

Инструкция

ПОЛИИМИД

Высокая чистота и превосходная электроизоляция

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

Применение

- Авиастроение и космонавтика
- Энергетика
- Приборостроение
- Электроника
- Полупроводниковые технологии
- Нефть и газ
- Химическая промышленность
- Машиностроение
- Вакуумные технологии
- Стекольная промышленность

Марки и обозначения

PI натуральный (PI)

полиимид без добавок

PI SF15 черный (PI SF15)

полиимид + 15% графита

PI SF50 черный (PI SF50)

полиимид + 50% графита

PI PVX черный (PI PVX)

полиимид + PTFE + графит

PI TF желтый (PI TF)

полиимид + PTFE

PI GF30 коричневый (PI GF30)

полиимид + 30% стекловолокна

PI MO черный (PI MO)

полиимид + Дисульфид Молибдена

В двух словах

ПЛАСТИКИ БУДУЩЕГО

Неплавкий и самый термостойкий из всех термопластов, известных на сегодня в мире.



Технические
данные (TDS)



	PI	PI SF15	PI PVX	PI TF	PI GF30
Tg			353°C		
HDT/A	>300°C	>300°C			
Рабочая постоянная температура	300°C	300°C	260°C	260°C	300°C
Рабочая кратковременная	350°C	>350°C	260°C	260°C	350°C
Минимальная температура	-270°C	-270°C	-200°C	-200°C	-270°C

Описание и технические данные

PI - Полиимиды - не являются плавкими в связи с большим количеством кольцевых, преимущественно ароматических, цепей и высоким молекулярным весом. Производство заготовок возможно методом спекания. Учитывая энергозатраты и время производства, PI относится к дорогостоящим полимерам и призван решить задачи там, где другие материалы неспособны работать.

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

Особенности

- Низкий коэффициент линейного теплового расширения, сопоставимый с показателями алюминиевых сплавов
- Прочность и жесткость в диапазоне от криогенных до высоких температур
- Повышенная устойчивость к сжимающим нагрузкам и высокое сопротивление ползучести
- Высокая чистота
- Минимальное газовыделение в вакууме
- Химическая стойкость к агрессивным средам
- Отличные диэлектрические и теплоизоляционные свойства
- Максимальная радиационная стойкость среди полимеров
- Не поддерживает горение (V0 по UL94)

Ключевые факторы выбора

- Температуры эксплуатации от -273°C и до 300°C с высокими нагрузками. Некоторые марки могут кратковременно эксплуатироваться при температурах порядка 500°C (пример, контакт с красным раскаленным стеклом)
- Высокоскоростные детали, работающие в условиях без смазки
- Решение специфичных задач, связанных с требованиями высокой чистоты или воздействием радиации

Преимущества

- Единственный на сегодня широко доступный полимер, способный выдерживать нагрузки при температурах выше 300°C
- Антифрикционные марки PI способны работать в условиях без смазки при высоких скоростях и нагрузках, где LPV достигает 13-16 МПа*м/с
- Способность работать в контакте с раскаленными материалами
- Очень высокая чистота пластика позволяет изготавливать изделия для технологий «чистая комната»

Методы производства

- Компрессионное формование, спекание (СМ)

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)

		PI	PI SF15	PI PVX	PI GF30	PI MO
Плотность	г/см ³	1,41	1,49	1,56	1,62	1,56
Коэффициент трения (по стали)*		0,25	0,20	0,19		0,21
к износа**	x10 ⁻⁷	0,2-0,3	1	0,5-1	3-6	1-2
Твердость Шор D		90		85	93	

* Испытания проводились при скорости 0,3 м/сек и давлении 1,0 Мпа

** Коэффициент объемного износа при данной скорости и давлении

Основные показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Параметр	PI	PI SF15	PI PVX	PI GF30	PI TF	PI MO
Механические свойства								
Прочность при растяжении	МПа	23°C	108	86	68	128		89
Удлинение при разрыве	%	23°C	16,1	7,2	4,5	4		6,5
Модуль упругости при изгибе	МПа	23°C	3080	4056	4239	6000		
Прочность при изгибе	МПа	23°C	130	126	110	191		123
Прочность на сдвиг	МПа	23°C	106	78				
Прочность при сжатии (1/10% деформация)	МПа		24/153					
Твердость по Шору D	-		90		85	93		
Твердость по Роквеллу	HRE	23°C, 50%RH	46	32	27	80		40
Ударная вязкость (Шарпи)	кДж/ м ²			57	25,8			45
Ударная вязкость по Шарпи (образец с надрезом)	кДж/ м ²				3,9			
Температурные свойства								
Температура тепловой деформации	°C	HDT/A	>300	>300				
Температура стеклования	°C	Tg			353			
Температура плавления	°C	Tm						
Рабочая температура	°C	20 000 ч	300	300	260	300	260	300
Кратковременная температура	°C				260		260	
Отрицательная рабочая температура	°C		-270	-270	-200	-270	-200	-270
Коэффициент линейного теплового расширения КЛТР (CLTE)	10 ⁻⁵ К ⁻¹	50-200°C, прод. 200-300°C, прод.	5,5	3,8				
Теплопроводность	W/ (K*m)							
Удельная теплоемкость	J/(g*K)							
Электрические свойства								
Удельное объемное сопротивление	Ω*см							
Удельное поверхностное сопротивление	Ω		>10 ¹²					
Электрическая прочность	кВ/мм							
Диэлектрическая постоянная	-		3,5-3,6					
Тангенс угла диэлектрических потерь	-		0,0018					
Прочие свойства								
Водопоглощение	%	23°C, 24ч / %ч	0,19/0,22	0,09/0,13	0,09/0,12			
Коэффициент трения	μ		0,25	0,20	0,19			0,21
Стойкость к горячей воде	-			-	-	-		-
Стойкость к атмосферным воздействиям	-			+	(+)	-		+
Воспламеняемость (горючесть)	-		V0	V0	V0	V0		V0

Данные в таблице указаны справочно, пояснения на странице стр. 21

Базовые марки

PI натуральный - базовый ненаполненный полиимид 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.

Для нагрузок и температур

PI GF30 - самое низкое тепловое расширение. Отличная стойкость к термомеханическим нагрузкам. Хорошие электроизоляционные свойства.

Антифрикционные марки

PI SF - улучшенное сопротивление износу и тепловому старению. Самосмазывающийся как в сухой среде, так и при наличии смазочных веществ.

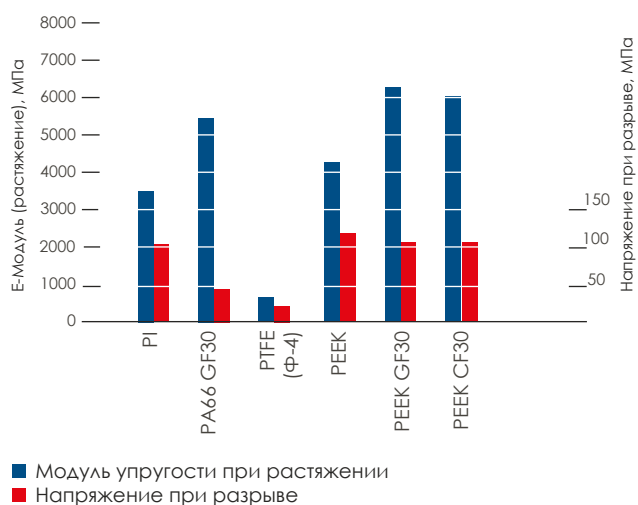
PI PVX - крайне низкое статическое трение и низкий коэффициент благодаря включению PTFE. Хорошие свойства скольжения в условиях сухого трения. Хорошие трибологические свойства при средних нагрузках при температурах <200°C.

PI TF - полиимид с добавлением фторопласта. Самая эластичная версия PI. Превосходная химстойкость. Преимущественно используется для изготовления уплотнений, работающих в газовых средах или в установках с вакуумом. Хорошие трибологические свойства при средних нагрузках при температурах <200°C.

PI MO - превосходные триботехнические свойства и стойкость к абразивному износу в вакууме. Часто используется в авиационной и космической промышленности в среде вакуума или инертных газов (сухой). Низкая дегазация в вакууме.

Сравнения и применения

Сравнение механических свойств популярных технических пластиков, (23°C)



PI SF 15 черный

Уплотнительные кольца поршней

- Работа при высоком давлении
- Стойкость к износу
- Высокая точность размеров



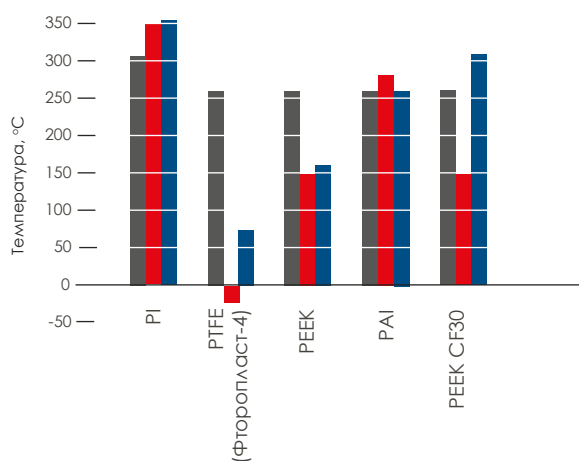
PI натуральный

Разрезное уплотнение

- Работа в вакууме
- Превосходные свойства герметизации
- Выдерживает высокое давление



Термостойкость популярных технических пластиков в сравнении



- Постоянная рабочая температура
- Температура стеклования (изменение свойств)
- Температура деформации под нагрузкой

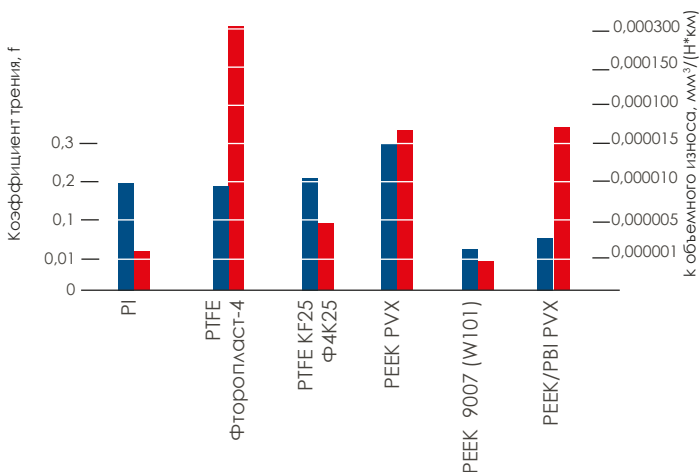
PI PVX черный

Втулки скольжения

- Высокая стойкость к износу
- Хорошие свойства скольжения без смазки
- Минимальный CLTE



Сравнение трибологических свойств основных антифрикционных марок, скорость 2м/с, давление 1МПа, пара - сталь



- Коэффициент трения
- Износ

PI SF50 черный

Вставки хватков горячего стекла

- Не плавится
- Длительный ресурс работы
- Высокая прочность
- Прекрасный отвод тепла



Стойкость к средам

Обработка	Р
Кислоты слабые	+
Кислоты сильные	-
Щелочи слабые	-
Щелочи сильные	-
Растворители алкогольные	+
Растворители сложного эфира	+
Растворители эфирные	+
Метилэтилкетон	+
Вода холодная	(+)
Вода горячая	-

Химстойкость

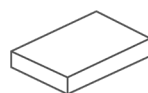
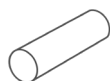
	Р		Р
Перманганат Калия, водный раствор 1%	+	Ацетамид 50%	
Сульфат Меди (II), 10%	+	Ацетон	+
Льняное масло	+	Муравьиная кислота, водный раствор, 10%	+
Метанол	+	Аммиак раствор 10%	-
Метилэтилкетон	+	Анон	
Метиленхлорид	+	Бензин	+
Молоко	+	Бензол	+
Молочная кислота, водный раствор 90%	+	Битум	+
Молочная кислота, водный раствор 10%	+	Борная кислота, водный раствор, 10%	
Бисульфит Натрия, водный раствор, 10%	(+)	Бутилацетат	+
Карбонат Натрия, водный раствор 10%	+	Хлорид Кальция раствор, 10%	+
Хлорид Натрия, водный раствор, 10%	+	Хлорбензол	+
Нитрат Натрия, водный раствор, 10%	+	Хлороформ	+
Тиосульфат Натрия, 10%	+	Циклогексан	+
Едкий Натрий, водный раствор, 5%	(+)	Циклогексано	+
Едкий Натрий, водный раствор, 50%	-	Дизельное топливо	+
Нитробензол	+	Диметилформамид	(+)
Щавелевая кислота, водный раствор, 10%	+	Диоктилфталат	
Озон	(+)	Диоксан	+
Парафиновое масло	+	Уксусная кислота, концентрированная	(+)
Перхлорэтилен	+	Уксусная кислота, водный раствор, 10%	+
Нефть	+	Уксусная кислота, водный раствор, 5%	+
Фенол, водный раствор	+	Этанол 96%	+
Фосфорная кислота, водный раствор, 10%	(+)	Этилацетат	
Пропанол	+	Этиловый эфир	+
Пиридин	-	Этиленхлорид	+
Салициловая кислота	+	Фосфорная кислота, 40%	
Азотная кислота, водный раствор, 2%	+	Формальдегид, водный раствор 30%	
Соляная кислота, водный раствор, 2%	+	Формамид	
Соляная кислота, водный раствор, 36%	-	Фреон, Фриген, жидкие	+
Двуокись Серы	+	Фруктовые соки	+
Серная кислота, концентрированная 98%	-	Гликоль	+
Серная кислота, водный раствор 2%	+	Glysanfin, вода 40%	+
Сероводород жидкий		Глицерин	+
Мыльный раствор, водный раствор	(+)	Мочевина, водный раствор	+
Силиконовые масла	+	Топливо жидкое	+
Сода водный раствор, 10%	(+)	Гептан, Гексан	+
Пищевые жиры, Пищевые масла	+	Изооктан	+
Стирол	+	Изопропанол	+
Смола	+	Йода раствор, Спирта раствор	+
Четыреххлористый Углерод	+	Калий едкий, водный раствор, 50%	-
Тетрагидрофуран	+	Калий едкий, водный раствор, 10%	(+)
Тетралин	+	Дихромат Калия, водный раствор, 10%	-
Толуол	+	Вода горячая	-
Трансформаторное масло	+	Перекись водорода, водный раствор, 30%	-
Триэтаноламин	-	Перекись водорода, водный раствор, 0,5%	+
Трихлорэтилен	+	Вино, Коньяк	+
Вазелин	+	Винная кислота	+
Воск расплавленный	+	Ксилол	+
Вода холодная	+	Хлорид Цинка, водный раствор 10%	+
Лимонная кислота, водный раствор, 10%	+		

Данные в таблице указаны справочно, пояснения на странице стр. 21

+ = устойчив (возможно небольшое изменение массы)
 (+) = ограниченная устойчивость (короткий контакт, возможно изменение массы)
 - = не устойчив (изменение массы > 5%, снижение механических свойств)

[вернуться в начало](#)

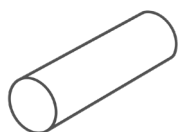
Программа поставки PI



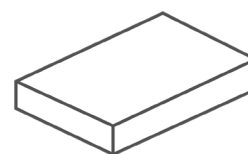
Марка	стержни	листы
PI натуральный	D 1-100мм L 320-1000мм	Т. 1-100мм Ш. 120 - 360мм L 1000мм
PI GR	D 1-50мм L 1000мм D 55-100 мм	Т. 1-30мм Ш. 320мм L 1000мм Т. 35-100мм*
PI PVX	D 1-20мм L 1000мм D 25-100мм*	Т. 1-20мм Ш. 320мм L 360мм Т. 25-100мм*
PI SF	D 1-40мм L 1000мм D 45-100мм*	Т. 1-40мм Ш. 320мм L 360мм Т. 45-100мм*
PI MO	D 1-40мм L 1000мм D 45-100мм*	Т. 1-20мм Ш. 320мм L 360мм Т. 45-100мм*



Стержни (прутки)



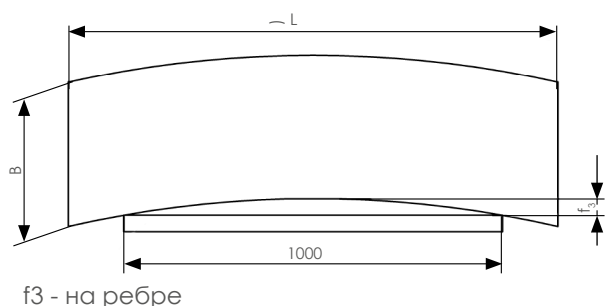
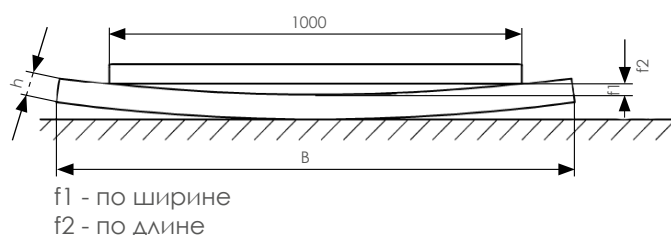
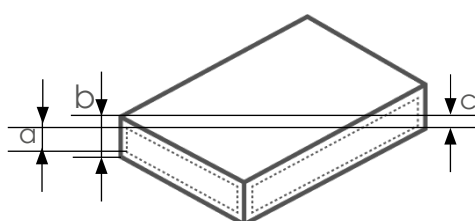
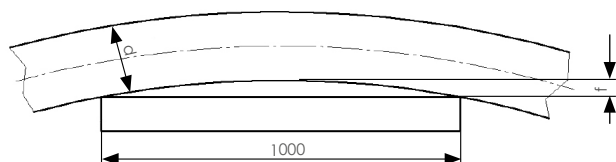
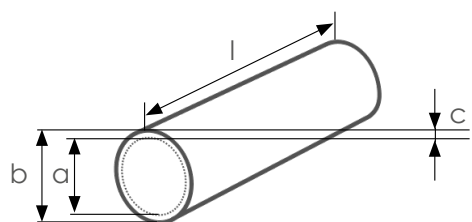
Плиты (пластины)



* - уточняйте возможность поставки по специальному заказу
Не нашли необходимый размер или форму?
Обратитесь к любому сотруднику компании.

[вернуться в начало](#)

Правила приемки PI



Измерение размеров

Для измерений используйте штангенциркуль, рулетку, линейку.

При измерениях сечения заготовок b всегда должно быть больше a (указано в документах).

Для листов допуск по длине и ширине не менее $0...+25$ мм.

a - номинальный размер (указан в документах)

b - размер с допуском (измеренное значение)

$c = b - a$, где c - «экструзионная кожа» (должна быть удалена при механической обработке)

Контроль внешнего вида

Мелкие царапины, яркие цветовые вариации, выемки, раковины, включения и иные недостатки поверхности допускаются только в зоне c . Пожалуйста, перед изготовлением детали удалите этот слой до получения номинального размера.

Осмотрите торцы заготовок. Трещины не допускаются.

Прямолинейность

f максимальный в мм на длине заготовки 1000 мм

Заготовки круглого сечения

d, мм	неармированные	армированные
до 20	10	12
21-32	7	8
33-45	5	6
45-100	5	6
выше 101	4,5	5

Плоские заготовки

h, мм	f1	f2	f3
до 6	7	8	8
7-16	6	7	
17-25	5	6	
26-50	4		
выше 50	3		

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).



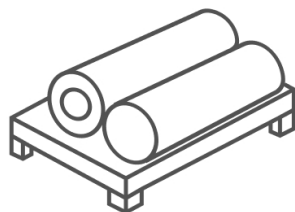
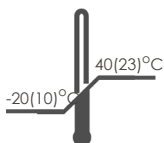
Хранение и транспортировка PI

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 5 см от пола. Штабелировать можно если обеспечена защита от деформации в зоне давления.

Вдали от нагревательных приборов и химических и легковоспламеняющихся веществ.

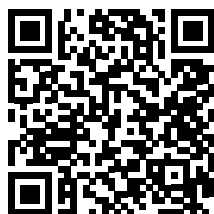
Исключите попадание прямого солнечного света. Рекомендуется хранить в черной пленке.

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.



Не бросать. Возможно образование микротрещин в случае падения.

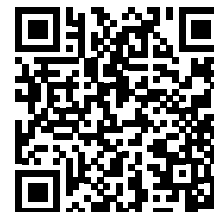
Работа с PI

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

- 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



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.

Марки, содержащие PTFE

Материалы, содержащие в своем составе фторопласт (PI TF), часто демонстрируют слегка более низкую механическую прочность, чем базовый полимер.

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 - это может привести к шероховатости поверхности.

- Возможно будет необходим дополнительный процесс для финишной доработки деталей, для снятия шипов, 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, но могут быть использованы для одиночного распила неармированных стержней диаметром до 50мм.

Подходящее оборудование

Электрические ручные, погружные дисковые пилы, форматно-раскроечные станки.

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

Подходящий инструмент

Зубчатые диски с зубьями (напайками) из твердосплавных сталей (HW), 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. Переменный зуб (WZ) является предпочтительным. Рекомендуемый шаг зубьев 12-24мм (например, HM 350 x 3,2 x 30 Z84 WZ).

Для распила армированных марок необходимо использовать пилы с алмазным покрытием. Для таких пла-

стиков толщиной до 10 мм мы используем пильные полотна с шагом зубьев 10-16 мм и скоростью резания 3000-3600 об./мин.

Скорость

В общем, рекомендуется 2000-4000 оборотов в минуту (для диска диаметром 350мм), что доступно практически на всех дисковых инструментах.

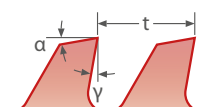
Особенности и рекомендации

Максимально избегайте вибраций.

Используйте высокую скорость подачи. Не позволяйте инструменту долго находиться в одной зоне распила (может привести к перегреву пластика и заклиниванию диска).

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.



a задний угол [°]

γ передний угол [°]

t шаг зубьев [мм]

V скорость резания (м/мин и об/мин)

обозначение

скорость вращения, об/мин (V)

шаг зуба, мм (t)

главный передний угол, ° γ

задний угол (угол зазора), ° a

скорость, м/мин (V)

материал зуба

особенности

PI	3000	13-24	0-3	5-10	2000-4000	A, K	
PI SF, TF, PVX и т.д.	3000	16-24	10-15	13-30	3400-3900	A, K	●

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. Горизонтальные ленточные пилы, электролобзики приводят к высокой вибрации и к растрескиванию заготовки в месте резания. Если использование электролобзика избежать невозможно, пожалуйста, зафиксируйте заготовку «намертво» и исключите биение инструмента о пластик.

Подходящий инструмент

Металлические ленты с большим разводом зубьев, что обеспечивает хороший отвод стружки. Рекомендуемый шаг зубьев от 6 до 9 мм.

Рекомендуется использовать пилы с твердосплавными наконечниками.

Крайне важно хорошее натяжение ленты (иначе перегрев заготовки, кривой рез).

Скорость

Если есть возможность, то используйте скорость резания 130-180 метров в минуту (скорость ленточной пилы) - для полимеров без армирующих добавок и скорость в диапазоне 110-150 метров в минуту - для полимеров с обозначением GF, CF, PVX (армированные волокнами материалы).

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

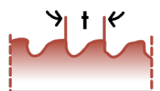
Могут быть использованы пилы и с меньшей, чем 50 метров в минуту скоростью резания, однако это создает риск привнесения напряжения, перегрева заготовки, образования плохого качества реза.

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.



a задний угол [°]

γ передний угол [°]

t шаг зубьев [мм]

V скорость резания (м/мин)

обозначение

скорость, м/мин (V)

шаг зуба, мм (t)

главный передний угол, ° γ

задний угол (угол зазора), ° a

материал зуба

особенности

PI	50-200	6-8	0-3	5-10	A, K	
PI SF, TF, PVX и т.д.	110-150	10-15	10-15	15-30	A, K	●

Материал зуба

HSS - инструментальная сталь

HW - твердосплавный инструмент

A - инструмент с алмазным покрытием

K - керамический инструмент

● Рекомендуется прогреть до 80-100°C и производить резание «в теплом состоянии»:

Гидроабразивная резка представляет собой воздействие тончайшей струи (диаметром до 1мм и менее) воды с примесью мельчайших острых и твердых частиц минералов. Смесь подается под очень высоким давлением, что и образует тонкий и точный рез полимера.

Гидрорезка (водоструйная резка) представляет собой воздействие тончайшей струи воды без примеси абразивных частиц. Вода так же, как и в случае с гидроабразивной резкой, подается под сверхвысоким давлением.

Преимущества

Нет термического, химического или механического воздействия, нет перегрева, следовательно, нет деформации и подплавления материала.

Подходит для всех видов полимеров, включая композитные материалы.

Изделия с точным $\pm 0,02$ мм ровным резом без последующей обработки кромок.

Детали со сложной геометрией, со сложными контурами, с малым радиусом закругления.

Возможность обработки плит с большой толщиной (нам известно об обработке плит из жестких полимеров толщиной до 100мм).

Подходит для обработки листов больших форматов.

Быстрая обработка в сравнении с другими методами.

Экономичная (рез толщиной до 0,7 мм) и экологичная обработка особенно при серийном производстве.

Обратите внимание

Скорость подачи зависит от типа материала, толщины листа, требований к качеству реза и зернистости абразива. Правильные параметры должны быть установлены обработчиком на тестовой детали перед серийным производством.

Перед резкой необходимо изготовить отверстие недалеко от контура детали. Струя должна начать движение из данного отверстия и по плавной траектории подойти к контуру детали. Скорость должна возрастать постепенно. Армированные волокном материалы (твёрдо-жесткие), как правило режутся медленнее, а неармированные материалы (жестко-мягкие) быстрее.

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 CO₂ лазеры (гравировка, отсутствие контраста).

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

Обозначение	Маркировка
PI	

 хорошая

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 - 0,02-0,08 мм/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 (желательно 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

Для достижения высокого качества поверхности при шлифовании, удаляемый слой за один проход не должен превышать 0,1мм, а поперечная подача за один ход не должна превышать 1/5 ширины шлифовального круга.

При шлифовании тонких деталей следует использовать вакуумную фиксацию.

При правильном подходе можно добиться шероховатости поверхности Ra0,4/Rz1,6. V = 8-12 м/мин – грубое шлифование, V = 4-6 м/мин – тонкое шлифование.

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

Высокое качество поверхности, глянец 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) больших диаметров.

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 0,5мм.

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

Используйте только остро заточенные инструменты с подходящей геометрией.

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

Для отрезания используйте резец специальной формы.

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

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.

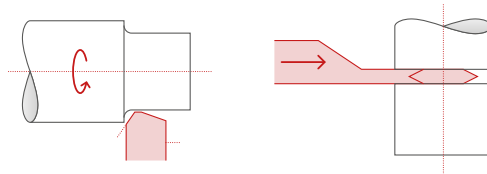
Особенности и рекомендации

Максимально избегайте вибраций.

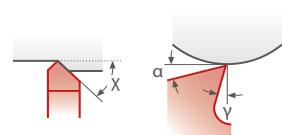
Пластики плохо проводят тепло, поэтому при обработке образуется нагретый пограничный слой между инструментом и заготовкой. Если выбрать правильную скорость обработки, подходящий инструмент и глубину резания, то этот «перегретый» слой удаляется быстро и обеспечивает хороший отвод тепла «через стружку». Определить правильность выбранных параметров легко по типу стружки. У большинства полимеров стружка должна быть сливной, непрерывной. 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



α задний угол [°]

γ передний (главный) угол [°]

χ вспомогательный угол [°]

V скорость резания (м/мин)

S подача (мм/об)

обозначение

обозначение	задний угол, ° α	главный передний угол, ° γ	вспомогательный угол (угол режущей кромки), ° χ	скорость резания, м/мин (V)	скорость подачи, мм/оборот (S)	инструмент	особенности
PI	2-5	0-5	7-30	100-130	0,05-0,25	A, K	
PI SF, TF, PVX и т.д.	6-8	2-8	45-60	80-150	0,02-0,25	A, K	

Радиус закругления режущей кромки (r) должен быть 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

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

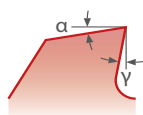
Скорость резания должна быть высокой в сочетании со средней скоростью подачи. Быстрые операции и высокая скорость вращения шпинделя в сочетании с правильной фиксацией способны обеспечить высокое качество детали. Минимизируйте трение между инструментом и заготовкой настолько, насколько это возможно.

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.

Фрезерование



α задний угол [°]

γ передний угол [°]

V скорость резания (м/мин)

S подача (мм/об)

Особенности и рекомендации

Избегайте одностороннего перегрева материала. Рекомендуется поэтапная обработка с обеих сторон для снятия внутренних напряжений.

Важно обеспечить надёжную фиксацию заготовки. Для тонких заготовок рекомендуется использовать вакуумный стол или двухсторонний скотч.

Предпочтительнее встречное фрезерование в сравнении с попутным для снижения вибраций.

Для плоских поверхностей концевое фрезерование является более экономичным, чем периферийное. При периферийном фрезеровании инструменты не должны иметь более двух режущих кромок для минимизации вибраций.

Пошаговое фрезерование рекомендовано для улучшения теплоотдачи, так как PI обладает низкой теплопроводностью.

Для достижения хорошего качества поверхности выберите малый угол снятия стружки, инструменты с одной или двумя режущими кромками.

Поверхность заготовки (корковый слой после спекания) должна быть предварительно фрезерована для исключения рисков деформации.

Рекомендуется использовать инструменты с небольшим диаметром и воздушное охлаждение. Применение СОЖ (водоэмульсионных) не рекомендуется из-за риска гидролиза материала.

Рекомендуемые режимы резания:

Ненаполненные марки PI: $V \sim 250-500$ м/мин, $f \sim 0,1-0,45$ мм/зуб. Наполненные марки (графит, стекловолокно): $V \sim 80-100$ м/мин, $f \sim 0,05-0,25$ мм/зуб.

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

обозначение	число зубьев	угол зазора (задний угол), α , °	главный передний угол, γ , °	скорость резания, V , м/мин	скорость подачи, мм/оборот (S)	особенности
PI	Z1 – Z2	2-5	0-5	90-100	0,02-0,35	
PI SF, TF, PVX и т.д.	Z1 – Z2	11-15	6-10	80-100	0,02-0,35	

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

Рекомендуются твердосплавные инструменты (НМ) за исключением случаев с отверстиями диаметром < 1,5 мм. Их всегда следует выполнять сверлами из быстрорежущей стали (HSS). Борозды на инструменте должны быть очень гладкими. Используйте сверла с узким хвостовиком (синхронное сверление). Они обеспечивают снижение трения и накопления тепла. Сверление отверстий с помощью спиральных сверл из быстрорежущей стали (HSS) производится в соответствии с DIN 336. Сверла должны быть заточены под углом 120°.

Скорость

Выбирайте высокую скорость подачи и умеренные обороты для снижения теплообразования в зоне резания и предотвращения заклинивания инструмента.

Рекомендуется использовать сверла НМ с частотой вращения $V = 100$ м/мин, $f = 0,02-0,10$ мм/об/мин, а при использовании сверл HSS с частотой вращения $V = 15-40$ м/мин, $f = 0,02-0,10$ мм/об/мин.

Охлаждение

Часто извлекайте сверло. Это обеспечивает своевременное удаление стружки и охлаждение сверла.

При сверлении глубоких, больших отверстий, большого числа отверстий используйте СОЖ.

Особенности и рекомендации

Наибольшее количество тепла образуется 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.

Для отверстий до 25 мм рекомендуются твердосплавные сверла (НМ). HSS допустимы только для малых глубин и разовых работ из-за абразивности PI. Оптимальный угол закручивания 15–20°.

В случае с тонкостенными заготовками используйте высокую скорость сверления. По возможности выбирайте нейтральный (0°) угол схода стружки для того, чтобы предотвратить зажатие сверла в компоненте и, следовательно, разрыва сверла и/или поднятия заготовки вслед за сверлом.

При изготовлении отверстий диаметром более 25 мм необходимо предварительно вырезать черновое отверстие меньшего диаметра резакон и только после этого просверлить его 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.

В случае обработки армированных волокнами пластиков желательно прогреть заготовку до +120°C (1 час на каждые 10 мм толщины заготовки). В таких случаях чистовую обработку можно начинать только после полного остывания заготовки. В противном случае размеры детали не будут выдержаны.

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 отличаться от указанных и демонстрировать превосходный результат.

При поточном (программируемом) сверлении каждое сверление должно быть центрированным. При сверлении диаметром менее 1 мм удаление стружки следует планировать через каждые 0,5 мм.

Нарезание резьбы

Резьбу лучше всего выполнять с помощью гребенок или резьбонарезных фрез. Могут быть использованы и метчики, однако выделение тепла в этом случае выше.

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 пластиках должны быть немного больше, чем отверстия для резьбы в металле (как правило на 0,1–0,2 мм 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

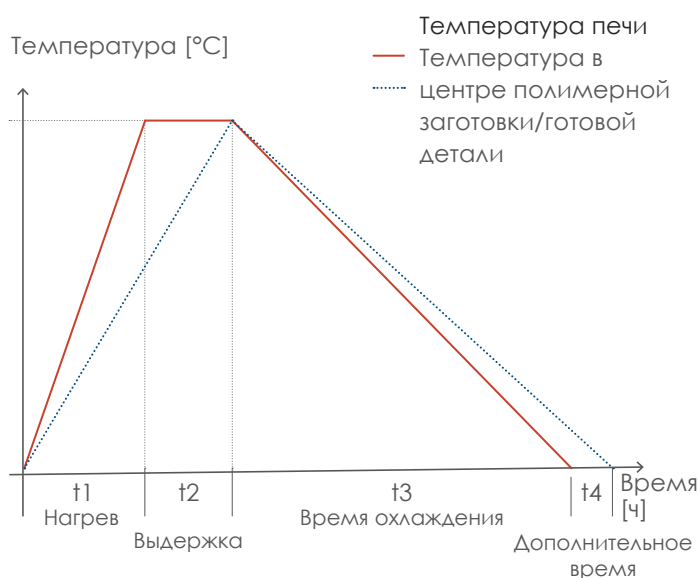
Для снижения внутренних напряжений, которые возникают в процессе производства, производитель всегда подвергает полимерные заготовки термообработке сразу после их изготовления. Термообработка (отжиг) производится в специальном конвекционном шкафу с рециркуляцией воздуха.

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 PI материал медленно нагревается до температуры 200–250°C (в зависимости от марки). Выдержка при заданной температуре составляет от 2 до 24 часов в зависимости от толщины заготовки. Впоследствии материал медленно и равномерно охлаждается до комнатной температуры (не более 10–20°C/час) для предотвращения образования микротрещин. Для крупных заготовок и армированных марок рекомендуется проведение отжига в инертной среде (азот) или вакууме во избежание окисления.

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 / 10 ч при 280 °C	20°C/ч до 40°C

Предварительная термообработка

Отжиг 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.
- 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.

Как правило, для материалов PI промежуточный отжиг не требуется. Далее предоставлены общие рекомендации для снижения рисков при обработке.

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).
- При обработке армированных волокном марок PI (стекловолокно, графит, углеволокно) — ориентация волокон увеличивает склонность к деформации;
- 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. Для очистки деталей из PI рекомендуется использовать спиртовые или кетонные растворители. Применение сильных щелочей и аминов не допускается. Ультразвуковая очистка допустима при условии контроля интенсивности воздействия во избежание повреждения поверхностного слоя.

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. На материал может быть нанесена печать. В этом случае задается достаточное поверхностное натяжение, чтобы цвет закрепился на поверхности. Но может быть полезно активировать поверхность плазмой, коронным разрядом перед окрашиванием или печатью, чтобы добиться лучшей адгезии чернил. В случаях, когда предполагается дальнейшая обработка детали химическими веществами, водой, паром (к примеру, чистка, дезинфекция, стерилизация в пищевой индустрии или медицинских технологиях), окрашенная часть может быть повреждена. В таких случаях решением может быть лазерная маркировка готовых деталей.

Покрывание 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 полимеров, включая полиимиды (PI)
- Отсутствует абразивное воздействие на поверхность детали
- Для PI рекомендуется использовать спиртовые, кетонные и углеводородные растворители. Применение сильных щелочей и аминов не допускается

Механические процессы

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

CO₂ 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

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

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 популярными 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 стандарту).

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 использования (температура эксплуатации, стерилизация горячим паром и пр.).

Аморфные пластики

- Менее критичны с точки зрения постусадки и деформации.

Стабильность размеров

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

Снижение уровня напряженности

- 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, стерилизация.

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

↳ Усадка и деформация особенно заметны в изделиях 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 для того, чтобы уменьшить развитие напряжения в материале.

- В случае изготовления асимметричных изделий может быть разумным двусторонняя поэтапная обработка заготовки заведомо большей толщины (к примеру, с финишной толщиной детали в 18мм используется лист толщиной 25мм и далее сначала материал удаляется с одной стороны, потом заготовка переворачивается и материал удаляется с другой стороны).

↳ 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.

- В случае с материалами, армированными волокном, особое внимание следует уделять положению компонента (отметьте направление экструзии).

- 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.

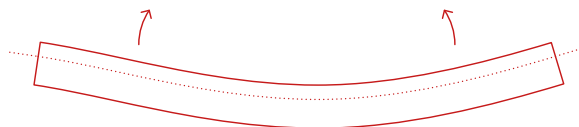
↳ Изменение формы, деформация или в худшем случае образование трещин от напряжения во время эксплуатации детали.

Коробление из-за односторонней обработки

1. темно-красный - удаляемый материал



2. искривление после удаления материала с одной стороны



[вернуться в начало](#)

Склеивание

Склеивание является эффективным методом соединения, позволяющим соединять полиимиды между собой и с другими материалами. Химическое соединение компонентов имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами соединения:

- Равномерное распределение напряжения
- Отсутствие повреждающих воздействий на материал
- Отсутствие деформации соединяемых деталей
- Возможность соединения различных комбинаций материалов
- Склеивание отдельных участков соединения одноментно
- Меньшее количество компонентов

Выбор клеевого состава для полиимидов зависит от условий эксплуатации изделия и 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, для PI подходят клеевые составы на эпоксидной, фенольной или полиимидной

основе.

Решающие факторы для получения качественного клеевого соединения PI:

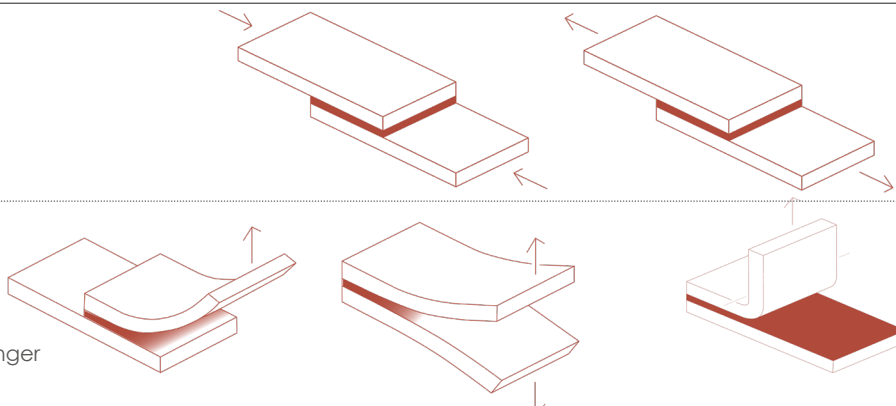
- Характеристики материала
- Адгезионные свойства клеевого состава
- Адгезивный слой
- Состояние поверхности (предварительная подготовка)
- Геометрическая форма соединения
- Условия дальнейшей эксплуатации и нагрузки

Следует учитывать, что температура клеевого состава не должна превышать допустимые значения для полиимидов (например, при химической реакции многокомпонентных составов). В случае необходимости конструкция должна быть адаптирована таким образом, чтобы зона склеивания воспринимала допустимые уровни напряжений.

На полиимиды возможно нанесение различных покрытий. Изделия из PI могут также служить основой для нанесения других, менее термостойких полимеров (например, при литье под давлением).

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»



Общие рекомендации по склеиванию

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

- подходящая основа клея

Обратите внимание

Из-за повышенной способности полиимидов к поглощению влаги, желательно запечатывать эти детали в барьерную вакуумную пленку. Для того чтобы избежать изменений размеров высокоточных деталей из-за поглощения влаги, эту пленку следует снимать непосредственно перед использованием детали.

Безопасность

Меры по борьбе с пожаром

Подходящие средства пожаротушения - тонкораспыленная вода, пена, углекислый газ, сухая химическая пена. неподходящие средства пожаротушения - струя воды под давлением.

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 оксиды углерода и азота. Для марок с обозначением PVX, TF (содержащих PTFE) возможно также высвобождение фтористого водорода, тетрафторэтилена, гексафторпропилена, перфторизобутилена 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 воспламеняется 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

При соблюдении рекомендаций по обращению с материалом 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, ни в коем случае не трите их. Иммобилизуйте глаз (глаза), используйте повязку на оба глаза, обратитесь за помощью к профильному специалисту.

В случае раздражения кожи

Для материалов с обозначением GF 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.

При механической обработке могут выделяться вещества, подлежащие контролю (пределы значений, имеющие отношение

к рабочему месту, пределы значений, подлежащие мониторингу или биологические пределы). Общее предельное значение пыли (а-пыль - 3 мг/м³; е-пыль - 10 мг/м³ (вдыхаемые фракции)).

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 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 клетки, сухость слизистых оболочек.

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 3 мкм и поэтому не относятся к «вдыхаемым» (определение ВОЗ).

Экологическая информация

По состоянию знаний на сегодняшний день какие-либо ограничения отсутствуют. Из-за консистенции продукта 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 раздельной 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: разложения >500°C, воспламенения (твердый, газообразный) – 620°C. Не нагревать выше температуры плавления или температуры разложения.

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

Избегайте контакта с концентрированной серной кислотой, сильными окислителями.

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.

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 35-60мм, 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.

Опасные продукты разложения: нет разложения и опасных реакций в случае использования в соответствии с инструкциями. При сильном перегреве материала могут образовываться оксиды углерода и другие органические токсичные пары.

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 12 месяцев с момента поставки в случае соблюдения правил транспортировки и хранения.

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.

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 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.