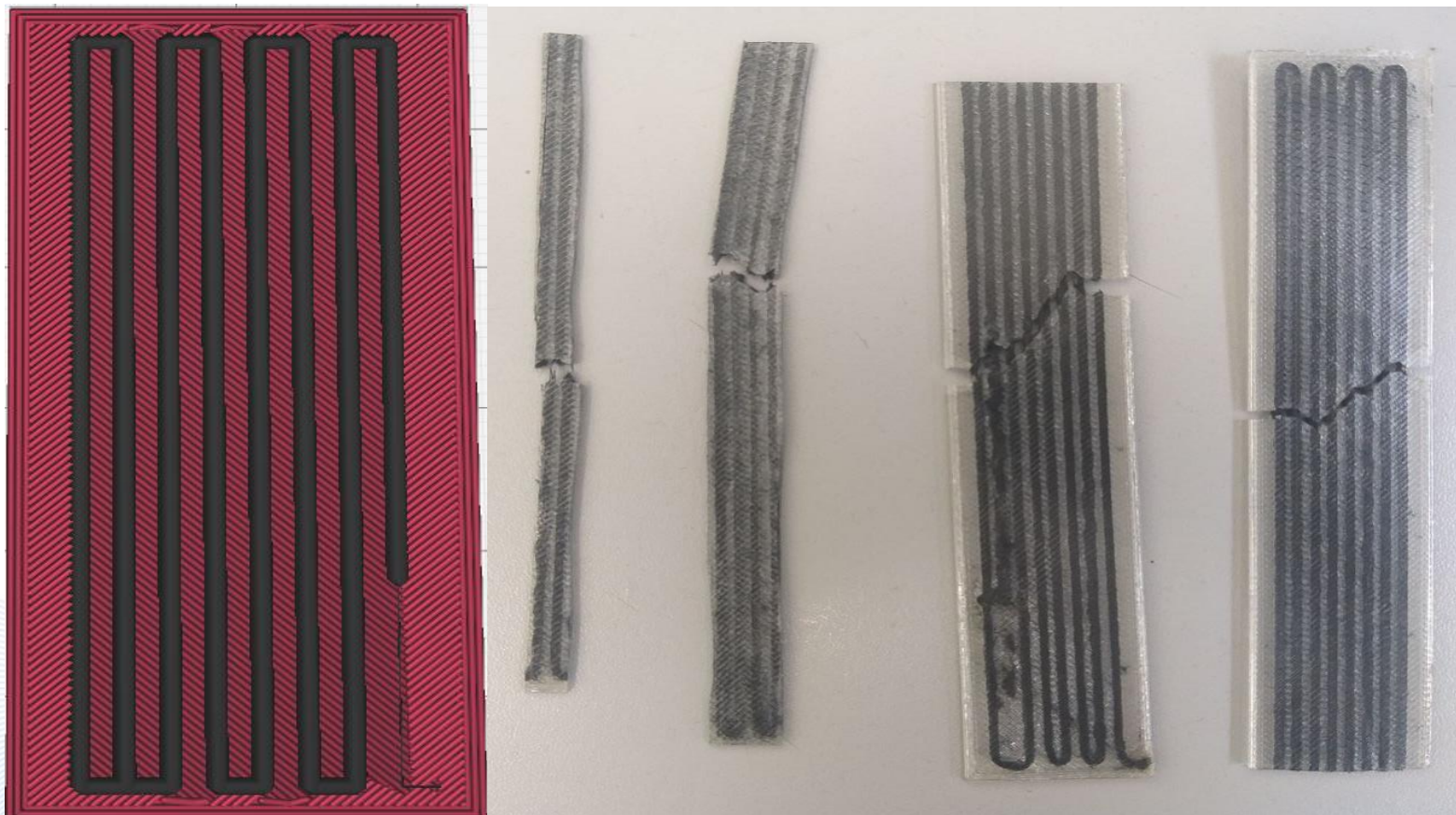
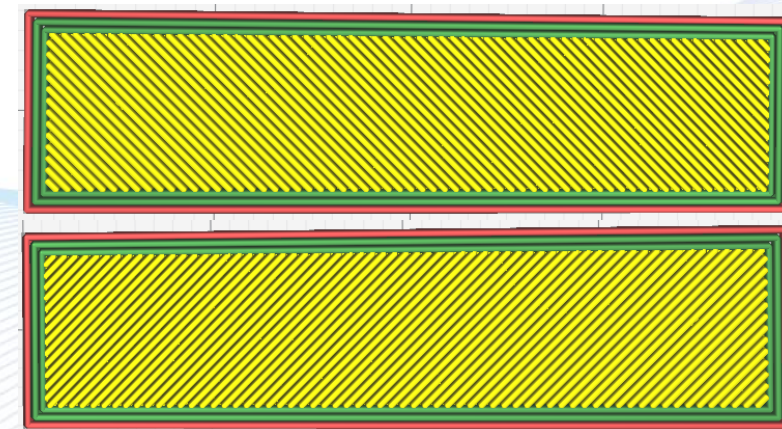


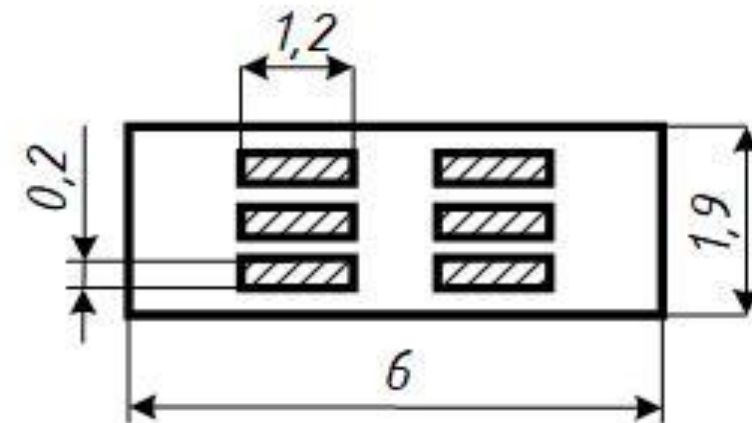
Испытания армированных образцов на растяжение (ТПУ + УВ)



Образцы из ТПУ Д70 с 6, 12 и 24 нитями УВ после испытаний

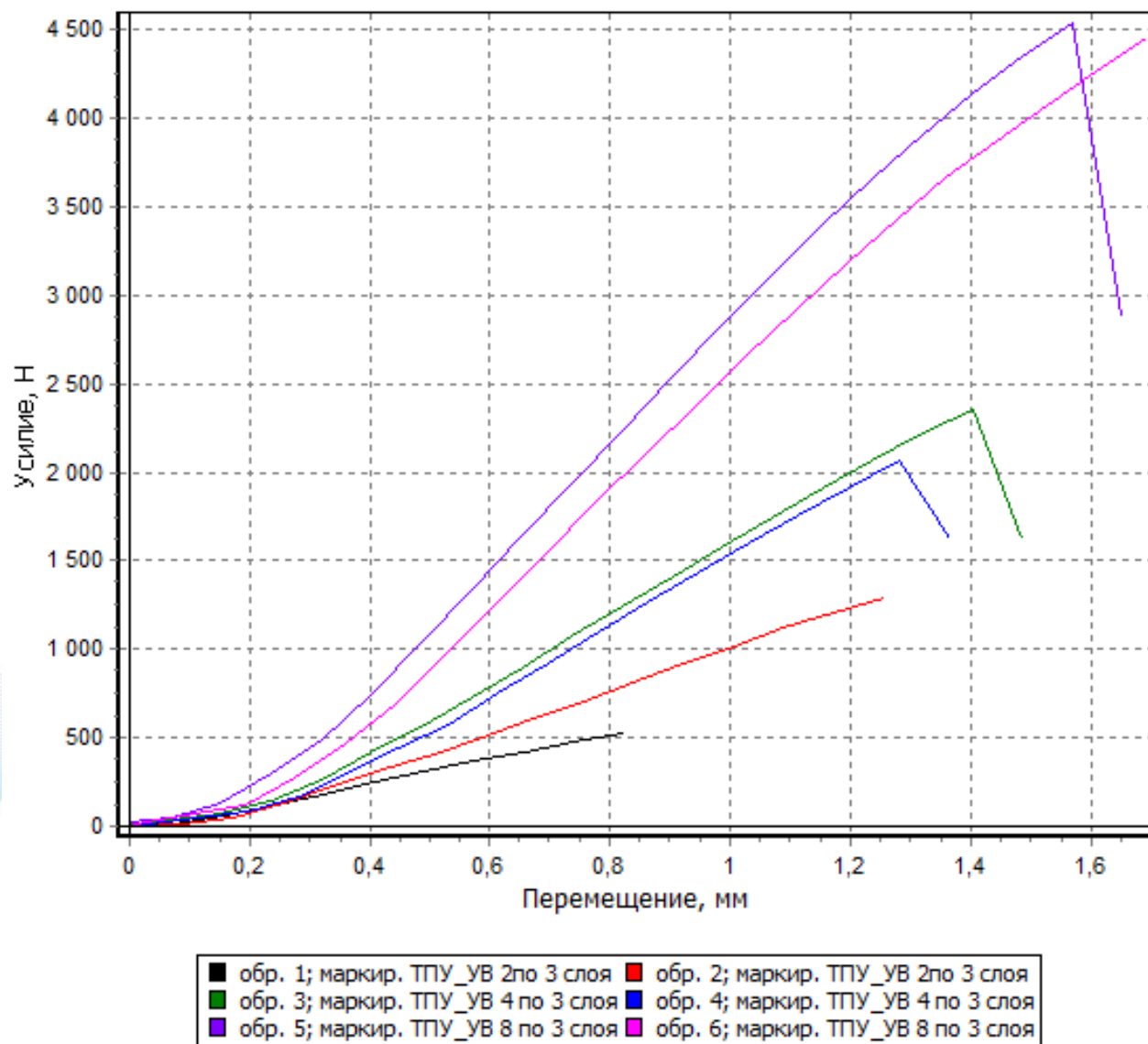


Структура пластика для всех образцов
(3 контура 0,4 мм, заполнение $\pm 45^\circ$)



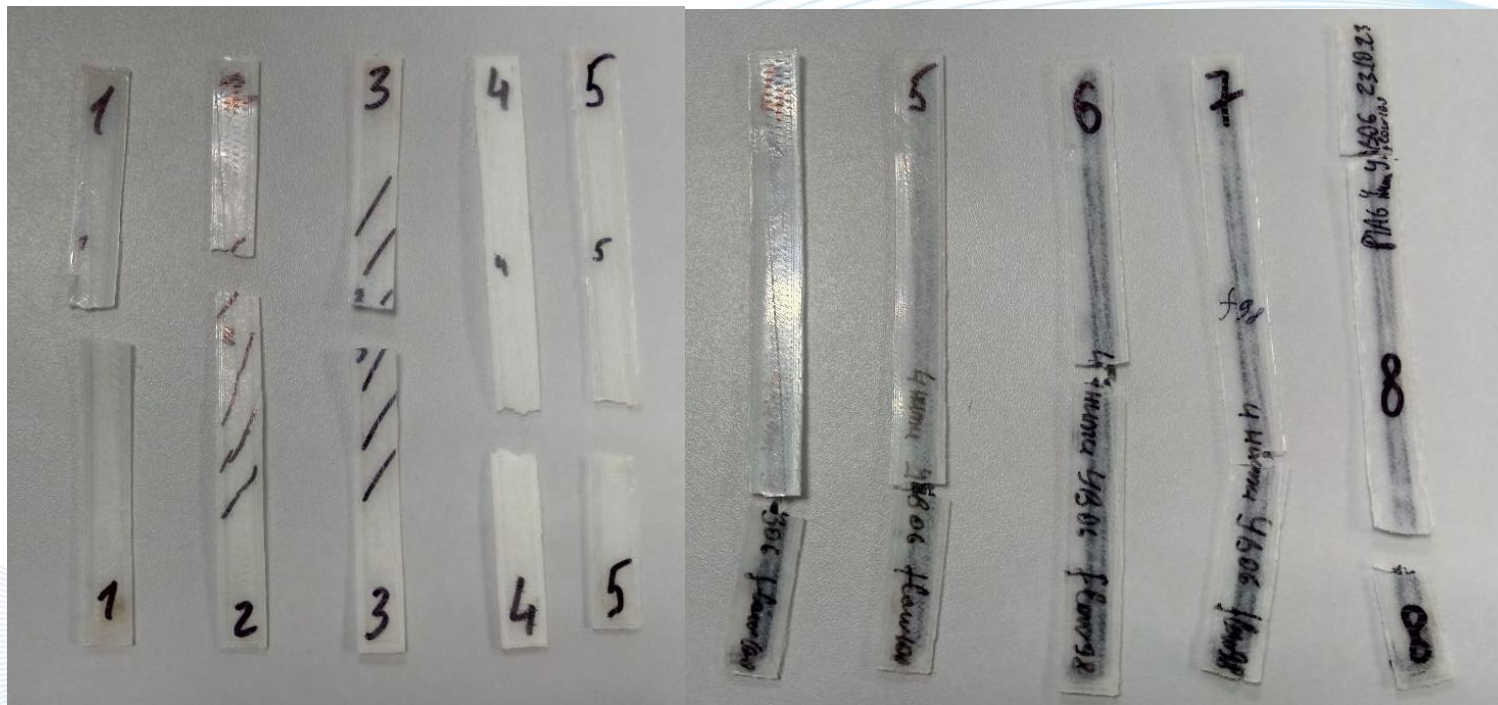
Геометрические характеристики
армирования для образцов
группы 1 (6 нитей, 12% от пл. сеч.)

Испытания армированных образцов на растяжение (ТПУ + УВ)

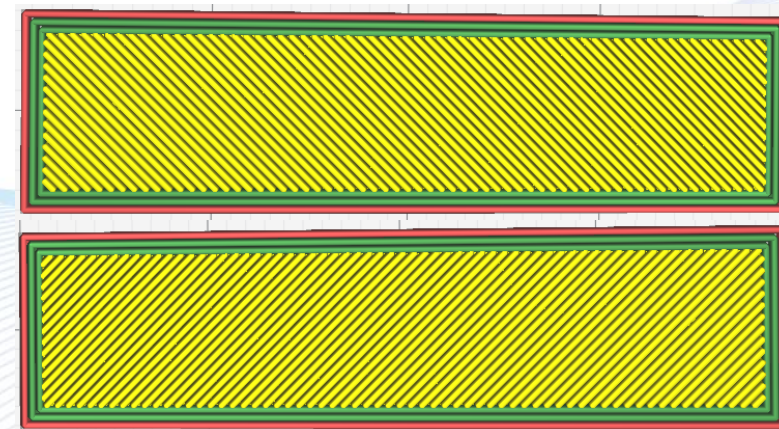


Диаграммы растяжения образцов из
ТПУ Д70 с 6, 12 и 24 нитями УВ

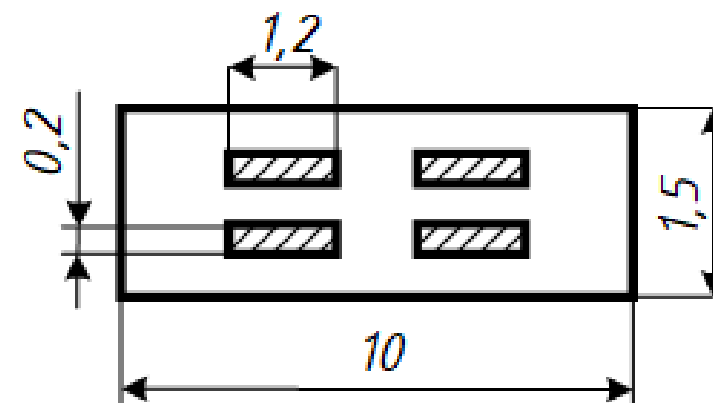
Испытания армированных образцов на растяжение (ПА6+УВ)



Образцы из ПА6 без армирования и с 4 нитями УВ после испытаний

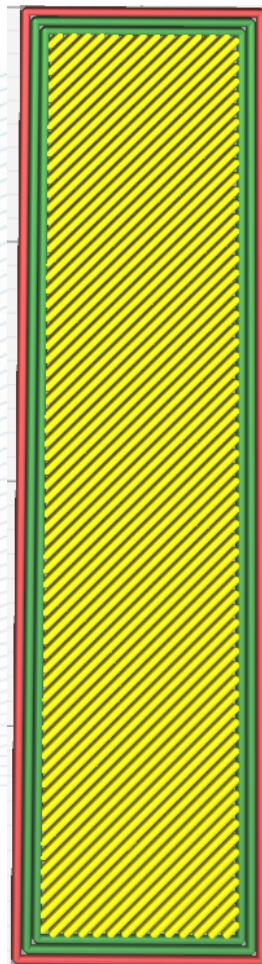
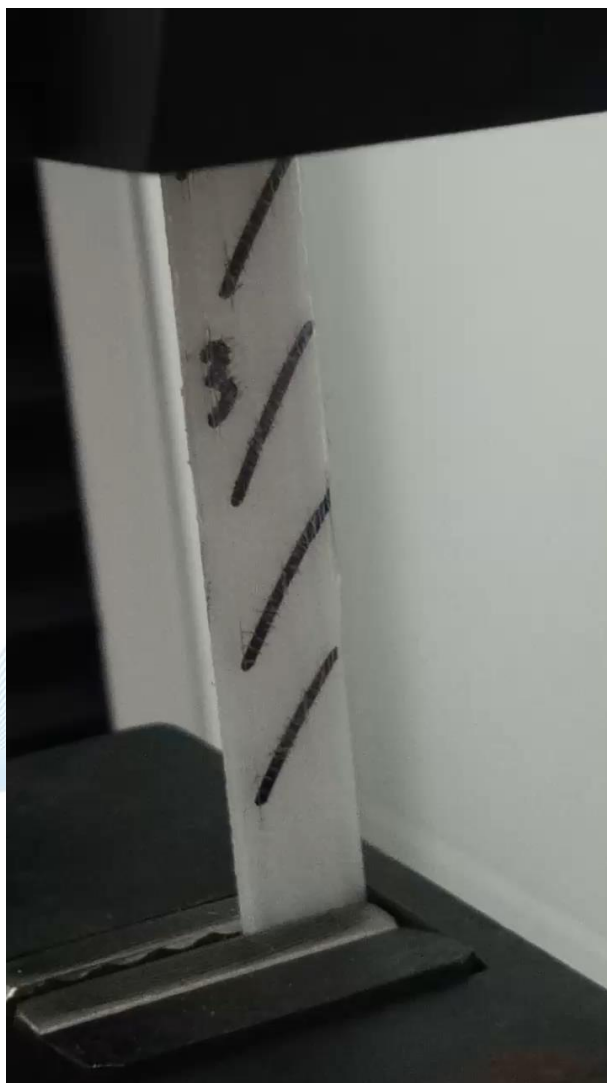


Структура пластика для всех образцов (3 контура 0,4 мм, заполнение $\pm 45^\circ$)

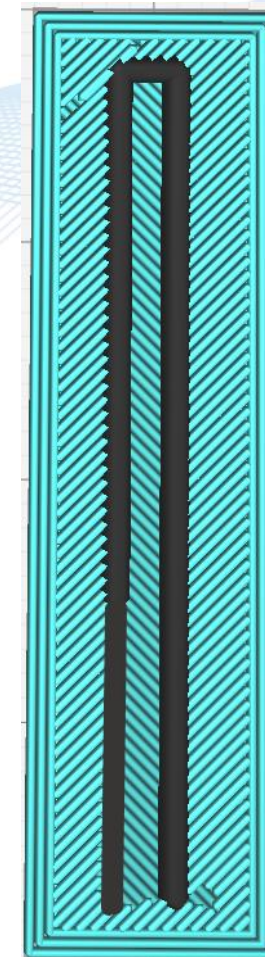


Геометрические характеристики армирования для армированных образцов из ПА6 (4 нити, 6% от пл. сеч.)

Испытания армированных образцов на растяжение (ПА6+УВ)

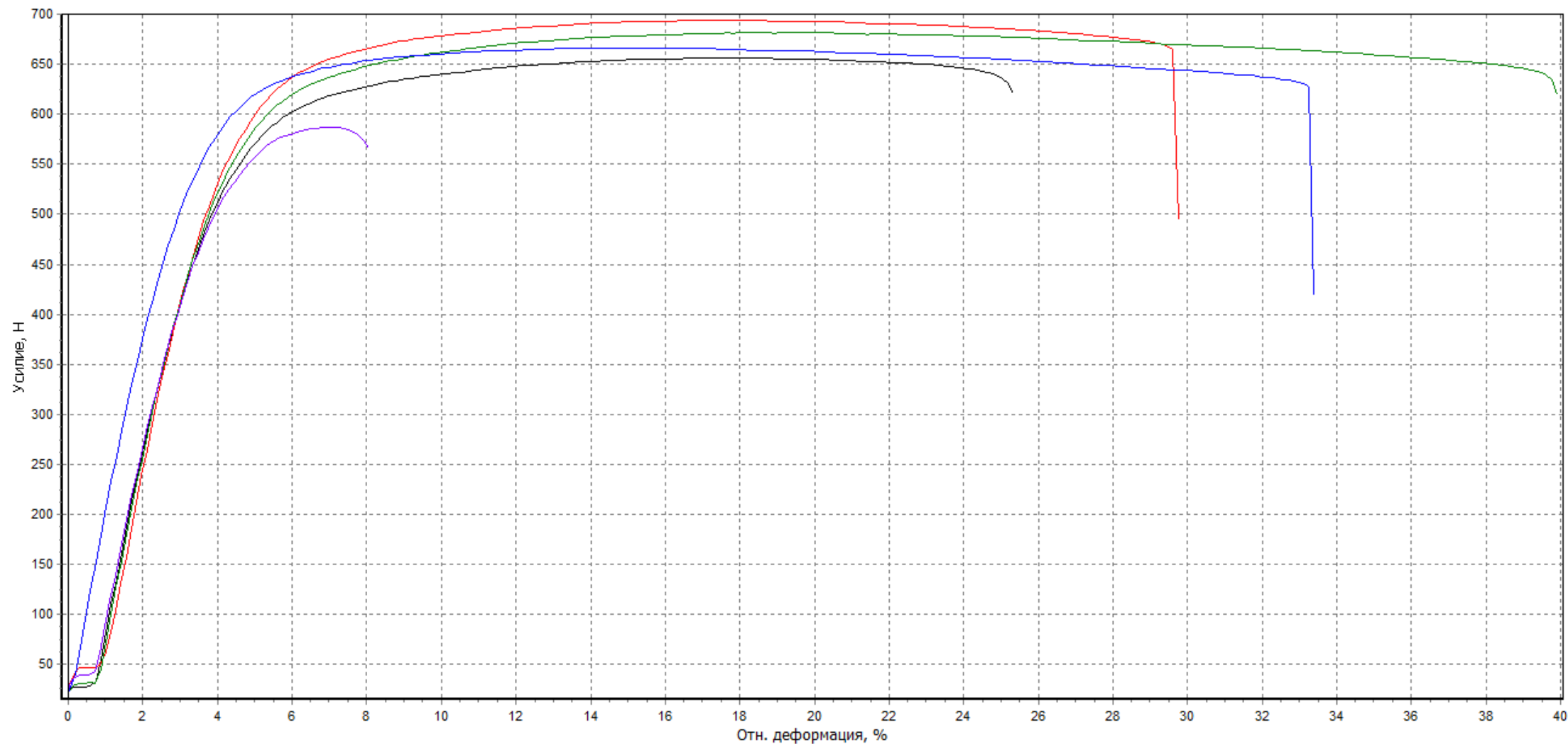


Неармированный образец ПА6



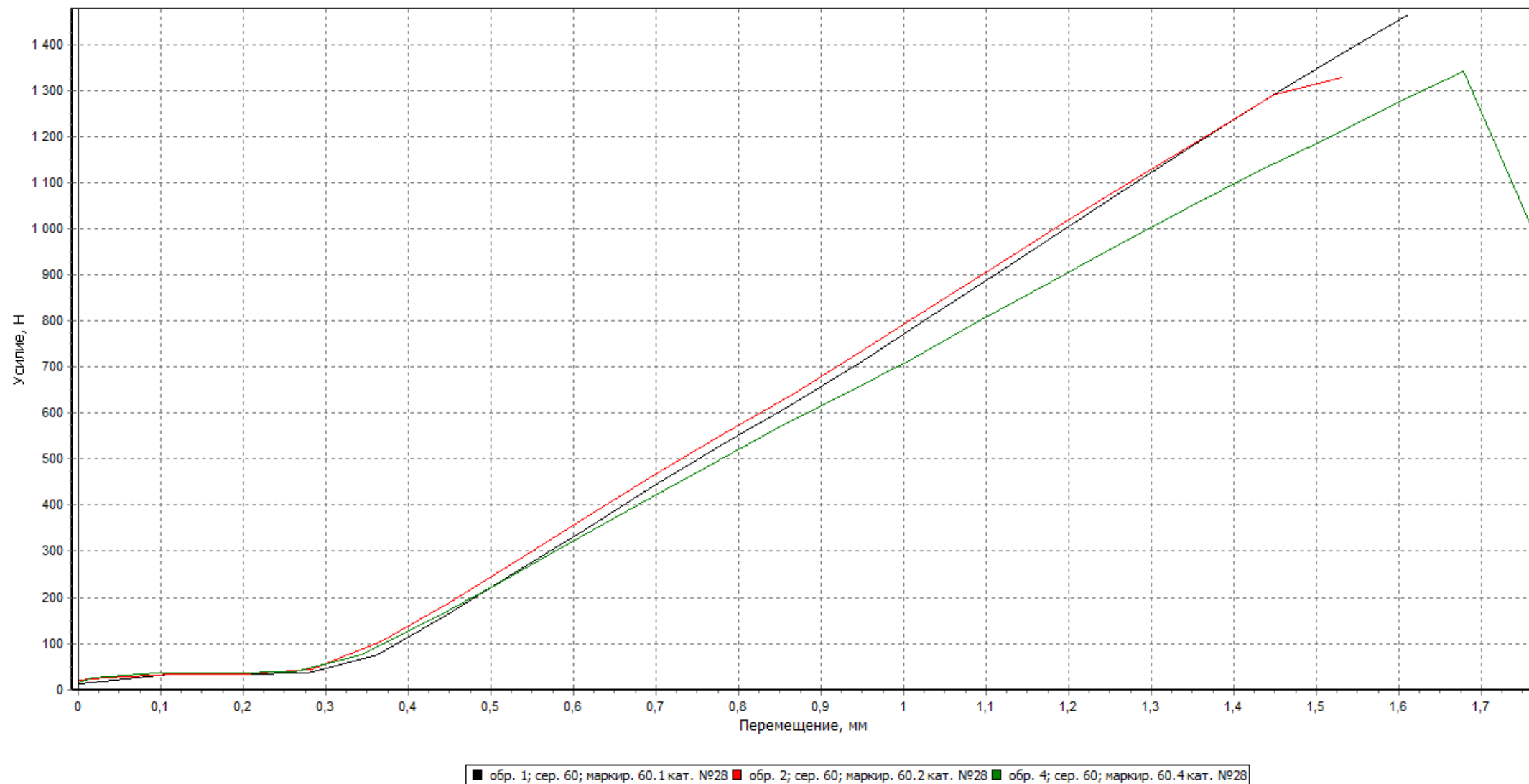
Армированный образец ПА6+УВ (4 нити)

Испытания армированных образцов на растяжение (ПА6+УВ)



■ обр. 1; маркир. Растяжение ПА6 120x10x1,5 ■ обр. 2; маркир. Растяжение ПА6 120x10x1,5 ■ обр. 3; маркир. Растяжение ПА6 120x10x1,5 ■ обр. 4; маркир. Растяжение ПА6 120x10x1,5 ■ обр. 5; маркир. Растяжение ПА6 120x10x1,5

Испытания армированных образцов на растяжение (ПА6+УВ)



Испытания армированных образцов на растяжение

Растяжение ТПУ D70 + УВ (армирование – 12% от пл. сеч. образца)

№ гр.	Маркировка образца	Макс. усилие P_{max} , Н	Полное сечение обр. s , мм ²	Предел прочности (по сеч. s) σ_{max} , МПа	Сечение зоны армирования s_{yB} , мм ²	Предел прочности (по сеч. s_{yB}) $\sigma_{yB max}$, МПа	Модуль упругости E , МПа	Отн. удлинение при макс. усилия ϵ_{max} , %	Предельная нагрузка на 1 нить УВ, Н
1	ТПУ+УВ 6 нитей	1286,0	11,40	112,81	1,44	893,06	5926	2,7	214,33
2	ТПУ+УВ 12 нитей	2207,8	23,75	92,96	2,88	766,60	5423	2,8	183,98
3	ТПУ+УВ 24 нитей	4493,1	47,50	94,59	5,76	780,05	3316	3,4	187,21

ТПУ D70: $\sigma_{max} = 38,1$ МПа; $E = 798$ МПа; $\epsilon_{max} \sim 200\%$

Растяжение ПА6; ПА6 + УВ (армирование – 6% от пл. сеч. образца)

№ гр.	Маркировка образца	Усилие при условном пределе текучести $P_{0,2}$, Н	Макс. усилие P_{max} , Н	Полное сечение обр. s , мм ²	Предел прочности (по сеч. s) σ_{max} , МПа	Сечение зоны армир-я s_{yB} , мм ²	Предел прочности (по сеч. s_{yB}) $\sigma_{yB max}$, МПа	Модуль упругости E , МПа	Отн. удлинение при макс. усилия ϵ_{max} , %	Предельная нагрузка на 1 нить УВ, Н
1	ПА6 без арм.	436,0	657,2	16,21	42,41	-	-	1176	15,34	-
2	ПА6 + УВ 4 нити	1215,4	1378,9	14,99	91,98	1,12	1230	85030	1,79	344,72

Растяжение тестового шатуна УВ+ПА6

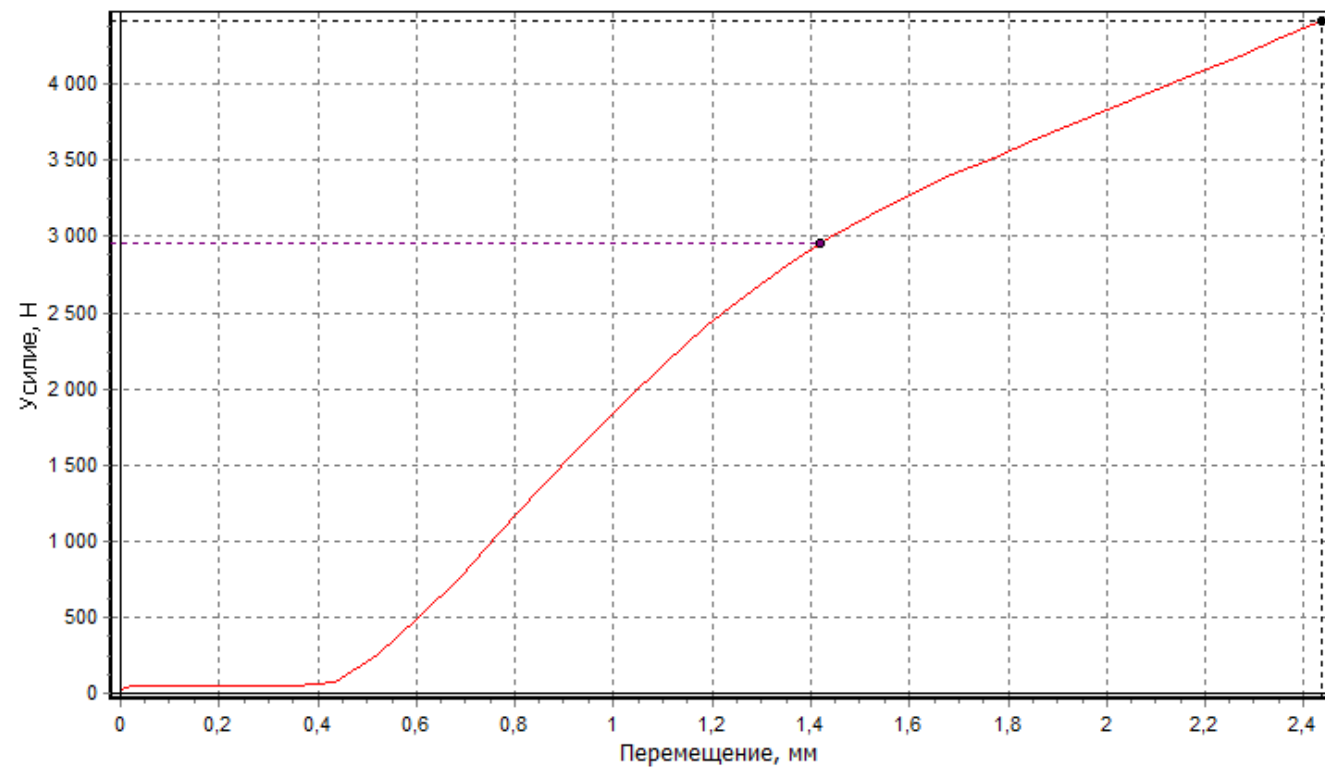
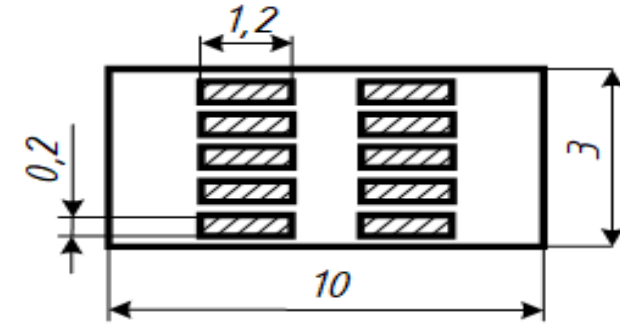


Диаграмма растяжения.
Нагрузка в момент разрушения: 4500 Н
(~28 кг на 1 нить УВ)

Тестовый шатун ПА6 + УВ (16 нитей)

Влияние матрицы на жёсткость армированного изделия

Испытания на изгиб: образец 70x10x3 мм, 10 нитей УВ
(содержание волокна – 9% от пл. сеч. образца)

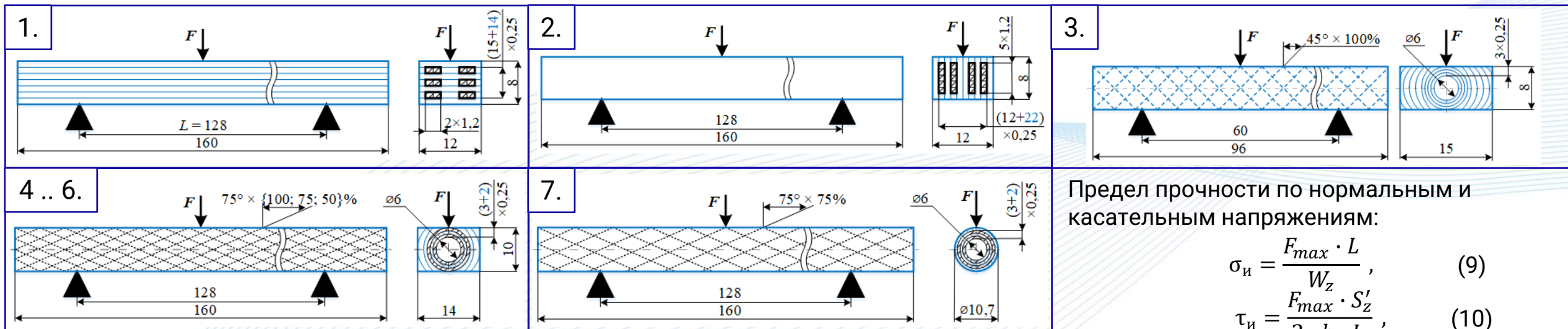


РА6 – более упругий, большой прогиб,
деформация без разрушения
 $\sigma_{\max} = 84,5 \text{ МПа}$, $E = 1352 \text{ МПа}$
(РА6 неарм.: $\sigma_{\max} = 45 \text{ МПа}$)



РА6 С30 – более жёсткий и твёрдый, хрупкое
разрушение при небольшом прогибе
 $\sigma_{\max} = 204,3 \text{ МПа}$, $E = 3987 \text{ МПа}$
(РА6 С30 неарм.: $\sigma_{\max} = 102 \text{ МПа}$)

Испытания армированных образцов на статический изгиб (ГОСТ Р 56810-2015)



Предел прочности по нормальным и касательным напряжениям:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{F_{\text{max}} \cdot L}{W_z}, \quad (9)$$

$$\tau_{\text{и}} = \frac{F_{\text{max}} \cdot S'_z}{2 \cdot b \cdot J_z}, \quad (10)$$

где W_z , J_z – моменты сопротивления и инерции всего сечения;

S'_z – статический момент отсечённой части сечения.

Модуль упругости при изгибе – по диаграмме нагружения согласно ГОСТ 56810.

Модуль межслойного сдвига – из зависимости, предложенной Ю.М. Тарнопольским, Т.Я. Кинцисом:

$$\frac{1}{E_{\text{и}}^{\text{кор}}} = \frac{1}{E_{\text{раст}}} + \frac{1,2}{G_{xz}} \cdot \left(\frac{h}{L} \right)^2, \quad (11)$$

где $E_{\text{раст}}$ – истинный модуль упругости, определяемый из испытаний на растяжение;

$E_{\text{и}}^{\text{кор}}$ – фиктивный модуль упругости при изгибе, скорректированный с учётом деформации образцов.

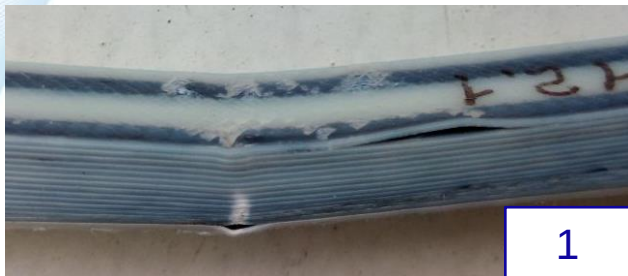
№	Метод	Тип образца	Длина УВ, м	Содержание УВ, % об.
1	3D	Плоское армирование XY («плашмя»)	10	18
2	3D	Плоское армирование XZ («ребром»)	11	18
3	5D	5-осевая печать без армирования, материал PA12 G12	-	-
4	5D	5-осевое армирование №4, $\varphi=75^\circ$, плотность 100%	15	18
5	5D	5-осевое армирование №4, $\varphi=75^\circ$, плотность 50%	8	11
6	5D	5-осевое армирование №4, $\varphi=75^\circ$, плотность 75%	10	13
7	5D	Образец в виде цилиндра, 5-осевое армирование №4, $\varphi=75^\circ$, плотность 75%	10	19

Испытания на изгиб образцов с 3D и 5D армированием, влияние структуры армирования на прочность при изгибе

№ гр.	Тип образца	Кол-во УВ, м	Содержание арм-я, %об.	Макс. нагрузка F_{max} , Н	Предел прочности по нормальным напряжениям $\sigma_{и}$, МПа	Максимальные касательные напряжения $\tau_{и}$, МПа	Модуль упругости $E_{и}$, ГПа	Модуль сдвига G_{xz} , МПа
1	3D печать XY, арм. 15 слоёв	10	18	266,6	65,74	2,05	5,2	8,70
2	3D печать XZ, арм. 12 слоёв	11	18	360,5	75,33	2,62	5,2	21,89
3	5-осевая печать без армирования	-	-	292,2	58,44	1,83	1,9	20,55
4	5-осевая печать, брусок, сетка 100%	15	18	669,5	94,83	3,76	1,8	17,07
5	5-осевая печать, брусок, сетка 50%	8	11	438,7	70,50	2,70	2,3	9,22
6	5-осевая печать, брусок, сетка 75%	10	13	640,3	91,79	3,66	3,0	24,59
7	5-осевая печать, цилиндр, сетка 75%	10	19	540,1	143,71	4,00	8,2	40,87

Тип разрушения: межслойный сдвиг (расслоение образца)

Тип разрушения: растяжение (разрушение с трещиной внизу)



1



2



4-6



7