



## Инструкция

# ПОЛИИМИДЫ

Неплавкие пластики с космическими свойствами

- [Описание и технические данные](#)
- [Стойкость к средам](#)
- [Программа поставки](#)
- [Приемка по качеству](#)
- [Хранение и транспортировка](#)
- [Обработка](#)
- [Термообработка](#)
- [Соединение](#)
- [Дополнительно](#)

### Применение

- Авиастроение и космонавтика
- Криогенные технологии
- Полупроводниковые технологии
- Электроника
- Электротехника
- Машиностроение
- Ядерные и вакуумные технологии
- Приборостроение
- Автомобилестроение
- Конвейерные технологии
- Автомобилестроение
- Текстильная промышленность
- Вакуумные технологии
- Стекольная промышленность

### Марки и обозначения

PI натуральный (без добавок) в различном температурном исполнении  
PI SF15, PI GR15 черный (15% графита)  
PI SF40, PI GR40 черный (40% графита)  
TPI натуральный  
PI PV черный (подшипниковая смесь с добавлением графита и PTFE)

### Сертификаты и соответствия

	PI	PI SF(GR)	PI PV
SGS, RoHS, ELV, REACH (EC)№1907/2006	+	+	+
UL94 (огнестойкость)	+	+	+
FAR 25.853 (пожаробезопасность в авиастроении)	+	+	
Паспорт на партию (по форме СОС 2.1.)	+	+	+
Протокол испытаний (по форме СОС 2.2.) по запросу	+	+	+



## НЕПЛАВКИЙ

- Полиимиды обладают самой высокой деформационной теплостойкостью, не плавятся, не горят по своей сути. Незаменимы в жаростойких применениях другими термопластами.





	PI (PI-10)	PI (PI-20)	PI (PI-30)	PI YS-20	TPI
Tg	-	364°C	330°C	-	230°C
HDT/A	350°C	340°C	-	239°C	320°C
Рабочая постоянная	350°C	350°C	300°C	220°C	380°C
Рабочая кратковременная	380°C	400°C	-	-	-
Минимальная температура (повышение хрупкости)					

## Описание и технические данные

**PI** - Полиимиды - не являются плавкими в связи с большим количеством кольцевых, преимущественно ароматических, цепей и высоким молекулярным весом. У полиимидов отсутствует наблюдаемая точка плавления, стеклования ниже температуры деструкции (примечание: деструкция PI в зависимости от марки различна, но значительно превышает +400°C). Учитывая, что невозможно наблюдать точку размягчения, максимальная температура эксплуатации определяется скоростью разрушения полимера. Как правило, PI используются для изготовления изделий в узлах, где постоянные температуры эксплуатации выше 300-350°C (на воздухе), но в ряде применений PI выдерживают кратковременных нагрев до 500 °C (к примеру, при контакте с раскаленным стеклом). Из-за отсутствия «эффекта размягчения» производство заготовок из полиимидов возможно методом спекания, компрессионного формования. Учитывая энергозатраты и время производства, PI относятся к дорогостоящим полимерам и призваны решить задачи там, где другие материалы неспособны работать.

Полиимиды обладают таким сочетанием свойств, что порой служат прекрасной альтернативой таким материалам, как титан или Кевлар.

Для некоторых марок существуют экструдированные версии (к примеру, TPI-01), однако их температурные характеристики снижены и, это, больше исключение из правил для PI.

### Особенности

- Не плавкий, высокотемпературный полимер
- Наивысшие значения PI среди термопластов (некоторые марки могут достигать 12-13 МПа м/с в сухих условиях и выше в условиях со сазкой) применения в подшипниках
- Низкий коэффициент теплового линейного расширения даже у ненаполненных марок, близкий показателям алюминия
- Высокая прочность, модуль эластичности и жесткость как при крайне отрицательных, так и высоких температурах
- Высокая прочность при сжатии
- Очень высокое сопротивление ползучести
- Высокая чистота, низкое выделение газов в вакууме
- Хорошая химическая стойкость
- Хорошая тепло- и электроизоляция.
- Высокая диэлектрическая прочность.
- Самая высокая стойкость к радиации среди полимеров
- Огнестойкий состав (V-0 согласно UL-94)

### Ключевые факторы выбора

- Единственный в своем роде полимер, способный держать нагрузки в широком диапазоне температур от криогенных до крайне высоких (температуры эксплуатации -273°C...+300°C).
- Огнестойкие, жаростойкие детали, в том числе, контактирующие с раскаленными материалами.
- Высокоскоростные детали, работающие в условиях без смазки.
- Электроизоляционные детали со стабильно высокими диэлектрическими характеристиками, сохраняющимися даже при воздействии высоких температур.
- Решение специфичных задач, связанных с требованиями высокой чистоты или воздействием радиации и температуры, высокого давления, агрессивных сред.

### Преимущества

- Доступность (практически любые формы, марки, размеры).
- Работает практически везде
- Наивысшая надежность, безопасность и максимальный ресурс работы

### Методы производства

- Компрессионное формование, спекание (СМ)
- Крайне редко для специфичных марок экструзия (-, Ext)

### Недостатки

- Чувствительность к гидролизу при температуре воды >100°C и при воздействии горячего пара.
- Не подходит для применения в медицине и пищевых технологиях (прямой контакт).
- Относительно высокая стоимость по своей сути.

		PI (PI-10)	PI (PI-20)	PI (PI-30)	PI YS-20	TPI
Плотность	г/см <sup>3</sup>	1,41	1,38	1,4-1,45	1,35-1,4	1,38
Коэффициент трения (по стали)*						
к износа**	x10 <sup>-4</sup>					
Твердость вдавливания шарика	МПа					
Твердость Шор D		94	94			

# Основные показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Параметр	PI (PI-10)	PI (PI-10-21)	PI (PI-10-22)	PI (PI-20)	PI (PI-30)	PI YS-20	TPI	TPI-01 (Ext)	TPI-02 (CM)
Обозначение	МПа		PI	PI GR15	PI GR40	PI	PI	PI	PI	PI	PI
<b>Механические свойства</b>											
Прочность при растяжении	МПа		96	90	60	≥130	≥40	≥130	92	90	97
Прочность при разрыве	МПа										
Относительное удлинение при макс. напряжении	%		10	5	2,5	≥8	≥3,5	≥7	8	8	8
Удлинение при разрыве	%										
Модуль упругости при изгибе	МПа										
Изгибающее напряжение при разрушении	МПа		148	126	90	≥180	-	≥131	140	130	138
Относительная деформация изгиба при разрушении	%										
Модуль упругости при сжатии	МПа										
Напряжение при сжатии	МПа		152	135	95	≥160	≥150	≥150	150	140	148
Твердость по Шору D	-										
Твердость вдавливания шарика	-										
Ударная вязкость (Шарпи)	кДж/м <sup>2</sup>		90	55	13	≥150	≥12	≥170	88	100	130
Ударная вязкость по Шарпи (образец с надрезом)	кДж/м <sup>2</sup>										
<b>Температурные свойства</b>											
Температура тепловой деформации	°C	HDT/A	350	>300	>300	340		239	250	230	250
Температура стеклования	°C	Tg				364	330		230		
Температура плавления	°C										
Рабочая температура	°C	20 000 ч	350	350	350	350	300	220	380	250	250
Кратковременная температура	°C		380	380	380	400					
Отрицательная рабочая температура	°C										
Коэффициент линейного теплового расширения КЛТР (CLTE)	10 <sup>-5</sup> К <sup>-1</sup>	23-60°C, прод.									
	10 <sup>-5</sup> К <sup>-1</sup>	23-100°C, прод.									
	10 <sup>-5</sup> К <sup>-1</sup>	100-150°C, прод.									
Теплопроводность	W/(K*m)										
Удельная теплоемкость	J/(g*K)										
<b>Электрические свойства</b>											
Удельное объемное сопротивление	Ω*см										
Удельное поверхностное сопротивление	Ω										
Электрическая прочность	кВ/мм	толщ.2,5мм									
Диэлектрическая постоянная				-	-	3,7	3,4	3,0			
Тангенс угла диэлектрических потерь	°C										
<b>Прочие свойства</b>											
Водопоглощение	%	23°C, 24ч / 96ч									
Воспламеняемость (горючесть)	-		V0	V0	V0	V0	V0				

Значения со знаком ≥ получены в результате испытаний GB/T

## Базовые марки

**PI натуральный** - базовый ненаполненный материал коричнево-желтого цвета сочетает в себе максимальную прочность и относительное удлинение при разрыве. Универсальная марка широкого спектра применения. Высокая точность изделий и высокие электроизоляционные характеристики в сочетании с низкой теплопроводностью. Подходит для работы в вакууме и для изготовления изделий, эксплуатирующихся в «чистых условиях». Отлично подходит для изготовления седел клапанов, уплотнений, электро- и термоизоляторов.

Коэффициент линейного теплового расширения снижен в сравнении с ненаполненной маркой. Материал отлично подходит для изготовления подшипников, упорных шайб и динамических уплотнений. Не является электроизолятором.

**PI SF/GR 40 черный** - модификация с добавлением графта 40% с самым низким коэффициентом трения и самым низким коэффициентом линейного теплового расширения (далее - CLTE) среди PI, который сопоставим с CLTE алюминия. Материалу присуще максимальное сопротивление ползучести.

## Антифрикционные марки

**PI SF/GR 15 черный** - модификация с добавлением графта 15%. отлично подходит для условий трения/скольжения как в сухих системах, так и в системах со смазкой. Пожалуй, лучшая версия для изготовления подшипников с отличным PV. Изделия демонстрируют низкий износ и хорошие свойства скольжения.

## Специальные марки

**YS-20**

**TPI**

**TPI-01 (Ext)**

**TPI-02 (CM)**

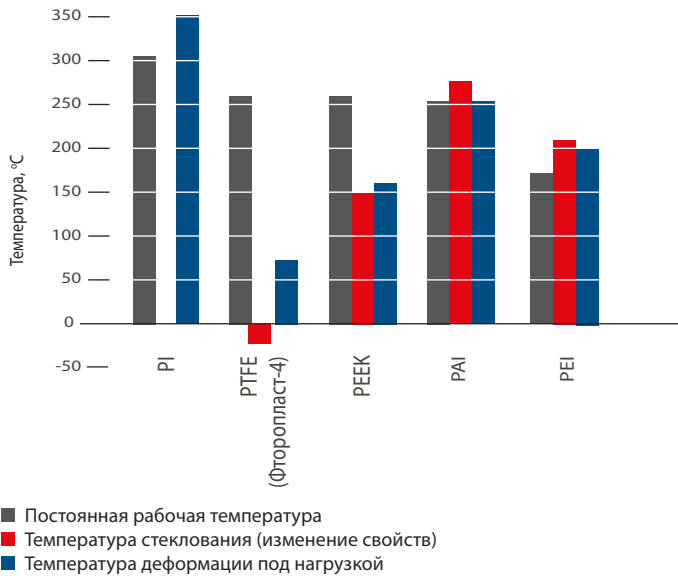


Данные указаны справочно, см. стр. 21

[Вернуться в начало](#)

# Сравнения и применения

## Термостойкость высокотемпературных пластиков в сравнении



### PI SF/GR черный

Вставки хватков горячего стекла  
 → Не плавится  
 → Длительный ресурс работы  
 → Высокая прочность



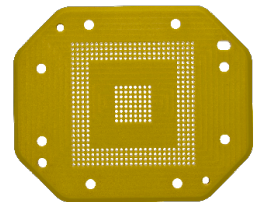
### PI SF/GR черный

Направляющие вставки в печах  
 → Работа в печи до +300°C под нагрузкой  
 → Высокая стойкость к износу  
 → Хорошие свойства скольжения без смазки

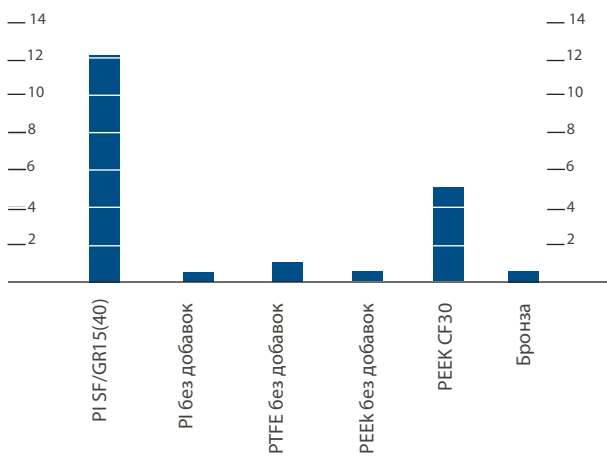


### PI натуральный

Тестовые гнезда для электроники  
 → Высокая чистота  
 → Превосходная точность изделий даже в условиях высокого нагрева



## Сравнение трибологических свойств основных антифрикционных материалов при работе в условиях без смазки, PV, МПа\*м/с.



### ■ PV

Предельный PV в существенной мере зависит от множества факторов, включая шероховатость сопрягаемых поверхностей, материала-пары и должен быть установлен в индивидуальном порядке. Выше приведены справочные данные.

Предельное значение PV в условиях без смазки, МПа\*м/с



### PI натуральный

Изолятор в аппарате лазерной резки.  
 → Высокая термостойкость  
 → Превосходные свойства термо-и электроизоляции

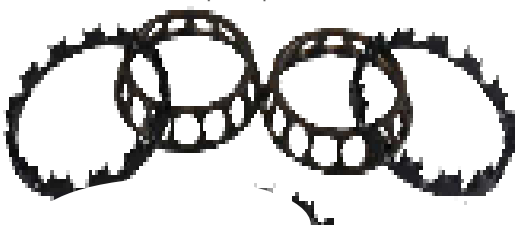
### PI SF/GR натуральный, черный

Втулки скольжения, зубчатые передачи  
 → Высокая стойкость к износу  
 → Хорошие свойства скольжения без смазки  
 → Минимальный CLTE



### PI SF/GR черный

Сепаратор подшипника  
 → Работа при высокой скорости в условиях без смазки  
 → Стойкость к износу  
 → Высокая точность размеров



### PI SF/GR черный

Уплотнительные кольца поршней  
 → Работа при высоком давлении  
 → Стойкость к износу  
 → Высокая точность размеров



# Стойкость к средам

	PI
Ацетамид 50%	
Ацетон	+
Муравьиная кислота, водный р-р, 10%	+
Аммиак раствор 10%	-
Анон	
Бензин	+
Бензол	+
Битум	+
Борная кислота, водный р-р, 10%	
Бутилацетат	+
Хлорид Кальция раствор, 10%	+
Хлорбензол	+
Хлороформ	+
Циклогексан	+
Циклогексанол	+
Дизельное топливо	+
Диметилформамид	(+)
Диоктилфталат	
Диоксан	+
Уксусная кислота, концентрированная	(+)
Уксусная кислота, водный р-р, 10%	+
Уксусная кислота, водный р-р, 5%	+
Этанол 96%	+
Этилацетат	+
Этиловый эфир	+
Этиленхлорид	+
Фосфорная кислота, 40%	
Формальдегид, водный р-р 30%	
Формамид	
Фреон, Фриген, жидкие	+
Фруктовые соки	+
Глицоль	+
Glystantin, вода 40%	+
Глицерин	+
Мочевина, водный р-р	+
Топливо жидкое	+
Гептан, Гексан	+
Изооктан	+
Изопропанол	+
Йода раствор, Спирта раствор	+
Калий едкий, водный р-р, 50%	-
Калий едкий, водный р-р, 10%	(+)
Дихромат Калия, водный р-р, 10%	-

	PI
Перманганат Калия, водный р-р 1%	+
Сульфат Меди (II), 10%	+
Льняное масло	+
Метанол	+
Метилэтилкетон	+
Метиленхлорид	+
Молоко	+
Молочная кислота, водный р-р 90%	+
Молочная кислота, водный р-р 10%	+
Бисульфит Натрия, водный р-р, 10%	(+)
Карбонат Натрия, водный р-р 10%	+
Хлорид Натрия, водный р-р, 10%	+
Нитрат Натрия, водный р-р, 10%	+
Тиосульфат Натрия, 10%	+
Едкий Натрий, водный р-р, 5%	(+)
Едкий Натрий, водный р-р, 50%	-
Нитробензол	+
Щавелевая кислота, водный р-р, 10%	+
Озон	(+)
Парафиновое масло	+
Перхлорэтилен	+
Нефть	+
Фенол, водный р-р	+
Фосфорная кислота, концентрированная	(+)
Фосфорная кислота, водный р-р, 10%	(+)
Пропанол	+
Пиридин	-
Салициловая кислота	+
Азотная кислота, водный р-р, 2%	+
Соляная кислота, водный р-р, 2%	+
Соляная кислота, водный р-р, 36%	-
Двуокись серы	+
Серная кислота, концентрированная 98%	-
Серная кислота, водный р-р 2%	+
Сероводород жидкий	
Мыльный раствор, водный р-р	(+)
Силиконовые масла	+
Соды водный р-р, 10%	(+)
Пищевые жиры, Пищевые масла	+
Стирол	+
Смола	+
Четыреххлористый Углерод	+
Тетрагидрофуран	+
Тетралин	+
Толуол	+

+ = устойчив (возможно небольшое изменение массы)

(+) = ограниченная устойчивость (короткий контакт, возможно изменение массы)

- = не устойчив (изменение массы > 5%, снижение механических свойств)

**Растворители.** Органические растворители мало влияют на механическую стабильность и размеры полиимидных деталей. Для очистки поверхностей деталей рекомендуются хлорированные и фторированные растворители, такие как перхлорэтилен, трихлорэтилен. Углеводородные растворители, такие как толуол и керосин, практически не оказывают воздействия на материал. При высоких температурах некоторые растворители, содержащие функциональные группы, такие как м-крезол и нитробензол, могут вызывать набухание PI без существенного снижения его механической прочности.

**Вода.** Все полиимиды не стойки к гидролизу. В горячей воде или при воздействии пара с температурами выше 100°C, могут образовываться трещины в деталях. Прочность при растяжении и относительное удлинение изделий из PI могут снижаться до 30% от первоначальных значений при работе в воде до +100°C в течение 500 ч. В случае последующего просушивания изделий, большинство свойств восстанавливаются, что

свидетельствует об отсутствии изменений в материале на химическом уровне. Изделия из PI возможно использовать в воде до +100°C при условии, что снижение механических свойств допустимо в рассматриваемом применении.

**Масла.** Полиимиды стойки к авиационным, минеральным, силиконовым маслам, гидравлическим жидкостям, в том числе при высоких температурах.

**Кислоты.** Контакт с концентрированными минеральными кислотами приводит к существенному охрупчиванию изделий из полиимида за относительно короткое время. На стойкость материала к кислотам существенно влияет концентрация вещества, температура и время контакта. К примеру, соляная кислота (5%) снижает прочность при растяжении после 1900 ч. при +100°C на 80%, а соляная кислота (38%) после 120 ч. при комнатной температуре приводит к снижению прочности при растяжении до 30%. Как правило, разбавленные растворы кислот и водные растворы неорганических солей, имеющие

щие кислый pH, оказывают примерно такое же воздействие на полиимиды, как и сама вода.

**Щелочи.** Полиимиды чувствительны к воздействию щелочей. Водные основы химически воздействуют PI, вызывая быстрое снижение свойств. Следует избегать всех основных растворов с pH 10 или выше, включая растворы солей. Не рекомендуется использовать едкие чистящие средства. Неводные основы, такие как безводный аммиак (жидкий или пар) и гидразины, легко воздействуют на полиимиды химически (наблюдается сильное растрескивание при воздействии жидкого безводного аммиака, образование пузырей при воздействии паров аммиака). Первичные и вторичные амины могут химически воздействовать на PI.

PI стойки к плесени и гниению. Эксплуатация при атмосферных воздействиях должна быть установлена в отдельном порядке, так как наблюдается незначительное снижение прочности после длительного нахождения на открытом воздухе.

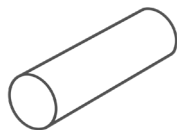


Данные указаны справочно, см. стр. 21

Вернуться в начало

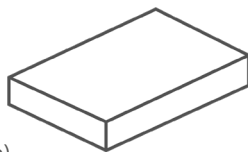
## Программа поставки

D 5-50мм  
L 100-305мм



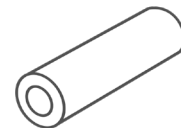
Стержни (пруток)

s 5-50мм  
305x305мм  
420x290мм  
305x152мм



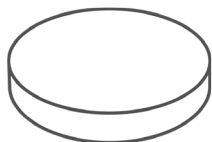
Плита (пластина)

OD по запросу  
ID по запросу  
L 100-305мм



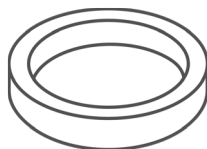
Втулки (трубы)

D по запросу  
L по запросу



Диск

OD по запросу  
ID по запросу  
L по запросу



Кольца

OD по запросу  
ID по запросу  
L по запросу

Трубки

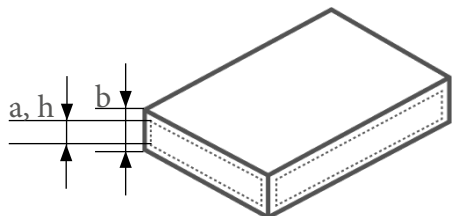
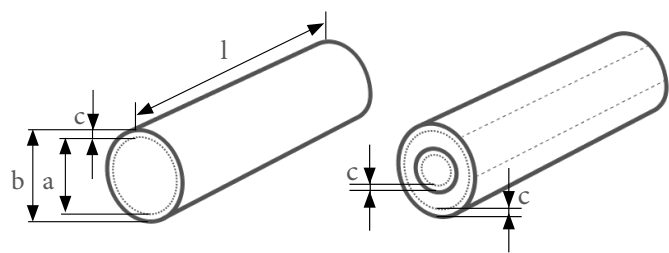
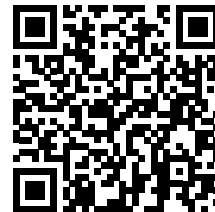


Не нашли необходимый размер или форму?  
Обратитесь к любому сотруднику компании

[Купить on-line](#)

[Вернуться в начало](#)

# Правила приемки



## Визуальный контроль поверхности

a - номинальный размер (указан в документах)

b - размер с допуском

$c=b-a$ , где  $c$  - «производственная кожа», мелкие царапины, яркие цветовые вариации, выемки, раковины, включения и иные недостатки поверхности допускаются только в зоне  $c$ . Пожалуйста, перед изготовлением детали снимите материал с зоны  $c$  до получения качественной поверхности или номинального размера. PI может быть поставлен с обработанной поверхностью - допускаются следы точения, шлифования в пределах до номинального размера.

## Измерение размеров

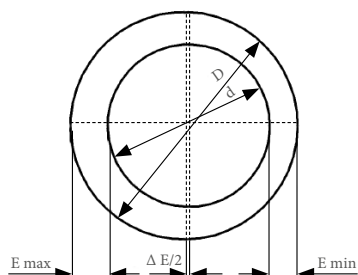
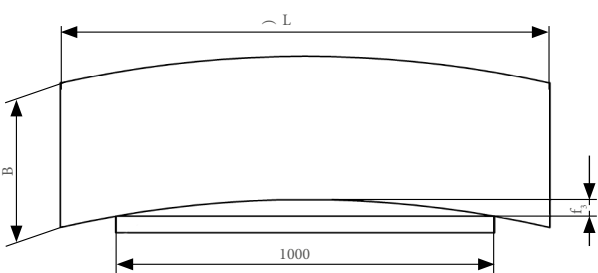
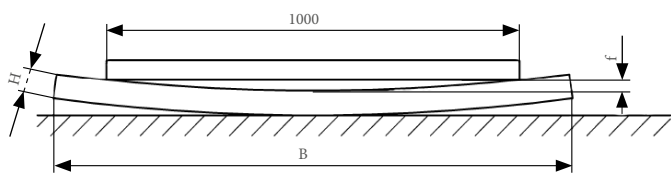
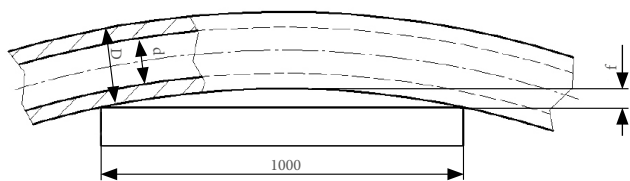
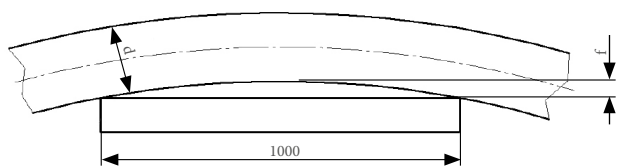
Для измерений используйте штангенциркуль, рулетку, линейку. При измерениях сечения заготовок  $b$  всегда должно быть больше  $a$  (указано в документах).

Допуск по длине и ширине (для листов) заготовки не менее  $0...+25$ мм.

## Прямолинейность

$f$  максимальный в мм на расстоянии 1000мм

Заготовки круглого сечения



## Плоские заготовки

h, мм	Стержни		Втулки
	неармированные	армированные	любые
до 6	6	7	4
6-16	4	5	
16-25	2,5	3,5	
25-50	2		
выше 50	1,5	4	

## Концентричность

Эксцентricность - отклонение между центрами внутреннего и наружного диаметра ( $\Delta E/2$ ) должно быть таковым, чтобы разница в толщине стенки  $\Delta E$  была меньше или равна  $0,8 \times (d_{ном} - d_{макс})$  и меньше или равна  $0,8 \times (D_{мин} - D_{ном})$ .  $\Delta E = \Delta E_{макс} - E_{мин} \leq 0,8 \times (d_{ном} - d_{макс})$  и  $\Delta E = E_{макс} - E_{мин} \leq 0,8 \times (D_{мин} - D_{ном})$ , где:  $E_{макс}$  и  $E_{мин}$  - это соответственно максимальная и минимальная толщина стенки в поперечном сечении;  $d_{ном}$  - это номинальный внутренний диаметр;  $d_{макс}$  - измеренный максимальный внутренний диаметр;  $D_{ном}$  - номинальный наружный диаметр;  $D_{мин}$  - измеренный минимальный наружный диаметр.

## Контроль цвета

Небольшие вариации в оттенках, образованные в результате производственного процесса и зависящие от типа сырья допускаются. Цветовые вариации обусловлены производственными процессами при получении PI и не оказывают влияния на свойства материала.

«Натуральный» означает, что в материал не вводилось каких-либо добавок, красителей с целью придания другого цвета (цвет в результате работы с натуральным сырьем). Натуральный цвет PI зависит от типа используемого сырья и может быть от желтого, рыжего до темно-коричневого. Модификации с добавлением графита имеют черный цвет с антрацитовым блеском.



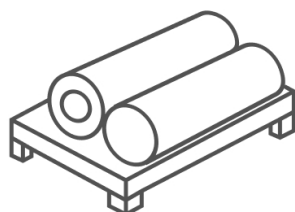
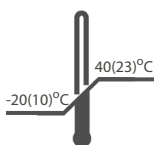
# Хранение и транспортировка полимерных заготовок

## Транспортировка



Не классифицируется как опасный и не нуждается в специальной маркировке. Транспортируется в соответствии с правилами, предусмотренными для данного вида транспорта. При длительном нахождении при отрицательных температурах избегать резких ударов.

## Хранение



Закрытые сухие и чистые помещения.

На паллетах или поддонах в горизонтальном положении на расстоянии не менее, чем 5см от пола. Штабелировать можно если обеспечена защита от деформации в зоне давления.

Вдали от нагревательных приборов и химических и легковоспламеняющихся веществ.

Исключите попадание прямого солнечного света.

В случае длительного хранения при отрицательных температурах перед применением необходимо обеспечить температуру в центре заготовки не менее 18°C (желательно 23°C).

Материал демонстрирует стабильность первоначальных свойств с течением времени в случае хранения в условиях 23°C/50% отн. вл.

Избегайте резких ударов и бросков заготовок.

Заготовки скользкие по сути - исключите риск опрокидывания или падения. Убедитесь в исправности складского оборудования.

Полиимиды способны впитывать влагу, что может оказать влияние на размеры изделий. В случае требований к высокой точности изделий, обеспечьте хранение заготовок или изделий в герметичной упаковке.





# Работа с PI

## Перед обработкой:

- 1 Зафиксируйте номер производственной партии и наименование материала.
- 2 Убедитесь в правильности инструмента:
  - правильный материал инструмента
  - подходящая геометрия
  - правильные углы заточки
  - острый инструмент

**Полиимиды** легко обрабатываются и имеют в своей основе тенденцию к образованию короткой стружки. Полиимид может быть обработан с очень высокой производительностью и высокими темпами подачи. Данные материалы стабильны в размерах, физико-механические характеристики сбалансированы. Возможно получение изделий высокой точности, а также поверхности изделий с минимальной шероховатостью. При правильно подобранных параметрах поверхность материала получается глянцевой, практически зеркальной. Однако, крайне важно обратить внимание на хороший отвод тепла во время обработки так как из-за локального перегрева может возникнуть деформация.

Изготовление изделий из полиимидов возможно как с применением СОЖ, так и без использования охлаждающих жидкостей. Использование СОЖ позволяет достигнуть более гладкой поверхности и увеличивает ресурс эксплуатации инструментов. Кроме этого при использовании охлаждающих жидкостей возможно достичь более высокой скорости резания (примерно на 7%) без изменения качества поверхности. Основным недостатком использования СОЖ - более высокая склонность к образованию заусенцев.

Крайне важно своевременно распознавать и заменить изношенные режущие инструменты, а также соблюдать рекомендуемую скорость резания и подачи.

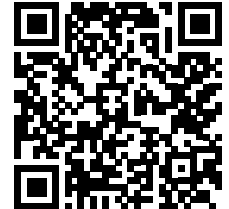
## Марки, содержащие графит

Чтобы избежать загрязнения направляющих рельсов или источников охлаждающей жидкости, материалы с более высоким содержанием графита следует обрабатывать только насухо.

Для марок, содержащих графит важно своевременно удалять стружку.

- 3 Убедитесь в правильной фиксации заготовки:
  - минимум вибрации заготовки
  - не стоит применять чрезмерные силы фиксации

- 4 Подберите соответствующий параметр обработки:
  - скорость резания
  - скорость подачи
  - угол съема стружки
  - шаг съема стружки



## Марки, содержащие PTFE

Материалы, содержащие в своем составе фторопласт (PI PTFE), часто демонстрируют слегка более низкую механическую прочность, чем базовый полимер. Из-за содержания PTFE в материалах следует помнить несколько аспектов во время обработки.

Во время механической обработки уделяйте внимание следующему:

- Материалы, как правило, отстают от инструмента
    - ↳ Имеет место явное увеличение шероховатости поверхности (образование волосистости, спаек).
  - Избегайте повторной нарезки фрезерным станком:
    - ↳ Также приводит к шероховатости поверхности.
  - Возможно, будет необходим дополнительный процесс для финишной доработки деталей, для снятия щипов, заусенцев и доведения поверхности изделия до необходимого качества.
  - Необходимо также частое снятие заусенцев.
- Выберите подходящее натяжение для того, чтобы избежать «съезжания» материала, что может привести к неправильным размерам детали.

**Дисковые пилы** наиболее подходят для раскроя листовых заготовок.

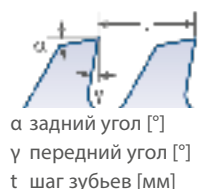
#### Подходящее оборудование

Электрические ручные, погружные дисковые пилы, форматно-раскроечные станки. Рекомендуемая мощность пилы для дисковых пил > 6 кВт.

Пилы должны быть оборудованы аспиратором, особенно это важно при резке материалов с графитовым наполнителем из-за высокого пылеобразования. Охлаждающая жидкость не требуется из-за высокой термостойкости материалов TECASINT

#### Подходящий инструмент

Зубчатые диски с зубьями (напайками) из твердосплавных сталей, из карбида вольфрама с отрицательным углом заточки, с большим разводом зубьев, что обеспечивает хороший отвод стружки и снижает трение между заготовкой и не режущей зоной диска. твердосплавными наконечниками с шагом инструмента 2 зуба на дюйм. Рекомендуемый шаг зубьев 20-24мм (2 зуба на дюйм).



обозначение	скорость вращения, об/мин (V)	шаг зуба, мм (t)	главный передний угол, ° γ	задний угол (угол зазора), ° α	скорость, м/мин (V)	материал зуба	особенности
PI	3000	13-24	0-3	5-10	2000-4000	A, K	

Тип зуба - переменный (чередующийся, например, NM 0350 x 3,2 x 30 Z84 WZ). Для распила армированных марок (к примеру, содержащим стекловолокно, углеволокно, стеклянные шарики) необходимо использовать пилы с алмазным покрытием.

#### Скорость

В общем, рекомендуется 2200-3000 оборотов в минуту (для диска диаметром 450-480мм) что доступно практически на всех дисковых инструментах.

#### Особенности и рекомендации

Максимально избегайте вибраций. Используйте высокую скорость подачи. Не позволяйте инструменту долго находиться в одной зоне распила. В случае резания толстых листов осуществляйте пропил в несколько этапов с каждым шагом погружения ~10-15мм. Применяйте специальные направляющие и фиксаторы, обеспечивающие ровный ход пилы.

В таблице обороты в минуту приведены для диска диаметром 450-480мм. При использовании диска меньшего диаметра произведите перерасчет.

**Ленточные пилы** наиболее подходят для распила стержней и втулок, но могут быть использованы для распила брусков с квадратным или прямоугольным сечением (разумно при отношении толщины к ширине 1:1, 1:2, 1:3 и толщине не менее 30мм, в противном случае высока вероятность вибрации).

#### Подходящее оборудование

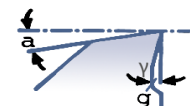
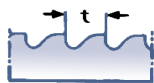
Ленточнопильные станки по дереву и металлу. Рекомендуемая мощность ленточных пил >1кВт. Пилы должны быть оборудованы аспиратором, особенно это важно при резке материалов с графитовым наполнителем из-за высокого пылеобразования. Применение СОЖ не является обязательным из-за высокой термостойкости материала.

#### Подходящий инструмент

Металлические ленты с большим разводом зубьев, что обеспечивает хороший отвод стружки. Рекомендуемый шаг зубьев от 6 до 8мм (3-4 зуба на дюйм).

Рекомендуется использовать пилы с твердосплавными наконечниками.

Крайне важно хорошее натяжение ленты (иначе получится неровный рез).



обозначение	скорость, м/мин (V)	шаг зуба, мм (t)	главный передний угол, ° γ	задний угол (угол зазора), ° α	материал зуба	особенности
PI	50-900	6-8	0-3	5-10	HW, A, K	

Материал зуба  
HSS - инструментальная сталь  
HW - твердосплавный инструмент  
A - инструмент с алмазным покрытием  
K - керамический инструмент

#### Скорость

Если есть возможность, то используйте скорость резания 800-900 метров в минуту (скорость ленточной пилы).

Если у Вас нет возможности использования высокоскоростных пил, скорость ленточной пилы может быть 50 метров в минуту и выше.

Могут быть использованы пилы и с меньшей, чем 50 метров в минуту скоростью резания, однако это создает риск привнесения напряжения, перегрева заготовки, образования плохого качества реза.

#### Особенности и рекомендации

Хорошо зафиксируйте заготовку. Если заготовка имеет большую длину, используйте дополнительные поддерживающие устройства. Исключите падение незафиксированной части заготовки после распила.

#### Охлаждение

Не является обязательным при правильной скорости и подаче инструмента, при использовании правильного и острого инструмента.

**Маркировка лазером** подходит. Долговечная, водостойкая, стойкая к химическим веществам и к свету. Подверженность маркировке зависит от лазера и параметров. В большинстве случаев используются лазеры NdYAG (образование контраста) или CO<sub>2</sub> лазеры (гравировка, отсутствие контраста).

**Материалы, подходящие для лазерной маркировки (основано на опыте Ensinger GmbH на базе NdYAG-лазера).**

Обозначение	Маркировка
PI	●
● очень хорошая	
● хорошая	
● не маркируется	

### Строгание / фрезерование плоскости

Строгание, фрезерование плоскости применяется для получения более тонких листов и листов с точными размерами, для изготовления определенных видов сечений, получения одинаковых поверхностей, пазов или профилей (с помощью профильного фрезерования).

Фрезерование поверхности/строгание на роторном шлифовальном станке рекомендуется производить инструментом с твердосплавными наконечниками диаметром 10мм с 4-мя режущими кромками., V - 100 м/мин., f-0,02-0,08мм/зуб.

### Подходящее оборудование

Подходит оборудование для обработки дерева и металла.

### Особенности и рекомендации

Обе процедуры отличаются лишь тем, что при строгании по прямой линии удаление материала с поверхности заготовки осуществляется с использованием режущего инструмента строгальных машин. В случае же фрезерования плоскости, поверхность обрабатывается с помощью фрезерной головки.

Оба процесса хорошо подходят для производства гладких поверхностей и/или выравнивания полимерных заготовок. Основное различие заключается в том, что поверхности имеют различный внешний вид (структура поверхности, глянец).

Избегайте перегрева поверхности, это может привести к деформации, короблению детали.

### Шлифование, полирование

Для шлифования используются шлифовальные круги и ленты с крупным зерном (зернистость 60). При использовании мелкозернистых лент или кругов возможно «размытие», «размазывание» пластика по поверхности заготовки. Особенно этот эффект проявляется на полимерах с маленьким модулем (содержащие PTFE).

Выбор абразивного материала зависит от глубины следов, оставленных инструментом или имеющимися дефектами на поверхности (к примеру, царапинами), а также требований, предъявляемых к поверхности. Как правило, шлифование осуществляется в несколько этапов. На каждом этапе применяется абразивный инструмент с меньшим размером зерна.

В любом случае перед каждым этапом поверхность должна быть очищена.

Для исключения перегрева заготовок рекомендуется «влажное» шлифование.

На результат шлифования оказывает влияние:

- тип шлифовальной установки
- используемый инструмент
- абразивное средство
- рабочие параметры процесса шлифования
- обрабатываемый материал
- округлость/прямолинейность заготовок

Удаление материала за один проход шлифования не должно превышать 0,1 мм, а поперечная подача за один ход не должна превышать 1/5 ширины шлифовального круга. Во время шлифования необходимо обеспечить достаточный отвод тепла, чтобы избежать деформации деталей. При шлифовании тонких деталей следует использовать вакуумное захватное устройство. При правильном подходе возможно достичь шероховатости поверхности Ra0,4/Rz1,6. V = 8-12 м/мин грубого шлифования и V = 4-6 м/мин тонкого шлифования.

Обработка пластиков алмазными инструментами с правильно подобранными параметрами, как правило, не требует последующей отдельной полировки.

Высокого качества поверхности, глянца можно получить путем обработки деталей в галтовочном барабане.

**Точение** полимерных заготовок на сегодняшний день является самым популярным методом изготовления инженерных деталей. Пластики отлично поддаются токарной обработке, а качество поверхности зависит от инструмента и параметров обработки.

### Подходящее оборудование

Обычные токарные станки для обработки металла, токарные станки с числовым программным управлением (CNC, ЧПУ). Токарные станки карусельного типа используются в основном для изготовления деталей из втулок (колец) диаметром более 500мм.

### Подходящий инструмент

Рекомендуется использовать инструменты из твердосплавных сталей для неармированных полимеров и алмазные (PCD) или керамические инструменты для армированных (CF, GF, TF, PVX) пластиков. Используйте инструменты с маленьким радиусом режущей кромки - радиус по меньшей мере 0,2-0,4мм.

В случае отсутствия специальных инструментов для обработки пластиков могут быть использованы инструменты как для обработки алюминия.

Используйте только острозаточенные инструменты с подходящей геометрией.

Для обеспечения высокого качества поверхности, для финальной доводки используйте инструмент с широкой режущей кромкой.

Для отрезания используйте резец специальной формы. Инструменты для отрезания и точения канавок должны быть заточены под углом 30° к той детали, которая должна быть отрезана. Таким образом, можно избежать образования заусенцев и тенденции к их отламыванию при резке.

### Скорость

Вращение шпинделя должно быть, как можно выше. Скорость подачи должна быть средней, а глубина снимаемого слоя минимальной. В этом случае достигается наилучший результат обработки. Выбор подходящей скорости вращения шпинделя зависит от материала.

При отрезании и изготовлении канавок можно избежать поломки детали за счет «сухой» обработки и последующего снижения давления резания. Рекомендуемые параметры при отрезании и изготовлении канавок:  $V = 100$  м/мин.,  $f = 0,05 - 0,15$  мм/об.

### Охлаждение

Охлаждение сжатым воздухом является наиболее предпочтительным.

В случае необходимости использовать СОЖ, пожалуйста, уточните подходящий пластику состав жидкости у вашего поставщика СОЖ.

При обработке с применением СОЖ давление резания на деталь будет выше. Это может привести к увеличению образования заусенцев, но срок службы режущего инструмента будет существенно увеличен.

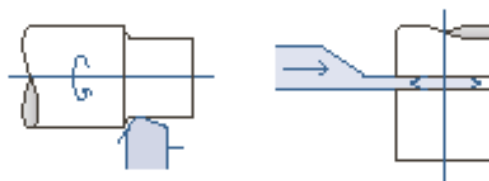
### Особенности и рекомендации

Максимально избегайте вибраций.

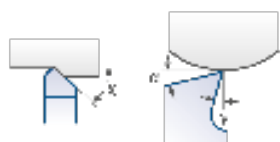
При соблюдении всех основных производственных рекомендаций при точении можно получить очень чистые детали с высоким качеством поверхности с  $Ra \geq 1,6$ . Пластики плохо проводят тепло, поэтому при обработке образуется нагретый пограничный слой между инструментом и заготовкой. Если выбрать правильную скорость обработки, подходящий инструмент и глубину резания, то этот «перегретый» слой удаляется быстро и обеспечивает хороший отвод тепла «через стружку». Определить правильность выбранных параметров легко по типу стружки. При правильном выборе параметров резания обрабатываемая деталь имеет гладкую поверхность с незначительными следами резания или следы отсутствуют.

Геометрия инструмента, скорость вращения шпинделя и скорость подачи должны соответствовать обрабатываемому материалу.

Финишная или тонкая обработка, если требуется, может быть достигнута при высокой скорости резания, низкой скорости подачи и при минимальной глубине резания.



### Точение



$\alpha$  задний угол [°]

$\gamma$  передний (главный) угол [°]

$\chi$  вспомогательный угол [°]

$V$  скорость резания (м/мин)

$S$  подача (мм/об)

обозначение	задний угол, °, $\alpha$	главный передний угол, °, $\gamma$	вспомогательный угол (угол режущей кромки), °, $\chi$	скорость резания, м/мин ( $V$ )	скорость подачи, мм/оборот ( $S$ )	инструмент	особенности
PI	2-5	0-5	7-10	100-120	0,05-0,08	A, K	

Радиус закругления режущей кромки ( $r$ ) должен быть не менее 0,2-0,4мм.

Материал зуба

HW - твердосплавный инструмент

A - инструмент с алмазным покрытием

K - керамический инструмент



**Фрезерование**, наряду с токарной обработкой, является популярным методом изготовления деталей из пластмасс.

### Подходящее оборудование

Подходит оборудование от обычных ручных фрез до вертикальных или горизонтальных универсальных фрезерных станков с ЧПУ, пяти осевых обрабатывающих центров или иного оборудования с достаточным пространством для отвода стружки, с системами удаления стружки во время обработки.

### Подходящий инструмент

Если индивидуальные инструменты для пластика недоступны, то лучшим решением для всех методов обработки является использование инструментов с твердосплавными наконечниками той же геометрии, что и при обработке алюминия.

Подходят пазовые (концевые), торцовые, цилиндрические, летучие фрезы. Для обеспечения высокой производительности и хорошего качества резки рекомендуется использовать инструменты с одной или двумя режущими кромками. Такие фрезы обеспечивают хорошее удаление стружки, образуют меньше вибраций, - лучшее качество поверхности.

Для обработки неармированных пластиков подходят фрезы из твердых сплавов и карбида вольфрама с той же геометрией, что и при обработке алюминия. Индивидуальное шлифование режущих инструментов может дать еще лучшие результаты. Для армированных пластиков рекомендуется использовать керамические инструменты и инструменты с алмазным покрытием.

В любом случае инструмент должен быть хорошо заточен, отполирован.

### Скорость

Скорость резания должна быть высокой в сочетании со средней скоростью подачи. Быстрые операции и высокая скорость вращения шпинделя в сочетании с правильной фиксацией способны обеспечить высокое качество детали. Минимизируйте трение между инструментом и заготовкой настолько, насколько это возможно.

### Фрезерование



$\alpha$  задний угол [°]

$\gamma$  передний угол [°]

$V$  скорость резания (м/мин)

$S$  подача (мм/об)

### Охлаждение

Возможна как сухая обработка, так и обработка с применением СОЖ. Охлаждение сжатым воздухом является наиболее предпочтительным. В случае необходимости использовать СОЖ, пожалуйста, уточните подходящий пластику состав жидкости у вашего поставщика СОЖ.

При обработке с применением СОЖ давление резания на деталь будет выше, что может привести к увеличению образования заусенцев, но срок службы режущего инструмента будет увеличен.

### Особенности и рекомендации

Избегайте одностороннего перегрева материала. Рекомендуется поэтапная обработка (чередование) с обеих сторон.

Важно обеспечить хорошую фиксацию заготовки. Для фиксации тонких заготовок используйте вакуум или двухсторонний скотч.

Поверхность заготовки («слои со следами производственных процессов») предварительно должна быть фрезерована, дабы исключить риски деформации.

Лучше использовать инструменты с двумя резами, что приведет к лучшему качеству поверхности. Предпочтительнее использование небольших спиральных инструментов, которые обеспечивают хороший отвод тепла, приводят к получению хорошей поверхности и снижают эффект расслоения.

Параметры обработки сильно зависят от требуемых допусков, геометрии детали, используемого инструмента и особенно геометрии режущей кромки, поэтому индивидуально подобранные параметры обработки могут быть отличными от указанных.

Торцевое фрезерование

Инструмент с 4-10 режущими кромками и радиусом закругления концов 0,4-0,8мм или поверхностью не более 1мм. Из-за опасности потери формы поверхность сначала необходимо отшлифовать. Максимальная глубина разреза не должна превышать 2 мм. Инструмент не должен выходить за острый край. По этой причине края должны быть предварительно отшлифованы с превышением размера на 0,2 мм. Эту процедуру необходимо повторять на каждом этапе фрезерования  $V = 90 - 100$  м/мин.,  $f = 0,04 - 0,08$  мм/зуб.

Фрезерование шпоночных канавок

Обязательно используйте СОЖ.  $V = 100$  м/мин.,  $f 0,02 - 0,05$  мм/зуб.

обозначение	число зубьев	угол зазора (задний угол), $\alpha$ , °	главный (задний угол), передний угол, $\gamma$ , °	скорость резания, $V$ , м/мин	скорость подачи, мм/оборот ( $S$ )	особенности
PI	Z1 – Z2	2-5	0-5	90-100	0,02-0,08	



### **Сверление и изготовление отверстий**

Пластики плохо проводят тепло, поэтому важно обеспечить хороший отвод тепла. Это поможет выдержать требуемый размер и исключить образование разломов, оплавления.

### **Подходящее оборудование**

Подходит как ручной инструмент, так и токарный, фрезерный станки. По возможности старайтесь избегать использования ручной подачи.

### **Подходящий инструмент**

Для сверления рекомендуется использовать сверла с твердосплавными наконечниками, за исключением отверстий диаметром менее 1,5 мм. Их всегда следует выполнять сверлами HSS. Сверла должны быть заточены под углом 120°.

В случае отсутствия твердосплавных сверл (HM), могут быть использованы хорошо заточенные сверла из быстрорежущей стали (HSS). Борозды на инструменте должны быть очень гладкими. Используйте сверла с узким хвостовиком. Они обеспечивают снижение трения и накопления тепла. Сверление отверстий с помощью спиральных сверл из быстрорежущей стали (HSS) производится в соответствии с DIN ISO-336.

### **Скорость**

Выбирайте высокую скорость сверления для снижения образования тепла в зоне резания и заклинивания инструмента.

HM сверла:  $V - 100$  м/мин.,  $f 0,02 - 0,1$  мм/об.

HSS сверла:  $V - 15-40$  м/мин,  $f 0,02 - 0,1$  мм/об.

### **Охлаждение**

Рекомендуется использование СОЖ. Обеспечьте своевременное удаление стружки. Часто извлекайте сверло. Это обеспечивает своевременное удаление стружки и охлаждение сверла. При сверлении глубоких, больших отверстий, большого числа отверстий использование СОЖ обязательно.

### **Особенности и рекомендации**

Наибольшее количество тепла образовывается внутри заготовки. При изготовлении небольших и неглубоких отверстий обычно сложностей не возникает. Если глубина сверления в два раза и более превышает диаметр отверстия, тепло не успевает рассеяться и материал перегревается и расширяется в зоне сверления (результат - заклинивание инструмента, деформация, трещины, ненормированные допуски).

Не прикладывайте слишком высокое давление при сверлении.

Когда сверление запрограммировано, в принципе, каждое сверление должно быть отцентрировано. При сверлении отверстий диаметром менее 1 мм удаление стружки следует планировать каждые 0,5 мм.

При изготовлении отверстий диаметром более 25мм необходимо предварительно вырезать черновое отверстие меньшего диаметра резакон и только после просверлить сверлом подходящего диаметра, а лучше фрезеровать отверстие, так как при этом создается меньшее давление и ниже образование тепла.

Сверление длинных участков стержней начинайте только с одной стороны, так как сверление с двух сторон может вызывать нежелательные напряжения и привести к разрыву заготовки.

При изготовлении сквозных отверстий часто возникают прорывы со стороны выхода инструмента. Их можно избежать путем встречного погружения или финишного фрезерования со стороны выхода.

Параметры существенно зависят от геометрии детали, используемого инструмента и т.п., поэтому индивидуально подобранные параметры могут быть отличными от указанных и демонстрировать отличный результат.

### **Нарезание резьбы**

Резьба лучше всего производится с использованием инструментов для нарезания резьбы гребенкой или резьбонарезными фрезами, могут быть использованы и метчики, однако образование тепла здесь выше.

Слишком высокое давление резания все чаще приводит к разрыву резьбы по краям.

$V - 100$  м/мин.,  $f$  - градиент.

### **Подходящий инструмент**

Резьбу лучше всего наносить резьбовой гребенкой.

Двузубчатый инструмент позволяет избежать образования заусенцев.

Не рекомендуется использовать нарезные шайбы (плашки), так как при удалении шайбы происходит повторная нарезка

### **Охлаждение**

По возможности используйте охлаждающие вещества. СОЖ должна соответствовать типу обрабатываемого пластика.

### **Особенности и рекомендации**

По возможности избегайте использования острого края резьбы. Это снизит концентрацию напряжений.

Лучше фрезеровать резьбу, чем сверлить ее.

При нарезании резьбы на станке следует избегать установки резьбонарезного инструмента под углом 90° и одновременной обработки обеих боковых сторон резьбы. Инструменты должны быть установлены под углом 30°, и резьба должна быть обработана с чередующимся фланцевым резанием. Слишком высокое давление резания часто приводит к разрыву резьбы на боковых сторонах.

Для неармированных марок предпочтительно использовать глубину за проход 0,03-0,08 мм (в зависимости от диаметра инструмента),  $V \sim 90-200$  м/мин.

Индивидуальные параметры могут быть отличными, так как в большей степени все зависит от используемого инструмента.

Отверстия для резьбы в пластике должны быть немного больше, чем отверстия для резьбы в металле (как правило на 0,1-0,2мм больше, что зависит от диаметра резьбы и обрабатываемого материала). Для полимерных материалов с CLTE близким металлам данное правило может не применяться.

При монтажных, сборочных работах избегайте чрезмерной натяжки крепежа.

# Обращение с полимерами

## Термообработка

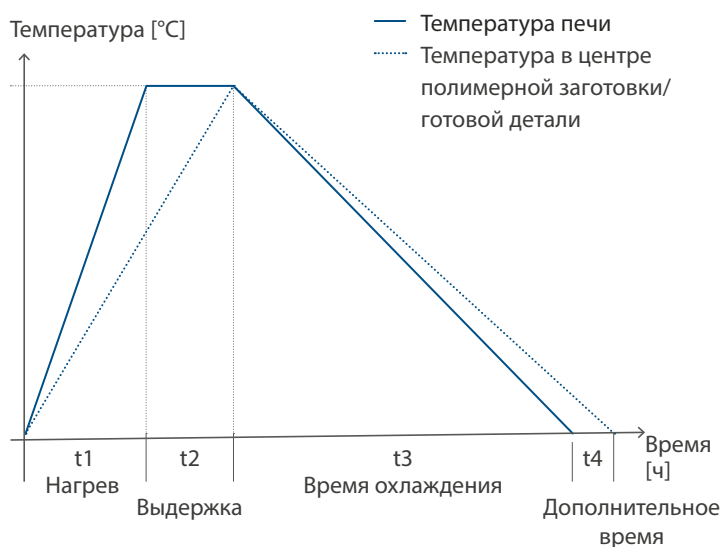
Для снижения внутренних напряжений, которые возникают в процессе производства, производитель всегда подвергает полимерные заготовки термообработке сразу после их изготовления. Термообработка (отжиг) производится в специальном конвекционном шкафу с рециркуляцией воздуха.

Дополнительная термообработка может понадобиться перед механической обработкой или между стадиями изготовления деталей:

- с критичной геометрией
- с большим количеством обработки
- к которым предъявляются высокие требования к точности
- в случае обработки чувствительных к образованию напряжений материалов.

При термообработке материал медленно нагревается до определенного уровня. Затем материал следует выдержать в течение определенного периода при заданной температуре для того, чтобы тщательно прогреть до самого центра заготовки. Длительность периода выдержки зависит от типа материала и его размеров. Впоследствии материал медленно и равномерно охлаждается до комнатной температуры.

### Типовой процесс термообработки (отжига)



### Рекомендованные параметры термообработки

Материал	Этапы нагрева	Фаза выдержки*	Фаза охлаждения
PI	2 ч до 160 °C 6 ч до 280 °C	2 ч при 160 °C и 10 ч при 280 °C	20 °C/ч до 40 °C



Больше данных в специальной брошюре «Работа с техническими пластиками»

- Качество поверхности, доработка и снятие заусенцев
- Охлаждение и охлаждающие жидкости
- Точность, калибровка изделий и заготовок, выборка
- Морфологические изменения и последующая усадка
- Стабильность размеров
- 3D печать
- Методы производства термопластов и их влияние на свойства
- Частые ошибки и их предупреждение
- Выбор подходящего процесса. Общие рекомендации для всех полимеров

## Предварительная термообработка

Термообработка приводит к снижению внутренних напряжений и дает следующие преимущества:

- Остаточные напряжения, которые возникли во время производства или обработки, могут быть в значительной степени уменьшены или полностью исключены.
- Увеличение кристалличности приводит к оптимизации механических свойств.
- Формирование однородной кристаллической структуры.
- Снижение тенденции к деформации и изменению размеров (во время и после обработки).
- Улучшение стабильности размеров.
- В некоторых случаях возможно улучшение химстойкости.

## Межстадийный (промежуточный) отжиг

Также может быть разумным подвергать черновые детали промежуточному отжигу. В особенности это относится:

- Если требуются узкие допуски.
- Если геометрия детали подразумевает сильную тенденцию к деформации (асимметричные детали, узкое поперечное сечение, тонкие стенки, карманы, желобки).
- В случае с армированными волокнами материалами, так как ориентация волокон может увеличить тенденцию к деформации, а механическая обработка может привести к дальнейшему напряжению в детали.
- Использование тупого или неподходящего инструмента является частой причиной образования напряжений.
- Чрезмерный ввод тепла в компонент в результате неадекватных скоростей и темпа подачи.
- Большой объем удаляемого с заготовки материала, особенно в случае односторонней обработки.

Промежуточный отжиг может помочь снизить уровень внутренних напряжений и свести до минимума риск деформации. Для соблюдения требуемых размеров следует перед этапом промежуточного отжига изготовить черновую деталь, оставив припуск, так как отжиг может привести к определенной степени усадки.

**Очистка** в соответствии с DIN 8592 является химическим процессом, используемым в производстве для удаления следов и остатков обработки.

#### **Четыре группы факторов имеют отношение к процессу очистки**

- Химический (тип очистки, химическое средство, концентрация)
- Механический (ультразвук, воздействие струи, распыление, соскабливание, регулировка геометрии)
- Температурный (температура очистки, промывки, сушки)
- Время (очистки, промывки, сушки)

#### **На процесс очистки оказывают влияние**

- Загрязнение (пленки, частицы, покрытие, микроорганизмы)
- Геометрия детали (массивный материал, отдельная часть, зачерпывающая и функциональная поверхность)
- Материал из которого изготовлена деталь (пластик)
- Требования (грубая очистка, стандартная очистка, тщательная очистка, высокие требования к чистоте)

#### **Окрашивание**

PI хорошо окрашивается, лакируется, на него может быть нанесена печать. В этом случае задается достаточное поверхностное натяжение, чтобы цвет закрепился на поверхности. В случаях, когда предполагается дальнейшая обработка детали химическими веществами, окрашенная часть может быть повреждена. В таких случаях решением может быть лазерная маркировка готовых деталей.

#### **Покрытие лаком**

Подверженность материалов лакированию зависит от состава вещества, которое необходимо нанести и должна быть установлена в индивидуальном порядке. Может потребоваться предварительная обработка поверхности.

#### **Окрашенные в структуре**

Стоит обратить внимание, что все технические пластики заведомо не предусмотрены для применения в дизайне и не имеют маркировки по RAL или иным системам кодирования цвета. Цвет пластика от партии к партии может отличаться. При неправильной обработке пластика или несоответствующих условиях хранения, обращения с полимерами возможно изменение цвета (обугливание, выгорание, обесцвечивание и т.п.).

#### **Применимые методы очистки пластиков**

##### **Влажная химическая очистка**

- Хорошо подходит для деталей со сложной геометрией
- Подходит для большинства пластиков
- Отсутствует абразивное воздействие на детали

##### **Механические процессы**

- В первую очередь подходят для грубой очистки пластмасс (чистка, вытирание, ...)

##### **CO<sub>2</sub> снег - очистка сухим льдом**

- Очень удобен, так как очищаемый материал практически не подвергается негативным воздействиям
- Процесс очистки является сухим, не имеет абразивного воздействия и не приводит к передаче тепла компоненту, детали
- Идеально подходит как для мягких материалов, так и для материалов с высоким поглощением влаги

##### **Очистка плазмой**

- Подходит для деталей с очень сложной геометрией
- Одновременно оказывает активирующее воздействие на поверхность пластика (удобно в случае дальнейшего склеивания)
- Отсутствует абразивное воздействие на поверхность
- Отсутствует влага в системе очистки

#### **Коробление из-за односторонней обработки**

1. темно синий - удаляемый материал



2. искривление после удаления материала с одной стороны



### **Точность, калибровка изделий и заготовок, выборка**

Для деталей (ГОСТ 7713-62) номинальным размером называется основной размер, определенный исходя из функционального назначения детали и служащий началом отсчета отклонений.

Допуски. Ряды точности в ЕСДП (единая система допусков и посадок) называются квалитетами, а в системе ОСТ - классами точности. По своей сути данные наименования являются синонимами. Квалитет (или степень точности, класс точности) - совокупность допусков, соответствующих одному уровню точности для всех номинальных размеров.

Классы точности определены в ГОСТ 11472-69. Существует десять классов точности, 1 - высший класс и далее до 10 по убыванию.

Квалитеты определены в ГОСТ 25346-89. С увеличением квалитета точность изделия снижается (допуски становятся выше).

Поля допусков, допуски и посадки деталей из пластмасс обозначены в ГОСТ 11710-66., ГОСТ 25349-88.

Шероховатость - совокупность неровностей поверхности. Обозначение шероховатости указаны в ГОСТ 2789-73. Наиболее популярным при работе с полимерами являются Ra - среднеарифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины, Rz - наибольшая высота профиля (сумма высоты наибольшего выступа профиля Rp и глубины наибольшей впадины профиля Rv в пределах базовой длины согласно стандарта).

Для заготовок. Все полимерные заготовки имеют нормированный размер с допусками на механическую обработку, позволяющими получить чистовой размер заготовки не меньше номинального (указанного в документах).

### **Морфологические изменения и последующая усадка**

Термическое воздействие всегда имеет прямое влияние на полимерные материалы и их обработку. Термическое воздействие возникает в результате отжига, механической обработки (тепло от трения) и использовании (температура эксплуатации, стерилизация горячим паром и пр.). ПИ относится к неплавким полимерам и поэтому влияние тепла минимально, но, в любом случае, должно быть снижено или исключено.

→ Термообработка (отжиг) приводит к сбалансированию свойств пластика:

- ↳ Увеличение кристалличности
- ↳ Оптимизация механических показателей
- ↳ Улучшение стабильности размеров
- ↳ Улучшение химической стойкости

→ Механическая обработка может привести к локальному перегреву из-за температуры, образуемой в результате трения:

- ↳ Микроструктурные изменения
- ↳ Неправильная обработка может привести к значительной деформации и/или к короблению обрабатываемой заготовки и/или готовой детали.

### **Стабильность размеров**

Существует множество различных причин, которые могут повлиять на стабильность размеров детали.

*Поглощение влаги:*

→ ПИ способен впитывать влагу, что может привести к изменению размеров. В случае требований к высокой точности изделия убедитесь, что деталь полностью просушена перед финишным измерением

размеров. Заблаговременно изготавливайте детали с достаточным припуском перед чистовой обработкой. Храните детали в герметичной упаковке.

### *Снижение уровня напряженности*

→ Как правило, изделия из ПИ имеют крайне низкий уровень напряжений из-за методологии изготовления. Внутреннее или «застывшее» напряжение проявляется лишь частично или незначительно, влияет на стабильность размеров готовой детали во время обработки при комнатной температуре:

↳ Стабильная в размерах готовая деталь.

→ Во время хранения или эксплуатации это «застывшее» напряжение может себя проявить:

↳ Изменение размеров.

→ Особенно важно. Дальнейшее использование деталей при более высоких температурах:

↳ Напряжение может внезапно уменьшаться.

↳ Изменение формы, деформация или в худшем случае образование трещин от напряжения во время эксплуатации детали.

### *Выделение тепла*

→ Важными являются все процессы, при которых в материал привносится тепло:

↳ Пример: Отжиг, механическая обработка, использование при высоких температурах.

→ Температуры выше значений температуры стеклования приводят к микроструктурным изменениям, и отсюда образуется постусадка после остывания:

↳ Полиимиды имеют незначительную усадку и маловероятно образование деформации, однако может проявиться в деталях с большим количеством обработки, в деталях асимметричной формы.

→ Во многих случаях следует принимать во внимание более высокое тепловое расширение (по сравнению с металлами).

### *Обработка*

→ Убедитесь в хорошем рассеивании тепла для того, чтобы избежать локального повышения температуры.

→ В случае с высоким объемом обработки материала, возможно будет разумным использовать этап предварительного или межстадийного отжига.

→ В случае изготовления асимметричных изделий может быть разумным двусторонняя поэтапная обработка заготовки заведомо большей толщины.

↳ Снижение риска перегрева заготовки с одной стороны и, как следствие, снижение риска искривления детали.

→ Пластики требуют больших производственных допусков, чем металлы.

→ Для минимизации риска искривления избегайте высокой растягивающей силы.

→ Во время обработки следует выбирать техническую процедуру, оптимальную для производства данной детали.

→ Особенно важно. Дальнейшее использование деталей при более высоких температурах:

↳ Напряжение может внезапно уменьшаться.

↳ Изменение формы, деформация или в худшем случае образование трещин от напряжения во время эксплуатации детали.



# Склеивание

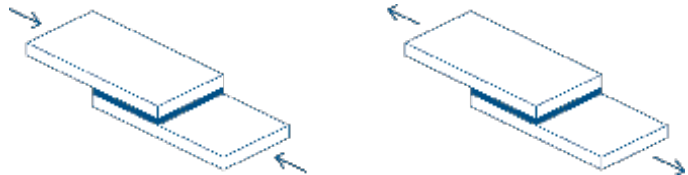
Склеивание - очень эффективный метод соединения, который позволяет соединять пластмассы между собой и с другими материалами. Химическое соединение (склеивание) компонентов представляет ряд преимуществ по сравнению с другими методами соединения:

- Равномерное распределение напряжения
- Нет повреждающих воздействий на материал
- Нет деформации соединенных деталей
- Могут быть соединены различные комбинации материалов
- Отдельные участки соединения склеиваются одновременно
- Требуется меньшее количество компонентов

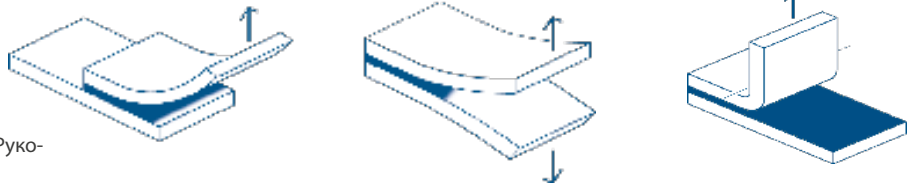
Решающие факторы для хорошего клеевого соединения:

- Характеристики материала
- Адгезивность
- Адгезивный слой
- Поверхность (предварительная подготовка)
- Геометрическая форма склеиваемого соединения
- Условия дальнейшего применения и воздействующие нагрузки

Во время склеивания пластиков следует избегать растягивающих нагрузок. Сжатие, растяжение и поперечная нагрузка должны воздействовать на область клеевого шва.



Избегайте изгиба, отслаивания или простых растягивающих напряжений



Источник данных: Source: DELO Industrieklebstoffe  
Информация взята из каталога Ensinger «Руководство»

Чтобы увеличить прочность склеиваемого соединения, необходимо правильно подготовить контактные зоны склеивания соединяемых пластиков для повышения активности поверхности.

- Очистка и обезжиривание поверхности материала
- Увеличение шероховатости поверхности путем шлифования или пескоструйной обработкой (рекомендуется)

При склеивании пластиков следует избегать пиков напряжения. Сжатие, растяжение или поперечная нагрузка предпочтительнее должна воздействовать на область связи клеевого шва. Избегайте изгиба, отслаивания или простых растягивающих напряжений.

В случае необходимости, дизайн должен быть адаптирован таким образом, чтобы место склеивания можно было сконфигурировать для допустимого уровня напряжения.

## Склеивание PI

Выбор клеевого состава для полиимидов зависит от условий эксплуатации изделия, температуры применения детали. Для достижения высокой прочности клеевого соединения необходимо обеспечить высокую чистоту соединяемых поверхностей и строго следовать рекомендациям производителя клея.

Соединяемые поверхности должны быть хорошо сопряжены.

Как правило, подходят клеевые составы на эпоксидной, фенольной или полиимидной основе.

Подготовка поверхности имеет решающее значение. Химическое травление не рекомендуется. Рекомендуется механическая подготовка поверхности, шлифовка. Предварительно поверхности должны быть очищены от грязи подходящим растворителем.

Во всем остальном следует строго следовать инструкции производителя клея. Обратите внимание на то, что температура клеевого состава не должна превышать температуры, допустимые для полиимидов (к примеру, при химической реакции многокомпонентных составов).

На полиимиды возможно нанесение различных покрытий. Так же изделия из полиимидов могут служить основой для нанесения других, менее термостойких полимеров (к примеру, при литье под давлением).

### Общие рекомендации по склеиванию

Материал	Растворяющие адгезивы	Реакция на клеевые составы, основанные на:		
		Эпоксидной смоле	Полиуретане	Цианоакрилате
PI		●	●	●

● подходящая основа клея



# Безопасность

## **Меры по борьбе с пожаром**

Подходящие средства пожаротушения - тонкораспыленная вода, устойчивая к алкоголю пена, углекислый газ, сухая химическая пена. Неподходящие средства пожаротушения - струя воды.

## **Выделение опасных веществ**

С карбонизацией и неполным сгоранием выделяются токсичные газы, преимущественно углекислый газ и окись углерода. Развитие будущих продуктов деления и окисления зависит от состояния горения. При определенных условиях горения могут образовываться следы других токсичных веществ. Возможно выделение диоксида серы и других оксидов серы, плавиковой кислоты. Для марок с обозначением PVX, TF (содержат PTFE) возможно высвобождение плавиковой кислоты, тетрафторэтилена, гексафторпропилена, перфторизобутилена карбонильного дифторида и других низкомолекулярных фторуглеродов.

## **Советы при пожаротушении**

При воздействии паров и углекислых газов во время противопожарных мероприятий, при аварийно-спасательных работах и при очистке использовать автономный дыхательный аппарат. Продукт не воспламеняется или крайне трудно воспламеняется (зависит от состава) при воздействии пламени и перестает гореть при удалении источника пламени. В случае расплавления полимера под воздействием пламени необходимо охладить полимер при помощи воды. Вода, используемая для тушения пожара, и остатки продуктов должны быть собраны и утилизированы согласно местным правилам.

## **Меры по оказанию первой помощи**

Указание на необходимость немедленной медицинской помощи и специального лечения - никаких специальных мер не требуется. При попадании на кожу в обычном виде - никаких специальных мер не требуется.

## **При попадании в дыхательные пути**

В случае случайного вдыхания паров или продуктов термического разложения удалить человека из опасной зоны и сделать искусственное дыхание если это необходимо, используйте средства индивидуальной защиты. Сохраняйте спокойствие, поместите пострадавшего в тепло и обратитесь за медицинской помощью.

## **В случае контакта с расплавленным полимером**

Сразу же охладите часть тела (выдержите длительное время в холодной воде). Снимите одежду с пострадавшей части тела. Не удаляйте продукты полимера с кожи. Оберните ожоги стерильными перевязочными материалами. Обратитесь за медицинской помощью.

## **При попадании в глаза**

Если инородное тело (осколок, чип) попал в глаза, не в коем случае не трите их. Имобилизируйте глаз (глаза), используйте повязку на обо глаза, обратитесь за помощью к профильному специалисту.

## **В случае раздражения кожи**

(для материалов с обозначением GF, CF, PVX), тщательно промойте кожу холодной водой. Не используйте теплую воду, так как она хорошо открывает поры кожи, позволяя волокнам проникать глубже. Не трите и не царапайте эти участки кожи. Снимите загрязненную одежду. В случае стойкого раздражения кожи обратиться за медицинской помощью.

## **Индивидуальные меры предосторожности, СИЗ, оказание срочной помощи**

Никаких специальных мер не требуется. Предосторожности по защите окружающей среды - никаких специальных мер не требуется.

## **Методы очистки**

Механическая очистка. Избегайте сухой очистки (подметания). Используйте подходящие всасывающие приборы для очистки, чтобы избежать пылеобразования.

## **Острая токсичность**

Не существует каких-либо опасностей для здоровья человека при соблюдении правил хранения, обращения и обработки.

Для материалов с обозначением GF, CF, PVX - волокна и пыль, выделяющиеся при механической обработке, могут вызвать раздражение глаз и кожи. Симптомы исчезнут после окончания контакта. Вдыхание пыли волокна может вызвать кашель, чиханье, раздражение носовой полости, горла. Большое воздействие волокна может вызвать затрудненное дыхание, стеснение в грудной клетке, сухость слизистых оболочек.

Для марок, содержащих PTFE в случае вдыхания продуктов термического разложения или курения загрязнённого табака возможна «фторполимерная лихорадка» после 2-6 часов (аллергический альвеолит с гриппоподобными симптомами: высокая температура, дрожь/озноб, боли в груди, кашель, учащенный пульс). Лечение, как правило, не требуется, обычно симптомы исчезают через 48 часов. Результаты вдыхания большого количества продуктов термального разложения (при температуре >450°C) заключаются в том, что симптомов может не наблюдаться в 4-24ч после воздействия, после может начаться отек легких начинается с опасностью удушья.

## **Хроническая токсичность**

При использовании и обращении в соответствии с предусмотренными правилами не существует каких-либо вредных воздействий. Стекловолокно, содержащееся в материалах с обозначением GF, представляет собой бесчисленное число стеклянных нитей. Стеклянные волокна бесконечных нитей (бесчисленные мелкие фракции) не классифицируются как канцерогенные. Их диаметр превышает 3µm и поэтому не относятся к «вдыхаемым» (определение В03).

## **Экологическая информация**

По состоянию знаний на сегодняшний день какие-либо ограничения отсутствуют. Из-за консистенции продук-

та дисперсное распределение в окружающей среде маловероятно. Поэтому, согласно современному состоянию знаний, негативных экологических последствий не предвидится.

#### **Утилизация**

Остатки (отходы) продукта могут быть переработаны или обработаны на специализирующихся перерабатывающих предприятиях. В случае отдельной сортировки незагрязненные остатки продукта могут быть переработаны механически. Незагрязненный продукт не

имеет опасных свойств и поэтому не относится к числу опасных отходов по смыслу регламента европейского списка отходов. Коды отходов / коды идентификации: Точное присвоение кода отходов должно быть связано с источником и использованием. Предложения по кодовым номерам отходов основаны на вероятном использовании незагрязненного продукта. 07 02 13 (отходы из пластика) 12 01 05 (полимерная стружка и обрезки) 20 01 39 (отдельно собранные фракции из пластика) Упаковка - незагрязненная или очищенная упаковка может быть переработана без проверки.

#### **Гарантийный срок хранения**

Нет каких-либо рисков если рекомендации по обращению с продуктом соблюдаются.

Продукция не содержит какие-либо субстанции, которые могли бы высвободиться при нормальных условиях или при рациональном применении

Взрывоопасность – неприменимо. Растворимость – не растворяется (вода 20°C). Температура: плавления не определена, разложения >400°C, воспламенения (твердый, газообразный) - не определена. Не нагревать выше температуры разложения.

Продукт химически стабилен. Нет опасных реакций при соблюдении правил хранения и обращения и при использовании по прямому назначению.

Избегайте контакта с концентрированными щелочами.

Опасные продукты разложения: нет разложения и опасных реакций в случае использования в соответствии с инструкциями. При сильном перегреве материала мо-

гут образовываться оксиды углерода и другие органические токсичные пары. Для материалов, содержащих PTFE (обозначение TF, PVX) при сильном перегреве могут образовываться токсичные газы и едкие продукты разложения (образование плавиковой кислоты, тетрафторэтилена, гексафторпропилена, перфторизобутилена, карбонильного дифторида). При деструкции PI возможно выделение диоксида серы и других оксидов серы.

Гарантийный срок хранения зависит от марки приобретаемого материала и указывается в договоре поставки. Если условиями договора не предусмотрено установление гарантийного срока хранения, то поставщик гарантирует сохранность свойств материала «как при поставке» в течение шести месяцев с момента поставки в случае соблюдения правил транспортировки и хранения.

## Пояснения к разделам

### Химическая стойкость пластиков

Испытания были проведены в нормальных условиях (24°C, 50% относительная влажность, в соответствии с DIN 50 014). Химическая стойкость материалов существенно зависит от множества факторов - от температуры и времени воздействия до давления и иных нагрузок. В ТУ и ГОСТах на полимерные заготовки не присутствует обязательное испытание на химическую стойкость полимерных заготовок. Естественно, в стандартном документе о качестве материала Вы не найдете документальное подтверждение химстойкости полимера. Его пригодность устанавливается индивидуально с учетом всех возможных факторов воздействия.

Представленные в таблицах данные совпадают с текущим состоянием развития знаний. Они предназначены для информирования о некоторых свойствах продукта и возможных сферах его применения. Это не означает, что химическая стойкость полимеров или их пригодность для конкретных условий эксплуатации гарантированы на законных основаниях. Для конкретного применения сначала необходимо установить степень индивидуальной пригодности продукта.

### Основные показатели (свойства материалов)

Указанные данные не являются минимальными или максимальными показателями. Данные получены в результате периодических испытаний образцов в соответствии с указанными стандартами и параметрами. Следовательно, эти значения находятся в пределах нормальных допусков ряда свойств продукта и мы не можем гарантировать четкое соответствие указанного показателя показателю конкретной партии товара. В случае необходимости обратитесь к нам для проведения индивидуальных испытаний.

### Ограничение ответственности

Приведенные в данной брошюре примеры, данные испытаний и иная информация основаны на нашем опыте, опыте наших клиентов, производителей заготовок, специализированных тестах, взята из открытых источников, но при этом мы не можем дать каких-либо гарантий на законных основаниях о возможности применения материала в Ваших индивидуальных условиях.

**Для процессов.** Учитывая, что подверженность обработке в большей степени зависит от выбранных параметров, используемых инструментов, конструкции и геометрии детали, воздействующих веществ, методов обработки указанные здесь параметры могут не подходить для индивидуальных условий обработки или обращения. Все указанные данные и рекомендации носят общий характер и в первую очередь служат основой для

На результаты испытаний существенно влияют размеры образца, ориентация волокон (особенно в случаях с армированными материалами), метод производства. Если не указано иное, образцы были произведены из заготовок диаметром 40-65мм, изготовленных экструзией.

Согласно нормативной документации данные испытаний не могут служить основой для проектирования материала, изделия и могут использоваться, прежде всего, для сравнения тех или иных свойств при выборе материала.

Указанные данные и сведения соответствуют современному состоянию наших знаний и предназначены для информирования о продукции и возможностях ее применения. Эти данные не гарантируют определенные свойства материалов, их химическую стойкость или их пригодность для конкретной цели эксплуатации на законном основании.

В таблице на странице 3 значения, указанные после знака  $\geq$ , получены в результате испытаний в соответствии со следующими стандартами:

Плотность GB/T 1033

Испытания на растяжение GB/T 1040

Испытания на изгиб GB/T 9341

Испытания на сжатие GB/T 1041

Испытания на ударную вязкость GB/T 1043

Испытания Tg (температура стеклования) GB/T 19466

Испытания HDT (температура тепловой деформации под нагрузкой) GB/T 1643

Испытания диэлектрической постоянной GB/T 1409

подбора индивидуальных параметров обработки. Порой индивидуально подобранные параметры обработки демонстрируют лучший результат при изготовлении деталей, чем указанные в настоящей брошюре.

**Для пластиков.** Если не указано иное, измеренные значения являются ориентировочными значениями, которые основаны на лабораторных испытаниях в стандартных условиях.

**Для эксплуатации.** На пригодность изделий для конечного использования влияют различные факторы, такие как выбор материала, дополнения к материалу, конструкция деталей и инструментов, а также условия обработки, окружающей среды, эксплуатации.