

**Волокнистые**

**наполнители**

Стекловолоконное волокно

Базальтовое волокно

Углеродное волокно

Асбестовое волокно

Борное волокно

Волокна из синтетических  
материалов

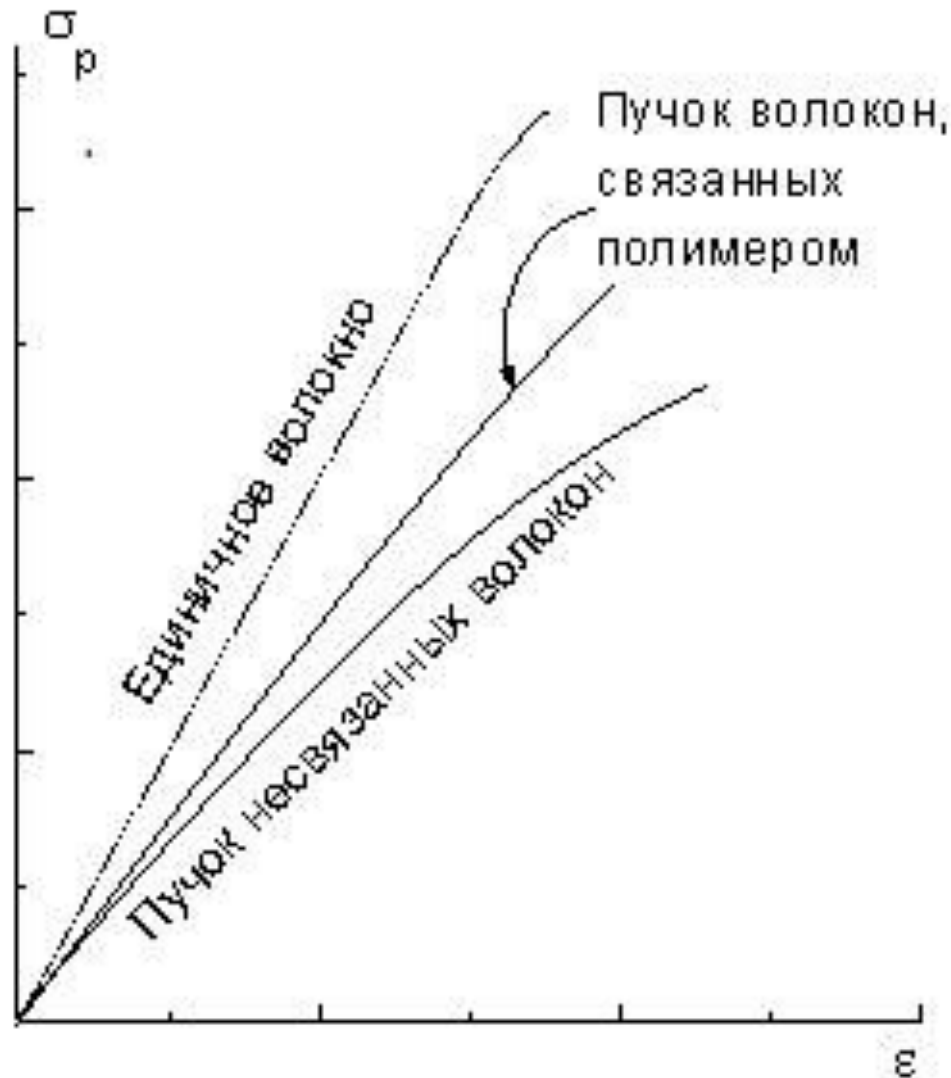
Металлическое волокно

# Цели наполнения полимеров волокнами

Получение сверхпрочных и легких материалов. **Удельная прочность** (отношение разрывной прочности к плотности) и **удельный модуль упругости** (отношение модуля к плотности) волокно-наполненных полимеров (волокнитов) превосходит эти показатели для наиболее прочных и жестких материалов.

материал	Прочность при растяжении, МПа	
	ВОЛОКНО	блок
Полиамид	830	80
Стекло	2800	70
Алюминий	1000	67

# Зависимость удельной нагрузки при растяжении



материал	Удельный модуль упругости $\times 10^{-4}$ МПа/(г/см <sup>3</sup> )	Удельная прочность $\times 10^{-2}$ МПа/(г/см <sup>3</sup> )
<b>Нержавеющая сталь</b>	<b>2,75</b>	<b>2,2</b>
<b>Алюминий</b>	<b>2,5</b>	<b>0,25</b>
<b>Отвержденная эпоксидная смола</b>	<b>0,275</b>	<b>0,55</b>
<b>Полистирол</b>	<b>0,275</b>	<b>0,46</b>
<b>Эпоксид со стеклянными волокнами</b>	<b>2,3</b>	<b>6,5</b>
<b>Эпоксид с борными волокнами</b>	<b>14,75</b>	<b>9,25</b>
<b>Эпоксид с</b>	<b>12,25</b>	<b>5,25</b>

# Характеристики некоторых минеральных волокон

Волокно	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Диаметр, мкм	Разрушающее напряжение при растяжении, ГПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Температура плавления (размягчения), °С
Металлическое (сталь)	7800	50–100	2–3	200	5–10	1200
Стеклоное (марки E)	2540	10–15	3,5	785	4,8	840
Кварцевое	2200	5–80	2,1	100–110	0,2	1650–1700
Асбестовое	2400	–	2,5–3,0	50–170	2–3	1500–1550
Базальтовое	2800	9–13	2,0–2,25	75–90	4–5	1250–1300
Разрывное	5800	8–13	5'0–5'52	12–20	4–2	1520–1300
Асбестовое	5400	–	5'2–3'0	20–110	5–3	1200–1220
Кварцевое	5500	2–80	5'1	100–110	0'5	1620–1700

# Стеклообразное волокно

Получают вытяжкой из однородной стекловидной массы, представляющей собой сплав диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  с оксидами различных металлов

# Стекло́нное воло́кно

```
graph TD; A[Стекло́нное воло́кно] --> B[Непрерывное]; A --> C[Штапельное (короткие обрезки)]; B --- D[Получают путем вытяжки нитей расплава с высокой скоростью]; D --- E["D= 3-25 мкм"]; C --- F[Получают путем раздува нитей расплава струей воздуха или пара]; F --- G["D=7-13 мкм"]; F --- H["L=125-380 мкм"];
```

Непрерывное

Получают  
путем вытяжки  
нитей расплава с  
высокой  
скоростью  
D= 3-25 мкм

Штапельное  
(короткие  
обрезки)

Получают путем  
раздува нитей  
расплава струей  
воздуха или пара  
D=7-13 мкм  
L=125-380 мкм



Для термопластов

волокна L=2-12  
мм

мелковолокнистый  
порошок L=0,3-0,5  
мм

Для реактопластов

Премиксы  
L=5-10мм

Пресс материалы  
L=5-20 мм

Стекловолокниты

Препреги

## *Базальтовые волокна*

Сырьем служит природный минерал базальт, относящийся к группе алюмосиликатов. Базальтовое волокно по химической структуре и свойствам очень близко к стеклянному, и технология его получения аналогична технологии получения стеклянного волокна

# Базальтовые волокна

Непрерывное

Получают  
путем вытяжки  
нитей расплава с  
 $D = 10\text{--}15 \text{ мкм}$

Штапельное  
(короткие  
обрезки)

$D \approx 30 \text{ мм}$ , получают  
раздувом  
вытекающих из  
фильер струй  
расплава ( $1300\text{--}1400$   
 $^{\circ}\text{C}$ )

## **Преимущества**



*Характеризуется более высокой адгезией с смолам, более высоким модулям упругости и прочности по сравнению со стеклом. Более дешевое*

## **Недостатки**



*Обладают темной окраской (от зеленого до бурого)*

# Углеродные волокна

В зависимости от исходного сырья и режимов получения выпускаются углеродные волокна, отличающихся значениями прочности (от 3 до 4,5 ГПа) и модуля упругости (от 100 до 450 ГПа). Сырьем для получения углеродных волокон служат волокна из полиакрилонитрила, гидратцеллюлозные (вискозные) волокна

# Стадии производства углеволокна

Окисление

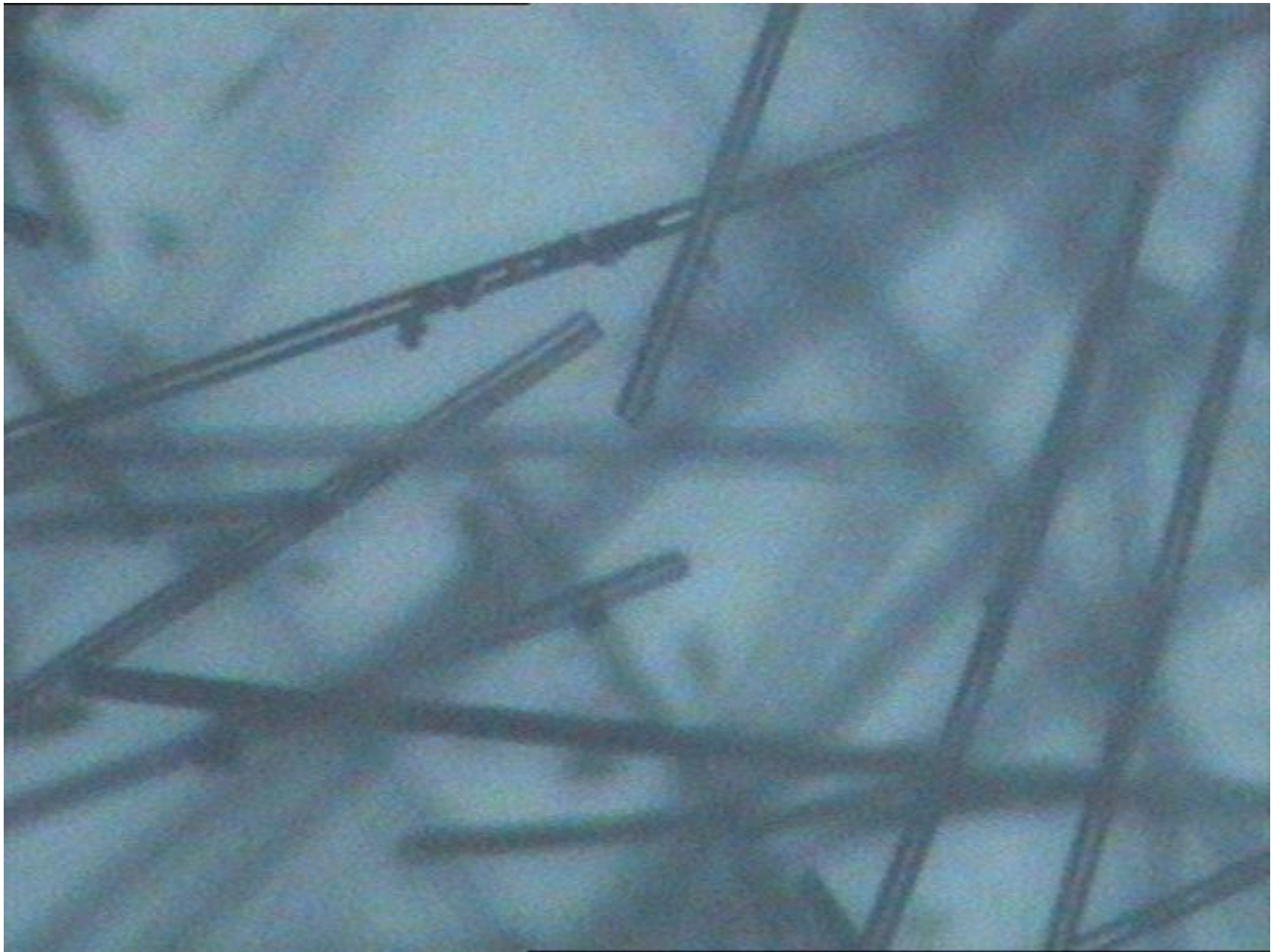
Прочность  
от 3 до 4,5 ГПа

Карбонизация

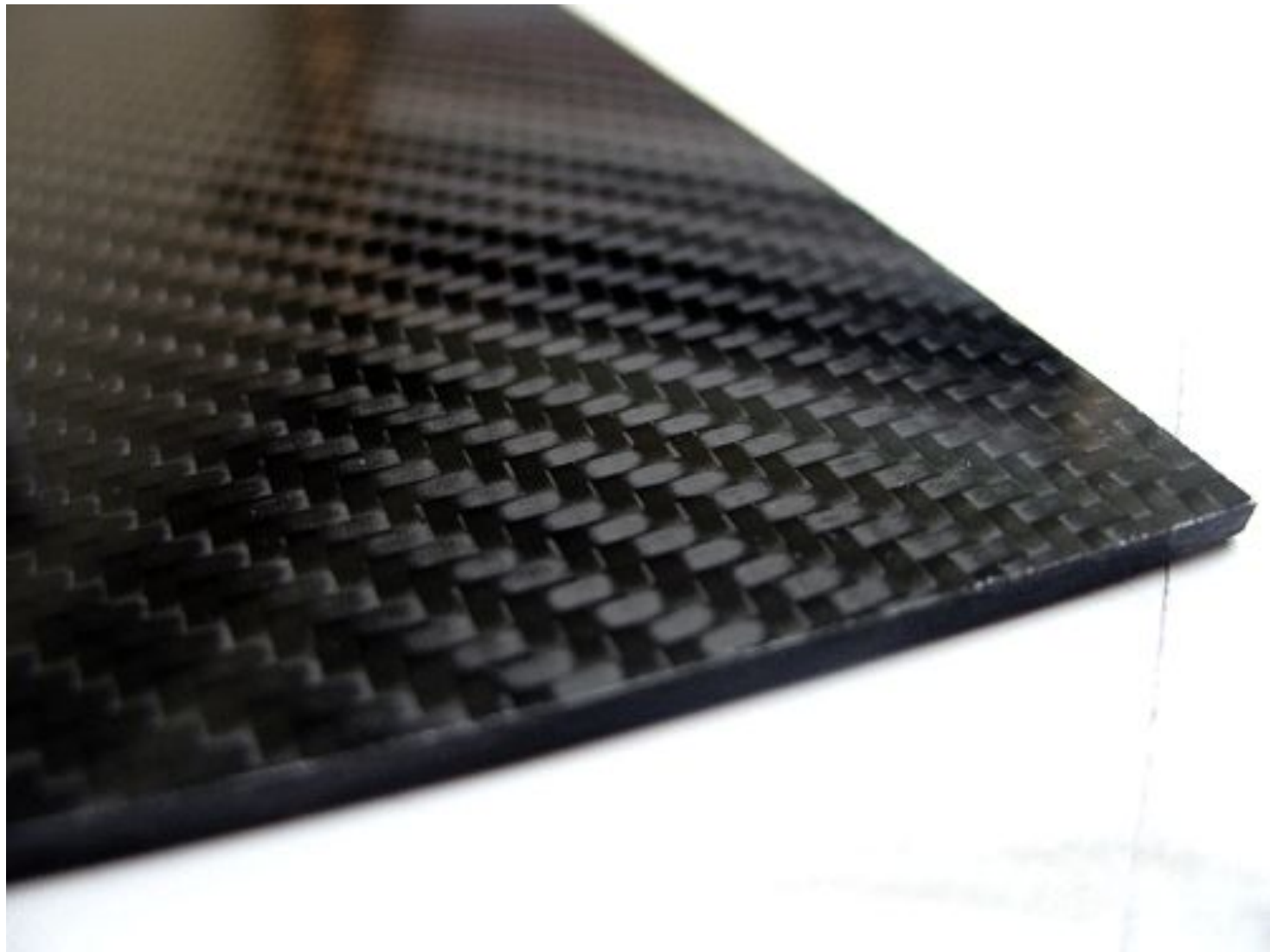
Модуль упругости  
от 100 до 450 ГПа

Графитизация

**Поверхность углеродных волокон покрыта множеством микротрещин. Отсутствие полярных групп на поверхности волокон препятствует достижению хорошей адгезии к связующим. Поэтому поверхностная обработка углеродных волокон — в первую очередь травлением в среде различных окислителей, а также электрохимическая и плазменная обработка с последующим нанесением аппретов — позволяет улучшить смачивание их связующими, улучшить**







Благодаря особенностям структуры углеродные волокна обладают специфическим комплексом свойств:

- высокими прочностными характеристиками;
- высокой электропроводностью и теплопроводностью;
- низкими значениями коэффициента линейного термического расширения;
- большой стойкостью к ползучести;
- низким коэффициентом трения.

В то же время из-за низкой адгезии к связующим ударные характеристики композитов на их основе низки.

# Асбестовое волокно

Природный материал волокнистой структуры, относящийся к группе гидратированных силикатов. Благодаря высоким прочностным характеристикам, выдающейся термостойкости и прекрасной химической стойкости находит широкое применение в ПКМ с повышенными прочностными характеристиками, для создания химически стойких материалов и теплоизоляционных (теплозащитных) материалов.

50µm



Асбестовое волокно используется в качестве наполнителя в терморезистивных (фенолоформальдегидные, полиэфирные) и термопластичных (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид) матрицах. К числу его недостатков как наполнителя следует отнести снижение ударных характеристик, придание темного цвета и трудности приготовления композиций, особенно с термопластичными

# Металлические волокна

Наибольшее распространение из металлических волокон получили титановые, меди, алюминия, никеля и сплавов (латуни, стали, тугоплавких, напр. нихрома с диаметром) от **4-50 мкм**. Вырабатывается широкий ассортимент текстильных и тканых изделий с различной плотностью, изотропией.

## природные волокна

Хлопок, лен, конопля, сизаль, джут, рами. Наиболее прочными из являются лен, конопля и джут. Все виды природных волокон характеризуются низкой плотностью, малой влаго- и химостойкостью, низкой прочностью. Находят применение для изготовления легких панелей и декоративных конструкций на основе полиэфирных связующих в жилищном строительстве.

# волокна из синтетических полимеров

полиамидные,  
полиэфирные,  
полипропиленовые,  
арамидные волокна,  
ароматические,  
гетероциклические полиарилены



	Кг/см <sup>2</sup>		Кг/см <sup>2</sup>	
Рами	9100	Вискозный шелк:	2870	
Лен	8260			нормальный
Конопля	7000			вытянутый
Шелк	5950	Ацетатный шелк:	1540	
Найлон	5460			нормальный
Хлопок	4760			вытянутый
Джут	4620	Шерсть	1610	