



УДК 678.8

УГЛЕПЛАСТИКИ И СТЕКЛОПЛАСТИКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

А.Е. Раскутин
кандидат технических наук

И.И. Соколов

Апрель 2013

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале *«Труды ВИАМ»*, №4, 2013 г.

УДК 678.8

A.E. Раскутин, И.И. Соколов

УГЛЕПЛАСТИКИ И СТЕКЛОПЛАСТИКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Описаны новые разработки в области полимерных композиционных материалов нового поколения на основе полимерных связующих разработки ФГУП «ВИАМ» и углеродных и стеклянных армирующих наполнителей. Представлены основные упруго-прочностные характеристики углепластиков разработки ФГУП «ВИАМ» по сравнению с зарубежными аналогами. ФГУП «ВИАМ» в настоящее время оснащен современным исследовательским, испытательным и производственным оборудованием, которое позволяет разрабатывать и производить полимерные композиционные материалы, не уступающие лучшим зарубежным аналогам.

Ключевые слова: углепластики, стеклопластики, полимерные композиционные материалы, углеродные ткани, стеклоткани

A.E. Raskutin, I.I. Sokolov

NEW GENERATION OF CARBON FIBER REINFORCED PLASTICS AND GLASS FIBER REINFORCED PLASTICS

New development in the field of polymer composite materials of new generation on the basis of polymer binder development of VIAM Federal State Unitary Enterprise and carbon and glass reinforcement fillers is described. The main elastic and strength characteristics carbon fibers reinforced plastics development of VIAM Federal State Unitary Enterprise in comparison with foreign analogs are provided. VIAM Federal State Unitary Enterprise is equipped now with modern research, test and production equipment which allows to develop and make polymeric composite materials not conceding to the best foreign analogs.

Key words: carbon fibers reinforced plastics, glass fiber reinforced plastics, polymeric composite materials, carbon fabrics, fiber glass fabrics.

В настоящее время ФГУП «ВИАМ» в соответствии с задачами, сформулированными в «Стратегических направлениях развития материалов и технологий

их переработки на период до 2030 года» [1,2] проводит работы по исследованиям и разработкам полимерных композиционных материалов (ПКМ) нового поколения. Ранее в ВИАМ были разработаны полимерные связующие перерабатываемые по растворной технологии в препреги [3]. В настоящее время специалистами ФГУП ВИАМ разработаны связующие нового поколения, адаптированные к изготовлению препрегов по расплавной технологии и обладающих комплексом технологических и эксплуатационных характеристик на уровне лучших мировых аналогов, это такие связующие, как ВСТ-1212 и ВСТ-1208.

На российском рынке в настоящее время крупнейшие представители производителей углеродных армирующих наполнителей, такие как Toray Ind. и Toho Tenax (Япония) [4] предлагают свои армирующие наполнители. Одной из первых компаний, занимающихся углеродными и стеклянными ткаными наполнителями, с которой, началось плодотворное сотрудничество в области ПКМ, является фирма Porcher Ind. (Франция)[4]. С использованием тканей Porcher и связующих разработанных в ФГУП «ВИАМ» разработано множество новых марок ПКМ. Разработки новых ПКМ во ФГУП «ВИАМ» стали возможны с созданием современного исследовательского комплекса по квалификации полимерных композиционных материалов, оснащенного оборудованием, которое приобреталось у крупнейших мировых лидеров, например для исследования проницаемости [5,6] в ФГУП «ВИАМ» имеется уникальная установка позволяющая определять жидкостную проницаемость армирующих наполнителей в трех направлениях.

Для производства полуфабрикатов ПКМ было создано производство, оснащенное современными линиями по изготовлению препрегов ПКМ. Безусловно, интеграция современных разработок ФГУП «ВИАМ» в мировой рынок ПКМ не возможно без применения современных стандартов по испытаниям ПКМ, разработкой которых в настоящее время занимается ФГУП «ВИАМ».



**ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский
институт авиационных материалов» ГНЦ РФ**

СОВЕЩАНИЕ
«О современном состоянии разработок и производства
полимерных композиционных материалов нового
поколения для авиационной техники»

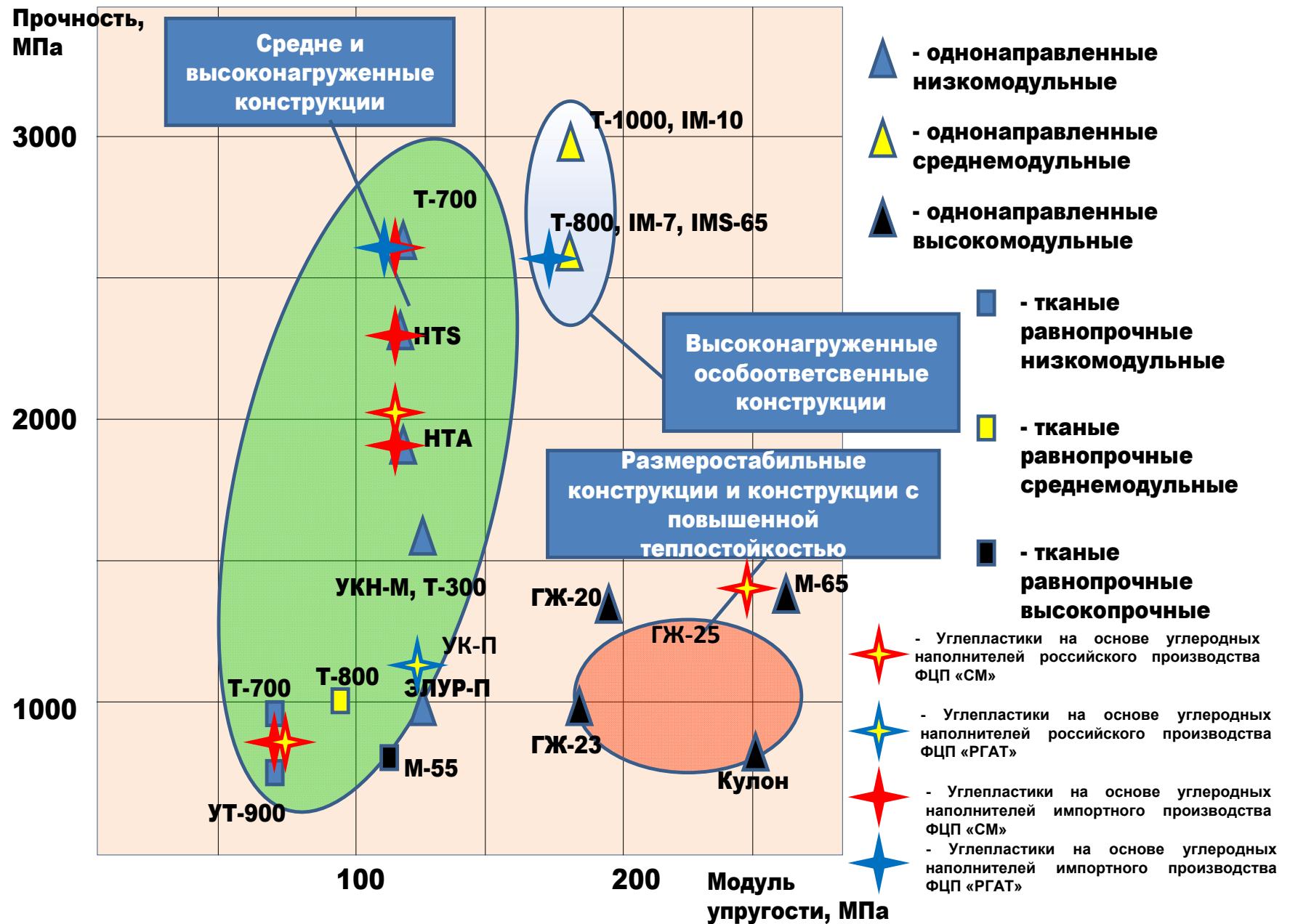
*г. Москва
ФГУП «ВИАМ»
2013г.*

«Углепластики и стеклопластики нового поколения»

**Докладчик: начальник лаборатории №11
к.т.н. Раскутин А.Е.
Начальник лаборатории №10
Соколов И.И.**



Перспективные направления и современные российские разработки в области ПКМ. Углепластики





Ткани фирмы Porcher Industries – аналоги отечественных наполнителей и перспективные наполнители



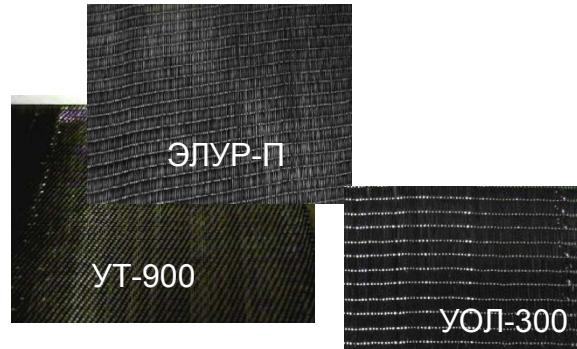
Российские углеродные наполнители

ЭЛУР-П ($\sigma_{УП} \geq 800 \text{ МПа}$)

УОЛ-300 ($\sigma_{УП} \geq 1300 \text{ МПа}$)

УОЛ-300Р ($\sigma_{УП} \geq 1600 \text{ МПа}$)

УТ-900 ($\sigma_{УП} \geq 600 \text{ МПа}$) -
равнопрочная



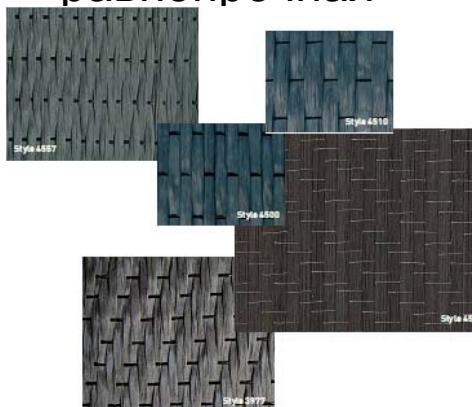
Импортные аналоги

3606 ($\sigma_{УП} \geq 1300 \text{ МПа}$)

3673, 4510 ($\sigma_{УП} \geq 1800 \text{ МПа}$)

14535 ($\sigma_{УП} \geq 1900 \text{ МПа}$)

3692, 3105, 2009 ($\sigma_{УП} \geq 700 \text{ МПа}$) -
равнопрочная



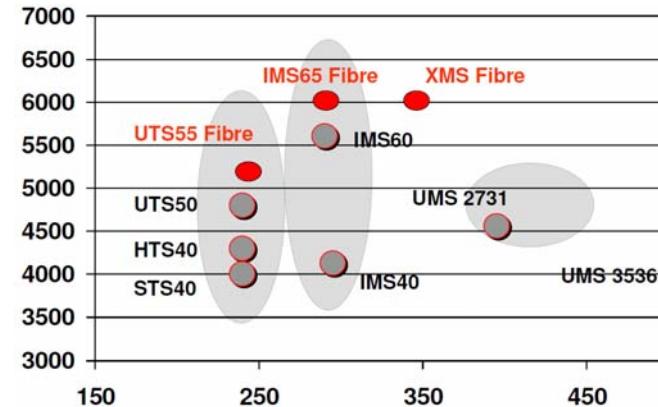
**Применение импортных наполнителей - аналогов позволяет снизить
стоимость затрат на материалы на 30-50%, повысить упруго-
прочностные характеристики на 10-40%**



Соглашение с фирмой Toho Tenax (Япония) о
сотрудничестве в области армирующих углеродных
волокнистых наполнителей для ПКМ разработки
ФГУП «VIAM».

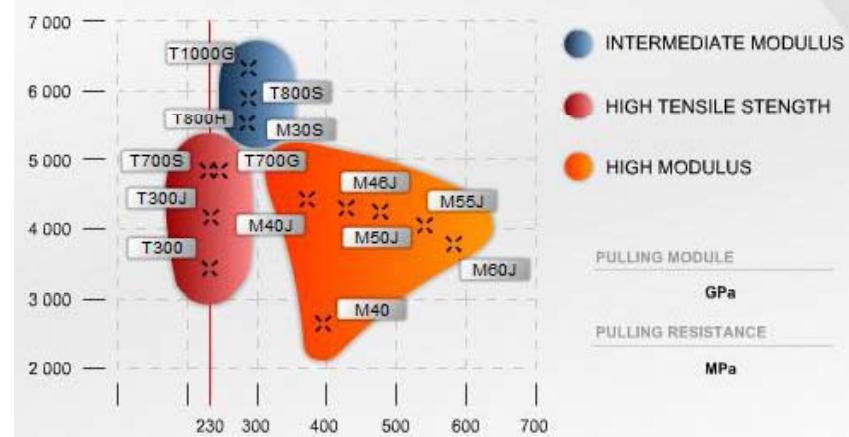


||||| **Toho Tenax** |



Соглашение с фирмой Toray (Япония) о
сотрудничестве в области армирующих углеродных
волокнистых наполнителей для ПКМ разработки
ФГУП «VIAM».

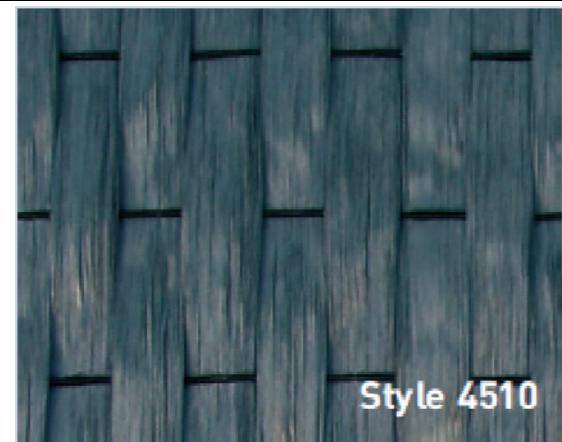
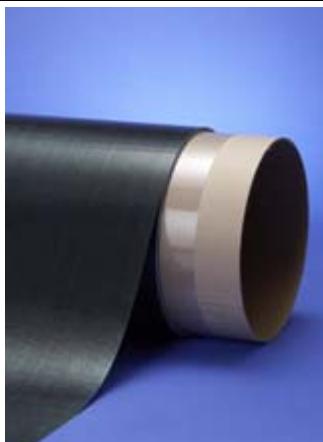
'TORAY'





НИР «Разработка конструкционных углепластиков на основе углеродных наполнителей однонаправленной структуры»

Наименование характеристики	углепластик среднемодульное углеродное волокно/ВСЭ-1212 автоклав	углепластик 4510/ВСЭ-1212 автоклав	углепластик 4510/ВСЭ-1212 вакуум
Предел прочности при растяжении (0°), σ_1 , МПа	2860-3000	1570-1900	1690-1970
Модуль упругости при растяжении (0°), E_1 , ГПа	165-180	120-125	110-115
Предел прочности при растяжении (90°), σ_2 , МПа	82-88	60-65	52-59
Модуль упругости при растяжении (90°), E_2 , ГПа	10	8-8,5	6,5-6,8
Предел прочности при сжатии (0°), σ_{-1} , МПа	1300-1400	900-1200	915-1100
Предел прочности при сжатии (90°), σ_{-2} , МПа	180-190	180-220	175-210
Предел прочности при межслоевом сдвиге τ_{13} , МПа	71-78	76-81	72-78
Объемное наполнение, V_h , %	60	56-58	56-58
Толщина монослоя, мм	0,13-0,15	0,2-0,22	0,2-0,22





Предварительные характеристики

Наименование характеристики	углепластик Р3692/ВСЭ-1212	углепластик Р3692/ВСТ-1208	стеклопластик Т-10/ВСЭ-1212	стеклопластик Т-10/ВСТ-1208
Предел прочности при растяжении (0°), σ_1 , МПа	700	700	850	800
Модуль упругости при растяжении (0°), E_1 , ГПа	55	55	45	45
Предел прочности при растяжении (90°), σ_2 , МПа	650	650	500	450
Модуль упругости при растяжении (90°), E_2 , ГПа	55	55	30	30
Предел прочности при сжатии (0°), σ_{-1} , МПа	600	600	750	700
Предел прочности при сжатии (90°), σ_{-2} , МПа	600	600	450	400
Предел прочности при межслоевом сдвиге τ_{13} , МПа	80-90	70-80	70-80	70-80
Максимальная рабочая температура, °C	120	200	120	200
Толщина монослоя, мм	0,2-0,22	0,2-0,22	0,20-0,23	0,20-0,23



Совместная с Заказчиком разработка техпроцессов
изготовления деталей мотогондолы на основе
ВСЭ-21/3692 методом пропитки под давлением



T-10



Сравнение разработанных ПКМ с материалами-аналогами

Марка материала ФГУП «ВИАМ»	Максимальная рабочая температура, °C	Материал-аналог из перечня-ограничителя ОАО «Корпорация «Иркут»	Максимальная рабочая температура материала-аналога, °C
Углепластик ВКУ-27л	160-180	Аналога нет	-
Углепластик ВКУ-27тр	160-180	Аналога нет	-
Углепластик ВКУ-28	120-150	HexPly M21/34%/UD194/IMA	120
Углепластик ВКУ-29	120-150	HexPly 8552/34%/UD134/AS4	80
Углепластик ВКУ-39	120-150	HexPly M21/40%/285T2/AS4SC	120
Стеклопластик ВПС-47/7781	160-180	Аналога нет	-
Стеклопластик ВПС-43к	160-180	Аналога нет	-
Стеклопластик ВПС-48/7781	120-150	HexPly M21/37%/7581	120
Стеклопластик ВПС- 48/120	120-150	HexPly M21/45%/120	120



Основные характеристики разработанных ПКМ

Марка углепластика	d кг/м ³	Монослой, мм	σ_1 МПа	E_1 МПа	σ_2 МПа	E_2 МПа	σ_{-1} МПа	E_{-1} МПа	σ_{-2} МПа	E_{-2} МПа	τ МПа	τ_{-12} МПа (± 45)	G_{12} МПа (± 45)
ВКУ-28	1530-1570	0,13..0,15	2550	160000	63	6800	1300	140000	250	8600	103	81	4000
ВКУ-29	1520-1560	0,19..0,24	1940	123000	58	8400	1200	112000	190	10300	75	88	4000
ВКУ-39	1500 – 1600	0,19..0,24	800	60000	750	60000	600	50	600	50	85	100	4700
ВПС-48/7781	1750 – 1950	0,19..0,25	400	22000	-	-	-	-	400	-	70	-	-
ВКУ-27л	1520-1560	0,13..0,15	1840	125000	63	6400	1370	123	260	-	93	84	4200
ВКУ-27тр	1450 – 1500	0,25..0,27	850	60000	900	60000	720	59	720	-	84	100	4400
ВПС-47/7781	1750 – 1950	0,19 – 0,25	400	22000	-	-	-	-	400	-	70	-	-



Углепластики на основе среднемодульных углеродных волокон

				Характеристики материала HexPly M21/34%/UD194/IMA		Характеристики материала ВКУ-28 (ВСЭ1212/среднемодульное углеродное волокно)			
Наименование свойств		Единицы измерения	Направление	Температура	Значения		Значения		
Физико-химические характеристики препрода									
Механические характеристики ПКМ									
Прочность при растяжении	σ_1	МПа	0°	RT	2600	2550	2550		
	σ_2		90°	RT	49		63		
Модуль упругости при растяжении	E_1	ГПа	0°	RT	160	160	160		
	E_2		90°	RT	7,7		6,8		
Прочность при сжатии	σ_{-1}	МПа	0°	RT	1350	1300	1300		
	σ_{-2}		90°	RT	244		250		
Модуль упругости при сжатии	E_{-1}	ГПа	0°	RT	-	140	140		
	E_{-2}		90°	RT	8,4		8,6		
Прочность при сдвиге в плоскости листа	$\tau_{1,2}$	МПа	± 45°	RT	88	80			
Модуль при сдвиге в плоскости листа	G	ГПа	± 45°	RT	4,8	4,0			
Прочность при межслоевом сдвиге	$\tau_{1,3}$	МПа		RT	90	100			



Углепластики на основе углеродных волокнистых наполнителей со стандартным модулем

					Характеристики материала HexPly 8552/34%/AS4	Характеристики материала ВКУ-29 (ВСЭ-1212/4510 (HTS45))
Наименование свойств		Единицы измерения	Направление	Температура	Значения	Значения
Физико-химические характеристики препрода						
Механические характеристики ПКМ						
Прочность при растяжении	σ_1	МПа	0°	RT	2200	1940
	σ_2		90°	RT	56	58
Модуль упругости при растяжении	E_1	ГПа	0°	RT	140	123
	E_2		90°	RT	9,8	8,4
Прочность при сжатии	σ_{-1}	МПа	0°	RT	1500	1200
	σ_{-2}		90°	RT	300	190
Модуль упругости при сжатии	E_{-1}	ГПа	0°	RT	-	112
	E_{-2}		90°	RT	10	10,3
Прочность при сдвиге в плоскости листа	$\tau_{1,2}$	МПа	± 45°	RT	114	88
Модуль при сдвиге в плоскости листа	G	ГПа	± 45°	RT	4,6	4,0
Прочность при межслоевом сдвиге	$\tau_{1,3}$	МПа		RT	117	75
Максимальная рабочая температура		°C			120	120-150



Разработка перспективных углепластиков ВКУ-27, ВКУ-30 для применения в изделии ПМИ

Наименование свойств	Марка материала			
	ВКУ-27	ВКУ-27л	ВКУ-27тр	ВКУ-30
Прочность при растяжении, σ_{11} , МПа	1915-2393	1760-1980	800	1800
Прочность при растяжении, σ_{22} , МПа	52-59	62-70	800	60
Модуль упругости при растяжении, E_{11} , ГПа	121-137	108-120	60	120
Модуль упругости при растяжении, E_{22} , ГПа	8-9	8,3-8,7	60	8
Прочность при сжатии, σ_{-11} , МПа	1010-1270	1280-1415	600	1300
Прочность при сжатии, σ_{-22} , МПа	208-246	340-380	600	250
Прочность при сдвиге в плоскости листа, τ_{12} , МПа	84-87	78-82	60	80
Модуль упругости при сдвиге в плоскости листа, G_{12} , ГПа	3,2-3,7	3,8-3,9	3-4	3-4
Прочность при межслойном сдвиге, τ_{13} , МПа	97-104	107-117	80	80-90
Теплостойкость, °C	160	160	160	150
Толщина монослоя, мм	0,13-0,15	0,13-0,15	0,26	0,15



Марки стеклянных тканей

Марка ткани	Количество нитей на 1 см, н/см		Вид переплетения ткани	Вид замасливателя и аппаратирующего вещества
	Основа	Уток		
T-10 (ВМП)	36 + 1	20 ± 1	Сatin 8/3	№ 14, № 4с
T-25 (ВМП)	10 + 1	6 ± 1	Полотняное	№ 78, № 14, парафиновая эмulsionия
T-64 (ВМП)	22 + 1	24 ± 1	Сatin 4-х ремизный неправильный	№ 78, № 14

Физико-механические показатели стеклянных тканей

Марка ткани	Номинальная масса единицы площади, г/м ²	Номинальная толщина ткани, мм	Разрывная нагрузка Н (кгс), не менее	
			Основа	Уток
T-10 (ВМП)	310	0,25	3136 (320)	1764 (180)
T-25 (ВМП)	365	0,25 - 0,30	3920 (400) 4410 (450)	294 (30) 343 (35)
T-64 (ВМП)	100 ± 5	0,09 ± 0,01	882 (90)	490(50)

Марки стеклянных тканей Porcher

Марка ткани	Количество нитей на 1 см, н/см		Вид переплетения ткани	Поверхностная плотность, г/м ²
	Основа	Уток		
120	51	49	Сatin	105
6781	52	48	Сatin	300
7781	52	48	Сatin	296



Конструкционные стеклопластики

СТ-69Н(М), ВПС-30, ВПС-33, ВПС-34 – стеклопластики на основе эпоксидных связующих для изготовления средненагруженных элементов внешнего контура летательных аппаратов конструкционного назначения (обшивки трехслойных панелей, люки, двери, створки и др.) как самостоятельно, так и в сочетании со слоями углепластика. Применяются в конструкции двигателей семейства ПС-90А2.

Обеспечивают:

- снижение массы авиадвигателя;
- уменьшение трудоемкости изготовления;
- повышение коммерческой нагрузки самолетов



Панель силовая реверса



Кожух сопла звукоизоляционной конструкции



Кожух задней подвески реверса звукоизоляционной конструкции

Свойства конструкционных стеклопластиков

Характеристика	СТ-69Н(М)	ВПС-30	ВПС-33	ВПС-34	ВПС-39П
Плотность, кг/м ³	1850-2000	1850–1950	1880–1970	1580–1730	1500-1600
Прочность при растяжении по основе, МПа	550	610	600	460	235
Прочность при сжатии по основе, МПа	485	540	450	370	360
Прочность при изгибе по основе, МПа	865	820	710	470	405
Температура эксплуатации, °С	- 60÷80	- 60÷200	- 60÷150	- 60÷150	- 60÷80



Стеклопластики на основе новых высокопрочных связующих

Стеклопластики ВПС-47, ВПС-48 и ВПС-43К на основе высоковязких полимерных связующих ВСТ-1208, ВСЭ-1212 и ВСК-1208

Стеклопластик	t, °C	Прочность при межслойном сдвиге, МПа	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа
ВПС-47 (T-10/ВСТ-1208)	20	71	865	1060	720	30
	170	45	545	845	685	-
	200	32	325	440	615	-
ВПС-48 (T-10/ВСЭ-1212)	20	75	872	1095	710	33
	120	53	700	950	670	30
ВПС-43К (T-64(ВМП)/ ВСК-1208)	20	73	822	1215	950	34
	160	41	527	765	760	30

Стеклопластик	Тип стекла	t, °C	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при межслойном сдвиге, МПа	Прочность при изгибе, МПа
Porcher арт. 120/ВСК-1208 (аналог Т-64)	E	20	570	27	645	59	895
		160	450	24	415	35	550
Porcher арт. 6781/ВСТ-1208 (аналог Т-10)	S2	20	510	-	605	57	820
		170	470	-	428	35	605
Porcher арт. 6522/ВСТ-1208 (аналог Т-25)	S2	20	430	24	385	37	525
		170	390	22	295	28	430



ВП3-17 – полимерный заполнитель – сферопластик представляющий собой рулонный материал на основе высокодеформативного цианатэфирного связующего, включающего полые стеклянные микросферы и комбинацию порошкообразных наполнителей для применения в составе многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов.



Элемент многослойной конструкции с обшивками из стеклопластика и средним слоем из синтактного материала

Обеспечивает:

- формование конструкции за одну технологическую операцию;
- снижение толщины конструкций, что увеличивает внутренний полезный объем;
- высокая эксплуатационная живучесть;
- высокие удельные характеристики;
- сохранение высоких механических и радиотехнических характеристик в различных условиях эксплуатации.

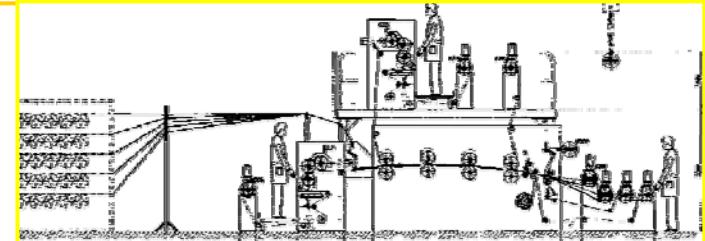
Характеристика	Показатель
Максимальная рабочая температура, °C	160
Плотность, г/см ³	0,65-0,70
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа, при температуре - 20 °C	88-95
- 160 °C	58-65
Прочность при растяжении, МПа, при температуре - 20 °C	25-38
- 160 °C	29-30



Специализированное оборудование для производства расплавных препрегов

Основное преимущество – УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ – обеспечивает выпуск **калиброванных препрегов** с гарантированными свойствами на основе углеродных, стеклянных, органических жгутов, лент, тканей и связующих расплавного типа различной химической природы и вязкости

- **ширина препрега: 300- 1200 мм**
- **автоматизированный контроль параметров:**
 - отклонение технологических режимов $\pm 1\%$
 - точность наноса 1-1,5%
 - отклонение зазора $\pm 1\text{мкм}$



(разработаны по ТЗ ВИАМ)

Предназначены для изготовления препрегов на основе:

- Расплавных связующих;
- жгутов 1К-24К (безуточные препреги) шириной 100 - 600 мм;
- углеродных лент и тканей шириной до 1200 мм.



Coatema BL-2800

Производительность: 500 тыс.м при 2-х сменной работе



Coatema LS-11

Производительность: 150 тыс. м при 2-х сменной работе





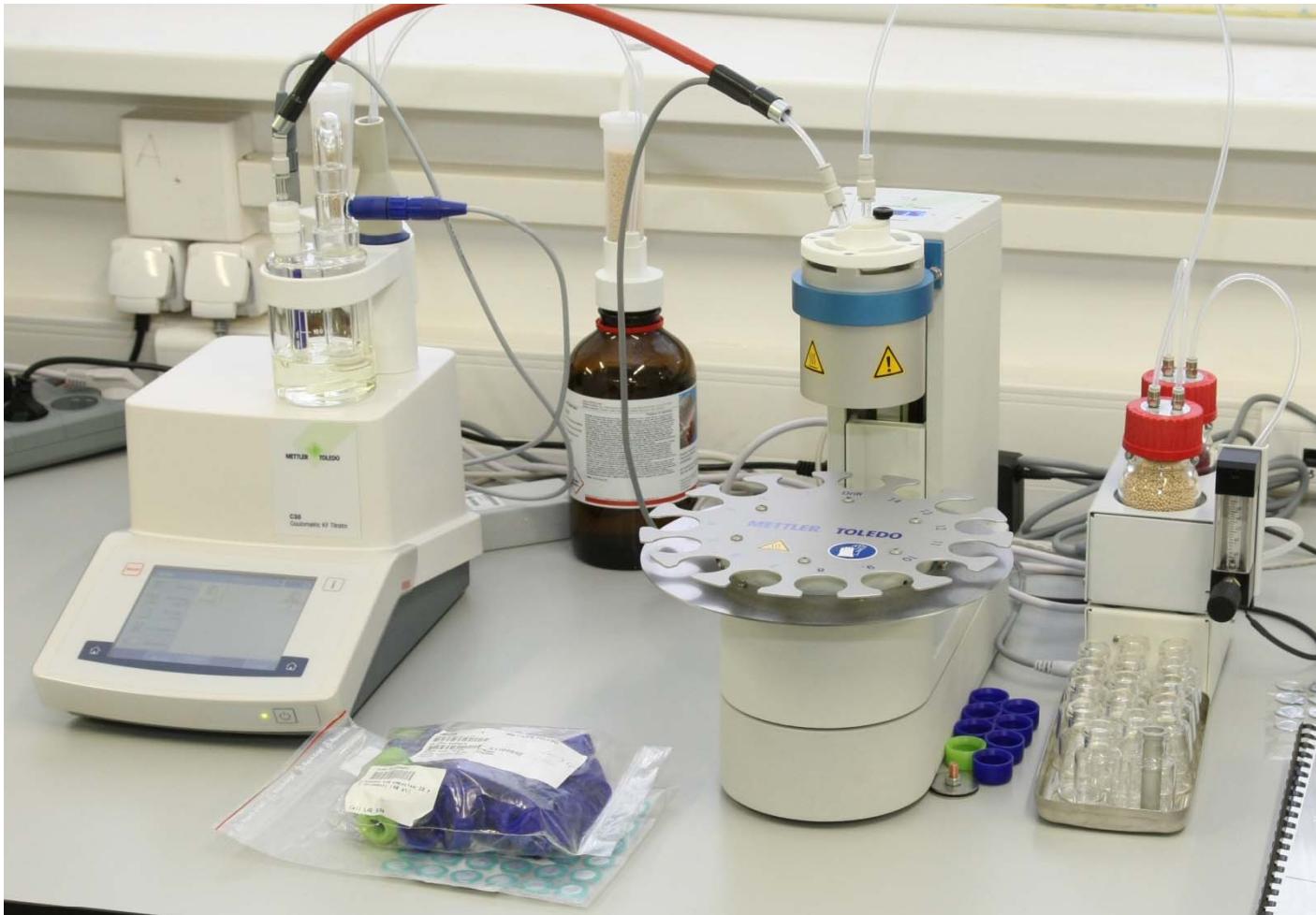
Лабораторная пропиточная линия COATEMA LS-11 (Германия) для отработки технологических параметров процесса производства прецизионных калиброванных препрегов на основе высоковязких расплавных и клеевых связующих и различных видов наполнителей



Намоточный станок для изготовления микропластиков и препрегов



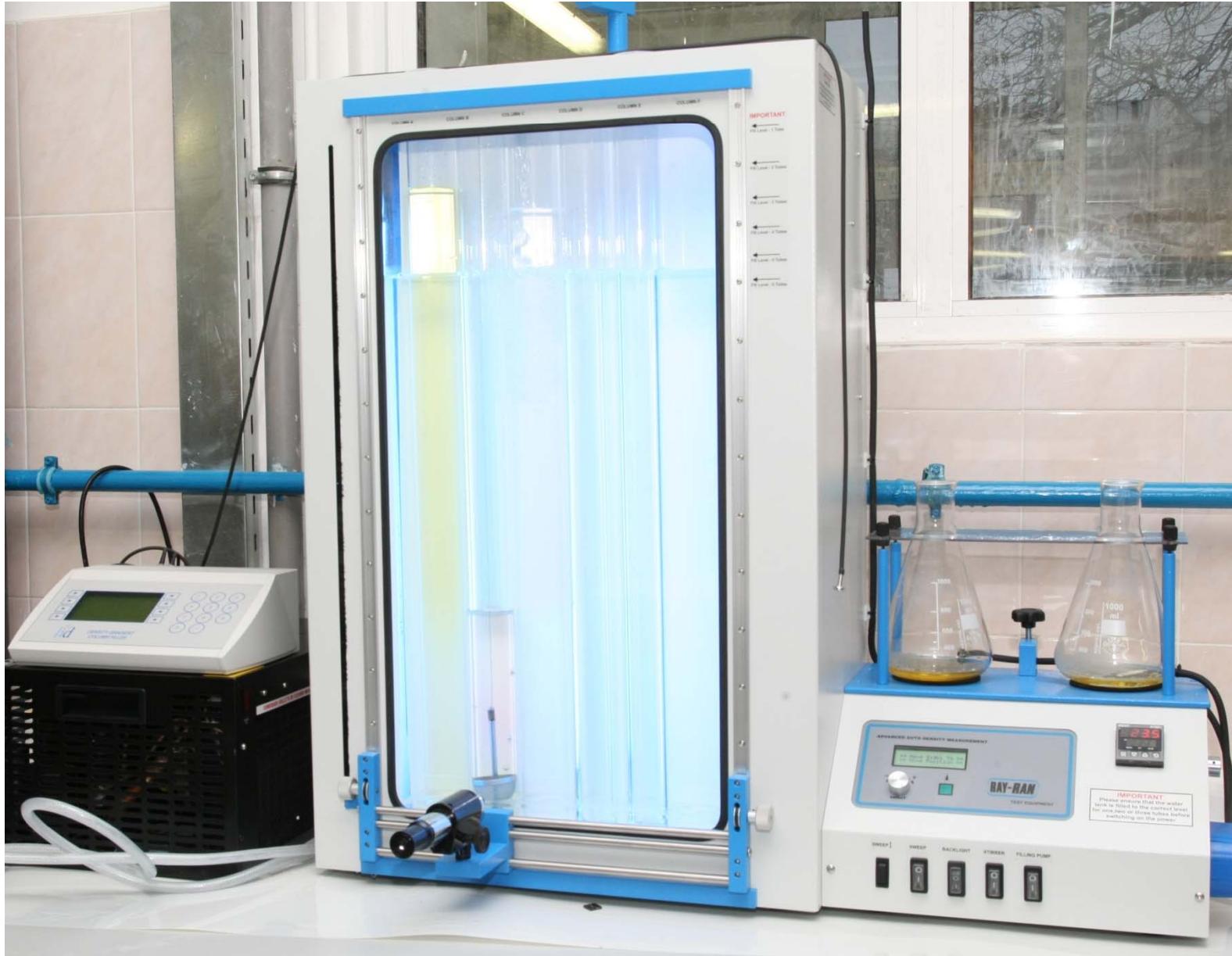
Комплекс термического анализа: синхронный термический анализ с ИК-спектроскопией, динамический механический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия, термо-механический анализ



Определение влажности в наполнителях, препрегах, связующих, полимерных матрицах и пластиках по методу Карла Фишера



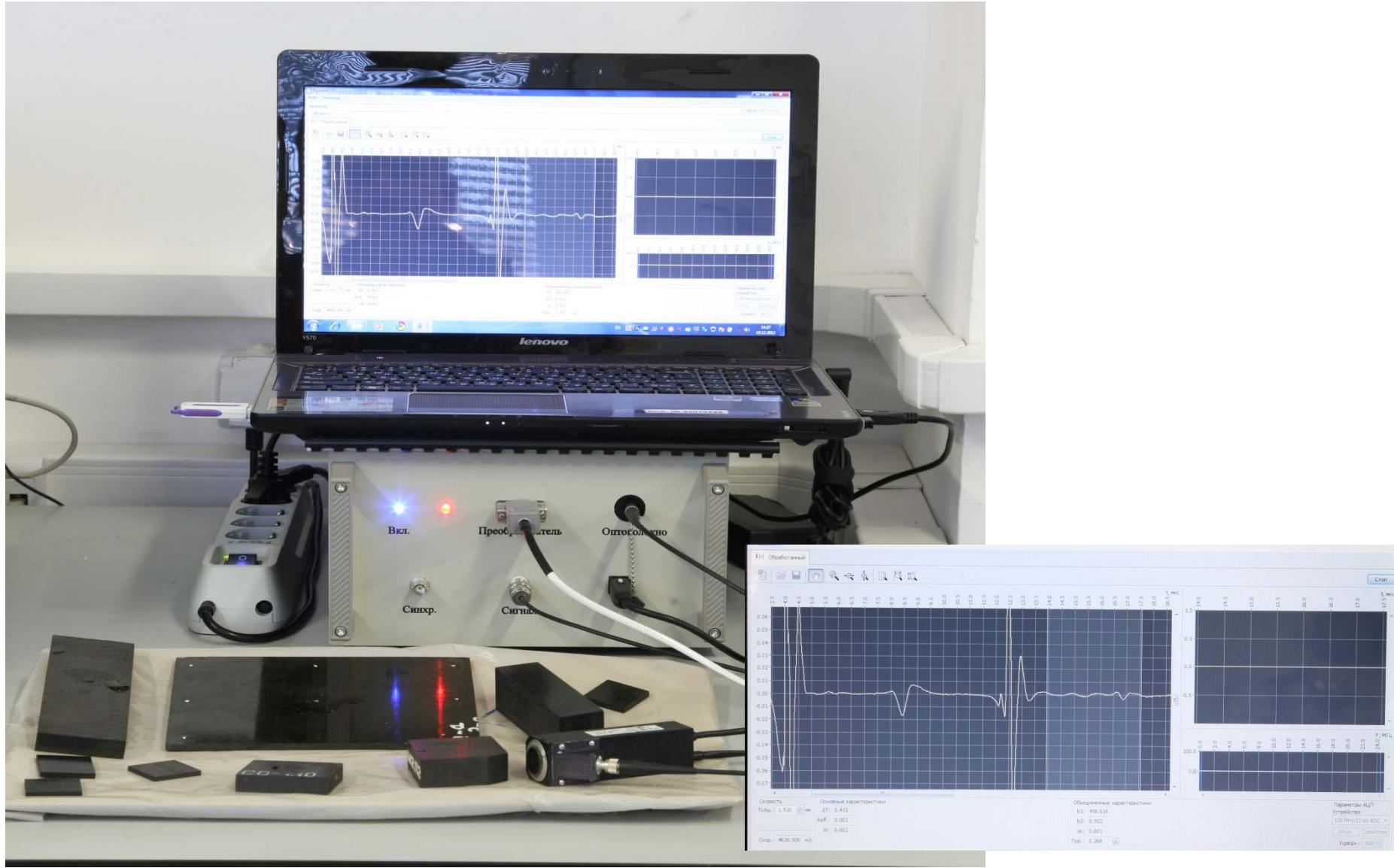
Определение времени гелеобразования в полимерных связующих при нагреве



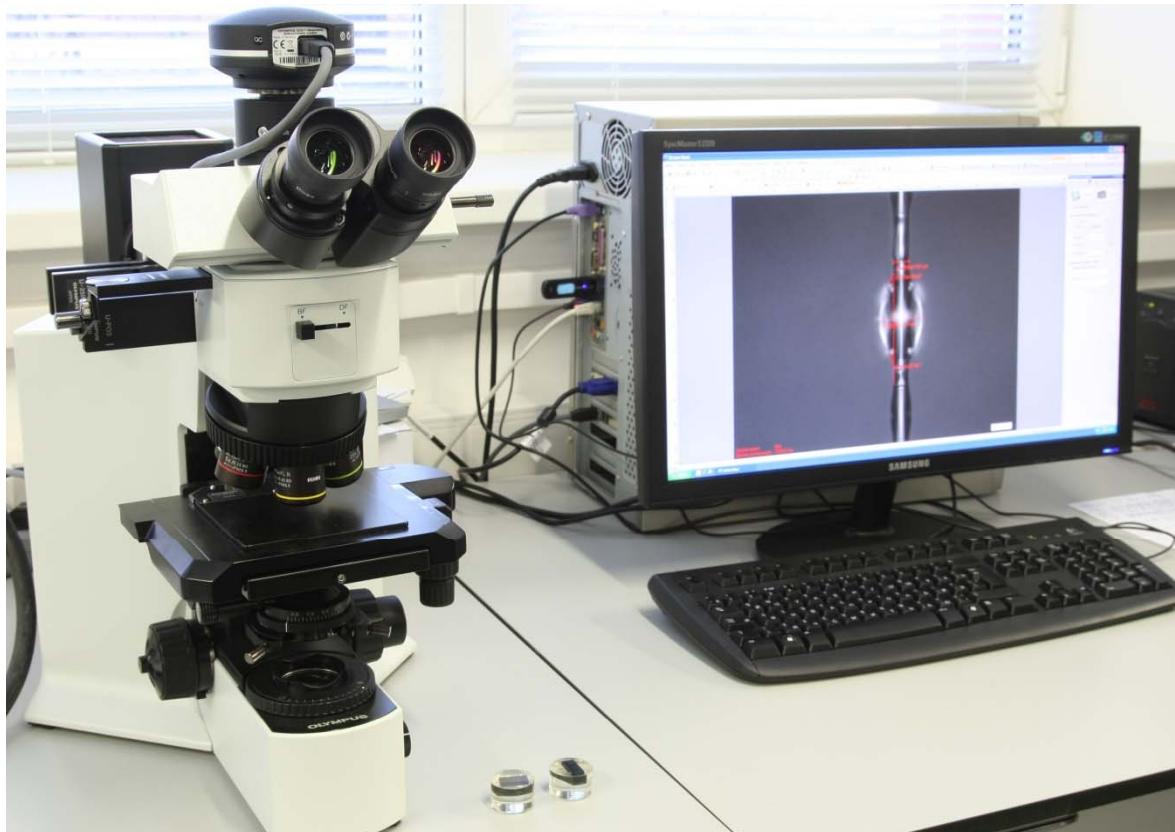
Определение плотности углеродных армирующих наполнителей методом градиентной колонны



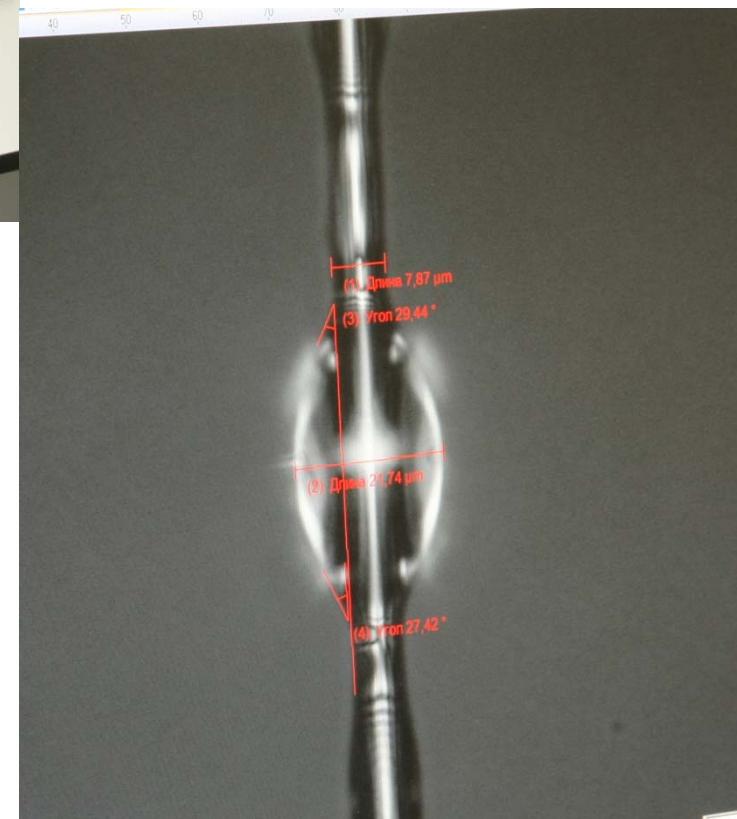
Установка для определения жидкостной проницаемости армирующих наполнителей

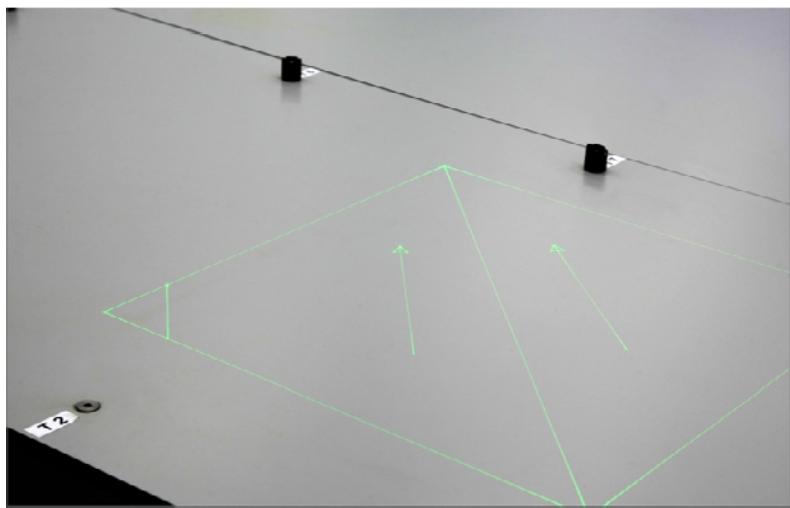


Ультразвуковой дефектоскоп с лазерно-акустическим преобразователем для дефектоскопии и диагностики полимерных композиционных материалов



Оптическая микроскопия для определения
краевого угла смачивания и пористости в
полимерных композиционных материалах





«Чистая» комната оснащенная автоматизированным раскроем и системой лазерного проецирования для выкладки



Лабораторные гидравлические прессы для формования полимерных композиционных материалов



Установка для изготовления полимерных композиционных
материалов с пособами вакуумной инфузии и пропиткой под
давлением



Оборудование для изготовления
образцов методом механической
резки образцов с водяным
охлаждением



Испытания на трещиностойкость
полимерных композиционных
материалов: нанесение удара на
вертикальном копре, определение
остаточной прочности при сжатии после
удара

Статические испытания по определению упруго-прочностных характеристик полимерных композиционных материалов

- универсальные испытательные машины с усилиями от 500 Н до 2500кН
- вертикальный копер, маятниковый копер

Универсальная испытательная машина **Zwick (Z-100)**:

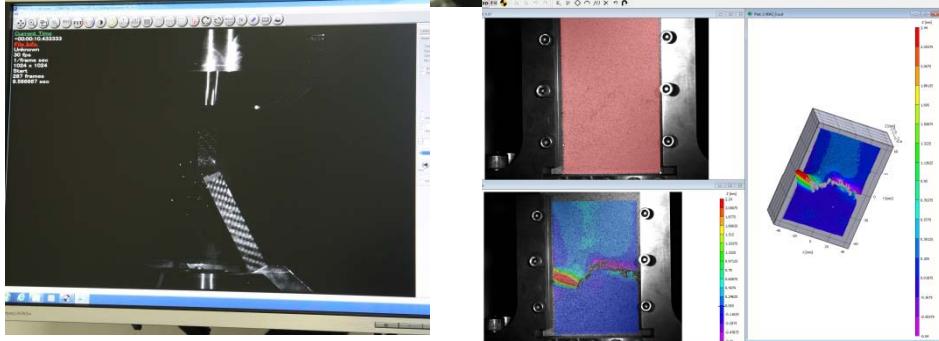
- максимальная раб. нагрузка 100кН, класс 0.5 - от 200 Н до 100кН по ISO 7500-1;
- клиновые гидравлические захваты, набор приспособлений;
- температурная камера (от -100С до +350°C);
- бесконтактный видео-экстезометр;
- навесные датчики деформации Epsilon (с диапазоном рабочими температурами -100 до +540)



- Универсальная испытательная машина **Walter+bai (LFM-100)**:
- максимальная раб. нагрузка 100кН, класс 0.5 - от 200 Н до 100кН по ISO 7500-1;
- клиновые механические захваты, набор приспособлений;
- температурная камера (от -100С до +600°C);
- бесконтактный видео-экстезометр;
- навесные датчики деформации Epsilon (с диапазоном рабочими температурами -100 до +540)

Универсальная испытательная машина **Walter+bai (LFM-250)**:

- максимальная раб. нагрузка 250кН, класс 0.5 - от 2,5 кН до 250кН по ISO 7500-1;
- клиновые гидравлические захваты, набор приспособлений;
- температурная камера (от -100С до +400°С);
- бесконтактный видео-экстезометр;
- навесные датчики деформации Epsilonon (с диапазоном рабочими температурами -100 до +540)



Высокоскоростная система измерения деформации в трех плоскостях оснащенная высокоскоростными камерами 2000 кадров в секунду



Оборудование для проведения физико-механических испытаний

Маятниковый копер

- *PSd (50/15):*

- энергия удара 15Дж, 50Дж;
- скорость маятника во время удара 3.8 м/с;
- угол подъема маятника 160°;

Копер предназначен для определения ударной вязкости пластмасс при двухпорном ударном изгибе по методу Шарпи в соответствии с ISO 179 и ГОСТ 4647



Датчики деформации



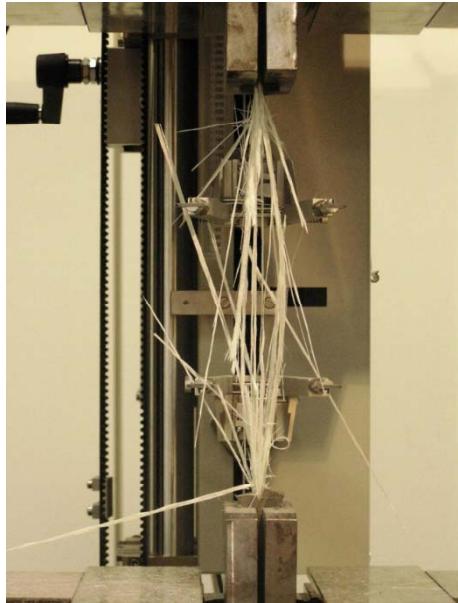
- оптические видео-экстензометры
- навесные экстензометры Epsilon (с диапазоном температур эксплуатации от -100°C до +540°C)
- механические макродатчики



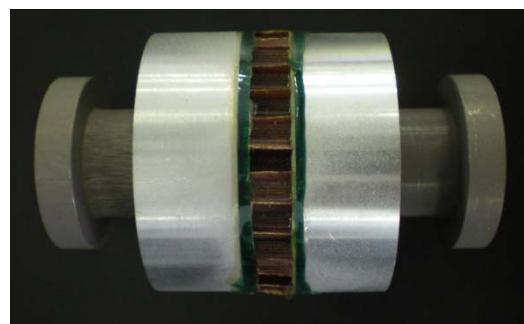
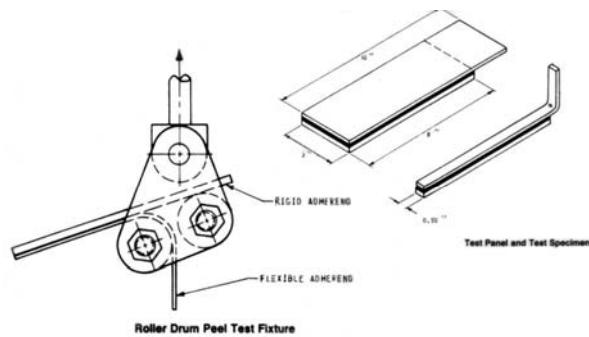


Физико-механические испытания

• Испытания на растяжение



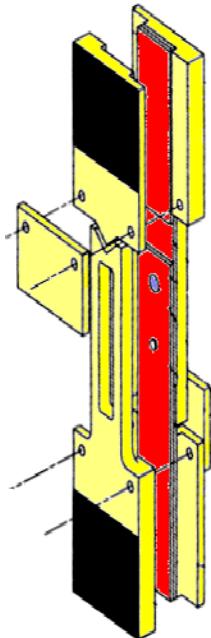
Наименование испытания	Стандарт	Искомые характеристики
1. Статическое растяжение	ГОСТ 25.601-80	σ_{b1+} , σ_{b2+} , E_1+ , E_2+ , V_{12} , V_{21} , ε_1+ , ε_2+ .
2. Растяжение с отверстием	ASTM D5766, ASTM D5961, СТО 1-595-30-416-2012, СТО 1-595-30-417-2012	σ_{b1+} , σ_{b2+} , E_1+ , E_2+ , ε_1+ , ε_2+ .
3. Отрыв обшивок от заполнителя	ГОСТ 14760-69	$\sigma_{отр}$
4. Испытание на отслаивание	ASTM D3167	$\sigma_{отсл}$



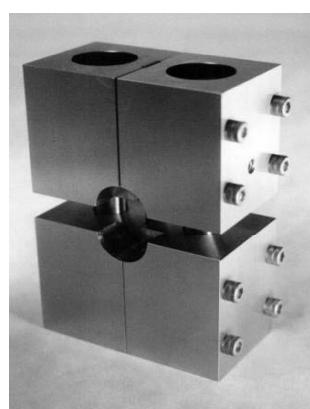
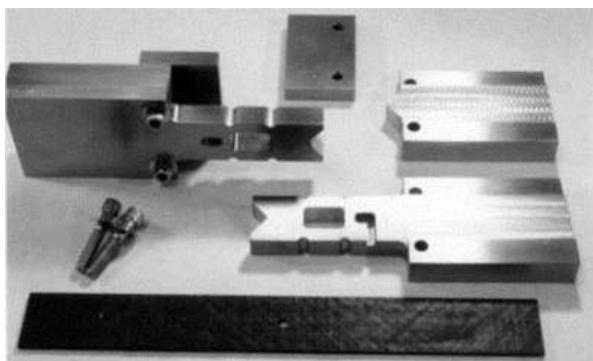
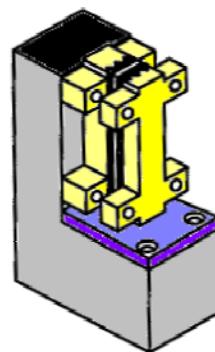
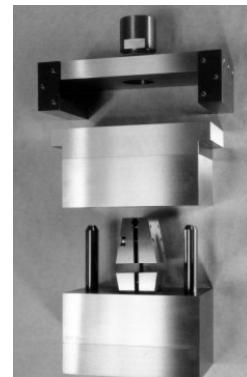


Физико-механические испытания

• Испытания на сжатие

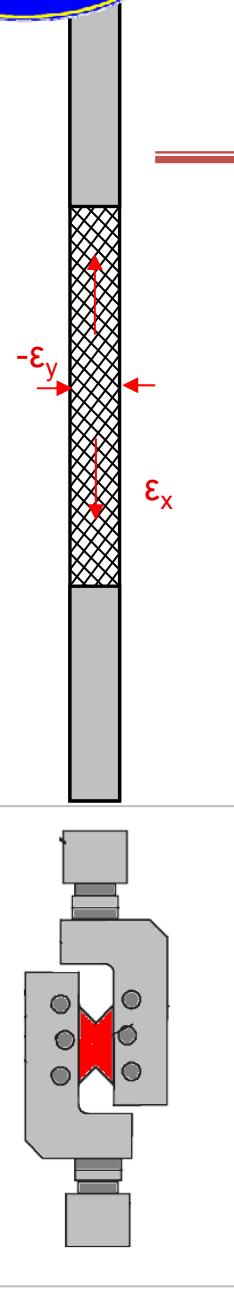


Наименование испытания	Стандарт	Искомые характеристики
5. Статическое сжатие	ГОСТ 25.6012-80 ASTM D6641 СТО 1-595-30-406-2011	σ_{b1-} , σ_{b2-} , E_{1-} , E_{2-} , V_{12} , V_{21} , ε_{1-} , ε_{2-} .
6. Сжатие с отверстием	ASTM D6484, AITM 1.0008	σ_{b1-} , σ_{b2-} , ε_{1-} , ε_{2-} .
7. Остаточная прочность после удара	СТО 1-595-30-409-2011 ASTM D7137	σ_{b1-} , σ_{b2-}



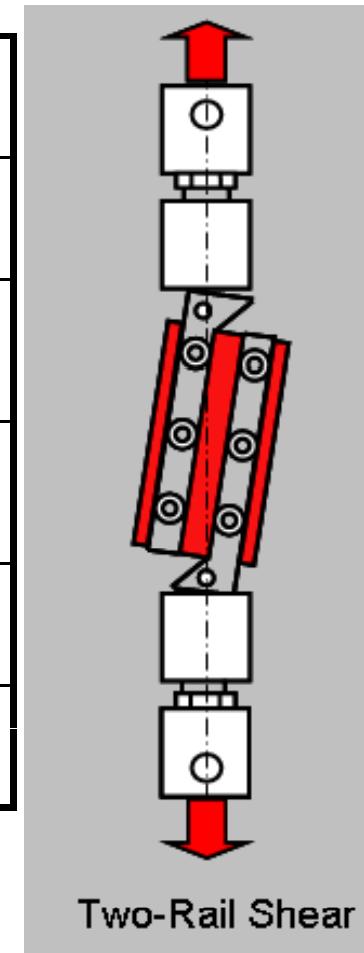
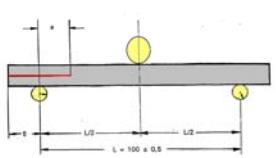


Физико-механические испытания



• Испытания на сдвиг

Наименование испытания	Стандарт	Искомые характеристики
8. Межслойный сдвиг	РД 50-675-88 ASTM D2344	τ_{13}
9. Сдвиг в плоскости (с укладкой ± 45 – до 5% сдвиговой деформации)	ASTM D3518	$\tau_{12}, v_{12}, v_{21}, \varepsilon_1+, \varepsilon_2+, G_{12}, E_1, E_2$.
10. Сдвиг по Iosipescu	ASTM D 5379	$\tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{23}$
11. Двунаправленный сдвиг	ASTM D4255	τ_{12}
12. Сдвиг с V-образным надрезом	ASTM D7078	$\tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{23}$

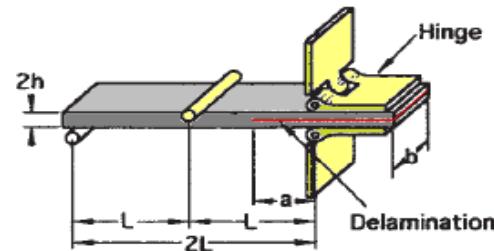
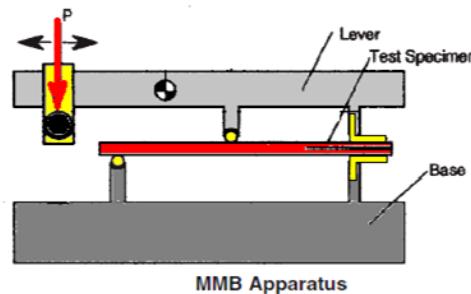
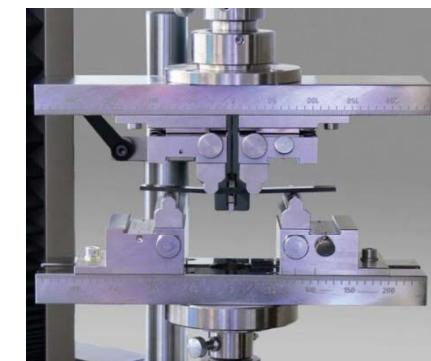




Физико-механические испытания

• Испытания на изгиб

Наименование испытания	Стандарт	Искомые характеристики
13. 3-х точечный изгиб	ГОСТ 25.604-82 ASTM D7264	$\sigma_{\text{ви}}$, E_i
14. 4-х точечный изгиб	ГОСТ 25.604-82 ASTM D7264	$\sigma_{\text{ви}}$
15. Трещиностойкость при изгибе	ASTM D6671	G_I , G_{II}

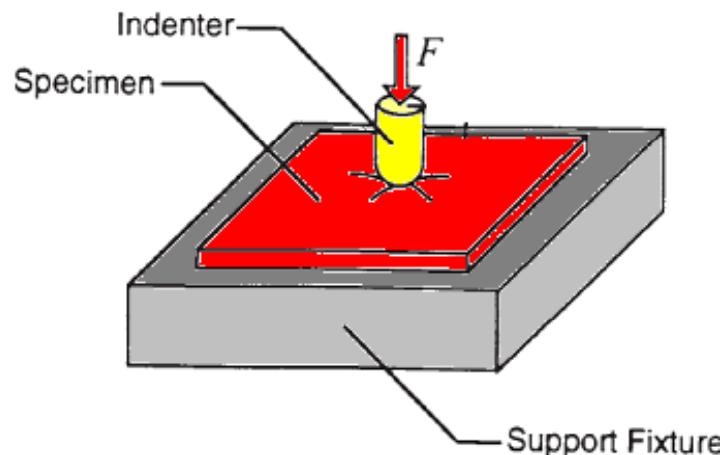




Физико-механические испытания

- Испытания на ударное воздействие

Наименование испытания	Стандарт	Искомые характеристики
16. Ударная вязкость по Шарпи	ГОСТ 4647-80	A_n , a_n .
17. Удар падающим грузом	ASTM D6264	P , E (Дж), H , m
18. Смятие	СТО 1-595-30-419-2012	σ_{cm} , E_{cm}

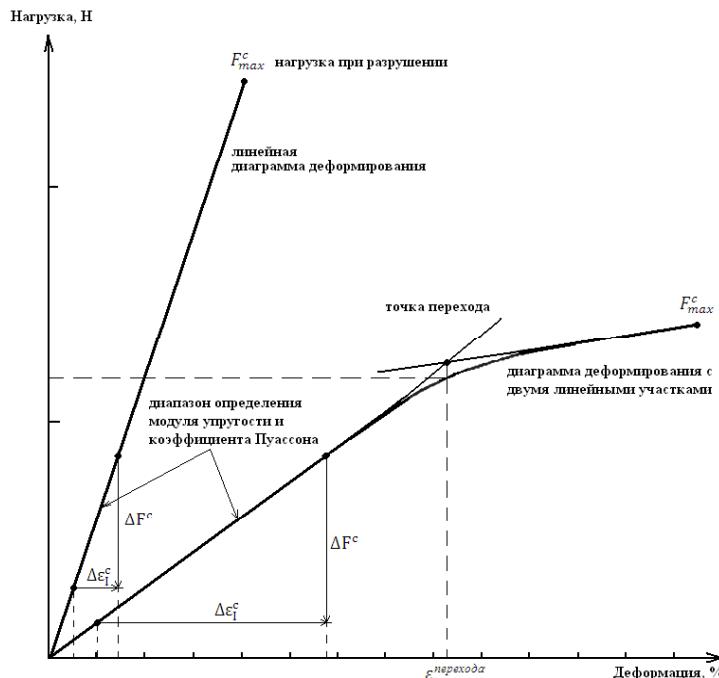




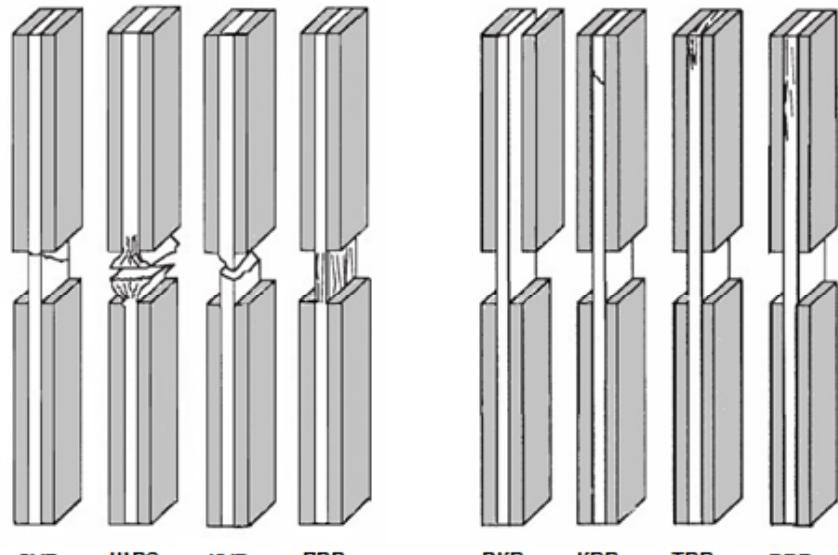
Разработка стандартов

СТО 1-595-30-406-2011

Методы механических испытаний полимерных композиционных материалов.
Метод испытания полимерных композиционных материалов на сжатие при
нормальной, повышенной и пониженной температурах.



Типичная диаграмма
деформирования



Допустимые и недопустимые типы и
области разрушения



Разработка стандартов



Вертикальный копер

СТО 1-595-30-408-2011
Методы механических испытаний полимерных композиционных
материалов. Метод испытания полимерных композиционных
материалов на сопротивление повреждению при ударе
падающим грузом.

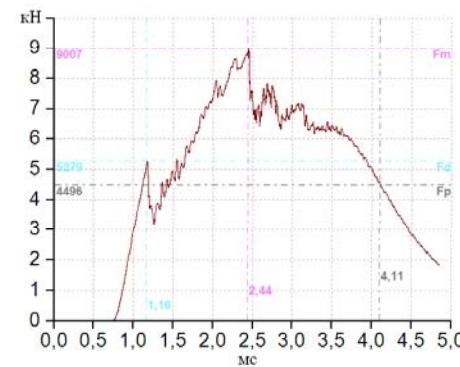


Диаграмма “контактная
сила – время”



а

Образец углепластика после испытания (а)
и результаты ультразвукового контроля (б).

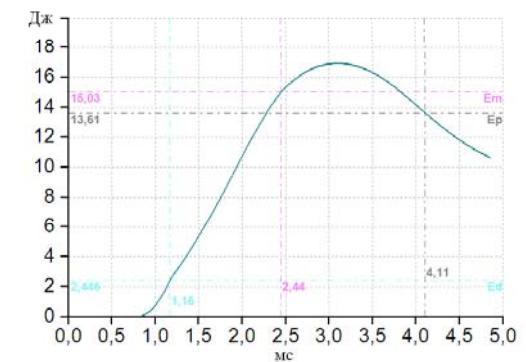
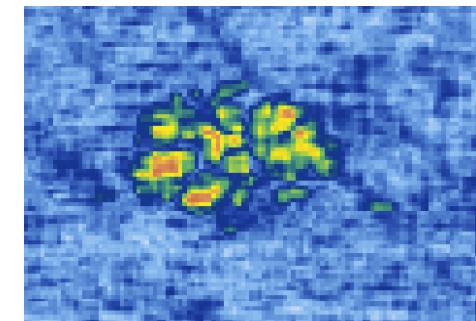


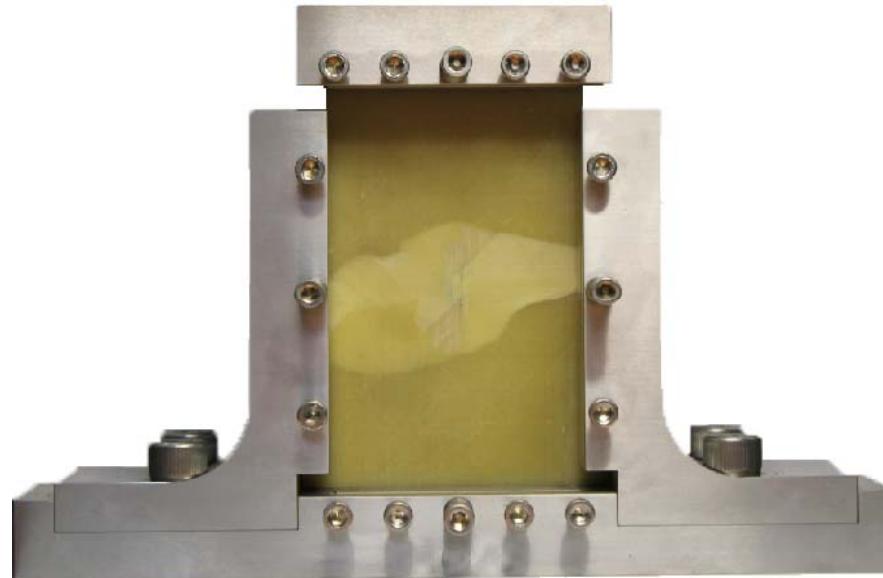
Диаграмма “энергия – время”



б



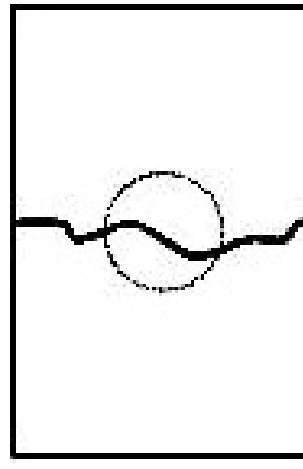
Разработка стандартов



(а)



(б)



(в)

СТО 1-595-30-409-2011

Методы механических испытаний полимерных
композиционных материалов.
Метод испытания полимерных композиционных
материалов на сжатие после удара.

Приспособление для испытаний образцов
ПКМ на сжатие после удара.

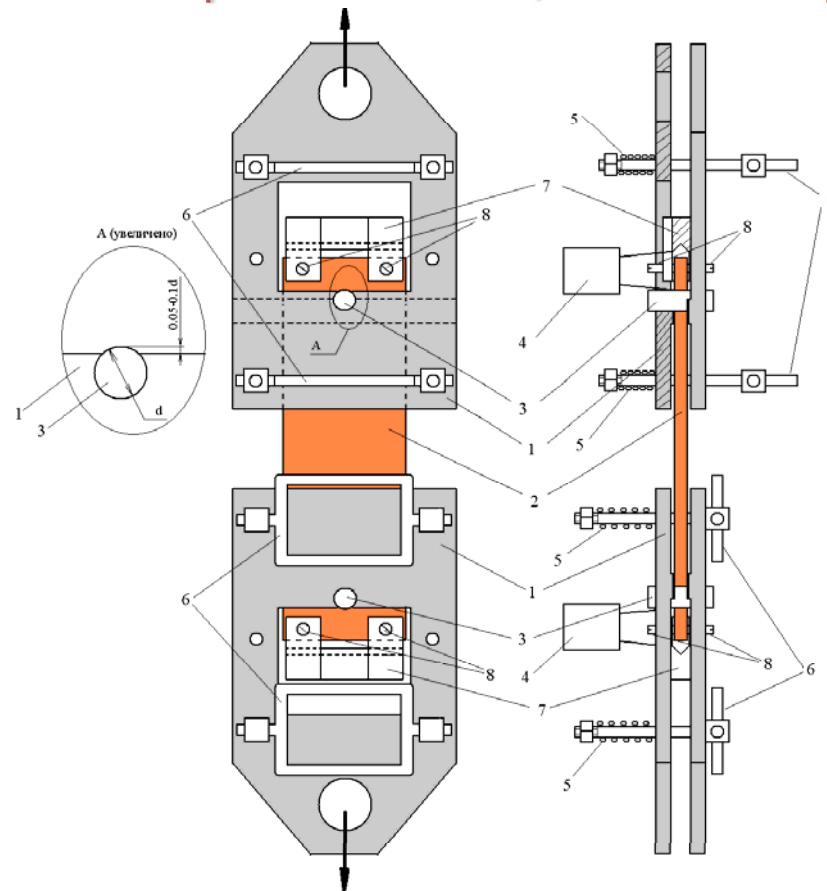
Разрушенные образцы
стеклопластика ВПС-31 (а),
углепластика (б) и схема их
разрушения (в) при испытании на
сжатие после удара.

идентификационное обозначение
разрушения – ПВС:
П – поперечное
В – в зоне повреждения / у зоны
повреждения
С – в середине образца



Разработка стандартов

ASTM D 5961/D 5961M,
СТО 1-595-30-419-2012 Методы механических испытаний полимерных
композиционных материалов.
Метод испытания полимерных композиционных материалов на смятие.



Приспособление для испытаний образцов ПКМ
на смятие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года /В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 7-17.
2. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов /В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии») М.: ВИАМ. 2012. С. 231-242.
3. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения /В сб. Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С.260-265.
4. Ресурсы Интернета.
5. Душин М.И., Хрульков А.В., Раскутин А.Е.. К вопросу удаления излишков связующего при автоклавном формировании изделий из полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. Электронный журнал. 2013. № 1
6. Раскутин А.Е., Гончаров В.А.. Компьютерное моделирование технологического процесса изготовления ПКМ методом вакуумной инфузии / В сб. Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 286-291.