной и запрограммированной анизотропии свойств, а, следовательно, и неоднородности структуры. Практически все они являются диэлектриками или плохими проводниками, немагнитны, радиопрозрачны, и для их контроля практически не применимы токовихревые и магнитные виды контроля, не эффективны высокочастотные ультразвуковые методы из-за высокого затухания ультразвуковых волн в КМ.

В результате анализа и оценки существующих методов НК для полимерных КМ было установлено, что наиболее эффективными при оценке качества этих материалов являются следующие методы: 1) низкочастотный ультразвуковой импульсный; 2) радиоволновой; 3) инфракрасный оптический; 4) теплотрический; 5) электрический. Эти методы позволяют определить непосредственно в изделиях: скорость и затухание упругих волн (продольных, сгибовых, изгибных, поверхностных); коэффициенты их прохождения, отражения и преломления; угол поворота плоскости поляризации сдвиговых волн; электропроводность; диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь; коэффициенты затухания, прохождения, отражения и преломления электромагнитных волн оптического инфракрасного и сверхвысокочастотного диапазонов; теплопроводности и температуропроводности. Данные характеристики могут быть использованы для обнаружения и определения координат дефектов, прямой и косвенной оценки таких параметров КМ как прочность и пластичность, плотность, структура,

соотношение компонентов и т.д. для отдельных участков и всего изделия в целом на всех стадиях технологического процесса изготовления изделия и при его эксплуатации.

Проанализируем кратко особенности контроля КМ известными методами. Практически все распространенные ультразвуковые дефектоскопы и приборы для определения скорости ультразвука плохо применимы для таких КМ, как бетоны, железобетоны, дерево, горные породы, строительные материалы, полмеры, так как в стандартном наборе имеются преобразователи с рабочими частотами от 0,2-0,6 до 10 МГц. Ультразвуковые колебания такого диапазона частот имеют длину волны 0,1-3 мм, которая соизмерима с размером частиц или волокон наполнителя КМ. Это приводит к значительному затуханию колебаний и возникновению сложных интерференционных, дифракционных и реверберационных явлений на многочисленных границах раздела матрица-заполнитель. Для качественного контроля КМ необходимо существенно увеличивать длину волны и, соответственно, проводить контроль на частотах 20-200 кГц, что требует применения специализированных низкочастотных приборов и преобразователей. Низкочастотные преобразователи получаются громоздкими с массой до 0,5 кг. Для таких преобразователей с учетом часто грубой поверхности контролируемого изделия (бетон, кирпич, строительный раствор, полимерные КМ) плохо решается традиционными методами задача обеспечения надежного акустического контакта и точного определения базы измерения (при поверхностном прозвучивании). Имеется еще ряд специфических задач, с которыми не встречаются дефектоскописты при работе на высоких частотах (плохая диаграмма направленности преобразователей, большая длительность излучаемого импульса и т.д.). Однако эти вопросы успешно решаются, и в настоящее время на рынке отечественной аппаратуры для контроля КМ имеются высокоэффективные приборы с точечным сухим контактом, начиная от недорогих и удобных приборов типа «Пульсар-1» или «А-1220» с блоком пьезопреобразователей, объединенных в антенную решетку, до ультразвукового томографа «А-1230», позволяющего визуализировать внутреннюю структуру контролируемого КМ, например бетона [7].

Большинство КМ с полимерной матрицей хорошо пропускают электромагнитное излучение инфракрасного диапазона ( $\lambda=0,75-3\text{мкм}$ ). По типу пропускания ИК-излучения можно выделить КМ с направленным, направленно-рассеивающим и рассеивающим (диффузным) пропусканием. Применяя несложную аппаратуру, состоящую из ИК-излучателя, ИК-приемника и стандартной системы визуализации сигнала (преобразование в тоновое или цветное изображение), можно получать дефектограммы, аналогичные рентгенограммам или термограммам, и выявлять в реальном времени разнообразные дефекты типа пористости, пустот, расслоений, местного искажения соотношения наполнитель/матрица, инородных включений. Хорошо применим для контроля большинства КМ метод тепловидения, который был описан в журнале в статьях коллектива под руководством В.П.Вавилова, поэтому на нем мы останавливаться не будем. Отметим только, что ИК-методы контроля, как и тепловые, относятся к бесконтактным методам, но в отличие от них безинерционны.

Также к бесконтактным относятся микрорадиоволновые и СВЧ методы контроля. Частота используемого электромагнитного излучения определяется минимальным размером выявляемого дефекта и условиями эффективного рассеяния. Для надежного выявления дефектов размером 1,5-0,5 мм частота должна находиться в диапазоне 35-70 ГГц. Наиболее хорошо обеспечены аппаратурой (излучатели, приемники, волноводы, фазоинверторы и т.д.) диапазоны с длиной волны 3 см и 8 мм. Как при ИК-контроле с помощью СВЧ хорошо выявляются разнообразные дефекты типа пор, пустот, непрочности, нарушений соотношений компонентов, инородных включений (как твердых, так и жидких, влаги, нефтепродуктов и т.д.). Этот вид контроля может применяться при одностороннем доступе к контролируемой конструкции, и объекты контроля могут быть толщиной от долей микрон (контроль пленок, толщины и качества нанесения изоляционных покрытий) до десятков метров (выявление инородных включений в цементе и т.д.). Необходимо только помнить, что СВЧ-колебания – это электромагнитные волны радиоволнового диапазона, и поэтому они совершенно не проходят через металлы, даже в виде тончайших пленок.

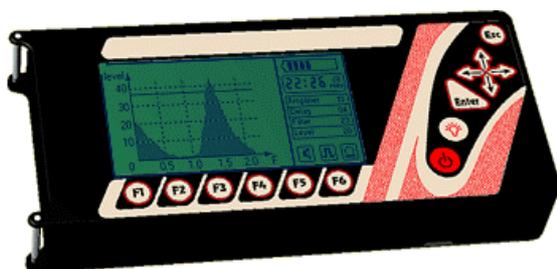
В заключении необходимо отметить, что вышеприведенными методами, конечно, не исчерпываются виды и методы НК, применимые для дефектоскопии и диагностики КМ. Целью настоящей статьи было показать особенности КМ как конструкционных материалов и как объектов НК.

**Литература.**

1. Композиционные материалы /Справочник/ В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
2. Ванин Г.А., Грошева В.М., Дебновечкая Е.Н. и др. Композиционные материалы волокнистого строения. – Киев: Наукова думка, 1970. – 423 с.
3. Потапов А.И. Контроль качества и прогнозирование надежности конструкций из композиционных материалов. – л.: Машиностроение, 1980. – 261 с.
4. Латишенко В.А. Диагностика жесткости и прочности материалов. – Рига: Зинатне, 1968. – 319 с.
5. Композиционные материалы / Под ред. А.И. Манохина. – М.: Наука, 1981. – 303 с.
6. Композиционные материалы / Пер. с англ. Под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. В 8 т. 1978
7. Ковалев А.В., Козлов В.Н., Самокрутов А.А. и др. Импульсный эхо-метод при контроле бетона.

В заключении предлагаем ознакомиться с приборами, разработанными ООО «К.И.Д.» для контроля композиционных материалов.

### Акустический дефектоскоп АД-701



- Низкочастотный акустический дефектоскоп АД-701 предназначен для контроля композиционных материалов.
- Прибор совмещает два метода контроля - импедансный и метод свободных колебаний. Спектральный анализ сигналов позволяет повысить достоверность контроля и отстроиться от мешающих факторов. В число дефектов, контролируемых

прибором, входят: расслоения, непроклеи, нарушения сплошности контролируемого объекта.

- Конструктивно прибор имеет портативное исполнение, автономное питание и предназначен для использования в лабораторных, цеховых и полевых условиях.
- Прибор оснащен встроенным жидкокристаллическим индикатором, на котором наглядно отображается поступающая информация. Встроенная энергонезависимая память позволяет хранить настройки и программы контроля, данные о проконтролированных участках. Инфракрасный порт позволяет осуществлять обмен данными между прибором и персональным компьютером.
- В комплект поставки прибора входят 3 типа сменных преобразователя рассчитанных для контроля различных типов материалов.

#### Технические характеристики

Минимальная площадь выявляемых дефектов, см <sup>2</sup>	1,2
Диапазоны частот спектроанализатора, кГц	0,3 - 20
Частота следования возбуждающих импульсов, Гц	25
Питание	встроенный аккумулятор 12В
Время непрерывной работы от аккумулятора	4 часа
Диапазон рабочих температур, С	0...40
Габаритные размеры (без преобразователя), мм	235 x 125 x 50

### Импедансный дефектоскоп ИД-401



- Предназначен для контроля композиционных материалов. Позволяет обнаруживать дефекты типа расслоения, непроклея, нарушения сплошности контролируемого объекта.
- Может эксплуатироваться в лабораторных, цеховых и полевых условиях.
- Основные отрасли применения: авиация, машиностроение, кораблестроение.

#### Технические характеристики

Минимальная площадь выявляемых дефектов, см <sup>2</sup>	1,2
Несущая частота импульсов преобразователя, кГц	4...16
Частота следования возбуждающих импульсов, Гц	100
Питание	4 батареи АА
Время непрерывной работы от одной батареи	8 часов
Диапазон рабочих температур, С	0...40