

ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ МАРКИ АРФЛОН

Арфлон – фторполимерный материал, получаемый путем предварительного компактирования порошка политетрафторэтилена (ПТФЭ) с последующей его физико-химической обработкой.

Арфлон – является аналогом ПТФЭ по комплексу химических свойств, но значительно превосходит его по физико-механическим и антифрикционным свойствам.

Арфлон – рекомендуется к применению в качестве материала уплотнительного, антифрикционного и электротехнического назначения, работающего в диапазоне температур от -150 до +250 °С, в том числе в химически и биологически агрессивных средах, углеводородах, морской воде, в условиях воздействия ионизирующего излучения.

Благодаря пренебрежимо малой степени изменения молекулярного (химического) строения в процессе переработки ПТФЭ, получаемый материал Арфлон сохраняет свойства, связанные с химическим строением и присущие исходному ПТФЭ:

- химическую стойкость к растворителям (спиртам, сложным эфирам, кетонам и др.), концентрированным кислотам (серной, азотной, плавиковой и др.), щелочам, углеводородам, морской воде и др.,
- биологическую инертность и физиологическую совместимость, благодаря которым материал может применяться в медицине и пищевой промышленности,
- стойкость к УФ-излучению, термоциклированию и другим климатическим факторам старения,
- отсутствие набухания в углеводородах,
- отсутствие влагопоглощения (<0.01%),
- широкий температурный интервал применения (без нагрузки от -196 до +250 °С), устойчивость к горячему водяному пару,

- негорючесть,
- высокую температуру терморазложения (деполимеризации), равную 580 °С.

Вместе с тем применяемая переработка порошка ПТФЭ ведет к значительным изменениям надмолекулярной структуры (ламелей, кристаллических доменов, фибрилл), ответственной за физико-механические и антифрикционные свойства. В результате Арфлон приобретает физические свойства, не характерные для исходного ПТФЭ:

- высокую износостойкость при трении (с увеличением PV -фактора в 50 и более раз),
- отсутствие хладотекучести (с снижением скорости ползучести в 1000 и более раз и упругим поведением в широком интервале напряжений и температур),
- высокий модуль упругости (с повышением его до 2 раз при комнатной температуре и в 3-4 раза при 250 °С),
- отсутствие зависимости модуля упругости и деформационных кривых от скорости нагружения,
- отсутствие пористости (для обычного ПТФЭ характерна пористость на уровне 1-5%, для композитов на его основе – 5% и более),
- низкие значения показателя зависимости коэффициента трения от скорости скольжения,
- высокую стойкость к воздействию радиационного облучения.

Арфлон изготавливается из порошка ПТФЭ с показателями качества, соответствующими требованиям российских и международных стандартов табл. 1.

Показатели качества порошка ПТФЭ

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателя	
		Номинальное	Метод испытаний
Внешний вид	Мелкий рассыпчатый порошок белого цвета		ГОСТ 10007
Внешний вид поверхности пластины (цвет и чистота)	Поверхность пластины должна быть белого цвета		ГОСТ 10007
Средний диаметр частиц	мкм	200±100	ASTM D 4895–04
Массовая доля влаги	%	≤0.02	ГОСТ 10007
Прочность при растяжении	МПа	≥19	ASTM D 4895–04, ISO 12086
Относительное удлинение при разрыве	%	≥200	
Температура плавления первого	°C	335-342	ASTMD4591, ISO 11357
второго		327±10	
Теплота фазового перехода	Кдж/моль	≤45	
Степень кристалличности	%	≤55	
Плотность минимальная	г/см ³	2.14	ГОСТ 15139, ISO 12086
максимальная		2.17	
Показатель термической нестабильности, ТП	мг/см ³	≤15	ASTM D4895-04, ГОСТ 15139, ISO 12086
Показатель вытягивания пустот, SVI	мг/см ³	≤200	ASTM D4895-04, ГОСТ 15139, ISO 12086
Пластичность	%	≤15	ГОСТ 14906-77

Основные показатели физических свойств Арфлона двух марок AR100 и AR200 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физические свойства Арфлона

№ п.п.	Наименование показателя	Марка материала	
		AR100	AR200
1	Плотность при 23±2 °С, г/см ³ ГОСТ 15139	2.185-2.195	2.195-2.210
2	Модуль упругости при сжатии (23±2) °С, МПа, не менее ГОСТ 9550	500	600
3	Модуль упругости при растяжении (23±2) °С, МПа, не менее ГОСТ 9550	400	500
4	Напряжение при 10%-деформации на сжатие при температуре (23±2) °С, МПа, не менее ГОСТ 4651	18	23
5	Предел прочности при растяжении при температуре (23±2) °С, МПа, не менее ГОСТ 11262	15	13
6	Относительное удлинение при разрыве при температуре (23±2) °С, %, не менее ГОСТ 11262	300	100
7	Коэффициент динамического трения, не более: – P=2.5 МПа, V=1 м/с, Ra=0.3, HRc 45 – P=10 МПа, V=1 м/с, Ra=0.3, HRc 45	0.22	0.20
		0.20	0.18
8	Линейная скорость изнашивания в кинематической схеме палец-диск, не более: – P=2.5 МПа, V=1 м/с, Ra=0.3, HRc 45	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹
		2×10 ⁻⁶	10 ⁻⁹

	– P=10 МПа, V=1 м/с, Ra=0.3, HRc 45		
9	Показатель вытягивания пустот, SVI ASTMD4895-04	<100	<50
10	Твердость по Бринеллю, МПа, не менее D2240 – 05	35	40
11	Твердость по Шору, не менее D2240 – 05	59	60
12	Ползучесть при напряжении 70% от разрывной за 100 час, %, не более	5	3
13	Тепловое старение на воздухе при 250 ⁰ С в течении 1000 час:	10	10
	– изменение прочности при разрыве, %, не более	30	30
	– изменение удлинения при разрыве, %, не более		
14	Температура хрупкости, ⁰ С, не выше ГОСТ 16783	минус 150	минус 150
15	Температура плавления, ⁰ С ASTM D 4591	320	315
16	Теплота плавления/кристаллизации, Дж/г ASTM D 4591	35-40	35-40
17	Коэффициент линейного термического расширения, 10 ⁻⁵ , град ⁻¹		
	t ⁰ С:		
	-60	9	8
	20	12	10
	100	12	10
	150	17	15
	200	20	18
250	24	22	
18	Влагопоглощение после 1000 часов выдержки в воде при 60 ⁰ С, %, не более ГОСТ 4650	0.05	0.05

19	Диэлектрическая проницаемость при 10^9 Гц	2.1 –2.2	2.1 –2.2
20	Тангенс угла диэлектрических потерь при 10^9 Гц	$(1 - 3) \times 10^{-4}$	$(1 - 3) \times 10^{-4}$
21	Электрическая прочность при постоянном напряжении (толщина образца 0.100 ± 0.005 мм), кВ/мм	>50	>50
22	Интегральный коэффициент оптического пропускания в области 400-800 нм для пленки 100 мкм, %	≥ 50	≥ 70
23	Газовыделение, % ГОСТ Р 50109	≤ 0.01	≤ 0.01
24	Коррозионная стойкость, ГОСТ 9902	Применение до 250°C в контакте с нержавеющей стали, хромированными конструкционными сталями и титановыми сплавами.	Применение до 250°C в контакте с нержавеющей стали, хромированными конструкционными сталями и титановыми сплавами.
25	Радиационная стойкость, кГр, ГОСТ 9.706, IV группа	1000	3000

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРФЛОНА В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ ФТОРПОЛИМЕРАМИ

В табл. 3-6 представлены значения показателей свойств Арфлона в сравнении с фторполимерами марок PTFE и NHT фирмы Дюпон и Ф4PM5 и Ф4PM20 АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова». Для сравнительного анализа приведены:

- плотность – показатель, характеризующий однородность структуры по объему и пористость,
- модуль упругости при сжатии и растяжении, предел эластичности, напряжение при 10% деформации при сжатии, твердость по Шору и Бринеллю, прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве – показатели, характеризующие физико-механические свойства,

- величины суммарной и остаточной деформации при долговременном воздействии статической нагрузки при 23 и 150 °С – показатели, характеризующие ползучесть материала,
- температуру и теплоту плавления/кристаллизации – показатели, характеризующие морфологию, фазовый состав и термические свойства,
- коэффициент трения и скорость изнашивания – показатели, характеризующие антифрикционные и трибологические свойства.

Таблица3

Показатели свойств Арфлона в сравнении с другими фторполимерами

Показатели	PTFE (Дюпон)	NXT (Дюпон)	AR100 (Ар-про)	AR200 (Ар-про)	Ф4PM5 (НИФХИ)	Ф4PM20 (НИФХИ)
Плотность, г/см ³ ISO 12086	2.15	2.17	2.19	2.21	2.19	2.20
Модуль упругости при сжатии, МПа ГОСТ 9550	500	550	600	650	600	680
Модуль упругости при растяжении, МПа ГОСТ 9550	400	450	450	500	450	500
Предел эластичности, МПа ГОСТ 11262	8	10	15	18	15	18
Напряжение при 10% сжатии, МПа ГОСТ 4651	16	18	20	25	20	25
Прочность при растяжении, МПа ГОСТ 11262	24	25	14	13	14	13
Удлинение при разрыве, % ГОСТ 11262	500	450	350	150	350	100
Твердость по Шору, D2240 – 05	60	58	60	59	59	60
Твердость по Бринеллю, МПа, D2240 – 05	30	35	37	40	37	42
Скорость изнашивания, мкм/км ASTM D3702	250	210	0.6	0.1	0.6	0.1
Динамический коэффициент трения ASTM D3702	0.22	0.23	0.21	0.23	0.21	0.23
Показатель вытягивания пустот, SVI ASTMD4895-04	<300	<200	<100	<50	<100	<50

Таблица 4

Деформационные характеристики Арфлона в сравнении с другими фторполимерами при 23 °С в соответствии с ASTM D 621

Показатели	PTFE (Дюпон)	NXT (Дюпон)	AR100 (Ар-про)	AR200 (Ар-про)	Ф4PM5 (НИФХИ)	Ф4PM20 (НИФХИ)
Суммарная деформация 1 ч. (%) ASTM D 621	6.45	7.69	5.41	2.21	5.50	2.40
Суммарная деформация 3 ч. (%) ASTM D 621	6.5	8.26	5.77	2.52	5.82	2.93
Восстановление после 1 ч. (%) ASTM D 621	3.32	3.59	2.62	0.75	2.50	0.60
Расширение после 1 ч. (%) ASTM D 621	3.29	4.84	3.15	1.77	3.32	2.33

Таблица 5

Деформационные характеристики Арфлона в сравнении с другими фторполимерами при 150 °С в соответствии с ASTM D 621

Показатели	PTFE (Дюпон)	NXT (Дюпон)	AR100 (Ар-про)	AR200 (Ар-про)	Ф4PM5 (НИФХИ)	Ф4PM20 (НИФХИ)
Суммарная деформация 1 ч. (%) ASTM D 621	18.43	8.67	6.64	4.06	6.75	4.10
Суммарная деформация 3 ч. (%) ASTM D 621	19.24	9.07	6.99	4.22	6.87	4.59
Восстановление после 1 ч. (%) ASTM D 621	10.34	1.54	3.24	1.23	3.22	1.30
Расширение после 1 ч. (%) ASTM D 621	9.93	7.65	3.75	2.99	3.65	3.29

Термические характеристики Арфлона в сравнении с другими фторполимерами

Показатели	PTFE (Дюпон)	NXT (Дюпон)	AR100 (АР-ПРО)	AR200 (АР-ПРО)	Ф4РМ5 (НИФХИ)	Ф4РМ20 (НИФХИ)
Температура плавления, °С ASTM D 4591	328	324	320	315	319	313
Теплота плавления, Дж/г ASTM D 4591	25-30	25-30	30-35	35-40	30-35	35-40
Температура кристаллизации, °С ASTM D 4591	314	308	307	296	305	293
Теплота кристаллизации, Дж/г, ASTM D 4591	25-30	25-30	30-35	35-40	30-35	35-40

Как видно из табл. 3, значения показателей существенно отличаются между собой. Материалы PTFE и NXT обладают более низкой плотностью, по сравнению с материалами серии AR и PM, что указывает на их повышенную пористость. Значения показателей SVI указывают на высокую пористость PTFE и NXT, ее снижение в AR100 и Ф4РМ5 и очень низкую пористость в AR200 и Ф4РМ20.

Одновременно с этим материалы PTFE и NXT имеют меньшие значения модуля упругости при сжатии и растяжении, более низкие значения предела эластичности, напряжения при 10%-деформации и твердости по Бринеллю – все это характеризуют указанные материалы как более пластичные по отношению к материалам серии AR и PM. Материалы PTFE и NXT при растяжении не образуют шейки, вытягиваются равномерно по всей длине образца и разрываются при достижении высоких степеней ориентации полимерных цепей, на что указывают большие величины относительного удлинения при разрыве. Такой характер деформирования свойственен явлению сверхпластичности. Материалы серии AR и

PM не обладают свойством сверхпластичности и вытягиваются с образованием шейки. В связи с разным механизмом деформирования возникает кажущееся различие в прочности на разрыв. Истинные значения прочности на разрыв для материалов серии AR и PM, приведенные к площади сечения шейки, близки к таковым для материалов PTFE и NXT.

Фторопласты марки Ф4PM20 и AR200 обладают наибольшими и близкими между собой значениями показателей, характеризующих вязкоупругие свойства. Материалы Ф4PM5 и AR100 занимают промежуточное положение, как по упругим, так и по вязким (пластическим) характеристикам. Таким образом, анализируемые материалы по физико-механическим показателям по мере увеличения жесткости и снижения пластичности можно расположить в следующий ряд:

PTFE→NXT→ Ф4PM5 →AR100 → Ф4PM20 →AR200 (1)

Ближайшими аналогами, обладающими близкими значениями физико-механических показателей и обеспечивающими возможность замены одного материала другим при заданных условиях эксплуатации с гарантированным сохранением достигнутого рабочего ресурса, являются следующие пары материалов: PTFE→NXT, Ф4PM5→AR100, Ф4PM20 →AR200.

По износостойкости материалы марок AR100, Ф4PM5, Ф4PM20 и AR200 значительно превосходят PTFE и NXT (табл. 3): первые две марки в 300 раз и вторые – в 1800 раз. Значения динамического коэффициента трения в заданных стандартных условиях (ASTMD3702, 0.25 м/с, 0.6 МПа) у всех испытываемых материалов близки между собой.

В табл. 4 и 5 приведены показатели, характеризующие ползучесть материалов при статической механической нагрузке при двух температурах – 23 и 150 °С. Из табл. 4 и 5 можно сделать вывод, что материалы Ф4PM20 и AR200 обладают наименьшей ползучестью. Величина суммарной деформации у этих материалов, а также их расширение после снятия нагрузки (необратимая деформация) существенно меньше, чем у PTFE и TFM (NXT), при обеих температурах 23 и 150 °С. Как видно из значений показателей ползучести, материалы AR100 и Ф4PM5 занимают промежуточное положение между материалами PTFE, NXT с одной стороны, обладающих наибольшей ползучестью,

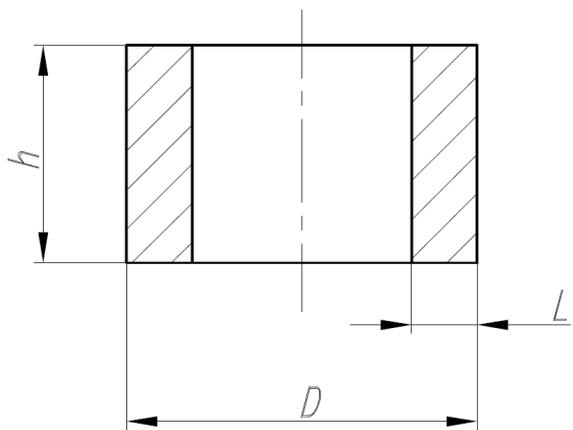
и материалами AR200, Ф4PM20, с другой стороны, обладающих наименьшей ползучестью.

Таким образом, сравнительный анализ показывает, что анализируемые материалы с учетом ползучести и скорости изнашивания располагаются в ряд аналогичный представленному выше для физико-механических характеристик. При этом с точки зрения взаимозаменяемости, обеспечивающей неизменность рабочего ресурса, материалы образуют аналогичные пары: PTFE→NXT, Ф4PM5→AR100, Ф4PM20 →AR200.

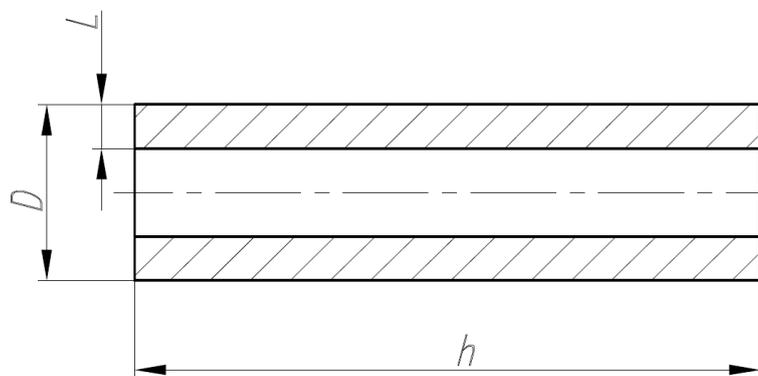
В тех случаях, когда штатные условия эксплуатации (либо условия сборки узла) требуют повышенных деформаций (более 10%) наиболее предпочтительными материалами, например для уплотнительных колец и др., являются AR100 и Ф4PM5, поскольку по сравнению с AR200 и Ф4PM20 они обладают большей пластичностью и меньшей склонностью к хрупкому разрушению. Их использование обеспечивает наиболее оптимальное сочетание ползучести, износостойкости и пластичности. Четыре других материала обладают либо слишком высокой ползучестью, пластичностью и низкой износостойкостью, такие как PTFE и NXT, либо слишком низкой пластичностью, такие как AR200 и Ф4PM20, повышающей вероятность хрупкого разрушения при работе в условиях повышенных деформаций. При деформациях менее 10% наибольший ресурс обеспечивают материалы AR200 и Ф4PM20.

НОМЕНКЛАТУРА ИЗДЕЛИЙ ИЗ АРФЛОНА

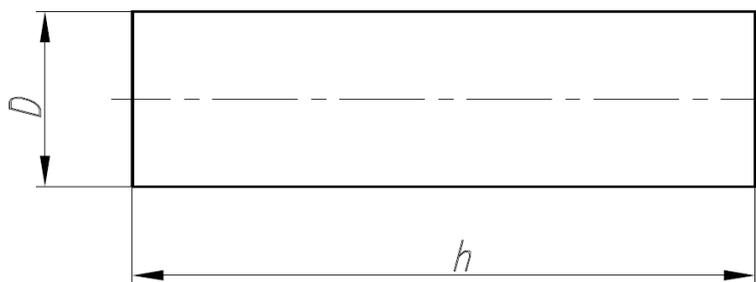
Арфлон поставляется в виде заготовок – втулок, стержней, труб, дисков, пластин и листа (рис. 1), а также готовых изделий, изготавливаемых путем механической обработки заготовок в соответствии с согласованными с заказчиком чертежами.



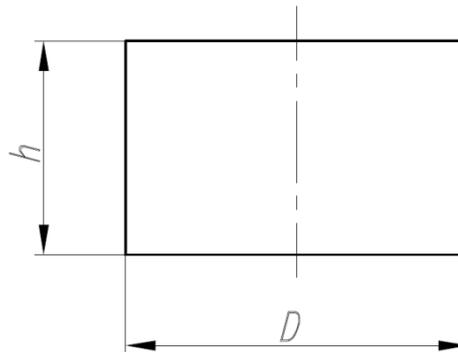
A



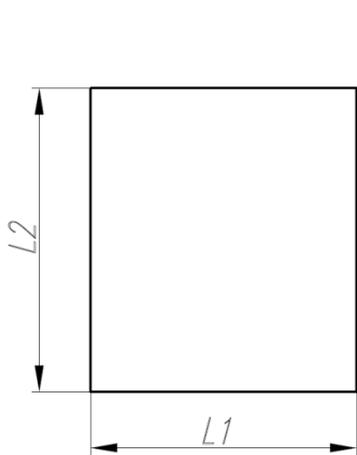
Б



В



Г



Д

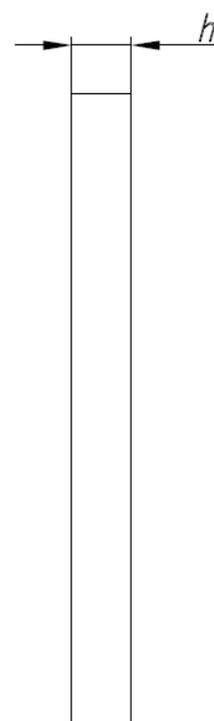
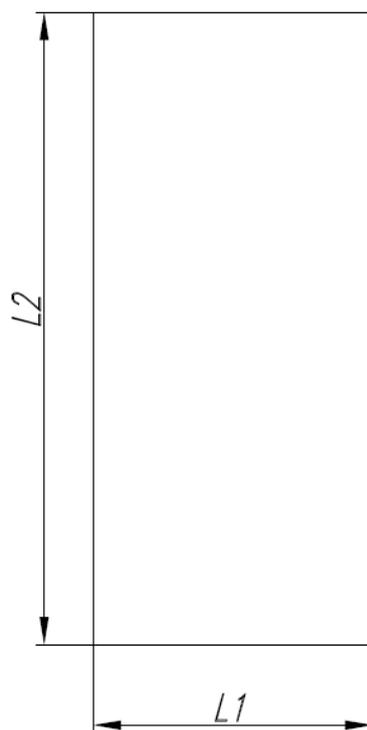
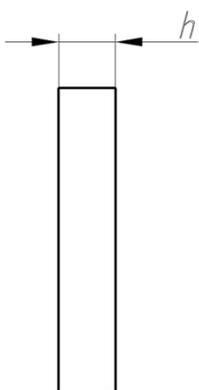


Рис. 1. Заготовки в виде втулки (А), трубы (Б), стержня (В), диска (Г), пластины (Д), листа (Е).

Предельные геометрические размеры заготовок должны соответствовать значениям, указанным в табл. 7-9.

Таблица 7

Предельные геометрические размеры заготовок в виде втулок и труб

№	Заготовки	h , мм	Внешний диаметр, мм	Толщина стенки, L , мм
1	Втулки	≤ 120	≤ 220	$20 \leq L \leq 70$
		≤ 60	≤ 520	$15 \leq L \leq 90$
2	Трубы	$300 \leq h \leq 600$	≤ 300	≤ 10

Таблица 8

Предельные геометрические размеры заготовок в виде стержней и дисков

№	Заготовки	Высота, мм	Диаметр, D , мм
1	Стержни	≤ 120	$90 \leq D \leq 150$
		≤ 600	< 90
2	Диски	≤ 60	$250 \leq D \leq 520$
		≤ 80	$120 \leq D < 250$
		≤ 100	< 120

Предельные геометрические размеры заготовок в виде пластин и листов

№	Заготовки	Ширина, мм	Длина, мм	Толщина, мм
1	Пластины	≤ 350	≤ 350	≤ 60
		≤ 250	≤ 250	≤ 80
		≤ 420	≤ 420	≤ 10
2	Листы	≤ 420	≤ 1200	≤ 1
		≤ 420	≤ 600	≤ 2