



**Конкурс научно-технических работ
молодых специалистов
ПАО «ВАСО»**

Название работы	Отработка методики определения модуля упругости при растяжении для угле- и стеклопластиков при проведении технологического контроля
Автор	Духанина(Чулкова) Олеся Александровна Инженер I категории, 47/ЦЗЛ
Предприятие	ПАО «ВАСО»

Воронеж

2016г

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ЦЕЛЬ РАБОТЫ.	3
ВВЕДЕНИЕ.	3
1 Технические требования, предъявляемые к образцам при проведении технологического контроля	4
2 Оборудование, оснастка, средства контроля.	6
2.1 Перечень необходимого оборудования.	6
2.2 Характеристики используемого оборудования.	7
2.2.1 Испытательная универсальная машина Inspekt 100кН	7
2.2.2 Программа Labmaster	9
2.2.3 Цифровой микрометр Mahr 40 EX	10
2.2.4 Цифровой штангенциркуль Mahr 16 EX,	11
2.2.5 Захваты для проведения испытаний на растяжение	12
2.2.6 Автоматический тензометр MFL 300-B	13
3 Требования к образцам	14
4 Требования к накладкам	15
5 Условия проведения испытаний	15
6 Сущность метода	16
7 Результаты физико-механических испытаний	16
8 Вывод	
9 Литература	
Приложение №1	

Приложение №2

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- отработка методики определения модуля упругости при растяжении для угле- и стеклопластиков при проведении технологического контроля на изделиях ПД-14 и SSJ;

- набор и обработка статистических данных показателей физико-механических испытаний пластиков и модуля упругости при растяжении.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с приобретением на ВАСО нового оборудования и запуском новых изделий возникла необходимость отработки методики определения модуля упругости при растяжении для угле- и стеклопластиков, изготовленных на основе:

- ВКУ-29 ТУ 1-595-11-1270-2012;
- ВКУ-39 ТУ 1-595-11-1352-2012,
- ВКУ-25 ТУ 1-595-25-1133-2011;
- ВПС- 48/7781 ТУ 1-595-10-1380-2013 на изделие ПД-14
- КМКУ-2М.120.Э01.45 ТУ 1-595-24-484-96
- КМКС-2М.120.Т64.55 ТУ 1-595-14-954-2007
- КМКС-2М.120.Т64.37 ТУ 1-595-14-954-2007 на изделие SSJ

при проведении технологического контроля.

Работа проводилась методом испытания плоских образцов на растяжение при нормальной температуре по:

- ГОСТ 25601-80 «Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах»;

- ПМ 08.221 «Испытания образцов из полимерных композиционных материалов на растяжение»

За период с 11.01.15г по 30.12.15г проведен технологический контроль

- 21 партии угле- и стеклопластиков, изготовленных на основе: ВКУ-29, ВКУ-39, ВКУ-25 и ВПС- 48/7781.

- 21 партии угле- и стеклопластиков, изготовленных на основе: КМКУ-2М.120.Э01.45, КМКС-2М.120.Т64.55, КМКС-2М.120.Т64.37

3

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБРАЗЦАМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Технические требования, предъявляемые к образцам при проведении физико-механических испытаний на изделие ПД-14

Таблица 1

Марка препрега	Норма	
	Прочность при растяжении пластика при температуре 20°С, МПа, не менее	Модуль упругости при растяжении пластика при температуре 20°С, ГПа, не менее
ВКУ-29	1940	123
ВКУ-39	750	60
ВКУ-25	2230	145
ВПС- 48/7781	400	25

Размеры образцов для испытания на растяжение на изделие ПД-14

Таблица 2

Материал	Количество слоев	Длина образца, мм	Ширина образца, мм	Длина накладки, мм	Толщина образца, мм
ВКУ-29	10	270	12,0± 0,5	70 – 90	2,0 ± 0,2
ВКУ-39	10	270	12,0± 0,5	70 – 90	2,0 ± 0,2

ВКУ-25	10	270	12,0± 0,5	70 – 90	2,0 ± 0,2
ВПС- 48/7781	11	250 ± 1	25,0± 0,5	56 ± 1	2,5 ± 0,2

Технические требования, предъявляемые к образцам
при проведении физико-механических испытаний на изделие SSJ

Таблица 3

Номер чертежа	Количество слоев препрега в пластике	Норма		
		Прочность при растяже- нии, МПа, не менее	Модуль упругости при растяжении, ГПа, не менее	Толщина пластика по чер- тежу, мм
T7.92.3810.115.901 902	2сл.КМКС-2М.120.Т64.37 12сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	313,7	6,7	1,68-2,08
T7.92.3820.115.901 902	2сл.КМКС-2М.120.Т64.37 13сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	313,7	6,7	1,81-2,24
T7.92.3910.110.901 902	1сл.КМКС-2М.120.Т64.37 18сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	313,7	6,7	2,25-2,79
T7.92.3910.115.901 902	1сл.КМКС-2М.120.Т64.37 20сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	313,7	6,7	2,50-3,10
T7.92.3920.110.901 902	1сл.КМКС-2М.120.Т64.37 18сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	313,7	6,7	2,25-2,79
T7.92.3920.115.901 902	1сл.КМКС-2М.120.Т64.37 20сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	313,7	6,7	2,50-3,10
T7.92.3930.110.901 902	1сл.КМКС-2М.120.Т64.37 18сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	313,7	6,7	2,25-2,79
T7.92.3930.115.901 902	1сл.КМКС-2М.120.Т64.37 20сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	313,7	6,7	2,50-3,10
T7.92.3500.050.901 902 055.901 902	1сл.КМКС-2М.120.Т64.37 2сл.КМКС-2М.120.Т64.55 13сл.КМКУ-2М.120.Э01.45	254,9	6,7	2,015- 2,505

Т7.92.3500.085.901	2сл.КМКС-2М.120.Т64.37	274,5	6,7	1,715-
902	13сл.КМКУ-2М.120.Э01.45			2,235

Примечание: данные по модулю упругости при растяжении являются справочными и взяты из СТП 03-061-08 «Требования, определяющие технологичность конструкций изделий SSJ».

2. ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

2.1 Перечень необходимого оборудования

Определение модуля упругости при растяжении

1. Испытательная универсальная машина Inspekt 100кN 1 класса, погрешность измерения нагрузки не более 1%;
2. Программа Labmaster;
3. Компьютер Pentium IV;
4. Автоматический тензомер MFL 300-B, разрешающая способность 1 μm ;
5. Цифровой микрометр Mahr 40 EX, диапазон измерения 0 – 25мм, цена деления – 0,001мм;
6. Цифровой штангенциркуль Mahr 16 EX, диапазон измерения до 300 мм, цена деления 0,001мм;
7. Захваты для проведения испытаний на растяжение по ГОСТ 25601-80 (черт.119.Т50.654.158.00.000).
8. Приспособление для центрирования образца в захватах и определения соосности приложения нагрузки (черт. 5804.7807.000.000).
9. Гигрометр психрометрический типа ВИТ-1 (ТУ 25-111645-84), диапазон измерения 5...25° С, цена деления шкал термометров 0,2°С. Абсолютная допускаемая погрешность термометров $\pm 0,2^\circ \text{C}$.

2.2 Характеристики оборудования

2.2.1 Испытательная универсальная машина Inspekt 100кN

Испытательная универсальная машина Inspekt 100кN 1 класса обеспечивает разрушение образца с заданной скоростью перемещения активного захвата, измерение нагрузки с погрешностью не более $\pm 1\%$ измеряемой величины.

Назначение

Машина предназначена для измерений и создания нормированных значений нагрузок при проведении механических испытаний образцов пластмасс на растяжение и сжатие.

Принцип действия машины

Принцип действия машины основан на преобразовании нагрузки, приложенной к испытываемому образцу тензорезисторным силоизмерительным датчиком в аналоговый электрический сигнал, изменяющийся пропорционально этой нагрузке.

При проведении измерений испытываемый образец размещают между двух зажимов. Один из которых подвижен (активный захват) и закреплен на подвижной траверсе через тензорезисторный силоизмерительный датчик силоизмерительного устройства, а с другой – жестко связан с машиной. Перемещение подвижной траверсы вызывает воздействие на образец подвижного активного захвата, а следовательно его деформацию вплоть до разрушения.

Цифровой контроллер управления служит для коммутации всех поступающих сигналов и их предварительной обработки. Он обрабатывает сигнал датчика, количество импульсов преобразователя и осуществляет их аналого-цифровое преобразование.

Машина функционирует совместно с подключаемым к ним через интерфейс RS 232 внешним компьютером, на котором установлено специальное

программное обеспечение.



Рисунок 1 Приспособление для проведения испытаний на растяжение

2.2.2 Программа Labmaster

Программа предназначена для определения свойств пластмасс по экспериментальным зависимостям «усилие-деформация» или «усилие-перемещение траверсы». Она полностью контролирует работу машины, управляет всеми операциями, производит обработку поступающих от электронного блока цифровых данных, измеренные результаты значения силы и перемещения отображаются на дисплее компьютера в режиме реального времени, обрабатывает и сохраняет результаты измерений. Эти значения затем могут быть использованы для дальнейшего автоматического вычисления различных характеристик испытываемых образцов. Характеристики образца вычисляются с использованием предварительно введенных данных (толщина, ширина). Программа обеспечивает полное управление машиной, хранение процедур испытаний и их результатов, их статистическую обработку и отображение на дисплее различной числовой и графической информации (нагрузочных кривых).

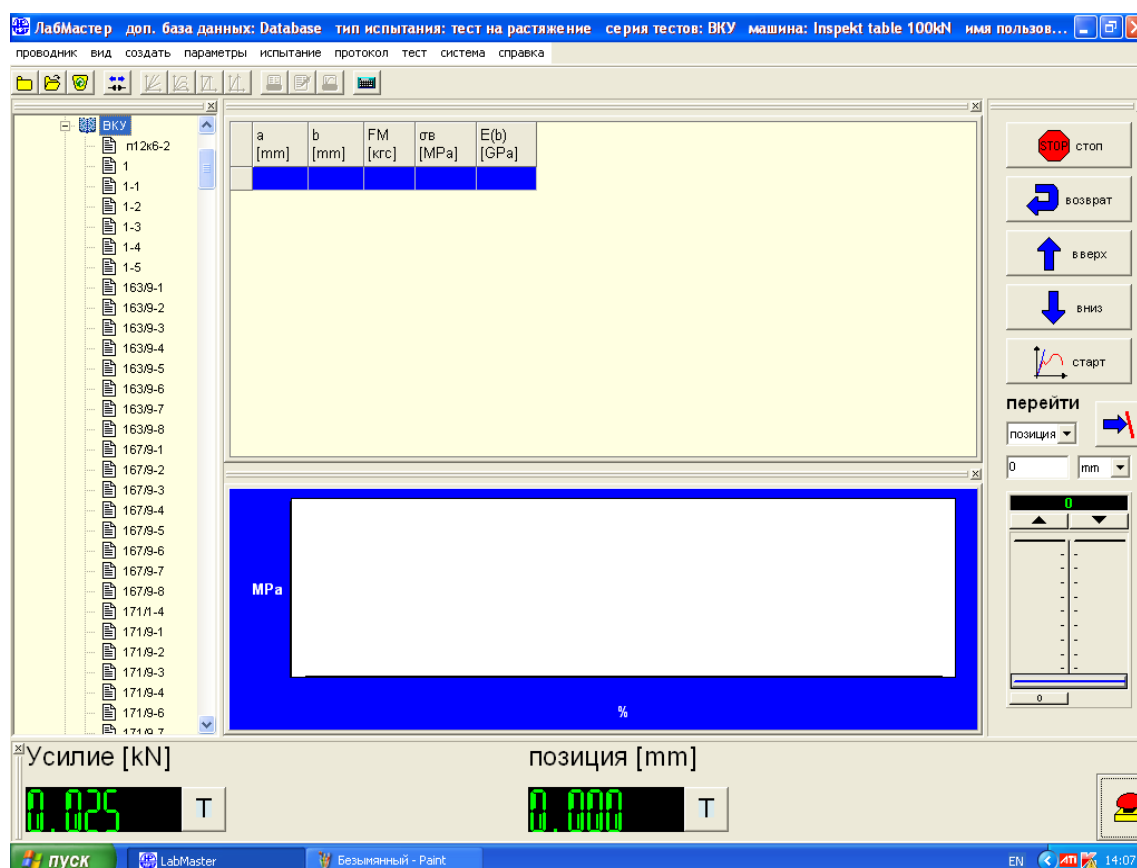


Рисунок 2 Диалоговое окно программы Labmaster

2.2.3 Цифровой микрометр Mahr 40 EX

Цифровой микрометр – универсальный прибор, который служит для определения линейных размеров деталей. Отличительной чертой является наличие электронного устройства считывания данных, а также цифрового дисплея, отображающего полученные показания.

Технические характеристики:

- диапазон измерения 0 – 25мм;
- цена деления – 0,001мм;
- погрешность – 2 мкм.

Принцип действия:

Электронный микрометр совершает измерения при помощи контактного метода, когда образец зажимается в измерительных губках с некоторым усилием, чтобы добиться максимальной точности.



Рисунок 3 Цифровой микрометр Mahr 40 EX

2.2.4 Цифровой штангенциркуль Mahr 16 EX

Штангенциркуль – универсальный инструмент, предназначенный для высокоточных измерений наружных и внутренних размеров.

Технические характеристики:

- диапазон измерения до 300мм;
- цена деления 0,001мм;
- разрешение 10мкм с точностью до 30 мкм

Принцип действия:

Принцип его работы – емкостный цифровой нониус. В основе работы используется емкостная матрица – кодер. Цифровая схема обработки данных дает до 0.02 мм погрешности.



Рисунок 4 Цифровой штангенциркуль Mahr 16 EX

Цифровые микрометр и штангенциркуль подключены к компьютеру, что позволяет сразу вводить информацию в программу, видеть данные на

экран и после проведения испытаний получать уже готовые показатели прочности.

2.2.5 Захваты для проведения испытаний на растяжение



Рисунок 5 Захваты клиновые

Образец устанавливается в захваты испытательной машины так, чтобы продольная ось его совпала с направлением действия нагрузки и осью зажимных губок. При использовании клиновидных захватов верхний конец образца располагается на одном уровне или выше верхнего края зажимных губок.

бок захвата, при этом нижний край зажимных губок должен находиться на уровне начала скоса накладки.

2.2.6 Тензомер для определения модуля упругости

Экстензометр – это прибор для измерения деформации образца во время проведения испытаний на растяжение. Экстензометр MFL 300-B имеет измеряемую базу в диапазоне от 10 до 300 мм с диапазоном измерения до 300мм. Уникальность данной модели состоит в том, что он позволяет в автоматическом режиме испытывать образцы с разной базовой длиной, может использоваться для измерения деформации до момента разрушения образца. Небольшое усилие зажима в сочетании с высокой точностью измерения позволяет исключить его влияние на образец в ходе испытания.

Принцип измерения – оптико-инкрементальный

Погрешность измерения – 0,5% (1,5мкм)

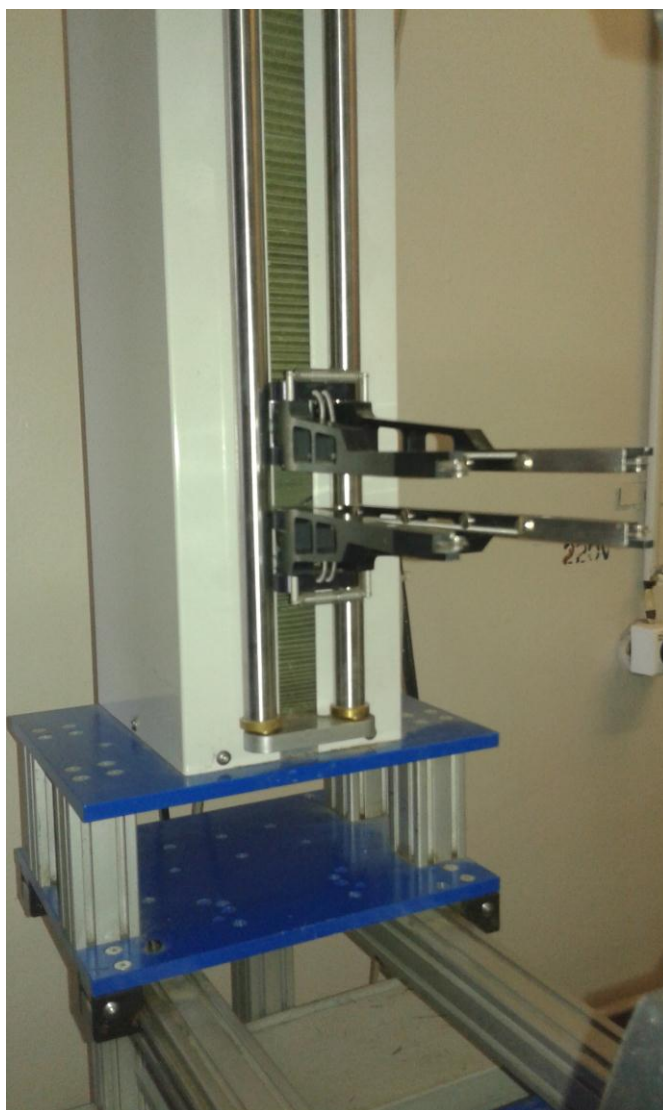
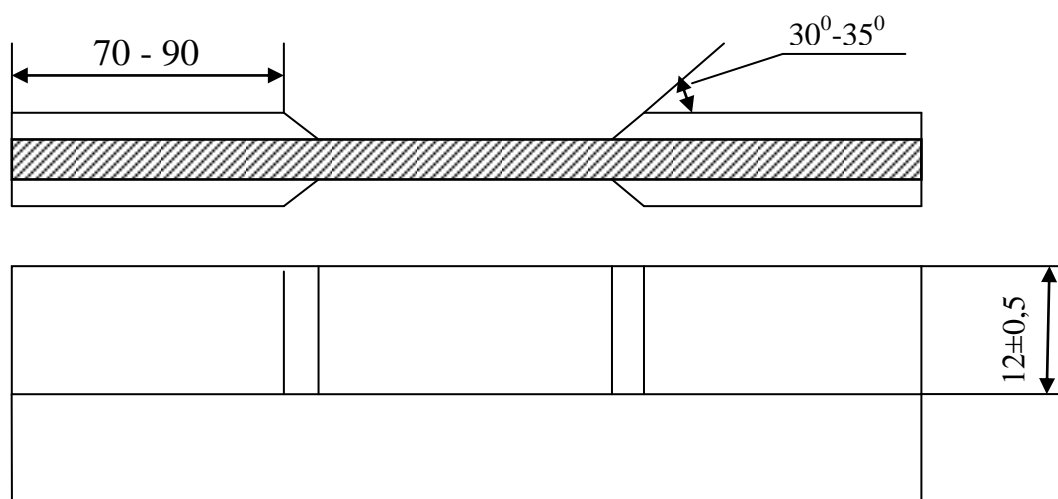


Рисунок 6 Экстензометр MFL 300-B

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОБРАЗЦАМ

Образцы должны иметь гладкую наружную поверхность без вздутий, сколов, трещин и других дефектов, заметных невооруженным глазом. Изменение толщины и ширины по длине образца должно быть не более 0,05мм.

Изготовление образцов производится согласно требованиям таблицы 2.



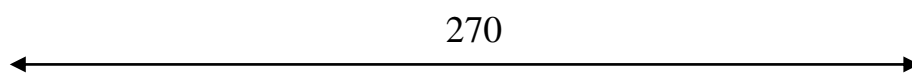


Рисунок 7 Форма и размеры образца для испытания углепластика на растяжение

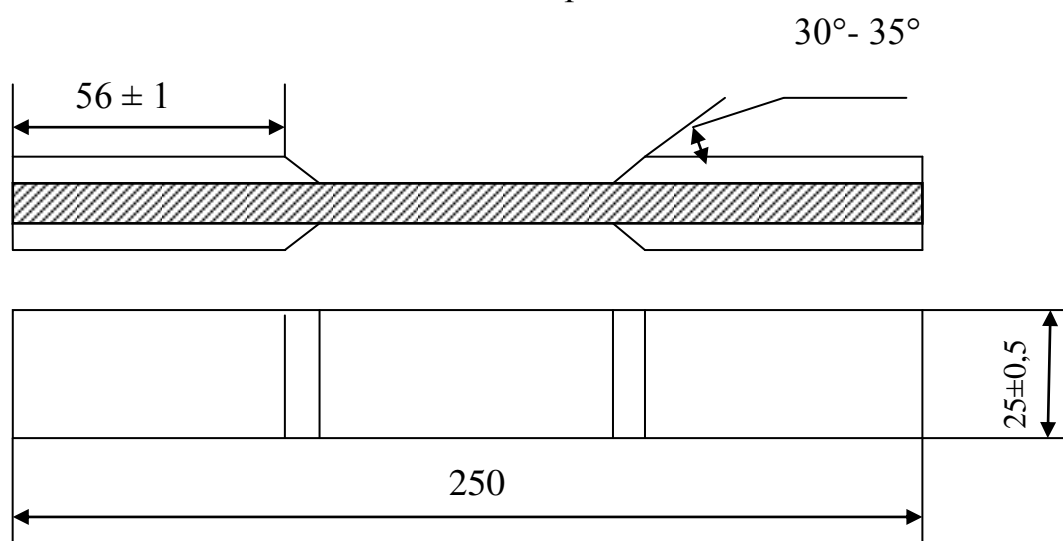


Рисунок 8 Форма и размеры образца для испытания стеклопластика на растяжение

Для проведения испытаний на растяжение применяют образцы в виде полосы прямоугольного поперечного сечения с закрепленными на концах накладками.

4. ТРЕБОВАНИЯ К НАКЛАДКАМ

Накладки изготавливаются из ортогонально армированных материалов, модули упругости которых в направлениях, перпендикулярных к оси образца, не превышают модулей упругости в соответствующих направлениях материала образца. Относительное удлинение при разрушении материала накладок во всех направлениях должно быть больше или равно соответствующей характеристике материала образца.

Для изготовления накладок использовался ортогонально армированный стеклотекстолит типа КАСТ-В толщиной от 2,0 до 3,0 мм. Перед приклеиванием накладок к заготовке пластика их просушивали при температуре $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Подготовка поверхности к склеиванию производилась путем снятия одного верхнего слоя стеклотекстолита.

Для приклеивания накладок применялись пленочные клеи ВК-51, ВК-36.

Режим отверждения клеев

Таблица 4

Марка клея	Температура отверждения, °С	Удельное давление при склеивании	Время выдержки, ч
ВК-51	125±5	контактное	3
ВК-36	125±5	контактное	4
ВК-27	не менее 18 ⁰ С	0,1-1 кгс/см ²	72

По краям накладки, обращенной к рабочей зоне, должен быть выполнен скос под углом от 30° до 35°.

5. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

1. Испытания проводят при температуре – (23 ± 2)° С и относительной влажности воздуха – (50 ± 5) %;
2. Скорость перемещения активного захвата машины 10 мм/мин;
3. Кондиционирование образцов – не менее 4 часов при температуре (23 ± 2)° С и влажности (50 ± 5) % по ГОСТ 12423-99.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

6.1 Сущность метода

Метод состоит в кратковременном испытании образцов из композиционных материалов на растяжение с постоянной скоростью деформирования, при которой определяют:

- предел прочности при растяжении σ – отношение максимальной нагрузки F , предшествующей разрушению образца. K начальной площади его поперечного сечения, МПа;
- относительное удлинение δ при разрушении – отношение приращения длины мерной базы в момент разрушения к начальной длине мерной базы, %;
- модуль упругости E – отношение напряжения к соответствующей

относительной деформации при нагружении материала в пределах начального линейного участка диаграммы деформирования, МПа.

Метод определения модуля упругости основан на измерении деформации при трехкратном нагружении - разгрузении образца в заранее выбранном диапазоне нагрузок в пределах начального линейного участка диаграммы.

Для измерения деформаций используют тензометры, отвечающие требованиям ГОСТ 25.601-80. Регистрирующие приборы должны обеспечивать измерение деформаций с погрешностью не более 1% от предельного значения измеряемой величины.

Образец устанавливают в захватах испытательной машины и укрепляют в рабочей части образца измеритель деформации (тензометр).

Для правильного центрирования образца в захватах испытательной машины его установка производится с помощью специального приспособления, разработанного совместно с ОНТИР, и позволяющего расположить образец строго вертикально и по центру крепежа.

Устанавливают скорость перемещения активного захвата машины 10 мм/мин и равномерно нагружают образец с заданной скоростью вплоть до его разрушения.

Расчет предела прочности при растяжении и модуля упругости при растяжении производится автоматически с помощью программы Labmaster (рисунок 9).

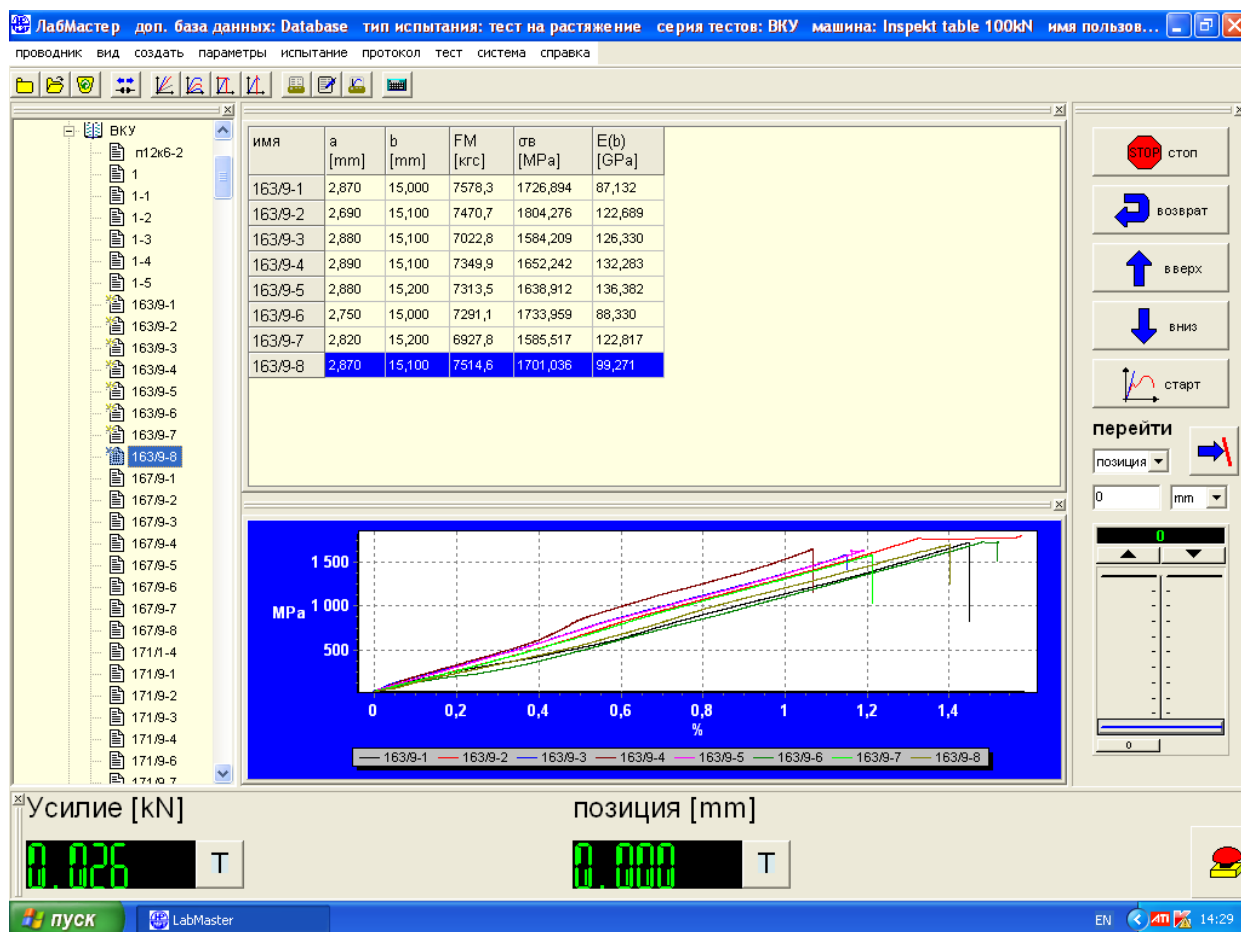


Рисунок 9 Диалоговое окно программы Labmaster с результатами испытаний

В ходе испытания:

- регистрируется перемещение захватов испытательной машины, нагрузка и деформация на образце непрерывно по времени;
- если начинается разрушение образца, то фиксируется нагрузка, деформация и форма разрушения. При разрушении должна быть зафиксирована максимальная нагрузка разрушения и деформация в момент разрыва;
- определяется и регистрируется форма и расположение разрушения согласно ASTM D 3039. Тип приемлемого разрушения зависит от используемого материала;
- сбор данных по деформации и нагрузке происходит до момента разрушения образца
- определение типа разрушения образца производится согласно требованиям таблицы 5

Обозначение типов разрушения при растяжении

Таблица 5

Первая буква в обозначении		Вторая буква в обозначении		Третья буква в обозначении	
Тип разрушения	Код	Область разрушения	Код	Место разрушения	Код
Угловое	A	Внутри захватов/накладок	I	Снизу	B
Расслоение	D	Под накладками	A	Сверху	T
Накладка	G	Вблизи накладок	W	Слева	L
Поперечное	L	Рабочая зона	G	Справа	R
Смешанный тип	$M_{(x,y)}$	Множество зон	M	Посередине	M
Продольное расслоение	S	Клей под накладками	T	Различные	V
Взрывчатое	X	Различные	V	Неизвестно	U
Другое	O	Неизвестно	U		

Определение модуля упругости при растяжении производится согласно рисунку 10.



Рисунок 10 Проведение испытания углепластика

6.2 Значение модуля упругости для определения качества пластика

Модуль упругости в технологии полимеров (modulus) – мера жесткости материала, характеризующая сопротивление развитию упругих (обратимых) деформаций.

Определение модуля упругости широко используют при описании механических свойств любых тел, способных к накоплению обратимых деформаций.

Для полимерных материалов вследствие доминирующей роли релаксационных явлений в проявлении комплекса их механических свойств модуль зависит от режима деформирования (продолжительности, скорости частоты и т.п.), температуры, а также от особенностей строения полимерного материала и его термомеханической предистории.

Модуль упругости – основная характеристика материала, используемая в расчете прочности, жесткости и ресурса элементов конструкции из ПКМ. Это одна из основных сертификационных характеристик материала.

Модуль упругости входит в определение:

- жесткости формы элементов и его аэроупругих свойств;
- качество внешней поверхности обшивки и ее аэродинамического сопротивления;
- жесткости элементов конструкции.

Определение модуля упругости необходимо:

- для наблюдения за физико-химическими процессами, происходящими в материале при его технологической обработке (отверждение смол)
- с целью контроля производства качества готовой продукции;
- подтверждение стабильности ее эксплуатационных характеристик.

7. РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Результаты физико-механических испытаний пластиков при проведении технологического контроля приведены в таблице 6.

Таблица 6

Номер партии	Марка, партия материала, дата изг.	Номер панели, комплекта	Прочность при растяжении						
			Толщина образца а, мм	Ширина образца в, мм	$\sigma_{и}$, МПа по чертежу	Предел прочн. $\sigma_{и}$, МПа по факту	E(в) по чертежу	Модуль упруг. E(в), GPa по факту	Характер разруш.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
495/9	ВКУ-29 п.6 р.1, п.6 р.2 д. изг. 05.06.14 г.	160-05-144-03 к-т 001 (внутренняя обшивка)	2,67	15,0	1940	1544,4	123	116,9	GAB
			2,62	15,0		1385,0		112,3	G
			2,66	15,0		1359,0		108,4	G
			2,67	15,0		1624,0		118,9	GAB
			2,62	15,0		1314,6		110,2	G
						ср. 1445,4			
498/9	ВКУ-29 п.6 р.1, п.6 р.2 д. изг. 05.06.14 г.	160-05-144-04 к-т 001 (средняя обшивка)	2,68	15,0	1940	1697,9	123	128,3	GAB
			2,61	15,0		1711,3		166,3	GAB
			2,63	15,0		1440,7		123,4	G
			2,69	15,0		1499,3		124,3	G
			2,62	15,0		1868,8		134,6	GAB
						ср. 1643,6			
501/9	ВКУ-29 п.6 р.1, п.6 р.2 д. изг. 05.06.14 г.	160-05-144-05 к-т 001 (наружная обшивка)	2,62	15,1	1940	1589,4	123	115,6	SGM
			2,67	15,0		1776,6		114,0	SGM
			2,62	15,0		1783,1		122,3	SGM
			2,63	15,0		1221,0		130,2	G
			2,62	15,0		1864,3		108,3	SGM
						ср. 1646,9			

Номер партии	Марка, партия материала, дата изг.	Номер панели, комплекта	Прочность при растяжении						
			Толщина образца а, мм	Ширина образца в, мм	$\sigma_{и}$, МПа по чертежу	Предел прочн. $\sigma_{и}$, МПа по факту	E(в), GPa по чертежу	Модуль упруг. E(в), GPa по факту	Характер разруш.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
529/9	ВКУ-29 п.5 р.2 д. изг. 04.06.14 г.	160-05-144-03 к-т 002 (внутренняя обшивка)	2,69	15,3	1940	1635,9	123	118,6	SWB/
			2,71	15,3		1646,7		118,2	T
			2,67	15,2		1903,2		112,7	SIB/T
			2,69	15,2		1725,2		196,4	SIB/T
			2,69	15,0		1829,4		167,5	SIB/T
			2,69	15,2		1843,8		141,2	SIB/T
						ср. 1764,0			SIB/T
72/9	ВКУ-29 п.8 р.1 д. изг. 22.07.14 г.	160-05-002-01 к-т 0003	2,72	15,0	1940	1643,6	123	118,4	SGV
			2,73	15,3		1681,0		114,8	SGV
			2,72	15,0		1695,6		106,8	SGV
			2,72	15,2		1703,3		130,5	SIB/T
			2,73	15,0		1653,3		143,5	SIB/T
			2,73	15,2		1702,2		118,0	SIB/T
						ср.1679.8			
163/9	ВКУ-29 п.8 р.1 д. изг. 22.07.14 г.	160-05-934 160-05-244 к- т 0003 (внутренняя обшивка)	2,87	15,0	1940	1726,9	123	124,2	SGV
			2,69	15,1		1804,3		141,1	SGV
			2,89	15,1		1652,2		180,0	SGV
			2,88	15,2		1638,9		138,1	SGV
			2,75	15,0		1734,0		137,8	SGV
			2,87	15,1		1701,0		134,9	SGV
						ср.1709,6			

Номер партии	Марка, партия материала, дата изг.	Номер панели, комплекта	Прочность при растяжении						
			Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	$\sigma_{н}$, МПа по чертежу	Предел прочн. $\sigma_{н}$, МПа по факту	E(в), GPa по чертежу	Модуль упруг. E(в), GPa по факту	Характер разруш.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
167/9	ВКУ-29 п.8 р.1 д.изг.22.07.14г.	160-05-934- 160-05-244-01 (средняя обшивка)	2,81	15,1	1940	1715,1	123	124,4	SGV
			2,84	15,2		1692,1		139,6	SGV
			2,76	15,1		1807,3		145,3	SGV
			2,70	15,1		1806,6		140,2	SGV
			2,86	15,1		1709,4		137,6	SGV
			2,84	15,2		1685,6		141,5	SGV
						ср.1736,0			
171/9	ВКУ-29 п.8 р.1 д.изг.22.07.14г.	160-05-934 160-05-244-02 (наружная обшивка)	2,93	15,1	1940	1689,4	123	124,8	SGV
			2,80	15,2		1673,4		138,1	SGV
			2,96	15,2		1659,4		143,6	SGV
			2,90	15,2		1637,1		135,2	SGV
			2,96	15,2		1669,1		139,5	SGV
			2,94	15,1		1647,8		137,4	SGV
						ср.1662,7			
532/9	ВКУ-29 п.5 р.2 д.изг.04.06.14г.	160-05-144-04 к-т 002 (средняя обшивка)	2,62	15,3	1940	1810,6	123	135,5	MWB
			2,63	15,2		1811,6		138,4	MWB
			2,64	15,3		1610,4		130,8	G
			2,61	15,3		1622,7		144,8	G
			2,63	15,3		1730,1		123,5	G
			2,64	15,2		1788,9		127,3	MWB
						ср.1729,1			

Номер партии	Марка, партия материала, дата изг.	Номер панели, комплекта	Прочность при растяжении						
			Толщина образца а, мм	Ширина образца в, мм	$\sigma_{н}$, МПа по чертежу	Предел прочн. $\sigma_{н}$, МПа по факту	Е(в), GPa по чертежу	Модуль упруг. Е(в), GPa по факту	Характер разруш.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
535/9	ВКУ-29 п.7 р.2 д.изг.21.07.14г.	160-05-144-05 к-т 002 (наружная обшивка)	2,91	15,3	1940	1628,7	123	124,8	SIB/T
			2,92	15,1		1753,5		136,1	SIB/T
			2,90	15,2		1641,7		126,3	SIB/T
			2,90	15,4		1749,1		150,4	SIB/T
			2,90	15,1		1828,8		131,2	SIB/T
			2,89	15,2		1603,9		131,6	SIB/T
						ср.1701,0			
616/9	ВКУ-29 п.5 р.2 д.изг.04.06.14г.	160-05-002-01 к-т 001	2,79	15,2	1940	1413,0	123	133,2	SGM
			2,77	15,1		1648,4		125,1	LWB
			2,79	14,8		1287,3		129,5	SGM
			2,78	15,2		1343,7		123,5	LWB
			2,80	15,1		1489,3		130,6	LGB
			2,78	15,2		1617,5		127,2	SGM
						ср. 1466,5			
562/9	ВКУ-29 п.7 р.3 д.изг.21.07.14г.	160-05-002-01 к-т 002	2,62	14,8	1940	1859,7	123	127,1	SGM
			2,68	14,6		1815,8		143,3	SGM
			2,71	14,8		1570,9		126,1	SGM
			2,68	14,7		1827,2		130,4	SGM
			2,68	14,6		1827,6		178,0	SGM
			2,72	14,6		1836,6		205,8	SGM
						ср. 1789,6			

Номер партии	Марка, партия материала, дата изг.	Номер панели, комплекта	Прочность при растяжении						
			Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	$\sigma_{н}$, МПа по чертежу	Предел прочн. $\sigma_{н}$, МПа по факту	E(в), GPa по чертежу	Модуль упруг. E(в), GPa по факту	Характер разруш.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
571/9	ВКУ-39 п.17 р.1 д.изг.22.07.14г.	160-05-099-01 к-т 001	2,68	14,6	750	830,5	60	63,4	GAB
			2,66	14,5		800,2		67,6	LGM
			2,68	14,7		786,3		64,4	GAB
			2,67	14,8		842,7		65,6	GAB
			2,67	14,6		477,8		70,3	G
			2,66	14,6		237,8		n.a.	G
						ср. 662,6			
680/9	ВКУ-39 п.17 р.1 д.изг.22.07.14г.	160-05-099 160-05-099-01 160-05-201 160-05-201-01 к-т 002	2,73	14,8	750	832,2	60	81,8	LAT
			2,70	14,8		894,4		84,3	LAB
			2,68	14,9		884,8		95,4	LAT
			2,68	14,8		905,5		74,0	LAB
			2,69	14,9		892,4		84,9	LAT
			2,71	14,8		918,6		93,9	LAB
						ср. 888,0			
672/9	ВКУ-39 п.17 р.1 д.изг.22.07.14г.	160-05-200 к-т 001	2,48	14,7	750	1020,6	60	76,3	LAT
			2,51	14,7		974,7		70,1	LAB
			2,53	14,6		997,2		94,7	LAT
			2,52	14,7		944,5		89,3	LAB
			2,54	14,7		978,7		63,6	LAT
			2,54	14,7		969,0		74,6	LAB
						ср. 980,8			

Номер партии	Марка, партия материала, дата изг.	Номер панели, комплекта	Прочность при растяжении						
			Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	σ_n , МПа по чертежу	Предел прочн. σ_n , МПа по факту	E(в), GPa по чертежу	Модуль упруг. E(в), GPa по факту	Характер разруш.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
691/9	ВКУ-39 п.17 р.1 д.изг.22.07.14г.	160-05-200 к-т 0002	2,51	14,7	750	1041,7	60	73,2	LWB
			2,51	14,8		1055,7		72,4	LWB
			2,48	14,7		1035,8		71,3	LWB
			2,51	14,7		988,3		n.a	LGM
			2,50	14,6		1021,0		73,5	LGM
			2,50	14,8		1021,3		74,9	LGM
						ср.1027,3			LWB
77/9	ВКУ-39 п.20 р.3 д.изг.25.11.14г.	160-05-200 к-т 0003	2,43	15,1	750	915,9	60	n.a	LAT
			2,43	15,2		868,8		71,6	LAT
			2,44	15,2		953,8		76,9	LAB
			2,44	15,1		938,3		74,4	LGM
			2,43	15,2		876,4		75,6	LAT
			2,44	15,2		830,2		79,9	LAT
						ср.880,6			
82/9	ВКУ-39 п.20 р.3 д.изг.25.11.14г.	160-05-099	2,52	15,0	750	1026,1	60	76,3	LAT
		160-05-099-	2,53	15,0		1007,3		72,1	LAB
		201	2,53	15,0		987,2		86,1	LAB
		160-05-099-01	2,50	15,1		950,8		75,0	LAT
		160-05-099-	2,53	14,8		1033,0		73,2	LAT
		201-01	2,53	15,1		972,8		80,5	LAT
			ср.996,2						

Номер партии	Марка, партия материала, дата изг.	Номер панели, комплекта	Прочность при растяжении						
			Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	σ , МПа по чертежу	Предел прочн. σ , МПа по факту	E(в), GPa по чертежу	Модуль упруг. E(в), GPa по факту	Характер разруш.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
233/9	ВКУ-25 п. 9 р.6 д.изг. 24.06.14г п.11 р.4 д.изг. 04.12.14г	160-05-002-01 к-т 0004	1,85	12,3	2230	2005,9	145	147,6	LAT
			1,84	12,3		2032,4		150,2	LAT
			1,85	12,3		2026,5		145,6	LWB
			1,81	12,3		2026,5		145,1	LGM
			1,85	12,3		2008,8		151,7	LG M
						ср.2020,0			
928/9	ВКУ-25 п.2 р.1 п.2 р.4 д.изг. 26.02.15г	160-05-002 к-т 0006	1,94	12,3	2230	2058,4	145	146,6	SGM
			1,92	12,1		2010,5		145,3	LWB
			1,97	12,1		2007,3		150,4	SGM
			1,95	12,2		2035,3		146,8	LWB
			1,92	12,4		2009,8		147,1	LGB
						ср. 2024,3			
456/11	ВПС- 48/7781 п.4 р.4 д.изг. 20.11.15г	160-05-842 к-т 0003	2,61	25,0	400	470.8	25	29,7	LAT
			2,62	25,1		437.5		30,8	LAB
			2,69	25,2		627.2		31,2	LAT
			2,61	25,0		526.5		27,9	LAB
			2,63	25,0		425.5		28,2	LAT
						Ср.497.5			

Номер партии	Марка, партия материала.	Номер панели, машины	Результаты физико- механических испытаний					
			h, мм	b, мм	F, кгс	σ , МПа	σ , %	E, GPa
1	2	3	4	5	6	7	8	9
034/01	КМКС-2М.120.Т64.55	Т7.92.3910.115.901/902А м.95008	3,50	20,2	4265	591,2	4,059	12,2
	п.18 р.3		3,40	20,2	4359	617,6	3,815	12,4
	КМКУ-2М.120.Э01.45 п.45 р.1		3,50	20,2	4334	601,0	3,995	12,2
035/01	КМКС-2М.120.Т64.55	Т7.92.3920.115.901/902А м.95008	3,50	20,3	4327	598,0	4,676	12,6
	п.18 р.3		3,50	21,1	4298	570,6	4,211	12,2
	КМКУ-2М..120.Э01.45 п.45 р.1		3,40	20,8	4108	565,7	4,345	11,1
048/01	КМКС-2М.120.Т64.55	Т7.92.3920.115.901/902А м.95009	3,02	19,8	4025	660,8	4,827	7,3
	п.71 р.3		3,09	19,7	3735	601,0	4,602	7,2
	КМКУ-2М..120.Э01.45 п.100 р.6		3,08	19,6	3814	619,6	4,711	7,5
050/01	КМКС-2М.120.Т64.55	Т7.92.3930.110.901/902А м.95009	3,20	19,7	3529	549,0	4,142	7,9
	п.71р.3		3,06	19,6	3672	599,0	4,415	7,4
	КМКУ-2М..120.Э01.45 п.100 р.6		3,08	19,4	3566	586,3	4,608	6,9
051/01	КМКС-2М.120.Т64.55	Т7.92.3920.110.901/902А м.95009	3,14	19,7	3526	558,8	4,159	7,3
	п.71 р.3		3,02	19,8	3420	559,8	4,227	7,4
	КМКУ-2М..120.Э01.45 п.100 р.5		3,10	19,7	3513	564,7	4,318	7,3
054/01	КМКС-2М.120.Т64.55	Т7.92.3910.110.901/902А м.95008	3,10	19,8	3637	582,4	4,770	6,7
	п.71 р.3		3,12	19,7	3533	562,7	4,618	6,7
	КМКУ-2М..120.Э01.45 п.45 р.2		3,05	19,4	3502	578,4	4,586	6,9

Номер партии	Марка, партия материала.	Номер панели, машины.	Результаты физико- механических испытаний					
			h, мм	b, мм	F, кгс	σ , МПа	σ , %	E, GPa
1	2	3	4	5	6	7	8	9
185/16	КМКС-2М.120.Т64.55 п.71 р.2 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.101 р.1	Т7.92.3810.115.901 м.95009	2,20	19,8	1887	425,5	3,014	9,5
			2,20	19,7	1860	420,6	2,622	10,5
			2,18	19,7	1876	428,4	2,940	8,5
			2,25	19,8	1924	421,6	3,008	9,3
			2,18	20,0	1919	431,4	2,812	11,4
			2,26	19,9	1882	409,8	2,934	10,6
187/16	КМКС-2М.120.Т64.55 п.71 р.2 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.101 р.1	Т7.92.3820.115.901 м.95009	2,20	19,9	1872	419,6	2,930	8,9
			2,19	19,8	1823	412,7	2,927	9,0
			2,19	19,8	2043	461,8	3,284	9,1
			2,14	19,8	1953	452,0	3,008	9,9
			2,18	19,8	1864	422,5	3,149	7,5
			2,17	19,8	1899	433,3	3,023	9,4
196/16	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 р.1 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.60 р.2	Т7.92.3810.115.901 м.95010	2,31	20,2	2918	611,8	4,194	8,8
			2,32	20,3	2897	601,0	4,237	7,6
			2,23	20,0	2484	545,1	4,904	7,6
197/16	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 р.1 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.60 р.2	Т7.92.3810.115.902 м.95010	2,10	20,0	2678	627,5	4,041	8,6
			2,13	20,3	2827	641,2	4,126	8,4
			2,17	20,1	2905	652,0	4,463	7,8

Номер партии	Марка, партия материала.	Номер панели, машины.	Физико – механические испытания					
			h, мм	b, мм	F, кгс	σ , МПа	σ , %	E, GPa
1	2	3	4	5	6	7	8	9
198/16	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 р.1 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.60 р.2	Т7.92.3820.115.901 м.95010	2,29	20,2	2908	615,7	4,242	8,5
			2,28	20,2	2697	574,5	4,038	8,7
			2,31	20,2	2682	562,7	4,072	8,1
199/16	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 р.1 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.60 р.2	Т7.92.3820.115.902 м.95010	2,37	20,3	2663	543,1	3,758	8,3
			2,30	20,2	2567	542,2	3,779	8,7
			2,28	20,3	2894	611,8	4,218	8,9
087/15	КМКС-2М.120.Т64.55 п.28 р.1 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.60 р.4; п.98 р.2	Т7.92.3500.050.901/902 055.901/902 м.95009	2,41	20,2	1297	260,8	2,883	6,6
			2,33	20,3	1263	261,8	2,896	6,7
			2,36	20,4	1283	261,8	2,906	7,2
			2,37	20,6	1293	258,8	2,949	6,9
			2,35	20,2	1279	262,7	2,883	6,7
088/15	КМКС-2М.120.Т64.55 п.28 р.1 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.106 р.4; п.98 р.2	Т7.92.3500.050.901/902 055.901/902 м.95010	2,48	20,5	1326	255,9	3,198	6,8
			2,43	20,4	1303	257,8	3,506	6,9
			2,50	20,3	1327	255,9	3,140	6,7
			2,45	20,6	1314	254,9	3,216	6,7
			2,48	20,5	1329	255,9	3,288	6,8
089/15	КМКС-2М.120.Т64.37 п.70 р.1 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.101 р.4	Т7.92.3500.085.901/902 м.95011	2,41	19,2	1306	276,5	3,177	6,8
			2,44	19,6	1353	277,5	3,512	7,6
			2,38	19,4	1332	282,4	3,318	7,3
			2,39	19,4	1310	277,5	3,206	8,5
			2,46	19,5	1356	277,5	3,339	6,7

Номер партии	Марка, партия материала.	Номер панели, машины.	Физико – механические испытания					
			h, мм	b, мм	F, кгс	σ , МПа	σ , %	E, GPa
1	2	3	4	5	6	7	8	9
090/15	КМКС-2М.120.Т64.37 п.70 p.1 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.113 p.2	Т7.92.3500.085.901/902 м.95012	2,52	20,1	1449	280,4	3,272	6,7
			2,51	20,0	1422	277,5	3,283	8,0
			2,46	20,0	1405	280,4	2,955	8,0
			2,50	20,6	1447	275,5	2,712	7,4
			2,40	20,0	1348	275,1	3,104	7,7
066/01	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 p.2 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.107 p.2	Т7.92.3920.110.901/902А м.95010	3,48	20,1	3848	539,2	4,762	6,7
			3,49	19,9	3841	542,2	3,889	8,3
			3,49	20,1	3859	539,2	4,342	7,1
067/01	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 p.2 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.102 p.2	Т7.92.3930.110.901/902А м.95010	3,36	20,1	3722	540,2	3,394	8,2
			3,39	19,9	3738	543,1	3,529	8,6
			3,34	20,2	3760	546,1	3,178	8,5
064/01	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 p.2 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.107 p.2	Т7.92.3920.115.901/902А м.95010	3,49	19,9	3528	498,0	4,090	6,4
			3,45	19,9	3515	502,0	3,956	6,9
			3,44	19,9	3382	484,3	3,883	7,1
068/01	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 p.2 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.102 p.2	Т7.92.3910.110.901/902А м.95010	3,43	19,9	3320	476,5	3,575	8,5
			3,47	20,1	3450	485,3	3,434	7,8
			3,45	20,0	3493	496,1	3,625	7,2
063/01	КМКС-2М.120.Т64.55 п.81 p.2 КМКУ-2М.120.Э01.45 п.107 p.2	Т7.92.3930.115.901/902А м.95010	3,49	20,1	2594	362,7	3,268	7,1
			3,47	20,2	3312	462,7	4,041	7,7
			3,50	20,0	2904	406,9	4,733	6,7

8. ВЫВОД:

За период с 11.01.15г по 30.12.15г проведен технологический контроль - 21 партии угле- и стеклопластиков на изделие «ПД-14», изготовленных на основе: ВКУ-29, ВКУ-39, ВКУ-25, ВПС-48/7781.

- 21 партии угле- и стеклопластиков на изделие «SSJ», изготовленных на основе: КМКУ-2М.120.Э01.45, КМКС-2М.120.Т64.55, КМКС-2М.120.Т64.37

Проведен набор и обработка статистических данных физико-механических показателей прочности и модуля упругости при проведении технологического контроля.

По физико-механическим показателям получено:

- 100% положительных результатов для образцов-свидетелей, изготовленных на основе КМКУ-2М.120.Э01.45, КМКС-2М.120.Т64.55, КМКС-2М.120.Т64.37;
- 100% отрицательных результатов для образцов-свидетелей, изготовленных на основе препрега углепластика ВКУ-29 (проведен контроль 12 партий)
- 16,7% отрицательных результатов для деталей, изготовленных на основе препрега углепластика ВКУ-39. Не соответствуют требованиям ТУ 1 партия. Соответствуют требованиям чертежа 5 партий. Это составляет 83,3%.
- 100% отрицательных результатов для образцов-свидетелей, изготовленных на основе препрега углепластика ВКУ-25 (проведен контроль 2 партий)
- 100% положительных результатов для образцов-свидетелей, изготовленных на основе препрега стеклопластика ВПС- 48/7781 (проведен контроль 1 партии)

При определении модуля упругости при растяжении получено 100 % положительных результатов.

Так как метод определения модуля упругости основан на измерении деформации в заранее выбранном диапазоне нагрузок в пределах начального линейного участка диаграммы, а тензомер позволяет в автоматическом режиме производить измерение деформации до момента разрушения образца, результаты определения модуля упругости можно считать зачетными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения физико-механических испытаний угле- и стеклопластиков была разработана и внедрена в работу лаборатории методика по определению модуля упругости при растяжении (Приложение 1)

Полученные положительные результаты и правильный характер разрушения образцов при проведении испытаний на растяжение на изделие SSJ позволяют сделать вывод о том, что методика отработана.

При проведении технологического контроля на изделие «ПД-14» разрушение образцов происходит в зоне накладок, из чего следует предположить, что существуют причины для неправильного разрушения образца.

Анализ характера разрушения и диаграмм разрушения позволили предположить 2 причины получения таких результатов:

Причина 1. Для проведения испытаний на растяжение используют саможимающиеся механические клиновые захваты, которые работают по принципу: чем больше нагрузка – тем больше зажим образца. Возможно, при испытании происходит передавливание образцов в зоне захвата, что способствует преждевременному разрушению образца в зоне накладок, т.е. данный тип захватов машины не подходит для препрегов углепластиков ВКУ-25, ВКУ-29, ВКУ-39.

Причина 2. Приклеивание накладок к образцам производится не клеевыми пленками: ВК-51 и ВК-36, а клеем ВК-27, который имеет прочность склеивания меньше, чем прочность разрушаемого образца.

Для выяснения причины получения отрицательных результатов прочности проведены сравнительные физико-механические испытания в ВИАМ, где используются другие типы захватов. Получены положительные результаты контроля при использовании гидравлических захватов (Приложение №2).

До приобретения нового оборудования заключен рамочный договор с ВИАМ на проведение технологического контроля.

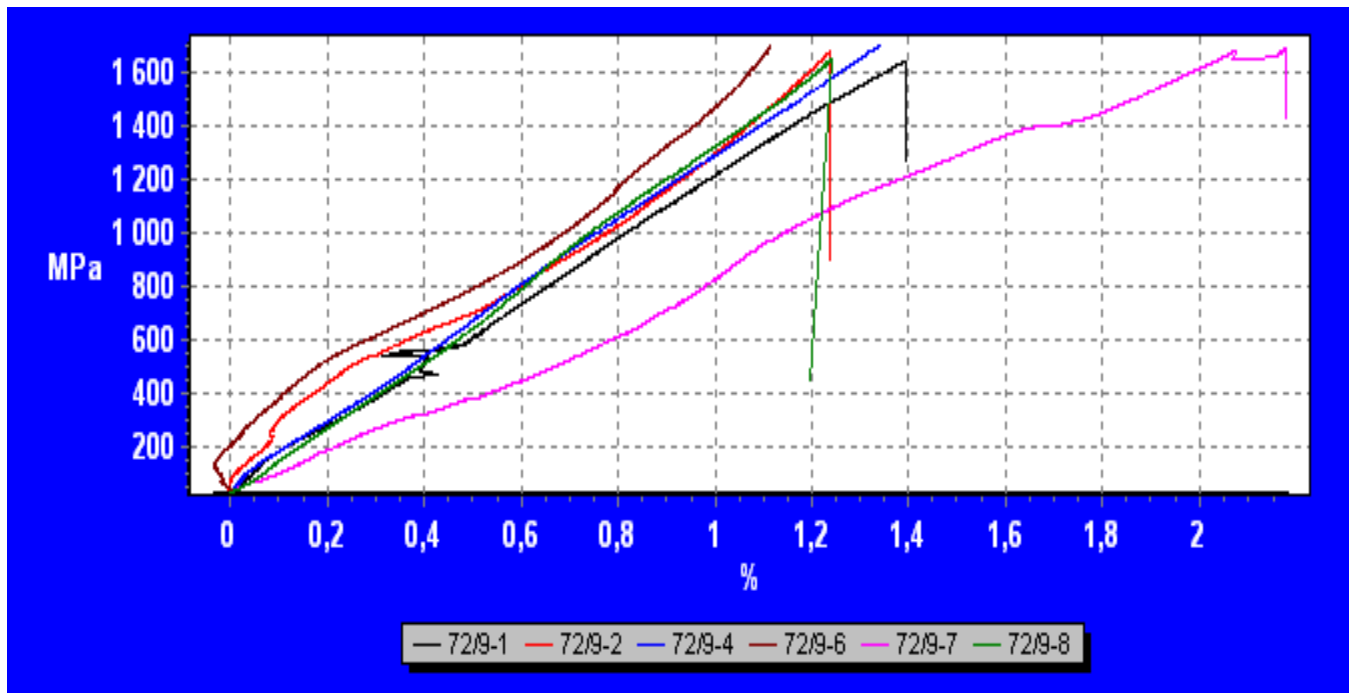
Для приобретения необходимого оборудования на ВАСО на изделие «ПД-14» разработаны техническое задание на испытательное оборудование и комплексный план приобретения лабораторного оборудования на 2016-2017гг.

ЛИТЕРАТУРА

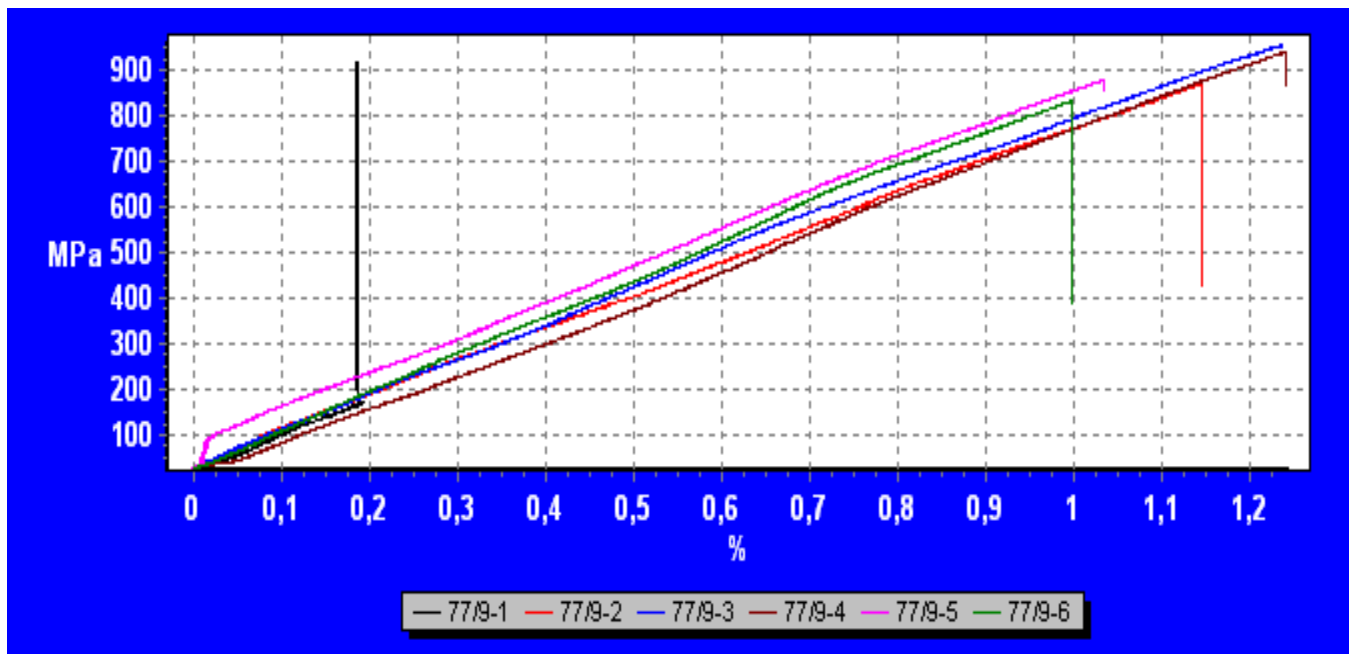
1. ГОСТ 28840-90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования».
2. Техническая документация фирмы Hegewald & Peschke Meß und Prüftechnik GmbH, Германия.
3. Рабочая инструкция по проведению физико-механических испытаний стекло- и углепластиков на универсальной разрывной машине Inspekt 100kN №07514713/ЦЗЛ.
4. ГОСТ 25.601-80 «Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах».
5. Крамаренко Б.П., Гревцова Т.Е. и др. Энциклопедия инструмента.- Харьков: Микротех, 2007. – Т.1. – 228 с
6. И 03-140-08 «Управление производством. Изготовление изделий из полимерных композиционных материалов».
7. ТУ 1-595-11-1270-2012 «Препрег углепластика ВКУ-29»
8. ТУ 1-595-11-1352-2012 « Препрег углепластика ВСЭ-1212/Porcher 3692 (ВКУ-39)
9. ТУ 1-595-25-1133-2011 «Препрег углепластика ВКУ-25 на основе жгутового углеродного наполнителя марки ТОХО TENAX HTS40 и связующего ВСЭ-1212».
10. ТУ 1-595-10-1380-2013 « Стеклопрепрег стеклопластика ВПС-48/7781
11. ТУ 1-595-24-484-96 «Препреги клеевые марок КМКУ-2М.120».
12. ТУ 1-595-14-954-2007 «Препреги клеевые марок КМКС-2М.120».
13. Методика ПМ 08.221 «Испытания образцов из полимерных композиционных материалов на растяжение».
14. ГОСТ 12423 «Пластмассы. Условия кондиционирования и испытаний образцов (проб).

15. П 08.060 «Порядок проведения испытаний образцов из ПКМ и учета данных. Положение».
16. ТУ 08.273 «Изготовление образцов из полимерных композиционных материалов для проведения стандартных испытаний физико-механических характеристик.
17. В.А.Кабанов и др. Энциклопедия полимеров, Т 2 - Москва, «Советская энциклопедия», 1974.- Т.2.- 1032с.
18. СТО 07514713.06.122-2015 «СМК. Порядок планирования и проведения статистической обработки результатов входного и технологического контроля металлопродукции и неметаллических материалов на предприятии».

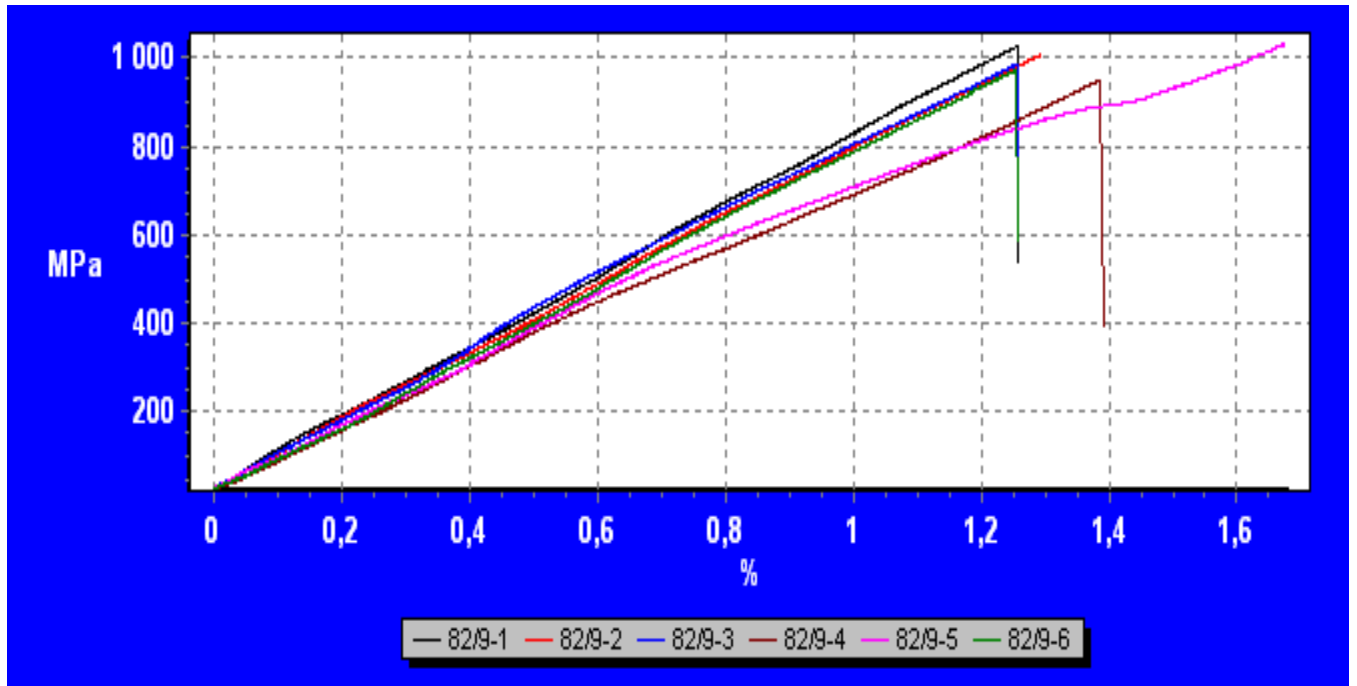
Партия №72/9



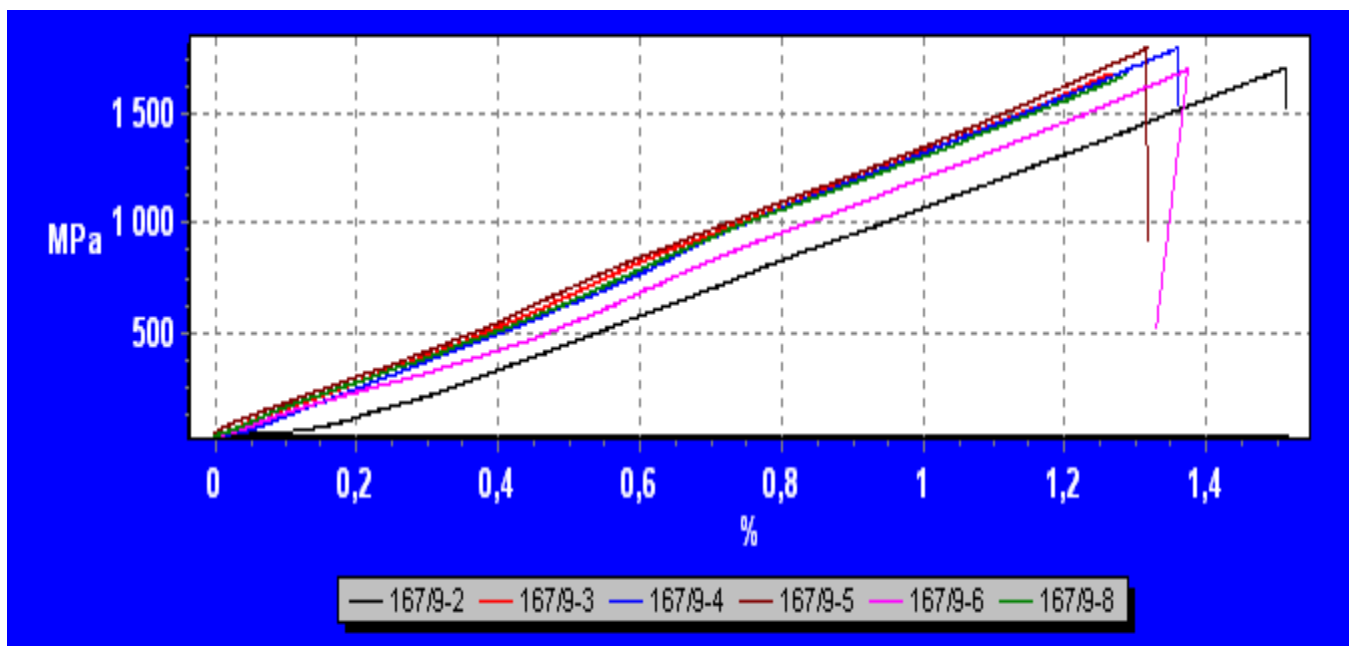
Партия №77/9



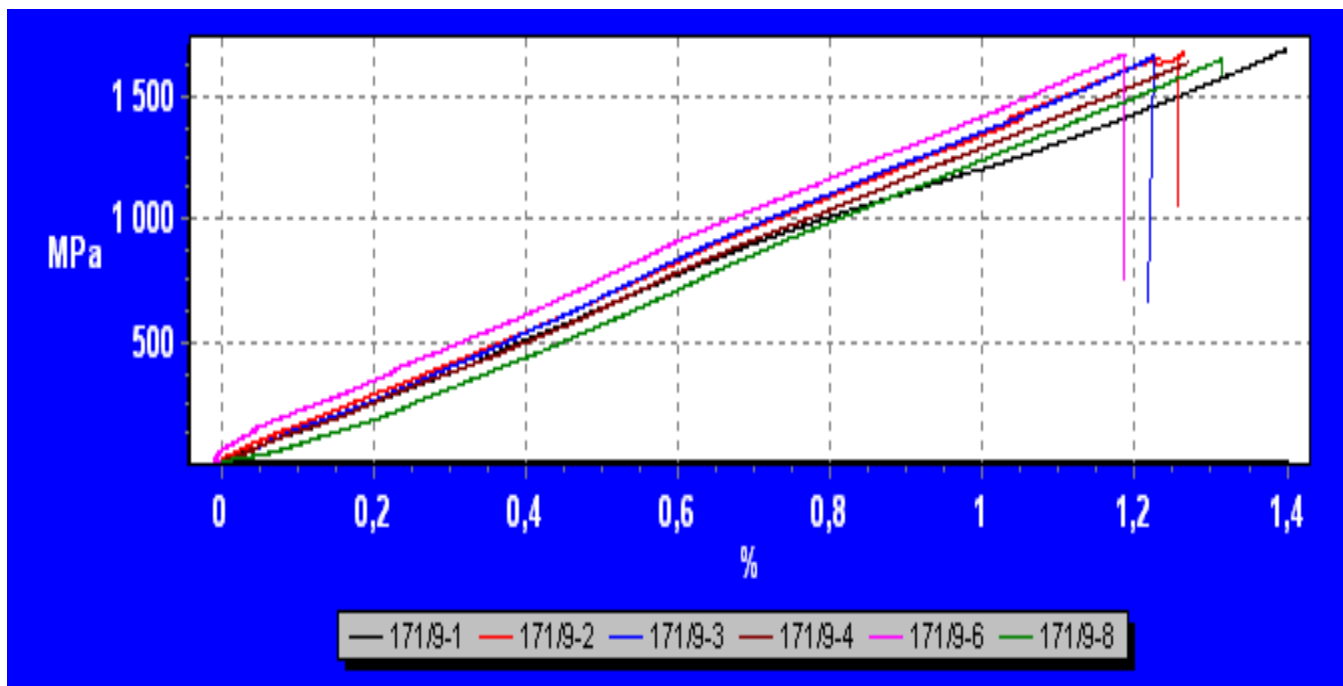
Партия №82/9



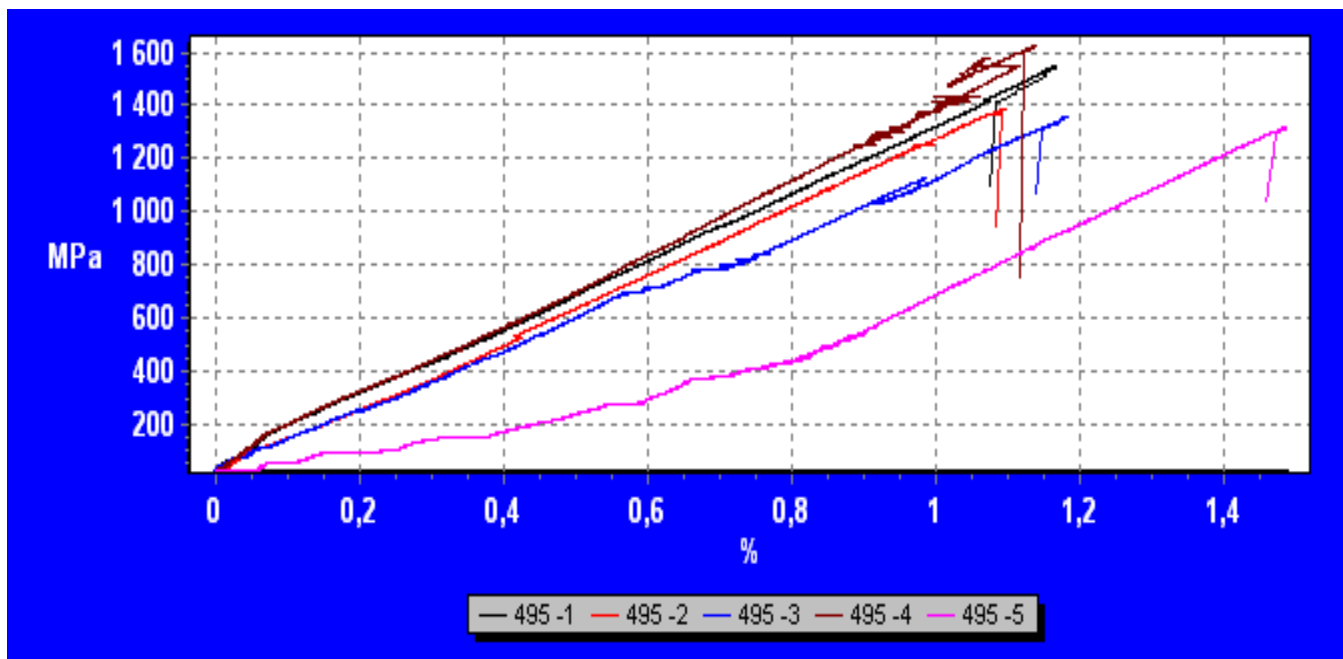
Партия №167/9



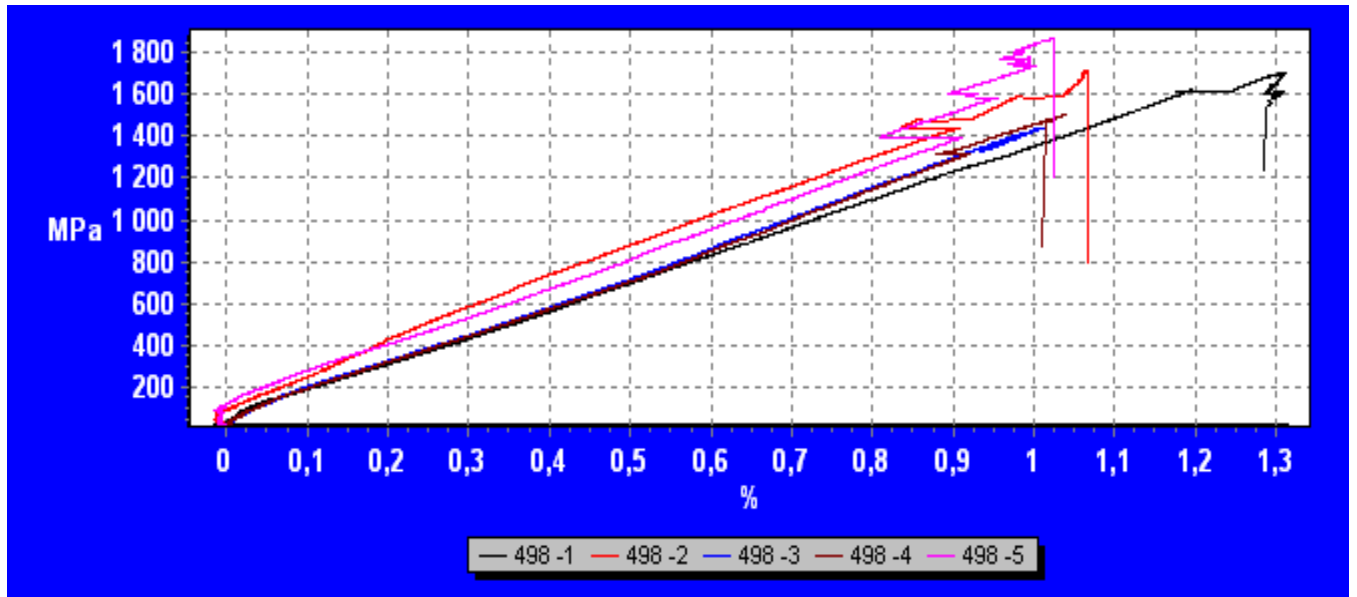
Партия №171/9



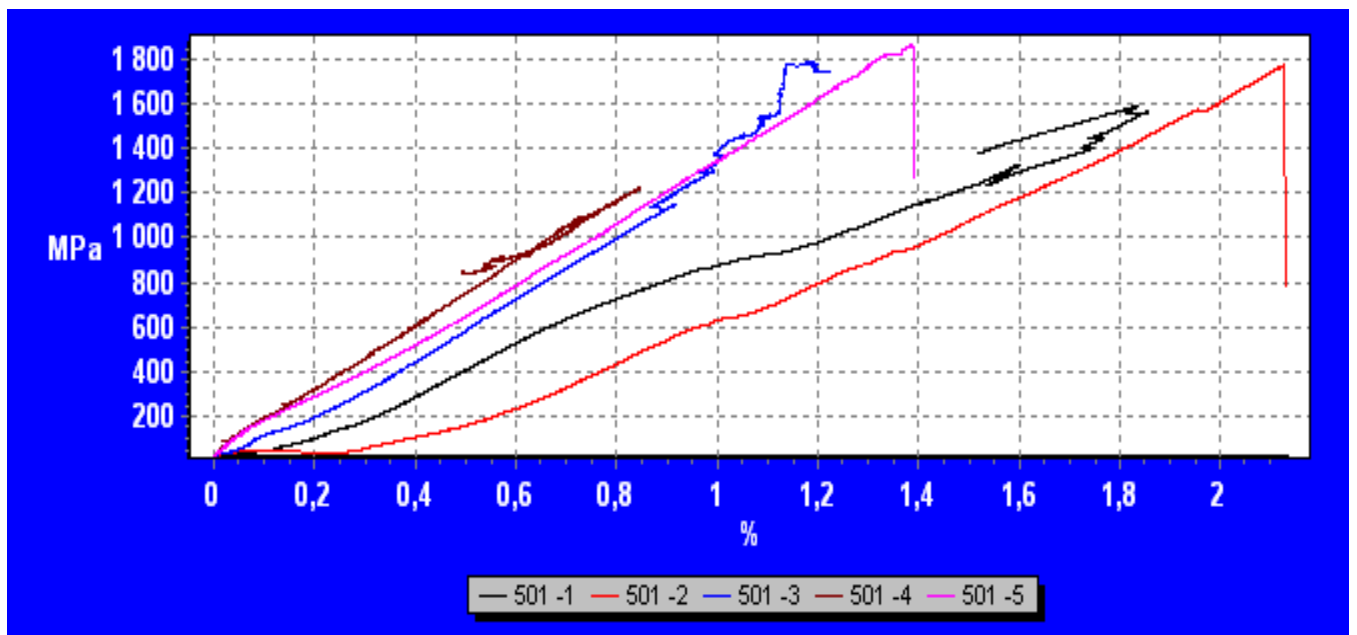
Партия №495/9



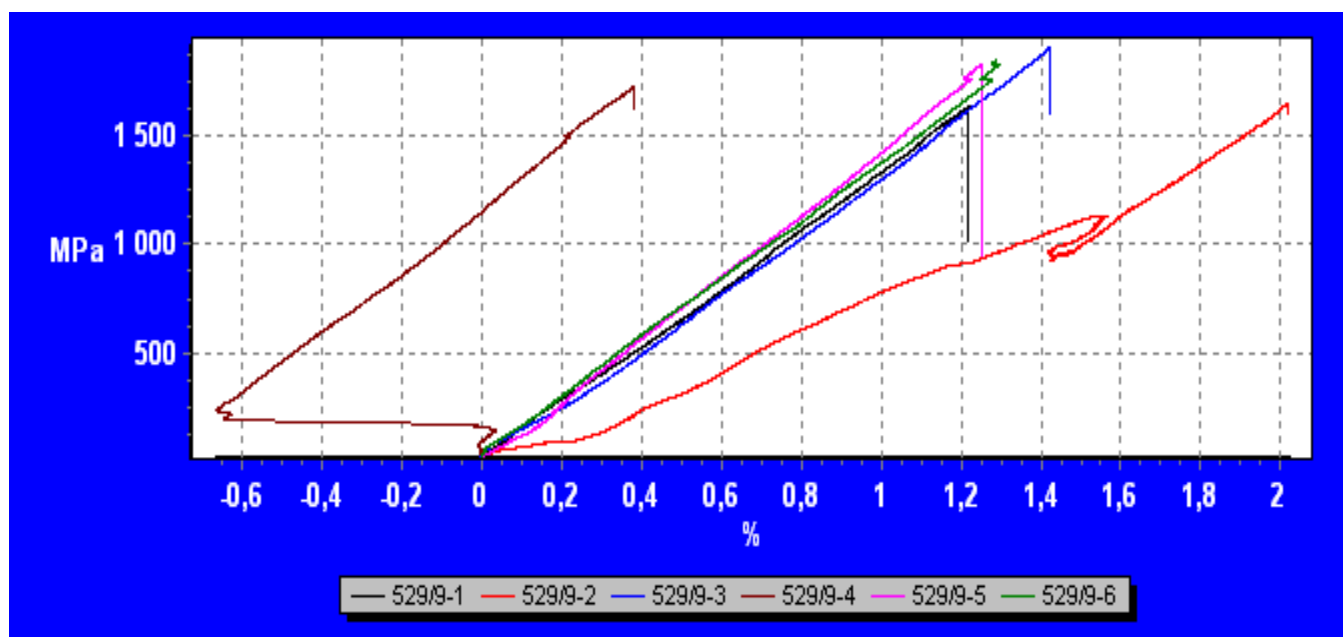
Партия № 498/9



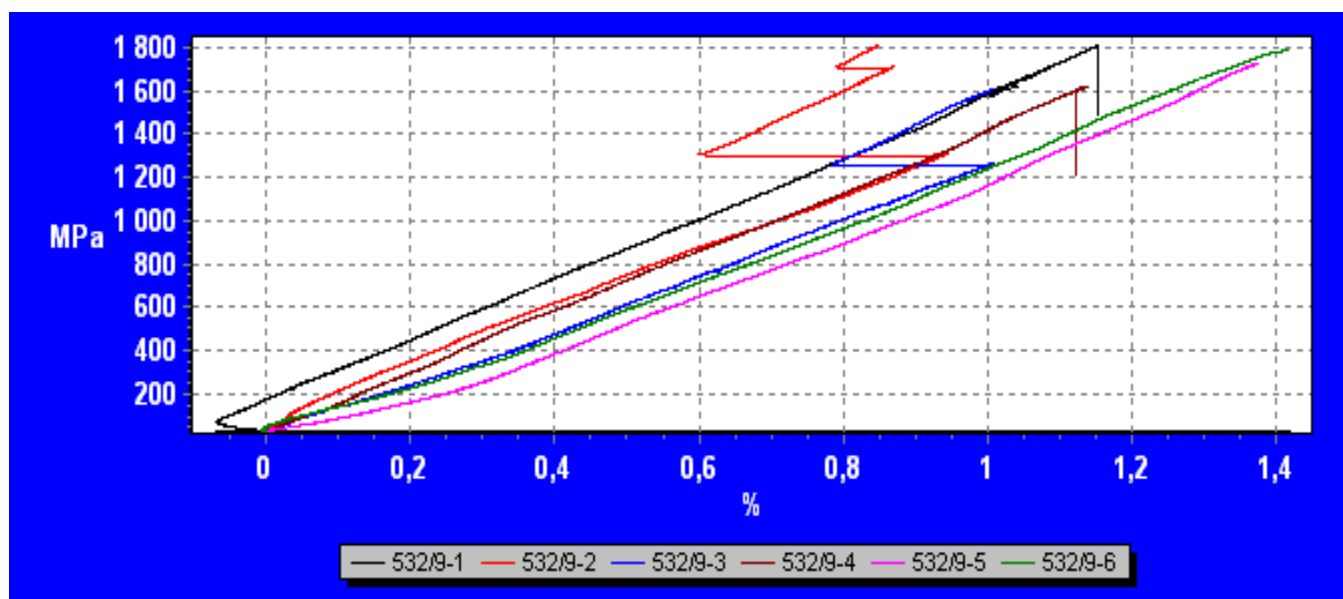
Партия №501/9



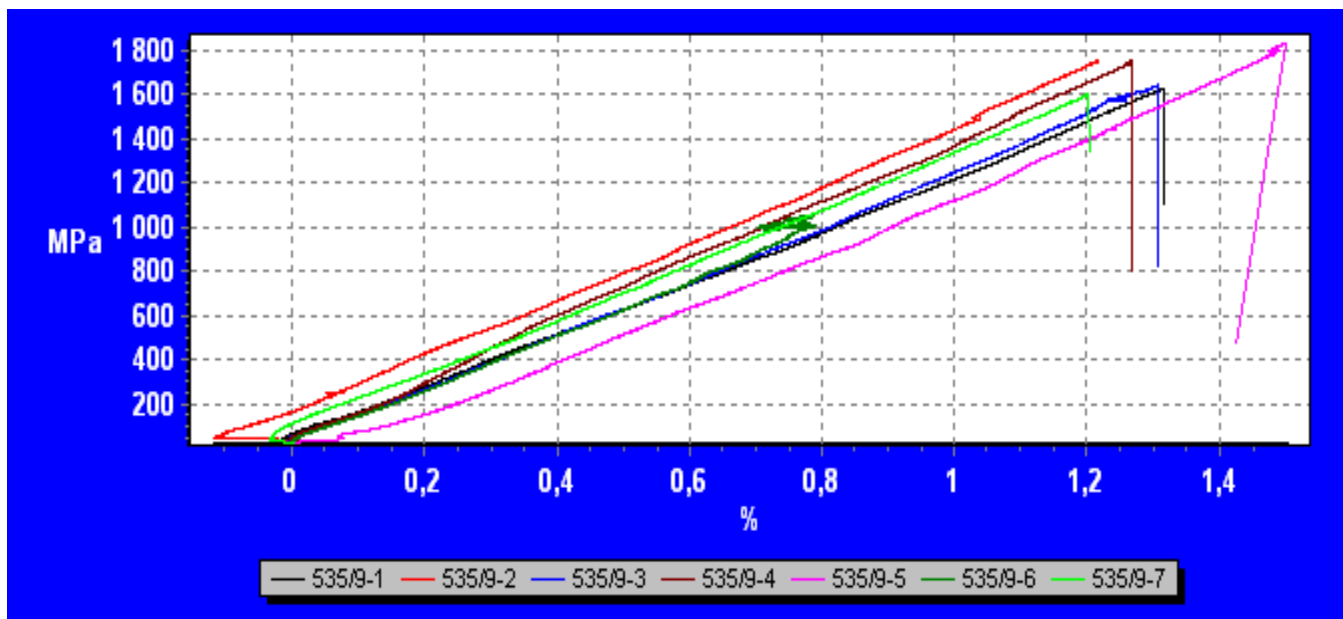
Партия №529/9



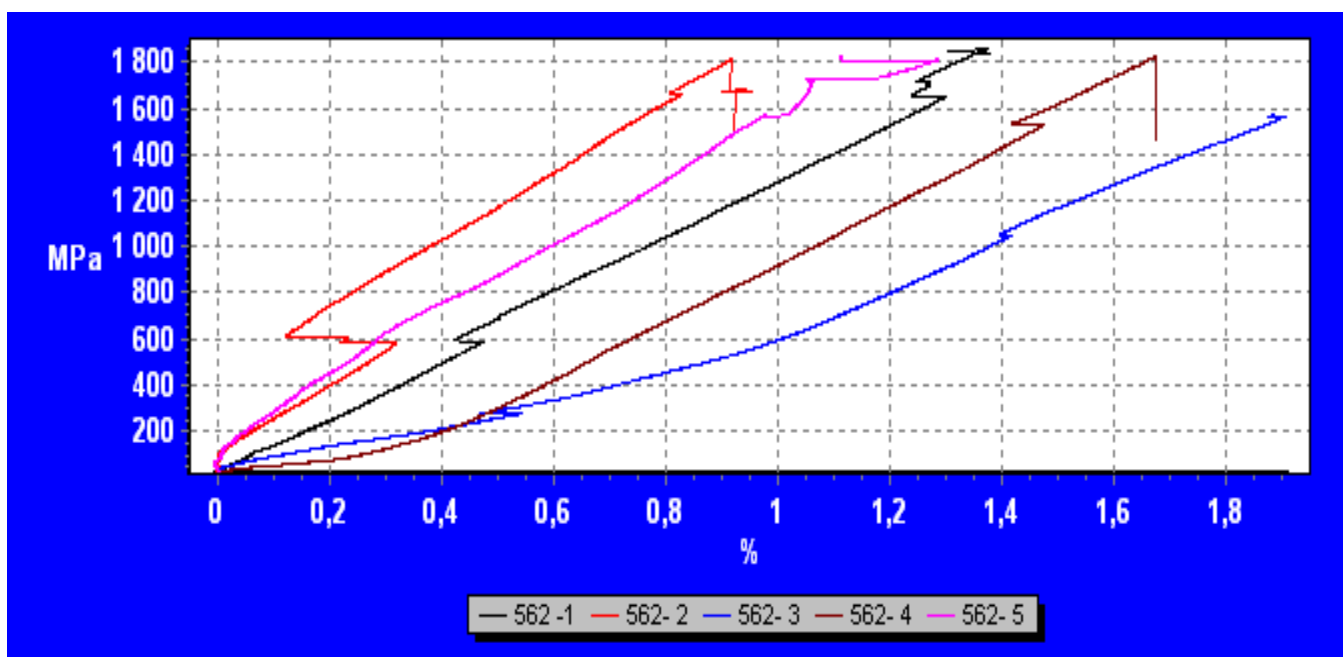
№ партии 532/9



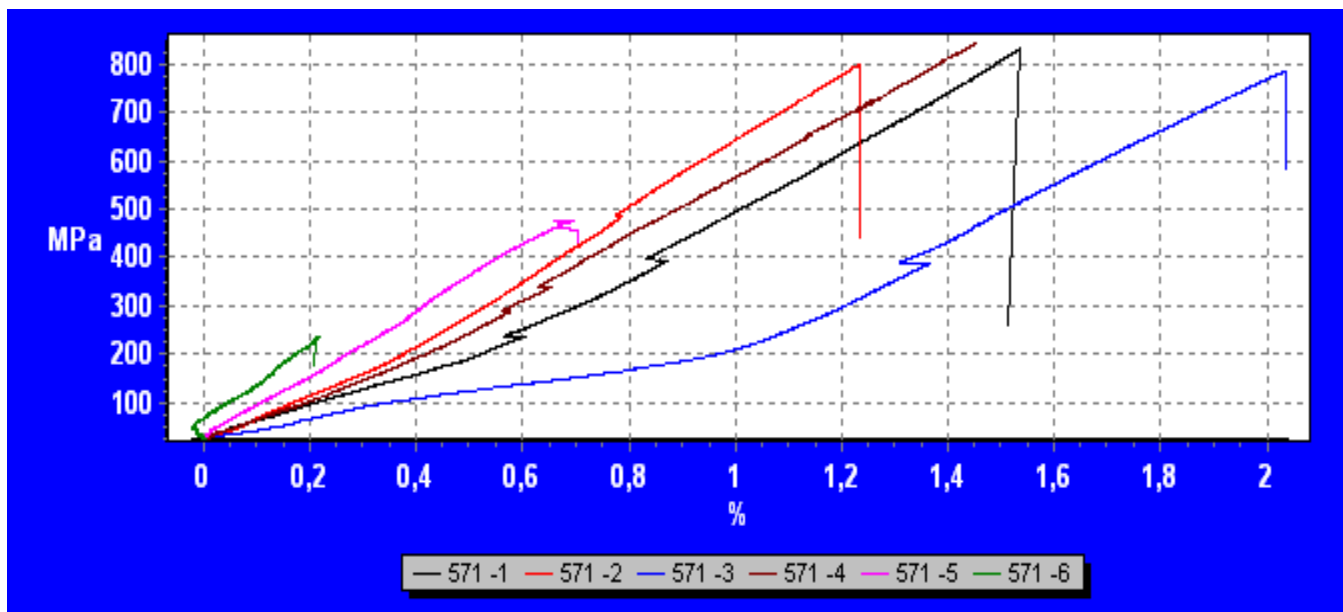
Партия №535/9



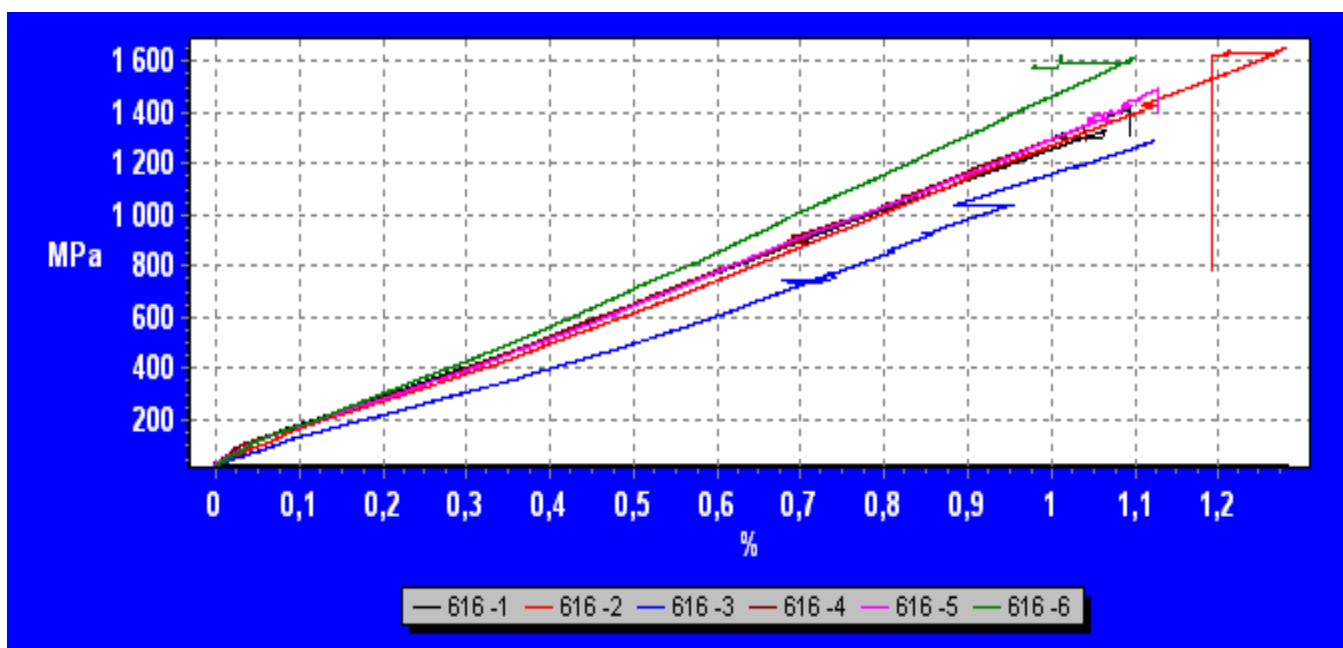
Партия №562/9



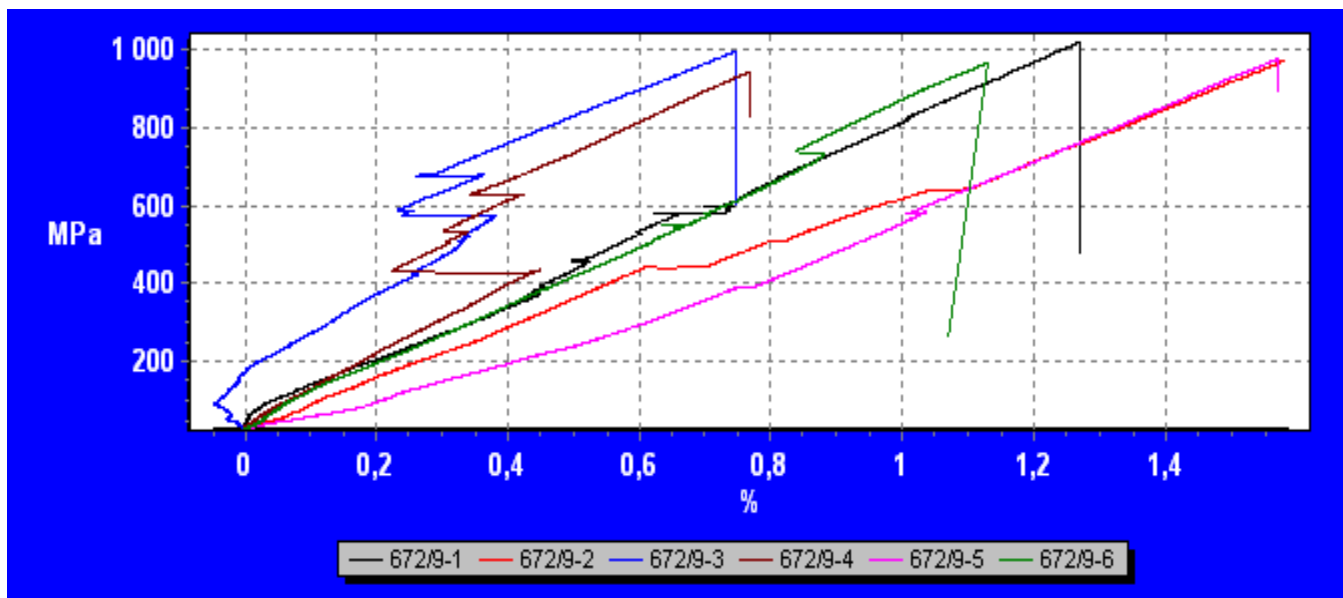
Партия №571/9



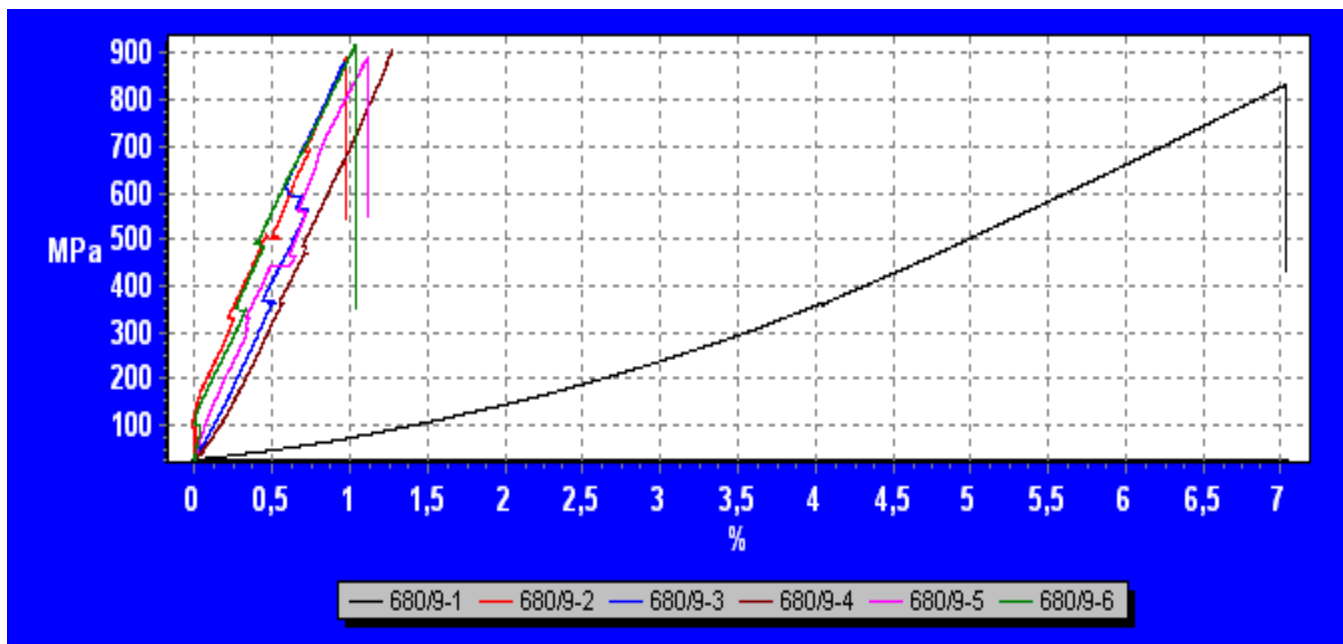
Партия №616/9



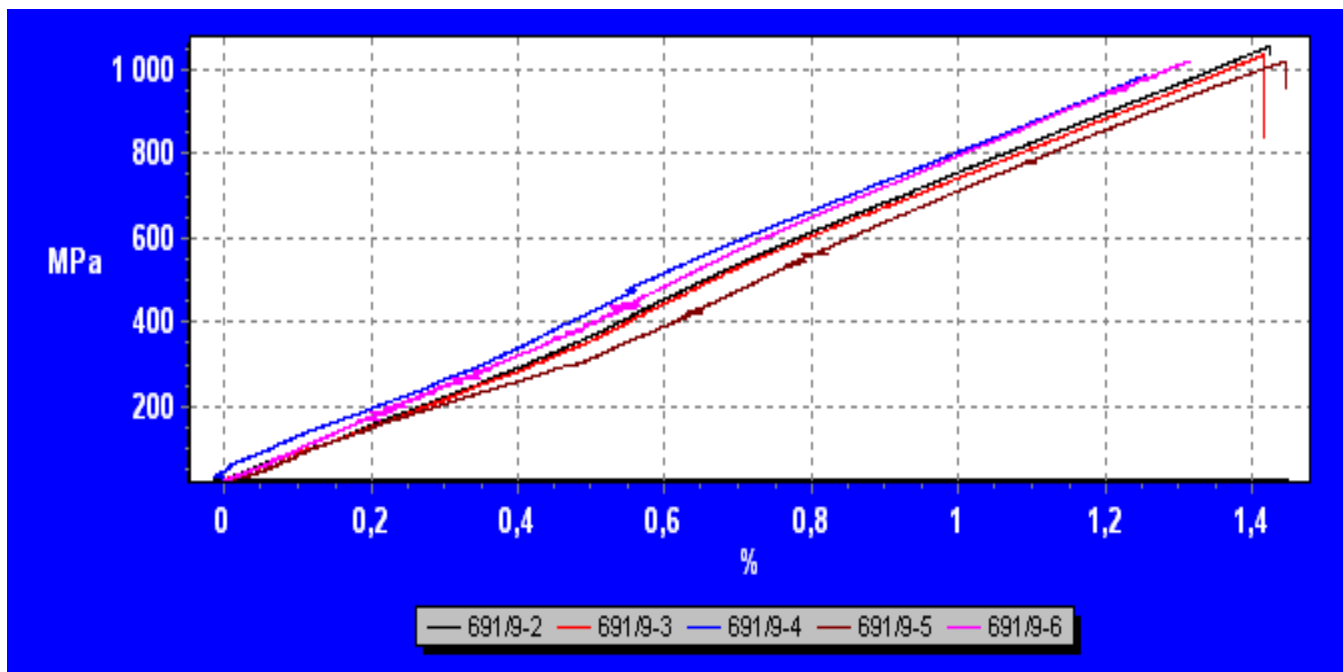
Партия №672/9



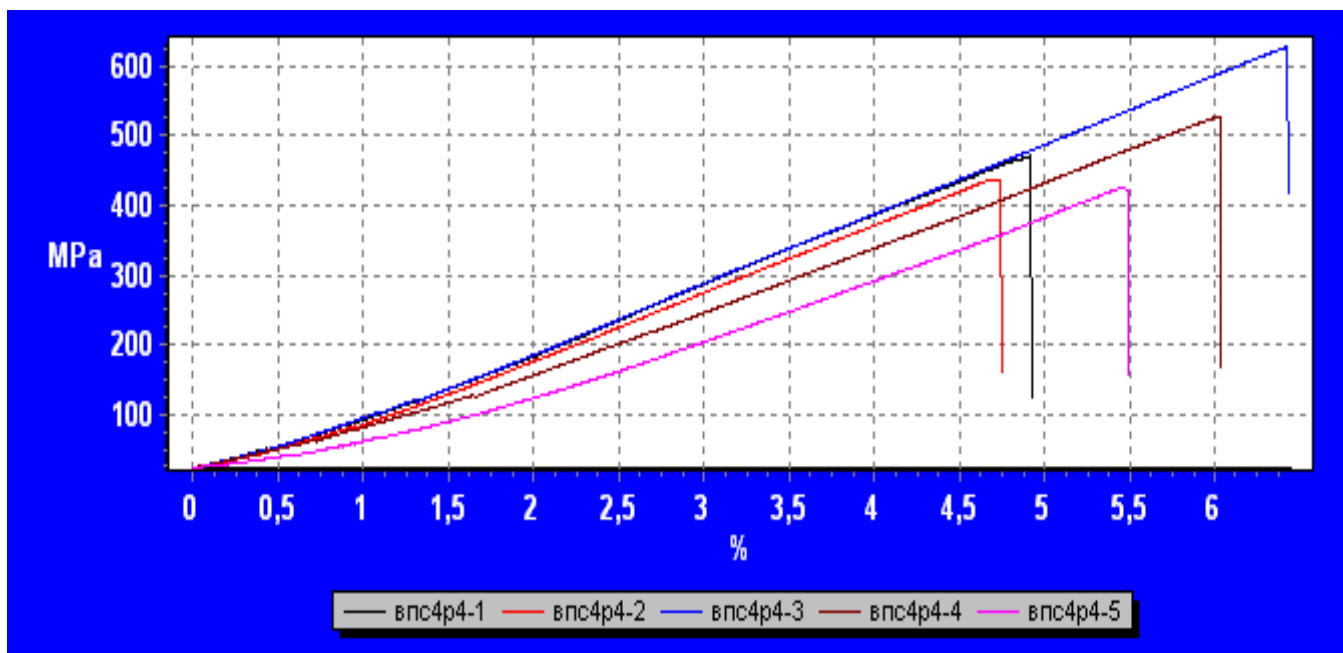
Партия №680/9



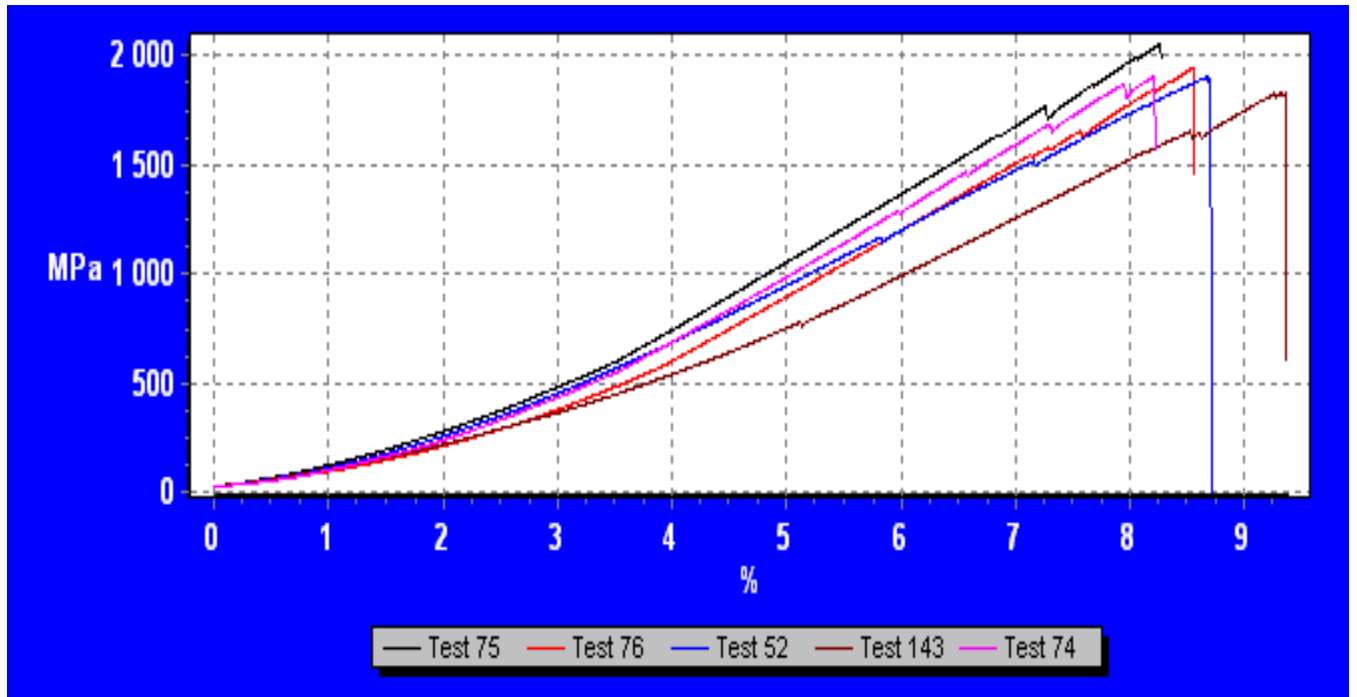
Партия №691/9



Партия №456/11



Партия №233/9



Партия №928/9

