

Работа с техническими пластиками

Содержание

Профиль компании	1
Материалы	2
Общие рекомендации	6
Резание пластиков	
Дисковые пилы	10
Ленточные пилы	12
Лазерная резка и маркировка	14
Гидроабразивная резка, вырубка	15
Механическая обработка пластиков	
Токарная обработка	16
Фрезерование	18
Сверление и вырезание отверстий	20
Нарезание резьбы	22
Строгание, фрезерование поверхности	22
Шлифование, полирование	23
Охлаждение и охлаждающие жидкости	24
Качество поверхности изделий	24
Снятие заусенцев	25
Точность изделий и заготовок	26
Морфологические изменения и постусадка	26
3D-печать	28
Окрашивание	29
Особенности отдельных пластиков	30
Методы производства и их влияние на свойства пластиков	
Методы производства термопластов	34
Добавки и их влияние на свойства материалов	35
Обращение с полимерами	
Термообработка	36
Очистка	37
Частые ошибки и их предупреждение	38
Соединение материалов	
Сварка	40
Склеивание	42
Полезные таблицы	44
Общие правила хранения и обращения	46
Полезно знать	48



О НАС

Компания «Элмика» с 2002 года внедряет высокотехнологичные технические пластики во все сферы промышленности. Многие пластики заменяют не только металлы и керамику, но порою являются единственным верным решением в специфичных, уникальных, новейших разработках.

Являясь производителем большинства высокотемпературных пластиков, мы действительно обладаем большими знаниями о свойствах и поведении термопластов в различных условиях работы.

ПРОФИЛЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Производство заготовок

Мы производим заготовки (стержни, листы, втулки) из высокотемпературных термопластов PEEK, PEI, PSU, PPSU, PES, PPS и различных модификаций на их основе. Мы имеем возможность производить заготовки и из инженерных пластиков, таких как PC, POM-C POM-H и др. По соглашению сторон мы готовы произвести заготовки из иных высокотемпературных или конструкционных термопластов.

Изготовление деталей путем механической обработки

Мы обладаем большим опытом обработки даже самых капризных пластмасс. В нашем станочном парке есть оборудование и оснастка, адаптированные для обработки широкого спектра марок технических пластиков. По заказу потребителя мы производим как массовые изделия, так и единичные. При изготовлении деталей из термопластов мы способны достигать самых жестких допусков, не предусмотренных стандартами для пластмасс.

Важно

Рекомендации, приведенные в данной брошюре, основаны на опыте производителей заготовок, готовых деталей, нашем личном опыте и носят информативный характер. Несмотря на все рекомендации, только индивидуальный подбор технологии и режимов изготовления деталей может обеспечить высокую точность и качество изделия.



Изготовление изделий литьем под давлением

Для крупносерийного производства метод литья под давлением является наиболее целесообразным. Изготовление изделий литьем под давлением из термостойких пластмасс существенно отличается от работы с инженерными пластиками, имеет свои особенности и нюансы. Мы обладаем опытом конструирования прессформ для изделий из высокотемпературных пластиков, знаниями технологических особенностей и готовы выполнить заказ «под ключ».

FDM печать изделий и прототипов (3D)

Мы имеем оборудование и владеем технологией печати высокотемпературными пластиками PEEK, PEI, PSU, PPSU, PES. По заказу потребителя готовы напечатать изделия, разработать конструкции с учетом всех особенностей 3D печати высокотехнологичными пластмассами.

Кроме этого, мы всегда рады поделиться нашим опытом и рекомендовать подходящие режимы, оборудование для самых сложных полимеров в аддитивных технологиях.

МАТЕРИАЛЫ

Виды термопластов

Все термопласты условно разделяются на три вида:

Высокотемпературные

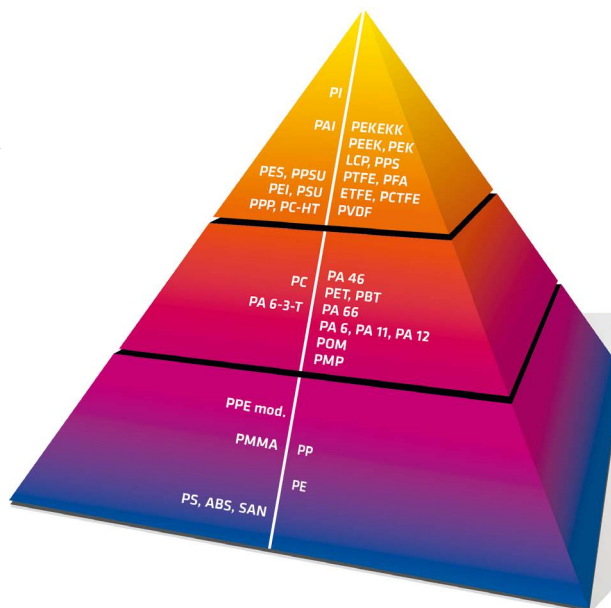
К высокотемпературным термопластам относят пластики с постоянной рабочей температурой выше 150°C. В подавляющем большинстве такие температуры эксплуатации присутствуют в высокотехнологичном оборудовании, где скорость, давление, среда или сочетание нескольких факторов приводят к экстремальным воздействиям. Данный вид пластмасс часто называют высокотехнологичными или HT полимерами.

Инженерные

Инженерными или конструкционными называют пластики с постоянной температурой эксплуатации от 100 до 150°C. Эти пластики имеют самое широкое применение в производственном оборудовании, общем машиностроении и используются для создания высокопрочных конструкций, не подвергающихся критичным воздействиям.

Стандартные

К данному типу полимеров относят материалы с постоянной рабочей температурой до 100°C. Как правило, к деталям из стандартных пластиков предъявляются требования защиты от воздействия каких-либо факторов окружающей среды или к свойствам скольжения с низкими механическими нагрузками. Это пластмассы с относительно низкой стоимостью и широкой доступностью.



Подбор материала

Правильный выбор полимера - непростая задача. Необходимо учесть не только нагрузку и температуру эксплуатации. Крайне важно понимать и конструкцию узла, геометрию детали, среду эксплуатации, тип и цикличность нагрузок, а также множество других влияющих факторов. Рекомендую полимер для применения, мы стараемся учитывать максимальное количество воздействий и опираемся на наш богатый опыт внедрения материалов в самые разные технологии по всей стране.



Различия между пластиками

Специалисты по изготовлению деталей всегда отличают алюминий от меди, латунь или бронзу от стали, потому что они знают, что эти материалы требуют разных подходов при обработке.

Так же, как и металлы, пластики существенно отличаются между собой. Есть «мягкие» пластики, а есть «жесткие», есть аморфные, а есть полукристаллические, есть теплопроводные, укрепленные волокнами, армированные тканями и пр. Каждый из полимеров требует индивидуального подхода в обработке.

Некоторые типы пластиков не подходят для обработки лазером, некоторые не возможны к печати на 3D принтерах, а для каких-то марок крайне сложно, а порою невозможно получить изделия с жесткими допусками или низкой шероховатостью.

Уже на этапе конструирования изделия все факторы должны быть учтены.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕРИАЛА

Наименование, марка, международное обозначение обычно указываются на заготовке. В случаях, если невозможно нанести полную маркировку на заготовку (к примеру, заготовка слишком мала), необходимая информация указывается на упаковке, в паспорте качества и/или товаросопроводительных документах.

Информацию о материале и его составе можно получить из листов технических данных, из правил по обращению с полимерными заготовками (паспорт безопасности).

Пожалуйста, зафиксируйте наименование и марку полимера, который подлежит обработке до начала обработки и обеспечьте сохранность информации.

Определение типа и марки полимера

	Аморфные полимеры	Полукристаллические полимеры	Сложносоставные материалы
	Обычно прозрачные Подвержены растрескиванию под напряжением Подвержены воздействию растворителей Высокая стабильность размеров вплоть до температуры плавления	Химстойкие Высокое тепловое расширение базовых марок Подходят для динамичных нагрузок	Ориентация компонентов существенно влияет на свойства
	Есть особенности при обработке		Есть особенности при обработке
	Высокотемпературные		
	ПОЛИИМИД (PI)*	МИКАРЕЕК ST (РЕКЕКК)	РЕЕК ХР-200 (РЕЕК/РВИ)
	ПОЛИАМИД-ИМИД (РАИ)*	МИКАРЕЕК (РЕЕК)	Композитные версии (РЕЕК)
	МИКАРЕИ (РЕИ)	МИКАРЕЕК НТ (РЕК)	Композитные версии (РЕЕК)
	МИКАСОН Р (PPSU)	МИКАТРОН (PPS)	Композитные версии (РЕИ)
	МИКАСОН Е (PES)	ФТОРОПЛАСТ-4 (PTFE)	
	МИКАСОН S (PSU)	ФТОРОПЛАСТ-3 (PCTFE)	
		ФТОРОПЛАСТ-2 (PVDF)	
	Инженерные		
	МИКАНАТ (РС)	ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (РЕТ)	
		ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (РВТ)	
		ПОЛИАМИД 66 (РА 66)	
		ПОЛИАМИД 6 (РА 6)	
		ПОЛИАМИД 6С (РА 6С)	
		ПОЛИАМИД 12 (РА 12)	
		МИКАFORM Н (РОМ-Н)	
		МИКАFORM С (РОМ-С)	
		ПОЛИМЕТИЛПЕНТЕН (РМР)	
	Стандартные		
	ПОЛИФЕНИЛЕНЭФИР (РРЕ)	ПОЛИЭТИЛЕН (РЕ-НД, РЕ-100)	
	ОРГСТЕКЛО (РММА)	ПОЛИЭТИЛЕН РЕ-500 (РЕ-НМW)	
		ПОЛИЭТИЛЕН РЕ-1000 (РЕ-УНМW)	
		ПОЛИПРОПИЛЕН РР (РР-Н)	
		ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (РVС)	

* - не является оптически прозрачным

Важно

Определение типа материала и содержания добавок в нем является ключевым фактором для правильного выбора технологии и параметров обработки и инструментария.

ДОБАВКИ И ИХ ОБОЗНАЧЕНИЕ

Для придания специальных свойств, изменения каких-либо свойств в пластики вводят армирующие волокна, модификаторы (далее - добавки). Добавки повышают требуемые свойства, но, в то же время, снижают другие.

К примеру, введение стекловолокна повышает жесткость, стойкость к давлению, термостабильность, но снижает ударную вязкость материала. В части обращения армированные волокнами пластики крайне жесткие. При падении издадут звонкий звук. Они наиболее чувствительны к образованию трещин от напряжений.

Некоторые пластики содержат добавки, способные загрязнять оснастку, инструментарий (к примеру, содержащий графит). Обеспечьте хороший отвод стружки при обработке данных полимеров.

Чтобы правильно подобрать инструмент, технологию обработки, крайне важно обращать внимание на состав полимера. Аббревиатура добавки указывается в паспорте качества, товаросопроводительных документах или в технических условиях.

Армированные волокнами, усиленные добавками	Композитные пластики	Наполненные (модифицированные)	Материалы с PTFE
Крайне жесткие Требуют специальный инструмент Есть особенности при обработке (стр. 32)	Слоистая структура Крайне прочные и жесткие Требуют специальный инструмент Есть особенности при обработке (стр. 33)	Как правило, стандартные методы обработки	Есть особенности при обработке (стр. 31)
GF - содержит стекловолокно CF - содержит углеволокно PVX - содержит углеволокно, графит и фторопласт CMF - керамика Nano - углеродные нанотрубки (CNT) TS - минеральный наполнитель ID, UD - добавки, обнаруживаемые металлодетекторами и рентгеновским излучением	Композитные версии	Красящие пигменты - указан цвет после марки MO (MoS ₂) - Дисульфид Молибдена L - масло GR (SF) - графит KF - кокс HT - термостабилизаторы SD - электрически статический ELS - проводящий углерод диссипативный XRO - Сульфат Бария	TF, AF - PTFE (Фторопласт-4) PVX - содержит в том числе PTFE (Фторопласт-4)

ПЛАСТИКИ И МЕТАЛЛЫ

Пластмассы обладают многими преимуществами по сравнению с металлами, но также необходимо учитывать некоторые ограничения. В принципе, использование пластмасс рекомендуется в тех областях применения, где наиболее важно оптимальное соотношение между весом и прочностью.

Если сравнивать с металлами, то крайне малой открытой информации по обработке технических пластмасс. Исторически в машиностроении металлы имеют более широкое применение и опыт обработки металлов существенно больше. Ниже приведены принципиальные отличия между пластиками и металлами.

	Металлы	Пластики
Разный подход при обработке	к алюминию, цветным металлам, стали, нержавеющей стали	к аморфным, полукристаллическим, армированным волокном, усиленным тканями, содержащим PTFE материалам, к заготовкам, полученным различными методами производства
Коэффициент линейного теплового расширения (CLTE, КЛТР) и его влияние	низкий, незначительное влияние	высокий, существенное влияние, кроме армированных материалов, где CLTE сопоставим с CLTE металлов
Усилие резания	высокое	низкое
Теплопроводность (влияние на деформацию)	хорошая	плохая, перегрев может привести к деформации, изменению цвета, плавлению, к напряжениям
Усилия при фиксации	высокие	умеренные в сравнении с металлами, но разумные для хорошей фиксации
Термостойкость	высокая	низкая (температура плавления зависит от типа пластика и варьируется от 150°C до 500°C)

ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ

Номер производственной партии обеспечивает полную прослеживаемость всех процессов от сырья к конечной продукции.

Номер партии указывается на заготовке. В случае, если невозможно нанести номер производственной партии на заготовку (к примеру, заготовка слишком мала), номер производственной партии указывается в паспорте качества на материал. Паспорт качества на материал (документ по форме СОС 2.1.) прилагается к каждой поставке.

Зафиксируйте номер производственной партии перед обработкой заготовки и обеспечьте сохранность информации.

При осуществлении входного контроля (сопроводительный документ о качестве по форме СОС 2.1.), полимерные заготовки проверяются на:

- соответствие размерам, допускам
- отсутствие внешних повреждений
- соответствие цвета
- нормированное коробление (для плоских заготовок)
- нормированное искривление (для круглых заготовок)
- цилиндричность (для круглых заготовок)
- отсутствие пор, раковин, инородных включений

При осуществлении входного контроля с проверкой показателей (сопроводительный документ о качестве по форме СОС 2.2.), полимерные заготовки проверяются на:

- механические свойства, указанные в документах
- физические свойства, указанные в документах

Полная прослеживаемость от сырья до готового изделия



Артикул
EL101000000040

Партия №
10100400925

Документ о качестве



Изделие



Заготовка
Партия № 10100400925



Сырье № 101000925
Технологическая карта №
10100400925

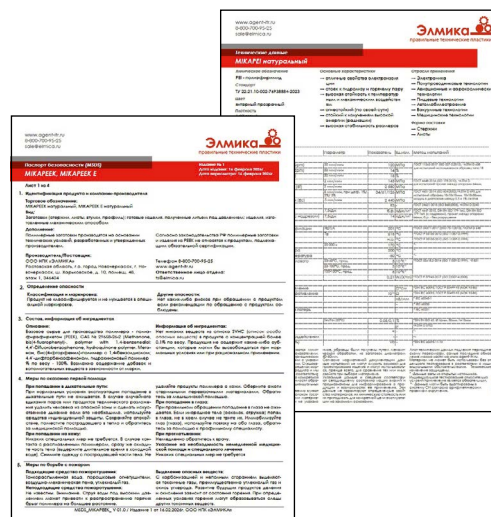
ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

Перед механической обработкой важно ознакомиться с документом Паспортом безопасности на продукцию (MSDS). В документе указан состав, правила хранения и транспортировки, существующие нормы, ограничения, если таковые имеются, токсикологическая и экологическая информация. В данном документе Вы также найдете требования к СИЗ и много дополнительной полезной информации о продукте.

Ознакомиться со свойствами материалов возможно из листов технических данных (TDS).

Полезным будет ознакомиться с ТУ или иной нормативной документацией на материал, изучить настоящую брошюру.

Все указанные выше документы вы найдете в разделе «Скачать» на www.agent-itr.ru или на сайте www.polimer1.ru.



ПЕРЕД ОБРАБОТКОЙ ПЛАСТИКА

1. Определить тип полимера и марку.
2. Зафиксировать номер производственной партии материала.
3. Ознакомиться с установленными правилами и нормами, предусмотренными для данного материала.
4. Разработать последовательность технологического процесса и параметры обработки с учетом типа, марки и размера заготовки, требований к допускам и к качеству поверхности.
5. Выбрать и/или подготовить соответствующий инструмент, оснастку.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Оборудование	<ul style="list-style-type: none">→ для обработки дерева→ для обработки металла	Ручной инструмент, электрический ручной инструмент, специализированное оборудование и станки. При поточном производстве наиболее предпочтительно использование станков с ЧПУ.
Инструмент	<ul style="list-style-type: none">→ правильно заточенный→ с подходящей материалу геометрией→ острозаточенный и гладкий <ul style="list-style-type: none">→ из быстрорежущих (обозначение: HSS, инструментальная) или твердосплавных (обозначение: НМ (НМ), ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, Т15К6, «победит») сталей из карбида вольфрама <ul style="list-style-type: none">→ с алмазным (PCD) покрытием <ul style="list-style-type: none">→ с алмазными, керамическими наконечниками <ul style="list-style-type: none">→ с титановым покрытием или с функциональными покрытиями (плазменная технология) <ul style="list-style-type: none">→ тип инструмента	<p>Использование неправильного или тупого инструмента приводит к чрезмерному выделению тепла при трении, что может привести к деформации, образованию трещин не только в процессе механической обработки, но и после, в том числе, при хранении или эксплуатации. При поточном производстве вовремя останавливайте процессы и меняйте затупленные инструменты на острозаточенные. Неподходящий инструмент приводит к подплавлению стружки, оставляет глубокие следы на обрабатываемой поверхности, поверхность становится шероховатой. Тупой инструмент приводит к образованию заусенцев, сколов.</p> <p>Подходит для большинства пластиков, кроме армированных волокнами и усиленных тканями. По возможности используйте твердосплавные инструменты.</p> <p>Должен использоваться при обработке армированных волокнами и усиленных тканями пластиков (маркировка CF, GF, PVX), также используется для композитных версий материалов.</p> <p>Для усиленных стекловолокном марок полиимидов (PI) и композитных версий материалов. Для обработки аморфных пластиков, к которым предъявляются высокие требования к оптической прозрачности и высокому качеству поверхности, дабы избежать дополнительного процесса полировки (к примеру, для MIKANAT (PC)).</p> <p>Для композитных версий материалов.</p> <p>По возможности используйте специальные инструменты для пластиков. Эти инструменты имеют более острый угол клина (большой передний угол резца), чем инструменты для обработки алюминия. Если нет возможности использования специального инструментария для полимеров, подходят инструменты с углом режущей кромки, как у инструментов для алюминия.</p>
Охлаждение	<ul style="list-style-type: none">→ «сухая обработка», отвод тепла через стружку	<p>При правильном выборе инструмента и параметров обработки «сухая обработка» подходит большинству пластиков и является наиболее предпочтительной: нет остатков СОЖ на деталях, нет влияния СОЖ на пластик, подходит для деталей, использующихся в пищевых, медицинских и полупроводниковых технологиях. Во избежание загрязнения направляющих или охлаждающей жидкости, материалы с высоким содержанием графита следует обрабатывать только «сухим» методом.</p> <p>Следите за отсутствием образования большого количества стружки в зоне обработки.</p>

Охлаждение

→ применение охлаждающих средств (сжатый воздух, СОЖ) **для полукристаллических пластиков**

→ применение охлаждающих средств (сжатый воздух, СОЖ) **для аморфных пластиков**

Окружающая среда при обработке

→ условия хранения перед обработкой желательны +23°C, 50% относительной влажности, исключение попадания прямых солнечных лучей.

→ условия при обработке +18+25°C, 50% относительной влажности, исключение попадания прямых солнечных лучей.

Температура заготовки перед обработкой

→ комнатная для обычных пластиков

→ предварительно прогреть для армированных и некоторых видов полукристаллических пластиков перед распилом или сверлением

Из-за относительно высокого влагопоглощения полиимидов (PI), полиамидов (PA), рекомендуется «сухая» мехобработка в случаях, когда предъявляются высокие требования к точности изделия.

Рекомендуется при сверлении глубоких отверстий, нарезании резьбы, пилении армированных пластиков. Охлаждение сжатым воздухом является наиболее предпочтительным, так как обеспечивает одновременное охлаждение и удаление стружки.

Возможно использование водорастворимых жидкостей.

Распыление специальных эмульсий и масел в сочетании со сжатым воздухом являются очень эффективным методом, но может не подходить некоторым видам пластиков (информацию о подходящих составах можно получить у вашего поставщика СОЖ).

Используйте чистую воду.

Используйте сжатый воздух.

Если возможно, исключите применение охлаждающих жидкостей, так как воздействие определенных химических веществ может привести к образованию трещин, разрывов в материале. Если применение СОЖ необходимо, то сразу после обработки промойте деталь в чистой воде или в изопропанол.

Используйте специальные СОЖ, подходящие для этого типа пластика (можно узнать у вашего поставщика СОЖ).

В этих условиях пластики длительное время сохраняют свои первоначальные свойства. Если материалы хранились при низких или отрицательных температурах, их следует прогреть до достижения комнатной температуры в центре заготовки.

Никогда не проводите обработку холодных заготовок.

Никогда не проводите обработку заготовок в холодных условиях.

Если пластики хранились при низких или отрицательных температурах, необходимо поместить их в среду с комнатной температурой. Время достижения нормальной комнатной температуры в центре заготовки зависит от размера заготовки и обычно составляет от 24 до 72 часов.

Если используется печь для прогрева, то нельзя помещать холодные заготовки сразу в горячую печь, это может привести к деформации и образованию трещин.

Не подвергайте обработке холодные заготовки.

Это может привести к образованию трещин, разрывов и деформации заготовки.

Очень жесткие и армированные пластики рекомендуется прогреть перед механической обработкой для снижения риска образования трещин, деформации при обработке.

Прогрев должен проводиться в воздушной среде с хорошей и равномерной конвекцией воздуха для обеспечения равномерного прогрева всей заготовки.

Рекомендуется прогреть материал до достижения температуры 80-120°C в центре заготовки. Скорость нагрева 20°C/час.

Термообработка (отжиг)

→ нет необходимости

При использовании правильных инструментов (геометрия, угол заточки, острота) и соблюдении всех параметров механической обработки (угол подачи, глубина обработки за проход, скорость подачи, скорость работы инструмента), процессы термообработки в подавляющем большинстве случаев могут быть исключены.

При обработке неармированных волокнами пластиков практически любых размеров и армированных пластиков диаметром до 80мм и толщиной до 60мм.

→ есть необходимость (рекомендации по термообработке на странице 36)

Если существует риск образования внутренних напряжений, которые принесены или могут быть принесены в материал в процессе механической обработки (к примеру, воздействие неправильного инструмента, использование неадекватных скоростей или темпов подачи). Высокий уровень внутренних напряжений может привести к деформации или образованию трещин.

→ предварительная (перед процессом механической обработки)

В случае удаления большого объема материала по отношению к заготовке.

Обеспечение дополнительной безопасности (в случае риска использования неподходящего инструмента или неадекватных скоростей и усилий при обработке).

Заготовки, используемые для производства очень точных деталей, также должны быть термообработаны перед механической обработкой. Дальнейший отжиг в процессе механической обработки не требуется.

→ межстадийная (после изготовления черновой детали)

В случае изготовления деталей высокой точности или деталей с критичной геометрией (асимметричные детали, детали с узким поперечным сечением, при наличии тонких стенок, карманов, желобков и иных деталей с сильной тенденцией к деформации).

В случае обработки армированных волокнами пластиков или очень жестких пластиков для снижения риска растрескивания и деформации.

В случае удаления большого объема материала из заготовки.

Фиксация

общие правила

Избегайте вибраций при обработке. Силы фиксации должны быть достаточными, но не чрезмерными (существенно ниже, чем при фиксации металлов).

→ механические устройства

Избегайте образования отпечатков на заготовках в местах сопряжения заготовки и фиксирующего инструмента. Особенно критично для материалов с малым модулем упругости (к примеру, фторопласта, полиэтилена и некоторых материалов с обозначением TF/AF (PTFE)).

Рекомендуется использовать четырехкулачковые патроны, так как большее число кулачков приводит к более равномерному распределению усилия зажима.

Если используется дополнительная фиксирующая оснастка (к примеру, зажимные втулки, кольца, оправки), обратите внимание на усилия сжатия. Пластики в процессе обработки нагреваются и расширяются. Это может привести к разрушению заготовки после удаления оснастки. Не подвергайте заготовки и оснастку сильным ударным нагрузкам, особенно после перегрева во время обработки.

→ вакуум

Наиболее предпочтительный способ фиксации заготовок, если это возможно.

→ клейкие ленты

Допускается использование двухстороннего скотча.

Точность размеров

→ изменение размеров из-за усадки

Усадка возможна в случае перегрева пластика в процессе обработки. Некоторые пластики (стр. 26, стр. 30) особенно подвержены постусадке при перегреве. Исключите перегрев материала при обработке. Постусадка у аморфных пластиков обычно незначительна и составляет ~0,3-0,7 %, что не критично. Полукристаллические термопласты обладают высокой постусадкой (~1,0-2,5 %).

→ изменение размеров из-за коэффициента линейного теплового расширения (CLTE, КЛТР)

При нагреве материалы расширяются, при остывании возвращаются к первоначальным размерам. Производите контроль размеров детали после достижения ею комнатной температуры. Обеспечьте хороший отвод тепла, а для деталей с жесткими допусками используйте поэтапное изготовление (черновая обработка, сутки - складское хранение, последующая чистовая обработка). Черновые детали следует производить с большими производственными допусками, так как после остывания размеры черновой детали уменьшатся. Обратите внимание, что CLTE может быть различным при различных температурах воздействия. Как правило, чем выше температура эксплуатации, тем выше тепловое расширение пластика (выше CLTE). Учитывайте CLTE не только при обработке, но и при конструировании детали. Формула расчета размеров изделия из-за влияния CLTE: $\Delta L = L1 * \alpha * \Delta T$, где L-длина изделия, α - значение CLTE при температуре эксплуатации, ΔT - разница температур окружающей среды и температуры эксплуатации.

→ изменение размеров в результате поглощения влаги

Некоторые пластики (PA, PAI, PI, PBI) существенно меняют размеры при напительвании влагой. Материалы с высоким влагопоглощением могут менять размеры как в сторону увеличения (напительвание влагой), так и в сторону снижения (выделение влаги). Этот факт необходимо учитывать как при конструировании детали, так и в процессе производства и обеспечить соответствующие условия при обработке.

Чтобы избежать изменения размеров готовых деталей, ввиду высокого влагопоглощения материала, рекомендуется упаковывать детали в вакуумную упаковку, в случае их длительного хранения.



ДЕТАЛЬ ИЗ ПОЛИИМИДА

Из практики

Из-за влияния CLTE, уровня поглощения влаги проверьте размеры одинаковых деталей при одинаковой температуре окружающей среды и одинаковой температуре деталей.

Из-за высокого CLTE лист длиной 3000мм из MIKAFORM S при температуре 53°C может удлиниться на 9мм, а лист длиной 1000мм из ОРГСТЕКЛА на 1,4мм.



ДЕТАЛЬ ИЗ MIKASON S

Из практики

Изделия произведены по одной технологической программе и «в одном размере». Измерения произведены после 24 часов хранения на открытом воздухе. Деталь из ПОЛИИМИДА поглотила влагу из атмосферы, что привело к изменению размеров.

Деталь из MIKASON S имеет размеры, идентичные размерам после механической обработки..

РЕЗАНИЕ ПЛАСТИКОВ

Дисковые пилы

Дисковые пилы наиболее подходят для раскроя листовых заготовок. В случае необходимости дисковые пилы могут быть использованы для одиночного распила стержней диаметром до 50мм из материалов с низким модулем упругости и не содержащие армированных добавок.

Подходящее оборудование

Электрические ручные дисковые пилы, погружные дисковые пилы, форматно-раскroечные станки. Форматно-раскroечные станки способны обеспечить ровный прямой рез для листов толщиной до 100мм.

Подходящий инструмент

Диски с зубьями (напайками) из твердосплавных сталей, из карбида вольфрама. Зубья с отрицательным углом заточки, с большим разводом зубьев, что обеспечивает хороший отвод стружки и снижает трение между заготовкой и нережущей зоной диска. Рекомендуемый шаг зубьев от 31 до 38мм или 20-24мм для большинства полимеров (подробнее в таблице). Тип зуба - переменный (чередующийся).

Для распила армированных стекловолокном, стеклянными шариками, углеволокном материалов необходимо использовать пилы с алмазным покрытием.

Для распила тонких листов толщиной от 3мм до 10мм из PMMA, PC наиболее подходят диски с шагом зубьев 9-16мм. Тип зуба - прямой, переменный (чередующийся), комбинация плоского и трапециевидного. Наиболее эффективным при распиле листов толщиной более 3мм из PMMA является диск с трапециевидной формой зуба и шагом 13мм (d-300мм, 72 зуба). Этот диск подходит для распиловки PMMA, в том числе, толстых листов или пачек листов и обеспечивает ровный рез с минимальным уровнем напряжения в кромке, даже без применения охлаждающих жидкостей (основано на рекомендации производителя PMMA).

Скорость

В общем, рекомендуется 2200-3000 оборотов в минуту (для диска диаметром 450-480мм). Данная скорость доступна практически на всех дисковых инструментах. Для изделий из Оргстекла (PMMA) наилучшим выбором будет 3600-4200 оборотов в минуту.

Охлаждение

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

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 большой глубины резания (толстых листов), при использовании погружных дисковых пил, осуществляйте пропил в несколько этапов с каждым шагом погружения ~10-15мм. В случае использования ручного электрического инструмента (к примеру, погружные дисковые пилы), применяйте специальные направляющие и фиксаторы, обеспечивающие ровный ход пилы. Листы из ОРГСТЕКЛА (PMMA) толщиной до 3мм могут быть разрезаны специальным ножом (сначала изготавливается бороздка, а потом материал переламывается по бороздке).

Из практики

Полукристаллические неармированные волокнами пластики

Для распила листов из полукристаллических пластиков толщиной более 8мм и до 80мм мы используем форматно-раскroечный станок с твердосплавным пильным диском (HW) с переменными зубьями (WZ) с отрицательным углом заточки. Шаг зубьев ~30мм.

Для распила заготовок из полиимида рекомендуется использовать диски с шагом 12-13мм, к примеру, HM 350 x 3,2 x 30 Z84 WZ.

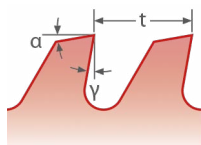
Для распила заготовок толщиной менее 8мм мы используем погружную пилу со специальными направляющими и фиксирующими устройствами (присосками). Для тонких пластиков подходит твердосплавный диск с шагом зубьев 16-24мм. Листы из полукристаллических пластиков толщиной 1мм и менее прекрасно режутся специальными ножницами по металлу.

Аморфные и армированные волокнами пластики

Для аморфных полимеров толщиной до 10мм мы используем пильные диски с шагом зубьев от 10 до 16мм, а скорость резания от 3000 до 3600 оборотов в минуту.



Пиление циркулярной пилой



α задний угол [°]
 γ передний угол [°]
 t шаг зубьев [мм]
 V скорость резания (м/мин и об/мин)

материал	обозначение	скорость вращения, об/мин (V)	шаг зуба, мм (t)	главный передний угол, °, γ	задний угол (угол зазора), °, α	скорость, об/мин (V)	материал зуба	особенности
ПОЛИИМИД	PI	3000	13-24	0-3	5-10	2000-4000	A, K	
ПОЛИАМИД-ИМИД	PAI	3000	13-24	0-3	5-10	2000-4000	A, K	
PEEK XP-200	PEEK/PBI	3000	20-24	0-5	15-30	4200-4500	A, K	
МИКАPEEK	PEEK	3000	20-24	0-5	15-30	4200-4500	HW	
МИКАTRON	PPS	3000	20-24	0-5	15-30	4200-4500	HW	●
МИКАSON E	PES	3000	20-24	0-4	15-30	4200-4500	HW	●
МИКАPEI	PEI	3000	20-24	0-4	15-30	4200-4500	HW	●
МИКАSON P	PPSU	3000	20-24	0-4	15-30	4200-4500	HW	●
МИКАSON S	PSU	3000	20-24	0-4	15-30	4200-4500	HW	●
ФТОРОПЛАСТ-4	PTFE	2800-3000	20-24	5-8	20-30	3900-4500	HW	
ФТОРОПЛАСТ-3	PCTFE	2800-3000	20-24	5-8	20-30	3900-4500	HW	
ФТОРОПЛАСТ-2	PVDF	2800-3000	20-24	5-8	20-30	3900-4500	HW	
МИКАНАТ	PC	2400	31-38	5-8	15-30	3400-3600	HW	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PET	2200-2600	31-38	5-8	15-30	3100-4000	HW	●
ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PBT	2200-2600	31-38	5-8	15-30	3100-4000	HW	●
ПОЛИАМИД С	PA 6 С	2000-2600	31-38	2-5	20-30	2800-4000	HW	●
ПОЛИАМИД	PA	2000-2600	31-38	2-5	20-30	2800-4000	HW	●
МИКАFORM H	POH-H	2800-3000	31-38	0-5	20-30	3900-4500	HW	
МИКАFORM C	POH-C	2800-3000	31-38	0-5	20-30	3900-4500	HW	
ПОЛИФЕНИЛЕНЭФИР	PPE	2800-3000	31-38	5-8	15-30	3900-4500	HW	●
ПОЛИПРОПИЛЕН	PP-H	2800-3000	31-38	2-5	20-30	3900-4500	HW	
ПОЛИЭТИЛЕН	PE-HD, PE-HMW, PE-UHMW	2800-3000	31-38	2-5	20-30	3900-4500	HW	
ПОЛИМЕТИЛПЕНТЕН	PMP	2800-3000	31-38	2-5	20-30	3900-4500	HW	
АКРИЛОНИТРИЛ-БУТАДИЕНСТИРОЛ	ABS	2600	31-38	0-5	15-30	3600-4000	HW	
ОРГСТЕКЛО	PMMA	3000-4200 ^o	9-15	0-5	10-15	3000-4500*	HW	
ПОЛИВИНИЛХЛОРИД	PVC-U	3000	3-8	0-5	5-10	3000	HW	●
Армированные *	GF, CF, PVX и т.д.	2400-2800	20-24	10-15	15-30	3400-3900	A, K	●

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

^o - Указана скорость вращения диска диаметром 320мм. При использовании диска иного диаметра произведите перерасчет.

*Армированные - содержащие стекловолокно, стеклянные шарики, углеволокно, графит, слюду, тальк и т.п.

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»:

Ø 60 мм и выше из МИКАPEEK GF/PVX, PEEK CM XP серии 200, МИКАTRON GF/PVX

Ø 80 мм и выше из ПОЛИАМИД 66 GF, ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ, ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ PBT GF
 Ø 100 мм и выше из ПОЛИАМИД 6 GF, 66, 66 MH

● Будьте внимательны к выбору охлаждающих жидкостей. Данные пластики чувствительны к образованию трещин при напряжении.

Ленточные пилы

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, ручные электрические инструменты (электролобзики) приводят к высокой вибрации и растрескиванию заготовки в месте резания. Если использование электролобзика избежать невозможно, пожалуйста, зафиксируйте заготовку «намертво» и исключите биеение инструмента о заготовку.

Подходящий инструмент

Металлические ленты с большим разводом зубьев, что обеспечивает хороший отвод стружки. Рекомендуемый шаг зубьев от 11 до 15мм, но могут быть использованы ленты с шагом 6мм и выше.

Рекомендуется использовать пилы с твердосплавными наконечниками.

Для заготовок из полиимида лучше использовать ленты с шагом 6-9мм (3-4 зуба/дюйм).

Крайне важно хорошее натяжение ленты. Неправильное натяжение ленты приводит к перегреву заготовки, к кривому резу заготовки.

Для заготовок из оргстекла лучше использовать ленты с шагом зубьев 2-4мм и шириной ленты в пределах 3-13мм.

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.

Оргстекло лучше разрезать на высоких скоростях и с умеренной подачей материала. Шаг зубьев 2-4мм. Чем ниже скорость резки, тем большее количество зубьев требуется.

Охлаждение

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

Особенности и рекомендации

Хорошо зафиксируйте заготовку. Если заготовка имеет большую длину, используйте дополнительные поддерживающие устройства.

Исключите падение незафиксированной части заготовки после распила.

Из практики

Для распила заготовок диаметром до 170мм мы используем ленточнопильный станок Jet с максимальной скоростью 62,5м/мин и шагом зубьев 6мм.

Для распила заготовок диаметром более 170мм мы используем ленточнопильный станок Kasto с максимальной скоростью 110 м/мин и лентой с шагом зубьев 11мм.

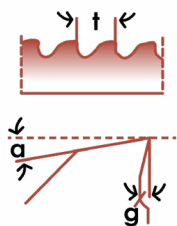
Они прекрасно справляются с распилом заготовок из обычных и армированных пластиков.

Из практики

Для разового распила полимерных заготовок возможно применение ручного инструмента, к примеру, лобзики, ручные пилы, электролобзики. Однако заготовки должны быть прочно зафиксированы для исключения вибраций. В противном случае возможно образование сколов, трещин в зоне резания. Кромка со следами резания ручным инструментом может быть обработана в последующем, для придания эстетичной поверхности.



Пиление ленточной пилой



α задний угол [°]
 γ передний угол [°]
 t шаг зубьев [мм]
 V скорость резания (м/мин)

материал	обозначение	скорость, м/мин (V)	шаг зуба, мм (t)	главный передний угол, °, γ	задний угол (угол зазора), °, α	материал зуба	особенности
ПОЛИИМИД	PI	50-200	6-8	0-3	5-10	HW, A, K	
ПОЛИАМИД-ИМИД	PAI	50-200	6-8	0-3	5-10	HW, A, K	
PEEK XP-200	PEEK/PBI	50-200	11-15	0-5	15-30	A, K	
МИКАPEEK	PEEK	50-200	11-15	0-5	15-30	HW	
MIKATRON	PPS	50-200	11-15	0-5	15-30	HW	
MIKASON E	PES	50-200	11-15	0-4	15-30	HW	●
МИКАPEI	PEI	50-200	11-15	0-4	15-30	HW	●
MIKASON P	PPSU	50-200	11-15	0-4	15-30	HW	●
MIKASON S	PSU	50-200	11-15	0-4	15-30	HW	●
ФТОРОПЛАСТ-4	PTFE	50-200	11-15	5-8	20-30	HW	
ФТОРОПЛАСТ-3	PCTFE	50-200	11-15	5-8	20-30	HW	
ФТОРОПЛАСТ-2	PVDF	50-200	11-15	5-8	20-30	HW	
МИКАНАТ	PC	50-200	11-15	5-8	15-30	HW	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PET	50-200	11-15	5-8	15-30	HW	●
ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PBT	50-200	11-15	5-8	15-30	HW	●
ПОЛИАМИД С	PA 6 С	50-200	11-15	2-5	20-30	HW	●
ПОЛИАМИД	PA	50-200	11-15	2-5	20-30	HW	●
МИКАFORM H	РОМ-H	50-200	11-15	0-5	20-30	HW	
МИКАFORM C	РОМ-C	50-200	11-15	0-5	20-30	HW	
ПОЛИФЕНИЛЕНЭФИР	PPE	50-200	11-15	5-8	15-30	HW	●
ПОЛИПРОПИЛЕН	PP-H	50-200	11-15	2-5	20-30	HW	
ПОЛИЭТИЛЕН	PE-HD, PE-HMW, PE-UHMW	50-200	11-15	2-5	20-30	HW	
ПОЛИМЕТИЛПЕНТЕН	PMP	50-200	11-15	2-5	20-30	HW	
АКРИЛОНИТРИЛ-БУТАДИЕНСТИРОЛ	ABS	50-200	11-15	0-5	15-30	HW	
ОРГСТЕКЛО	PMMA	130-300	2-4	0-5	30-40	HW	
ПОЛИВИНИЛХЛОРИД	PVC-U	50-200	3	0-5	30-40	HW	
Армированные *	GF, CF, PVX и т.д.	110-150	11-15	10-15	15-30	A, K	●

*Армированные - содержащие стекловолокно, стеклянные шарики, углеволокно, графит, слюду, тальк и т.п.

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»:
 Ø 60 мм и выше из МИКАPEEK GF/PVX, PEEK CM XP серии 200, MIKATRON GF/PVX
 Ø 80 мм и выше из ПОЛИАМИД 66 GF, ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ, ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ PBT GF
 Ø 100 мм и выше из ПОЛИАМИД 6 GF, 66, 66 MH

● Будьте внимательны к выбору охлаждающих жидкостей. Данные пластики чувствительны к образованию трещин при напряжении.

Лазерная резка

основана на «расплавлении полимера» в тончайшей линии обработки. Благодаря специфичной длине волны, пластики разрезаются лазерами двуокиси углерода (CO₂ лазерные трубки).

Преимущества

Возможность получить высокоточные детали с идеальной кромкой, без заусенцев и сколов, которые иногда образуются при механической обработке.

Возможно получение сложных изделий, изогнутых резцов, контуров сложных фигур.

Экономичный метод как для единичных изделий, так и для изделий с высокой серийностью.

Возможность и качество обработки зависит от типа лазера, выбранных параметров.

Недостатки

Не подходит для обработки толстых плит, не подходит для обработки большинства инженерных и высокотемпературных полимеров.

Не подходит для обработки заготовок больших форматов. Температуры, создаваемые в зоне резания, могут оказать негативное влияние на материал.

Белые пластики не очень хорошо подходят для лазерной резки из-за их поведения при поглощении излучения.

Материал	Обработка	Качество реза
PMMA	очень хорошая	ровный оплавленный край
POM	хорошая	ровный без заусенцев
PET	хорошая	ровный без заусенцев
ABS	хорошая	возможны небольшие заусенцы
PE	хорошая	ровный без заусенцев
PP	хорошая	ровный без заусенцев
PTFE	хорошая	ровный без заусенцев
PC	удовлетворительная	коричневая кромка, образование заусенцев
PA	сложная	коричневая кромка, образование заусенцев

Лазерная обработка наиболее часто используется при изготовлении декоративных изделий из оргстекла (PMMA). Обычно кромка получается глянцевой. Качество кромки зависит от толщины, цвета и марки PMMA. В общем, существует следующее правило: чем тоньше лист, тем выше скорость подачи и наоборот.

Для получения ровной кромки рекомендуется настраивать луч на центр толщины листа. Опытным путем получены следующие рекомендации по настройке фокусного расстояния:

для листов толщиной до 6мм - линзы 2,5',

для листов толщиной 6-15мм - линзы 5',

для листов толщиной более 15мм - линзы 10'.

очень хорошая	●
хорошая	●
ограниченная, но читаемая	●
плохая, но читаемая	●
не маркируется (нет изменения цвета)	●
не маркируется	●

Маркировка лазером

Маркировка лазером подходит практически для всех пластмасс. Преимущества лазерной маркировки в долговечности, водостойкости, стойкости к воздействию химических веществ и к воздействию света.

В большинстве случаев используются лазеры NdYAG (образование контраста) или CO₂ лазеры (гравировка, отсутствие контраста).

Подверженность маркировке зависит от лазера и параметров.

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

Материал	Обозначение	Маркировка
ПОЛИИМИД	PI	●
MIKARPEEK натуральный	PEEK	●
MIKARPEEK черный	PEEK	●
MIKARPEEK разноцветный	PEEK	●
MIKARPEEK GF30 натуральный	PEEK GF30	●
MIKARPEEK CF30 черный	PEEK CF30	●
MIKARPEEK PVX черный	PEEK CF PTFE GR	●
MIKATRON GF 40 черный	PPS GF40	●
MIKATRON PVX черный	PPS CF PTFE GR	●
MIKARPEI GF 30 натуральный	PEI GF30	●
MIKASON P цветной	PPSU	●
MIKASON S натуральный	PSU	●
ФТОРОПЛАСТ-2 натуральный	PVDF	●
MIKANAT натуральный	PC	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ белый	PET	●
ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ GF30 натуральный	PBT GF30	●
ПОЛИАМИД 66 GF30 черный	PA 66 GF30	●
ПОЛИАМИД 66 натуральный	PA 66	●
ПОЛИАМИД 6 С натуральный	PA 6 С	●
ПОЛИАМИД 6 С L цветной	PA 6 С	●
ПОЛИАМИД 6 натуральный	PA 6	●
ПОЛИАМИД 12 натуральный	PA 12	●
MIKAFORM H натуральный	POM-H	●
MIKAFORM C ELS черный	POM-C	●
MIKAFORM C натуральный	POM-C	●
MIKAFORM C черный	POM-C	●
ПОЛИФЕНИЛЕНЭФИР цветной	PPE	●
ПОЛИПРОПИЛЕН натуральный	PP	●
ПОЛИЭТИЛЕН натуральный	PE	●
АКРИЛОНИТРИЛБУТАДИЕН- СТИРОЛ серый	ABS	●
Композитные версии PEKK CW60/PEEK CW50 черный	PEKK/PEEK	●

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.

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

Возможность получения деталей со сложной геометрией, изделий 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.

К контуру детали необходимо подходить по плавной траектории.

Скорость должна увеличиваться медленно и постепенно, особенно при резке жестких пластиков. В противном случае возможно образование трещин, разрывов как видимых, так и невидимых (внутри материала).

Материалы группы MIKAFORM обычно легко поддаются гидроабразивной обработке.

Стоит обратить внимание на жесткость полимера. Чем выше жесткость полимера, тем больше факторов нужно учесть. Для жестких пластиков 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. К примеру, данные рекомендации действительны для таких жестких пластиков, как ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ.

Армированные волокном материалы (твердо-жесткие), как правило режутся медленнее, а неармированные материалы (жестко-мягкие) быстрее.

Резка PMMA производится на средних скоростях (к примеру, для листа толщиной 10мм рекомендуемая скорость 100мм/мин). Гидроабразивная резка является наиболее предпочтительной для обработки PMMA, в сравнении с водоструйной резкой.

Вырубка, штамповка

В общем только тонкие листы из пластиков возможны к вырубке. Чем жестче пластик, тем выше вероятность раскалывания полимера. Получить ровный, без сколов и создания напряжений край сложно, поэтому по возможности стоит избегать данного метода обработки. Инструменты должны быть остро и правильно заточены. Заготовки должны быть правильно зафиксированы, исключая смещение.

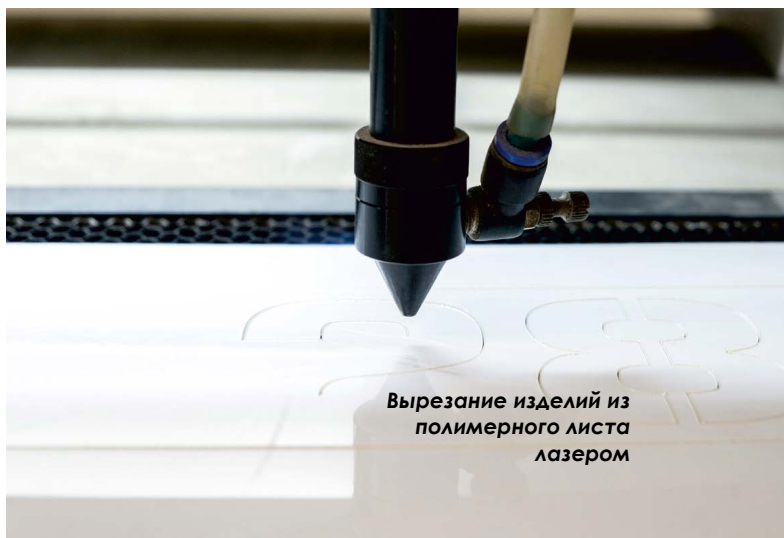
Термопласты с модулем упругости при растяжении до 1200МПа (к примеру, PE, PTFE) и толщиной до 5мм не так критичны для вырубки, как материалы с более высоким модулем.

Если вырубка необходима, то требуется предварительный нагрев для некоторых жестких термопластов. При этом следует обратить внимание на расширение и сжатие заготовок в случае нагрева и последующего охлаждения.

Из практики

При вырубке листы из оргстекла (PMMA) должны быть нагреты до 100-140°C (для экструдированных материалов) и 150°C (для заготовок, полученных литьем). Инструмент должен иметь температуру в диапазоне 120-130°C. Максимальная толщина обработки - 4мм.

До момента изготовления шаблона обратите внимание на уменьшение размеров материала после остывания до комнатной температуры.



Вырезание изделий из полимерного листа лазером

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПЛАСТИКОВ

Токарная обработка

полимерных заготовок на сегодняшний день является самым популярным методом изготовления инженерных деталей. Круглые полимерные заготовки из любых пластиков отлично поддаются токарной обработке, а качество поверхности зависит от инструмента и параметров обработки.

Подходящее оборудование

Обычные универсальные токарные станки для обработки металла, токарные станки с числовым программным управлением (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 пластиков. Могут быть применены инструменты и из быстрорежущих сталей для узкого перечня пластиков в разовом производстве (к примеру, для PE, PVC, PA, PTFE, PMMA).

Используйте инструменты с маленьким радиусом режущей кромки - радиус по меньшей мере 0,5мм.

Для полиимидов индивидуальная заточка режущих инструментов может дать еще лучшие результаты - кончик резца должен иметь радиус 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.

Скорость

Выбирайте высокую скорость резания - 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 (см. таблицу на стр. 17)

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 их отсутствием.

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.

Если при токарной обработке полиимида соблюдаются все основные производственные требования, то можно получить очень чистые детали с высоким качеством поверхности ($Ra \geq 1,6$). Скорость резания для торцевого и продольного точения: $V = 100-120$ м/мин, подача $f = 0,05-0,08$ мм/об. Инструменты для отрезания полиимида должны быть заточены под углом 30° к отрезаемой детали. Это позволит избежать образования заусенцев и тенденции к образованию сколов в конце зоны резки. Сколы в конце зоны резания могут быть предотвращены при использовании «сухой» обработки, так как снижается давление на обрабатываемую деталь. $V = 100$ м/мин, $f = 0,05-0,15$ мм/об. Такие же параметры используются для изготовления канавок.

Для инженерных и высокотемпературных пластмасс используйте острые инструменты со вспомогательным углом (X) мин. 45° и передним углом (y) $0-5^\circ$ для обеспечения хорошего разрушения стружки. $V \sim 200-500$ м/мин, $f \sim 0,05-0,5$ мм/об. Для усиленных марок лучше снизить скорость вращения и скорость подачи: $V \sim 100-200$ м/мин; $f \sim 0,05-0,3$ мм/об.

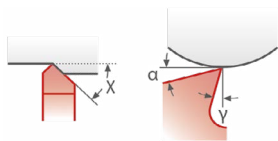


Из практики

Для обработки наружной поверхности втулки из МКАРЕЕК натурального диаметром 30мм для получения поверхности с $Ra 1,25$ использовались следующие режимы при точении:

- черновые проходы - 0,5мм на сторону, обороты шпинделя - 1000 об/мин, подача - 0,4мм/мин (любое направление);
- чистовые проходы - 0,2мм на сторону, обороты шпинделя - 800 об/мин, подача - 0,1мм/мин (любое направление).

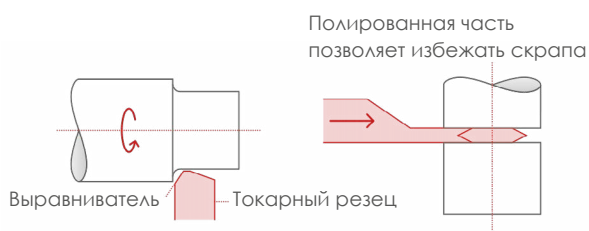
Точение



α задний угол [°]
 γ передний (главный) угол [°]
 χ вспомогательный угол [°]
 V скорость резания (м/мин)
 S подача (мм/об)

материал	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
ПОЛИИМИД	PI	2-5	0-5	7-10	100-120	0,05-0,08	A, K	
ПОЛИАМИД-ИМИД	PAI	6-8	0-5	7-10	100-120	0,05-0,08	A, K	
PEEK XP-200	PEEK/PBI	6-8	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5	A, K	
МИКАРЕЕК	PEEK	6-8	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5	HW	
MIKATRON	PPS	6	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5	HW	
MIKASON E	PES	6	0	45-60	350-400	0,1-0,3	HW	●
MIKARPEI	PEI	10	0	45-60	350-400	0,1-0,3	HW	●
MIKASON P	PPSU	6	0	45-60	350-400	0,1-0,3	HW	●
MIKASON S	PSU	6	0	45-60	350-400	0,1-0,3	HW	●
ФТОРОПЛАСТ-4	PTFE	5-10	5-8	10	150-500	0,1-0,3	HW	
ФТОРОПЛАСТ-3	PCTFE	5-10	5-8	10	150-500	0,1-0,3	HW	
ФТОРОПЛАСТ-2	PVDF	5-10	5-8	10	150-500	0,1-0,3	HW	
MIKANAT	PC	5-10	6-8	45-60	300	0,1-0,5	HW, A**	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PET	5-10	0-5	45-60	300-400	0,2-0,4	HW	
ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PBT	5-10	0-5	45-60	300-400	0,2-0,4	HW	
ПОЛИАМИД С	PA 6 С	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5	HW	
ПОЛИАМИД	PA	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5	HW	
MIKAFORM H	РОМ-H	6-8	0-5	45-60	300-600	0,1-0,4	HW	
MIKAFORM C	РОМ-C	6-8	0-5	45-60	300-600	0,1-0,4	HW	
ПОЛИФЕНИЛЭФИР	PPE	5-10	6-8	45-60	300	0,1-0,5	HW	●
ПОЛИПРОПИЛЕН	PP-H	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5	HSS, HW	
ПОЛИЭТИЛЕН	PE-HD, PE-HMW, PE-UHMW	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5	HSS, HW	
ПОЛИМЕТИЛПЕНТЕН	PMP	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5	HW	
АКРИЛОНИТРИЛ-БУТАДИЕНСТИРОЛ	ABS	5-15	25-30	15	200-500	0,2-0,5	HW	
ОРГСТЕКЛО	PMMA	5-10	0-4	15-45	200-300	0,1-0,5	HSS, HW, A**	●
ПОЛИВИНИЛХЛОРИД	PVC-U	8-10	0-5	50-60	200-750	0,3-0,5	HSS, HW	
Армированные *	GF, CF, PVX и т.д.	6-8	2-8	45-60	80-150	0,1-0,5	A, K	

Радиус закругления режущей кромки (r) должен быть не менее 0,5мм, для полиимидов- 0,2-0,4мм



● Будьте внимательны к выбору охлаждающих жидкостей. Данные пластики чувствительны к образованию трещин при напряжении.

*Армированные - содержащие стекловолокно, стеклянные шарики, углеволокно, графит, слюду, тальк и т.п.

Материал зуба
 HSS - инструментальная сталь
 HW - твердосплавный инструмент
 A - инструмент с алмазным покрытием
 K - керамический инструмент
 ** - если нужна глянцевая поверхность, используйте алмазный инструмент

Фрезерование

Наряду с токарной обработкой, фрезерование является популярным методом изготовления деталей из пластмасс.

Подходящее оборудование

Подходит оборудование от обычных ручных фрез до вертикальных или горизонтальных универсальных фрезерных станков с ЧПУ, пятиосевых 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. Однако фрезы с тремя и четырьмя режущими кромками могут быть полезными при правильном подборе параметров обработки.

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.

Особенности и рекомендации

Избегайте одностороннего перегрева материала. Рекомендуется поэтапная обработка с обеих сторон. Важно обеспечить хорошую фиксацию заготовки. Для фиксации тонких заготовок используйте вакуум или двухсторонний скотч.

Предпочтительнее встречное фрезерование в сравнении с попутным.

Для плоских поверхностей концевое фрезерование является более экономичным, чем периферийное. При периферийном фрезеровании инструменты не должны иметь более двух режущих кромок. Это необходимо для минимизации вибраций, возникающих из-за большого количества режущих кромок.

Пошаговое фрезерование рекомендовано для улучшения теплоотдачи тогда, когда необходимо избежать накопления тепла.

Для достижения хорошего качества поверхности при фрезеровании выбирайте низкий угол снятия стружки, инструменты с одиночной режущей кромкой, попутное фрезерование.

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

Для полиимидов. Торцовое фрезерование. Режущая головка с 4-10 резцами. Кончики режущих кромок инструментов могут иметь радиус от 0,4 до 0,8мм или поверхность с максимальным диаметром 1мм.

Максимальная глубина резания не должна превышать 2мм.

Фрезерный инструмент не должен выходить за пределы острого края. По этой причине кромки должны быть предварительно фрезерованы с припуском 0,2мм. Этот процесс должен повторяться на каждом этапе фрезерования. Рекомендуемые параметры: $V = 90-100$ м/мин, $f = 0,04-0,08$ мм/зуб. Шлифование на фрезерном станке: инструмент с твердосплавным наконечником $\varnothing 10$ мм с 4 резцами, $V = 100$ м/мин, $f = 0,02 - 0,08$ мм/зуб. Фрезерование пазов, канавок производится «влажным» способом, $V = 100$ м/мин, $f = 0,02-0,05$ мм/зуб.

Качество поверхности. При соблюдении всех основных производственных правил во время обработки можно получить очень чистые детали с высоким качеством поверхности. ($Ra \geq 1,6$).

Инженерные и высокотемпературные пластики Лучше использовать инструменты с двумя резцами, 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.

$V \sim 250-500$ м/мин (для инженерных полимеров предпочтительнее 250-300 м/мин), $f \sim 0,1-0,45$ мм/зуб (зависит от диаметра инструмента - чем больше диаметр стороны, тем выше f).

Усиленные (армированные марки): $V \sim 80-100$ м/мин, $f \sim 0,05-0,25$ мм/зуб.

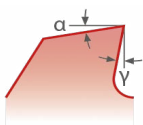
Композитные версии.

$V \sim 90-150$ м/мин, $f \sim 0,02-0,08$ мм/зуб.

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.



Фрезерование



α задний угол [°]
 γ передний угол [°]
 V скорость резания (м/мин)
 S подача (мм/об)

Тангенциальная подача, скорость подачи может быть до 0,5мм / зуб

материал	обозначение	число зубьев	угол зазора (задний угол), α, °	главный передний угол, γ, °	скорость резания, V, м/мин	скорость подачи, мм/ оборот (S)	особен- ности
ПОЛИИМИД	PI	Z1 – Z2	2-5	0-5	90-100	0,02-0,35	
ПОЛИАМИД-ИМИД	PAI	Z1 – Z2	2-5	0-5	90-100	0,02-0,35	
РЕЕК ХР-200	РЕЕК/PBI	Z1 – Z2			250-500	0,1-0,45	
МИКАРЕЕК	РЕЕК	Z1 – Z2	5-15	6-10	250-500	0,1-0,45	
МИКАТРОН	PPS	Z1 – Z2	5-15	6-10	250-500	0,1-0,45	
МИКАСОН E	PES	Z1 – Z2	2-10	1-5	250-500	0,1-0,45	●
МИКАРЕИ	PEI	Z1 – Z2	2-10	1-5	250-500	0,1-0,45	●
МИКАСОН P	PPSU	Z1 – Z2	2-10	1-5	250-500	0,1-0,45	●
МИКАСОН S	PSU	Z1 – Z2	2-10	1-5	250-500	0,1-0,45	●
ФТОРОПЛАСТ-4	PTFE	Z1 – Z2	5-15	5-15	150-500	0,1-0,45	
ФТОРОПЛАСТ-3	PCTFE	Z1 – Z2	5-15	5-15	150-500	0,1-0,45	
ФТОРОПЛАСТ-2	PVDF	Z1 – Z2	5-15	5-15	150-500	0,1-0,45	
МИКАНАТ	PC	Z1 – Z2	10-20	5-15	300	0,15-0,4	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PET	Z1 – Z2	5-15	5-15	300	0,15-0,5	
ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PBT	Z1 – Z2	5-15	5-15	300	0,15-0,5	
ПОЛИАМИД С	РА 6 С	Z1 – Z2	10-20	5-15	250-500	0,1-0,45	
ПОЛИАМИД	РА	Z1 – Z2	10-20	5-15	250-500	0,1-0,45	
МИКАFORM H	РОМ-H	Z1 – Z2	5-15	5-15	300	0,15-0,5	
МИКАFORM C	РОМ-C	Z1 – Z2	5-15	5-15	300	0,15-0,5	
ПОЛИФЕНИЛЕНЭФИР	PPE	Z1 – Z2	10-20	5-15	300	0,15-0,5	●
ПОЛИПРОПИЛЕН	PP-H	Z1 – Z2	10-20	5-15	250-500	0,1-0,45	
ПОЛИЭТИЛЕН	PE-HD, PE-HMW, PE-UHMW	Z1 – Z2	10-20	5-15	250-500	0,1-0,45	
ПОЛИМЕТИЛПЕНТЕН	PMP	Z1 – Z2	10-20	5-15	250-500	0,1-0,45	
АКРИЛОНИТРИЛ- БУТАДИЕНСТИРОЛ	ABS	Z1 – Z2	5-10	0-10	300-500	0,1-0,45	
ОРГСТЕКЛО	PMMA		2-10	0-5	200-450	до 0,5	
ПОЛИВИНИЛХЛОРИД	PVC-U		5-10	0-15	300-1000	до 0,5	
Армированные *	GF, CF, PVX и т.д.	Z1 – Z2	11-15	6-10	80-450	0,05-0,25	

Армированные - содержащие стекловолокно, стеклянные шарики, углеволокно, графит, слюду, тальк и т.п.

● Будьте внимательны к выбору охлаждающих жидкостей. Данные пластики чувствительны к образованию трещин при напряжении.

Сверление и вырезание отверстий

возможно в любом типе полимера. Пластики плохо проводят тепло, поэтому важно обеспечить хороший отвод тепла. Это поможет выдержать требуемый размер и исключить образование трещин, сколов, оплавления.

Подходящее оборудование

Для изготовления отверстий подходит как ручной инструмент, так и токарный, фрезерный станки. По возможности старайтесь избегать использования ручной подачи.

Подходящий инструмент

Достаточным будет использование хорошо заточенных сверл из быстрорежущей стали (HSS), однако использование твердосплавных инструментов (HM) наиболее предпочтительно. 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.

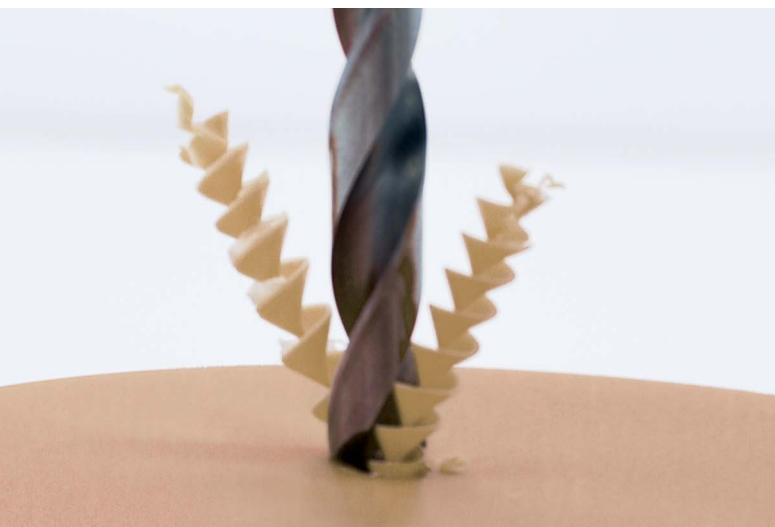
Для сверления материалов PAI и PI рекомендуется использовать сверла с твердосплавными наконечниками (HM), за исключением отверстий $< \varnothing 1,5$ мм. Они всегда должны быть изготовлены с помощью сверл из быстрорежущих сталей (HSS).

Для изделий из PMMA должны использоваться сверла с углом между режущими кромками 60-90°, а главный передний угол (γ) находится в пределах 4-0°. Возможно использование ступенчатых, конических, режущих сверл, специальных зенкеров.

Скорость

Выбирайте высокую скорость сверления для снижения образования в зоне резания и заклинивания инструмента. Для армированных материалов и материалов PAI, PI рекомендуется использование HM сверл $V = 100$ м/мин, $f = 0,02-0,1$ мм/об, а при использовании HSS сверл $V = 15-40$ м/мин $f = 0,02-0,1$ мм/об.

Для неармированных инженерных и высокотемпературных пластмасс HSS инструменты с передним углом (γ) 3-5°. $V = 50-100$ м/мин, $f = 0,1-0,3$ мм/об. Те же материалы в армированных версиях: $V=50-80$ м/мин; $f=0,1-0,2$ мм/об.



Охлаждение

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

При сверлении глубоких, больших отверстий, множества отверстий используйте охлаждающие вещества. СОЖ должна соответствовать типу обрабатываемого пластика.

Особенности и рекомендации

При сверлении наибольшее количество тепла образуется внутри заготовки. При изготовлении небольших и неглубоких отверстий обычно сложностей не возникает, так как тепло рассеивается достаточно быстро. Если глубина сверления в два раза и более превышает диаметр отверстия, тепло не успевает рассеяться, и материал перегревается и расширяется в зоне сверления. Это может привести к заклиниванию инструмента, повреждению заготовки или детали (деформация, трещины, изломы, ненормированные допуски).

Не прикладывайте слишком высокое давление при сверлении.

Для отверстий диаметром до 25мм подходят спиральные HSS сверла с углом закручивания 12-25°. Как можно чаще извлекайте сверло и обеспечьте хорошее удаление стружки.

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 25мм необходимо предварительно вырезать черновое отверстие меньшего диаметра резцом и только после просверлить сверлом подходящего диаметра, а лучше фрезеровать отверстие, так как при этом создается меньшее давление и снижается 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 термостойких армированных волокнами пластиков желательнее прогреть заготовку до +80+120°C (1 час на каждые 10мм толщины заготовки). В таких случаях чистовую обработку можно начинать только после полного остывания черновой детали. В противном случае размеры детали не будут выдержаны.

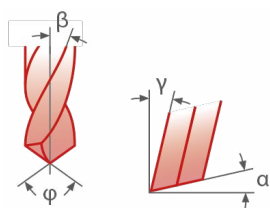
Для материалов PI и PAI из-за тепловыделения рекомендуется своевременное удаление стружки, а также «влажное» сверление.

Когда сверление запрограммировано, сверление каждого отверстия должно быть центрировано. Для сверления отверстий < 1 мм удаление стружки должно планироваться каждые 0,5 мм.

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.

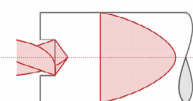
Сверление



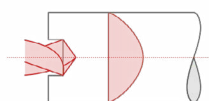
α задний угол [°]
 β угол закручивания [°]
 γ передний угол [°]
 ϕ угол заострения [°]
 V скорость резания (м/мин)
 S подача (мм/об)

материал	обозначение	число зубьев	угол закручивания, °, β	угол заострения, °, ϕ	скорость резания, м/мин (V)	скорость подачи, мм/оборот (S)	особенности
ПОЛИИМИД	PI	Z2	25	120	15-100	0,02-0,1	
ПОЛИАМИД-ИМИД	PAI	Z2	25	90	15-100	0,02-0,1	
РЕЕК ХР-200	РЕЕК/PBI				50-200	0,1-0,3	
МИКАРЕЕК	РЕЕК	Z2	25	90	50-200	0,1-0,3	
МИКАТРОН	PPS	Z2	25	90	50-200	0,1-0,3	
МИКАСОН Е	PES	Z2	25	90	20-80	0,1-0,3	●
МИКАРЕИ	PEI	Z2	25	90	20-80	0,1-0,3	●
МИКАСОН Р	PPSU	Z2	25	90	20-80	0,1-0,3	●
МИКАСОН S	PSU	Z2	25	90	20-80	0,1-0,3	●
ФТОРОПЛАСТ-4	PTFE	Z2	25	90	150-200	0,1-0,3	
ФТОРОПЛАСТ-3	PCTFE	Z2	25	90	150-200	0,1-0,3	
ФТОРОПЛАСТ-2	PVDF	Z2	25	90	150-200	0,1-0,3	
МИКАНАТ	PC	Z2	25	90	50-100	0,2-0,3	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PET	Z2	25	90	50-100	0,2-0,3	●
ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	PBT	Z2	25	90	50-100	0,2-0,3	●
ПОЛИАМИД С	PA 6 С	Z2	25	90	50-150	0,1-0,3	●
ПОЛИАМИД	PA	Z2	25	90	50-150	0,1-0,3	●
МИКАFORM Н	РОМ-Н	Z2	25	90	50-150	0,1-0,3	
МИКАFORM С	РОМ-С	Z2	25	90	50-150	0,1-0,3	
ПОЛИФЕНИЛЕНЭФИР	PPE	Z2	25	90	50-100	0,2-0,3	●
ПОЛИПРОПИЛЕН	PP-H	Z2	25	90	50-150	0,1-0,3	
ПОЛИЭТИЛЕН	PE-HD, PE-HMW, PE-UHMW	Z2	25	90	50-150	0,1-0,3	
ПОЛИМЕТИЛПЕНТЕН	PMP	Z2	25	90	50-150	0,1-0,3	
АКРИЛОНИТРИЛ-БУТАДИЕНСТИРОЛ	ABS	Z2	25	90	50-200	0,2-0,3	
ОРГСТЕКЛО	PMMA		12-16	60-90	20-60	0,1-0,3	
ПОЛИВИНИЛХЛОРИД	PVC-U		12-16	60-100	30-120	0,1-0,5	
Армированные*	GF, CF, PVX и т.д.	Z2	25	100	50-80	0,1-0,2	●

*Армированные - содержащие стекловолокно, стеклянные шарики, углеволокно, графит, слюду, тальк и т.п.



Зона напряжения при работе тупым сверлом



Зона напряжения при работе острым сверлом

● Рекомендуется прогреть до +120°C
 Нагрев до начала сверления в центре:
 Ø 60 мм и выше из МИКАРЕЕК GF/PVX, РЕЕК СМ ХР серии 200, МИКАТРОН GF/PVX
 Ø 80 мм и выше из ПОЛИАМИД 66 GF, ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ, ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ PBT GF
 Ø 100 мм и выше из ПОЛИАМИД 6 GF, 66, 66 МН

● Будьте внимательны к выбору охлаждающих жидкостей. Данные пластики чувствительны к образованию трещин при напряжении.

Нарезание резьбы

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

Подходящий инструмент

Резьбу лучше всего наносить резьбовой гребенкой. Двухзубчатый инструмент позволяет избежать образования заусенцев.

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

Охлаждение

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

Особенности и рекомендации

По возможности избегайте использования острого края резьбы, особенно при работе с аморфными пластиками. Это снизит концентрацию напряжений, что часто приводит к растрескиванию детали.

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 полиимидов рекомендуемая глубина за проход находится между $0,04$ и $0,06$ мм, $V = 100$ м/мин, $f =$ градиент. Нарезание резьбы с помощью метчика $V = 9-11$ м/мин, $f =$ градиент.

Для высокотемпературных 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), так как расширение полимерных материалов выше, чем у металлов. Для полимерных материалов с CLTE близким металлам данное правило может не применяться.

При монтажных, сборочных работах избегайте чрезмерной натяжки крепежа.

Технические пластики, по своей сути, не предполагают применение в дизайне и, как следствие, не предусматривают обязательное производство с эстетичной поверхностью.

К примеру, многие пластики имеют на поверхности экструзионный слой («экструзионная кожа») в виде кольцеобразных или спиралевидных следов (у стержней) или волнистого рисунка, чешуек (у листов). Этот слой должен быть удален перед обработкой.

В случае необходимости получения низкой степени шероховатости изделия или требований к эстетическому виду (глянец), пластики могут быть отшлифованы, отполированы.

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).

Подходящее оборудование

Подходит оборудование для обработки дерева и металла.

Особенности и рекомендации

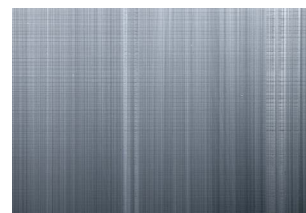
Обе процедуры отличаются лишь тем, что при строгании по прямой линии, удаление материала с поверхности заготовки осуществляется с использованием режущего инструмента строгальных машин. В случае фрезерования плоскости поверхность обрабатывается с помощью фрезерной головки.

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, наличие глянца).

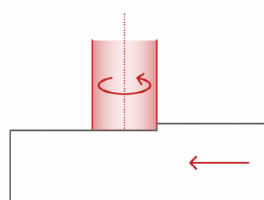
Избегайте перегрева поверхности. Это может привести к деформации, короблению детали.



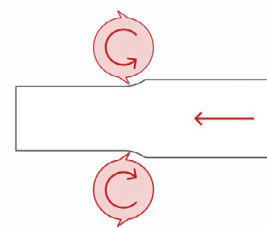
Фрезерованная поверхность



Строганная поверхность



Фрезерование



Строгание

После полировки оптически прозрачные пластики имеют эстетическую зеркальную поверхность.

Заготовки из оргстекла (PMMA) заведомо имеют глянцевую поверхность, так как в большинстве случаев применяются в дизайнерских целях. Заготовки из PMMA имеют защитную пленку, так как при транспортировке красивая поверхность легко повреждается.

Важно

Шлифование, полирование

При шлифовании наблюдается сочетание общего эффекта воздействия абразивного материала (резки), движения заготовки и подачи инструмента. В результате этих процессов происходит удаление стружки с обрабатываемой поверхности. Подходят как ленточные шлифовальные станки, так и бесцентровые. Большая часть полимеров легко обрабатывается на станках с цилиндрическим или торцевым шлифованием.

Для шлифования используются шлифовальные круги и ленты с крупным зерном. При использовании мелкозернистых лент или кругов возможно «размытие», «размазывание» пластика по поверхности заготовки. Особенно этот эффект проявляется на полимерах с малым модулем (PE, PTFE, марки, 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 инженерных и высокотемпературных материалов, включая полиимиды и полиамид-имиды, для всех процедур шлифования рекомендуется использовать шлифовальные круги с грубой калибровкой (60) и «мокрой» обработкой. Более мелкая зернистость может привести к «размазыванию» материала. Удаление за один шаг шлифования не должно превышать 0,1 мм, а поперечная подача за один ход не должна превышать 1/5 ширины шлифовального круга.

Во время шлифования крайне важно обеспечить хороший отвод тепла, чтобы избежать деформации деталей. При шлифовании тонких деталей следует использовать фиксацию вакуумом. При правильном подходе возможно достичь шероховатости поверхности Ra1,2/Rz1,6. $V = 8-12$ м/мин - грубое шлифование, $V = 4-6$ м/мин - тонкое шлифование.

Для материалов из аморфных пластиков, таких как: PMMA, PC, PSU, PPSU, PES, PEI сначала применяется абразив с зерном 60 (грубое шлифование), далее с зерном 220 (среднее шлифование) и для финишной отделки зерно от 400 до 600.

Оптимально подобранное оборудование и правильный выбор параметров обработки для соответствующего материала гарантируют достижение очень хорошего качества поверхности, ее округлости и прямолинейности с наличием небольшой допустимой шероховатости до h9.

Для аморфных прозрачных пластиков, где предъявляются высокие требования к прозрачности, качеству поверхности, для финишной обработки могут быть использованы войлочные, тканевые круги, ленты, колеса и специальные химические пасты (составы) для полировки.

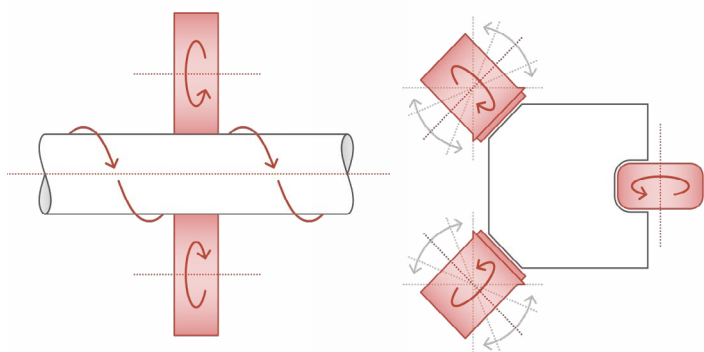
Обработка пластиков алмазными инструментами с правильно подобранными параметрами, как правило, не требует последующей отдельной полировки.

Для некоторых аморфных пластиков может быть использована огневая полировка торцов. Однако стоит принимать во внимание что неправильное расстояние или время воздействия пламени могут привести к повреждению детали.

Высокое качество поверхности, глянца можно получить путем обработки деталей в галтовочном барабане.

При использовании полировальных паст следует удалить все следы с заготовки после полировки.

Обратите внимание, что при тонкой полировке материала стоит избегать прямого контакта рук с деталью, так как следы от рук сложно удалить при дальнейшей обработке.



Необработанная заготовка из MIKAPET (потертости, царапины, матовая поверхность)

Шлифованная (зерно 80) часть заготовки из MIKAPET (матовая)

Полированная войлочным кругом часть заготовки из MIKAPET (гляцевая)

Охлаждение и охлаждающие жидкости

В настоящее время имеется тенденция использовать «сухую обработку» при работе с техническими пластиками. Это обусловлено накопленным опытом и рядом преимуществ, которые дает обработка без СОЖ.

Исключением для процесса механической обработки термопластов являются:

- Сверление глубоких отверстий
- Нарезание резьбы
- Пиление укрепленных волокнами материалов

Для улучшения качества поверхности и допусков обрабатываемых полимерных деталей возможно использование охлажденной режущей поверхности. Использование охлажденной режущей поверхности применяется и для обеспечения более быстрых темпов подачи и, следовательно, снижения времени производимых работ.

Обработка с охладителями

Если охлаждение все же требуется, то рекомендуется использовать следующие способы:

- Через образование стружки
- Используя сжатый воздух
 - ↳ Преимущества. Одновременное охлаждение и удаление стружки из рабочей области
- Использование водорастворимых охлаждающих веществ
 - ↳ Также могут быть использованы коммерчески доступные эмульсии для сверления, для масла, для резания
 - ↳ Распыление и сжатый воздух являются очень эффективными методами

Обработка аморфных пластиков

- Избегайте использования охлаждающих веществ:
 - ↳ Материалы подвержены образованию напряжений, что может привести к трещинам и разрывам в случае использования неподходящих СОЖ
- Если охлаждение необходимо:
 - ↳ Детали следует промыть в чистой воде или изопропанолу сразу после обработки
 - ↳ Используйте подходящие охлаждающие вещества
- Чистая вода
- Сжатый воздух
- Специальные смазочные вещества. Информацию о наиболее подходящих из них вы можете получить у вашего поставщика СОЖ

Преимущества сухой обработки

- Нет загрязнений деталей от СОЖ
 - ↳ Подходит для деталей, применяющихся в медицинских устройствах или при прямом контакте с пищевыми продуктами (нет миграции во время обработки)
- Исключено влияние на материал смазочно-охлаждающих веществ (набухание, изменение размеров, трещины от напряжения)
 - ↳ Нет взаимодействия с материалом
- Отсутствие лишней работы (меньше трудозатрат на последующую инспекцию и очистку)

Качество поверхности изделий

Для достижения хорошего качества поверхности следует придерживаться следующих правил:

Инструменты

Должны использоваться инструменты, подходящие для пластиков.

Инструменты должны быть всегда острыми и гладкими. Тупые режущие края могут приводить к повышенному выделению тепла, что приводит к искривлению и тепловому расширению.

Инструменты должны быть грамотно расположены - убедитесь, что только режущий край вступает в контакт с пластиком.

Нельзя использовать инструменты, использованные после обработки металлов. В крайнем случае инструменты должны быть вновь заточенными.

Оборудование

Бездефектная, высококачественная поверхность может быть достигнута только при работе на оборудовании с низким уровнем вибрации.

Материал

Используйте материалы с низким внутренним напряжением, подвергнутые отжигу. Принимайте во внимание свойства пластиков (тепловое расширение, низкая прочность, плохое проведение тепла).

Из-за низкой жесткости материала заготовка должна правильно фиксироваться, поддерживаться и лежать настолько плоско на опорной поверхности, насколько это возможно. Это способствует снижению рисков отклонения за пределы установленных допусков в результате обработки.

Охлаждение

Используйте охладители, когда процессы обработки предусматривают большое выделение тепла (к примеру, при сверлении).

Используйте подходящие для обрабатываемого материала СОЖ, так как некоторые типы веществ могут вызвать повреждение материала (к примеру, образование трещин) или поверхности (к примеру, помутнение).

Наилучшим способом охлаждения пластиков является сжатый воздух.

Рекомендации

Напряжение при давлении на материал не должно быть слишком высоким, иначе может появиться деформация и/или отпечатки от вдавливания.

Выбирайте подходящие параметры для процесса обработки.

Сохраняйте темп подачи на умеренном уровне.

Выбирайте высокую скорость резки.

Должно быть обеспечено хорошее удаление стружки для предотвращения зажатия инструмента. Скопление стружки в зоне резания препятствует отводу тепла. Стружка налипает на заготовку или инструмент, что влияет на качество обрабатываемой поверхности.

Для предотвращения деформации, убедитесь в том, что удаление материала одинаково со всех сторон заготовки.

Важно

Подходящий инструмент для каждого отдельного материала и верные параметры обработки позволяют производить детали без заусенцев.

При «сухой» обработке крайне важно обеспечить рассеивание (отвод) тепла. Это может быть обеспечено несколькими способами - от рассеивания тепла через стружку до охлаждения сжатым воздухом.

Снятие заусенцев

После механической обработки на краях изделия остается небольшое количество обработанного материала. Это явление негативно влияет на качество поверхности детали. Формирование заусенцев, как правило, зависит от множества причин.

Инструменты

Используйте инструментарий, предназначенный именно для этого вида материала.

Используйте острые инструменты. Тупые инструменты вызывают намного больший уровень выделения тепла и образования заусенцев.

Материал

→ Плохо проводящие тепло пластики:

↳ Локальное повышение температуры, уменьшение жесткости и твердости

↳ Оплавление заусенцев

→ У мягких, вязких пластиков (например: PE, PTFE) наблюдается тенденция к большему образованию заусенцев. Твердые, жесткие материалы (например: PEEK, PPS, армированные материалы) в меньшей степени подвержены этой тенденции

Параметры обработки

→ Темп подачи материала

→ Скорость резки:

↳ Более высокие скорости подачи и резки ведут к образованию более высоких температур

↳ Больше образование заусенцев

↳ Хорошо использовать высокие скорости резания, так как это приводит к хорошему формированию стружки, однако чрезмерно высокая подача может привести к плохим результатам.

→ Обеспечьте адекватное охлаждение

Основные методы снятия заусенцев

Ручное снятие заусенцев

Самый популярный метод снятия заусенцев. Гибкий, но наиболее затратный по работе. Преимущество метода - удаление заусенцев и одновременный визуальный контроль качества детали.

При данном методе удаление заусенцев производится напильниками (лучше с двойной насечкой) или тонкими рашпилями (как правило, по дереву), специальными строгальными (фугвальными) ножами, трехгранными или обычными шаберами в случае работы с кромкой.

Снятие заусенцев под давлением

Для подачи абразивного материала под высоким давлением на поверхность компонента, часто используются струйные очистки при помощи: песка, стеклянных шариков, соды, сухого льда и струйной очистки ореховой скорлупой. Данный метод позволяет не только удалить заусенцы, но и сглаживает, выравнивает поверхность деталей, удаляет загрязнения, полученные в результате обращения с материалом.

Криогенное снятие заусенцев

Удаление заусенцев при температуре около $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ через использование струйной или барабанной полировки деталей. Часто используемые охладители: жидкий кислород, жидкий диоксид углерода, сухой лед. Обратите внимание, что низкие температуры ведут к появлению хрупкости, к повышению твердости материалов.

Снятие заусенцев пламенем

Удаление заусенцев при помощи открытого источника пламени.

→ Опасность: может вызывать повреждение детали из-за возможного перегрева.

Снятие заусенцев горячим воздухом

Излишки материала на поверхности плавятся под воздействием тепла.

→ Очень безопасный и хорошо контролируемый процесс.

→ Избегание повреждения или деформации детали, используя систему управления процессом, подходящую для данного материала.

Инфракрасное снятие заусенцев

Процесс сравним с методом использования горячего воздуха, но вместо него для нагревания используется источник инфракрасного излучения.

Вибрационное снятие заусенцев

Обработка деталей вместе с абразивными веществами во вращающемся/вибрирующем оборудовании (к примеру, галтовочный барабан).



Заусенец на MIKASON S



Точность изделий и заготовок

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 стандарту).

На странице 45 вы найдете таблицы с данными по точности, шероховатости и методам обработки, достижимыми для пластиков.

Для заготовок. Все технические пластики имеют допуски в размерах, позволяющими получить чистойвой размер заготовки не меньше номинального, указанного в документах. К примеру, заготовка в виде втулки из MIKAFORM С внешним диаметром 200мм и внутренним 100мм фактически может иметь внешний диаметр (OD) 201...206мм (допуск для данного материала согласно стандарту +1...+6мм), а внутренний диаметр (ID) 98,5...91,5мм (допуск согласно стандарту -1,5...-8,5мм). При этом заготовка имеет данный допуск по всей длине с минимальными отклонениями (как правило ~50% непосредственно от значения допуска). Это позволяет потребителю быть уверенным в соответствующих размерах, и обеспечивает дополнительную безопасность при обработке. Нормированный размер может быть получен гарантированно и нет необходимости в приобретении заготовки с «запасным» размером.

Цилиндричность круглых заготовок и равномерность толщины в различных точках измерения на листовой заготовке. Любые технические пластики (кроме прошедших калибровку на специальном оборудовании) допускают отклонения на одной линии окружности (кольце) измерения по диаметру для круглых заготовок и отклонения по толщине в пределах одной заготовки для плоских заготовок. Как правило, эти отклонения в пределах 50% допуска, установленного для данного типа материала и размера заготовки.

Морфологические изменения и посусадка

Термическое воздействие всегда имеет прямое влияние на полимерные материалы и их обработку.

Термическое воздействие возникает в результате:

- Отжига
- Механической обработки (тепло от трения)
- Использования (температура эксплуатации, стерилизация горячим паром и пр.)

Полукристаллические пластики

→ 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
- ↳ Постусадка

→ Особенно критичным в этом отношении является MIKAFORM:

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

Аморфные пластики

→ Менее критичны с точки зрения постусадки и деформации

Стабильность размеров

Стабильность размеров - ключевая характеристика в каждой системе, каждой стадии процесса - от производства заготовок до готовых деталей, их эксплуатации. Существует множество различных причин, которые могут повлиять на стабильность размеров детали.

Поглощение влаги

→ В целом, пластики с более низким поглощением влаги намного более стабильны в своих размерах. Примеры: MIKAFORM С/Н, PET, MIKATRON, MIKAREEK:
↳ Из этих материалов могут быть получены детали с жесткими допусками.

→ Пластики с высоким уровнем поглощения влаги показывают значительное влияние на стабильность размеров. Примеры: PA, PAI, PI:

- ↳ Поглощение/выделение влаги материалом ведет к его набуханию или усадке.
- ↳ Перед обработкой рекомендуется создание необходимых условий.
- ↳ При длительном хранении готовых деталей рекомендуется использовать вакуумные пакеты для сохранения стабильности размеров.

Высвобождение напряжения

→ 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.

→ Важно. Дальнейшее использование деталей при более высоких температурах:

- ↳ Напряжение может внезапно снизиться.
- ↳ 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 приносится 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
 - ↳ Полукристаллические термопласты обладают высокой постусадкой (до ~1,0–2,5%), что является критичным с точки зрения деформации
 - ↳ Аморфные термопласты показывают лишь незначительные показатели постусадки (~0,3–0,7%) и являются более стабильными в размерах, чем полукристаллические термопласты
- Во многих случаях следует принимать во внимание более высокое тепловое расширение (по сравнению с металлами).

Коробление из-за односторонней обработки

1. красный - удаляемый материал



2. искривление после удаления материала с одной стороны

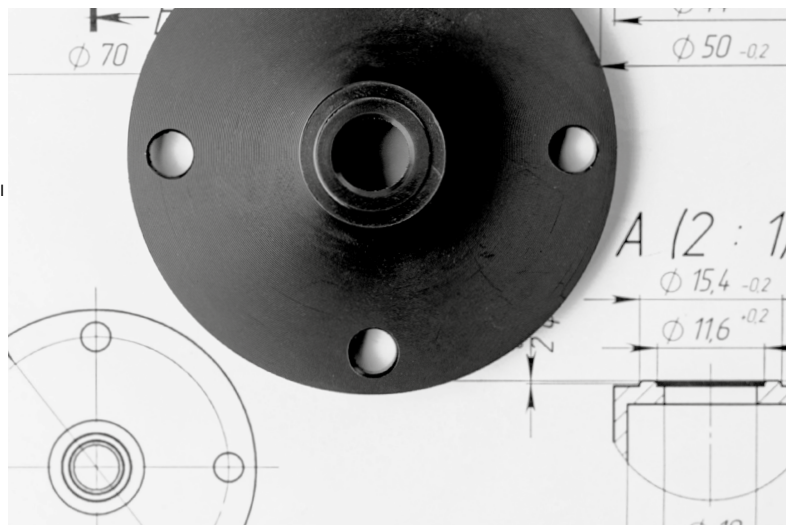


Важно

Наиболее частая причина повреждения детали в результате фрезерования - коробление (деформация) плоских изделий больших или средних размеров. В подавляющем большинстве причиной искривления является односторонняя обработка заготовки. Обратите внимание, что даже деревянные плоские изделия «становятся лодочкой» в случае односторонней обработки. Это связано с физическими процессами при локальном перегреве, а не с материалом. Пожалуйста, исключите односторонний перегрев детали.

Обработка

- Убедитесь в хорошем рассеивании тепла для того, чтобы избежать локального перегрева.
- В случае с высоким объемом обработки материала, 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 сначала материал удаляется с одной стороны, потом заготовка переворачивается и материал удаляется с другой стороны шаг за шагом).
 - ↳ Снижение риска перегрева заготовки с одной стороны и, как следствие, снижение риска искривления детали.
- Пластики требуют больших производственных допусков, чем металлы.
- Для снижения риска искривления избегайте высокой растягивающей силы.
- В случае с материалами армированными волокнами особенное внимание следует уделять положению изделия в заготовке (отметьте направление экструзии).
- Во время обработки следует выбирать техническую процедуру, оптимальную для производства данной детали.



3D ПЕЧАТЬ

Печать деталей на FDM принтерах набирает популярность и порой является единственным экономически целесообразным способом получить изделие. Как правило, 3D печать из полимерных нитей (филамент) наиболее подходит для изготовления прототипов деталей, деталей, сочетающих в себе несколько материалов (к примеру, металл-пластик), для производства изделий со сложной геометрией или при производстве мелкосерийных партий.

Филамент (проволока, используемая для печати) поставляется в виде нити диаметром 1,75мм(±0,06мм), намотанной на катушку. Вес материала в катушке может быть разным: 500г, 750г, 1000г.

Филамент поставляется запечатанным в вакуумную пленку для исключения попадания грязи и влаги.

Для достижения оптимальных механических свойств изделия рекомендуется предварительная сушка филамента (параметры сушки указаны в листах технических данных). Филамент рекомендуется хранить в сухих помещениях с нормальной температурой. Защитите филамент от попадания прямых солнечных лучей.

Оптимальные параметры печати (температуры сопла, стола и камеры, скорость печати, минимальный слой) во многом зависят от геометрии, размеров детали, возможностей имеющегося оборудования. Параметры печати могут отличаться от оборудования к оборудованию и должны быть установлены в индивидуальных условиях.

Для печати стандартными и инженерными полимерами возможно использование доступных на рынке 3D принтеров, в том числе, открытого типа. Для печати деталей из высокотемпературных пластиков требуются принтеры, способные разогреть пластик до крайне высоких температур, которые порой достигают 450°C и наличия закрытой активной (подогреваемой) камеры.

Настройки принтера задаются потребителем, а в листах технических данных производитель филамента указывает следующие данные:

- Температура сопла (экструдера)/ Nozzle temperature
- Макс. температура плавления/ Max. melt temperature
- Температура стола/ Print bed temperature
- Температура в камере/ Build chamber temperature
- Диаметр сопла (экструдера)/ Nozzle diameter
- Скорость печати/ Print speed
- Скорость вентилятора/ Fan speed

Примечание: параметры указаны на двух языках для упрощения работы с принтером.

Температура в камере выше 130°C для:

PEKK
PEEK
PEI
PSU
PPSU
PE
PVDF

Температура в камере до 130°C для:

PA6 GF30
PA12
POM-C

Могут быть изготовлены без активной камеры:

PC
PET-G

Из практики

Печать изделий в нагреваемой камере препятствует короблению детали, снижает риски скручивания, повышает адгезию слоев. Правильно подобранные параметры печати позволяют получить изделия с достаточной степенью кристалличности (без цветowych пятен) Температура камеры регулируется в зависимости от материала и режима работы.

Из практики

Механические свойства изделий, изготовленных аддитивным методом, как правило, ниже, чем изделий, полученных литьем под давлением, прессованием или механической обработкой заготовок.

Физико-механические и температурные характеристики филамента указаны в листах технических данных и доступны на сайтах www.agent-itr.ru и www.polimer1.ru

Обратите внимание, что свойства напечатанных образцов в большой степени зависят от направления слоев и геометрии печати.



Филамент из PEEK

ОКРАШИВАНИЕ И НАНЕСЕНИЕ ПЕЧАТИ

Окрашивание поверхности

Материалы, которые хорошо склеиваются, также хорошо окрашиваются, на них может быть нанесена печать. В этом случае задается достаточное поверхностное натяжение, чтобы цвет закрепился на поверхности. 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 промышленности или медицинских технологиях) окрашенная часть может быть повреждена. В таких случаях решением может быть лазерная маркировка готовых деталей.

Покрытие лаком

Материалы группы MIKAFORM и фторполимеры плохо поддаются или не поддаются вовсе лакированию. Подверженность иных материалов лакированию зависит от состава вещества, которое необходимо нанести, и должна быть установлена в индивидуальном порядке. Может потребоваться предварительная обработка поверхности.

Окрашенные в структуре

Такие пластики как MIKAFORM C, MIKASON P, MIKAREEK, поставляются в различной цветовой гамме и широко используются для изготовления деталей, подразумевающих цветовую маркировку.

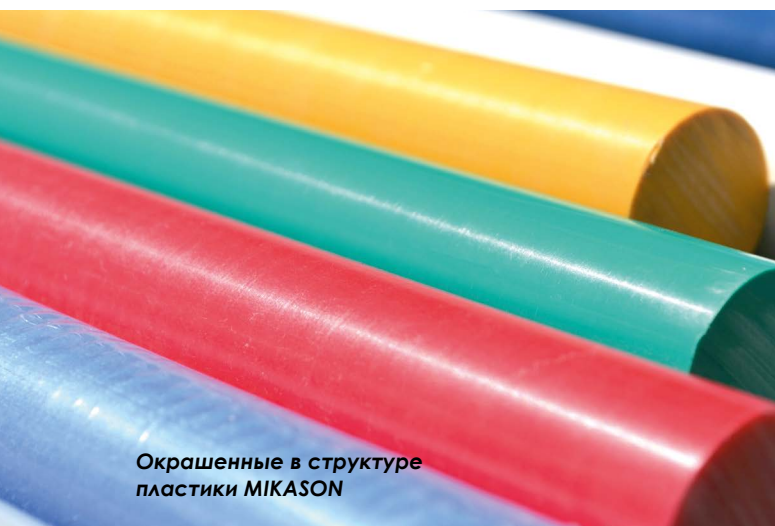
Стоит обратить внимание, что все технические пластики заведомо не предусмотрены для применения в дизайне и не имеют обозначение по RAL или иным системам кодирования цвета. Цвет пластика от партии к партии может отличаться. При неправильной обработке пластика или несоответствующих условиях хранения, обращения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

Подверженность к окрашиванию поверхности

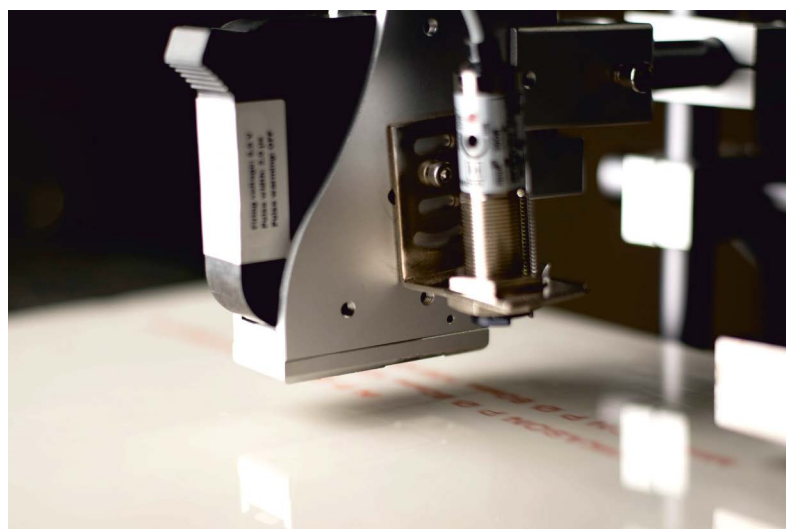
Материал	Окрашивание
MIKAREEK	●
MIKATRON	●
ФТОРОПЛАСТ	●
MIKASON E	●
MIKASON P	●
MIKAPEI	●
MIKASON S	●
MIKANAT	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ	●
ПОЛИАМИД 6 С	●
ПОЛИАМИД 6	●
MIKAFORM	●
ПОЛИЭТИЛЕН	●
ОРГСТЕКЛО	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТГЛИКОЛЬ	●
ПОЛИВИНИЛХЛОРИД	●
Все материалы с PTFE	●
Все материалы с PE	●

хорошо окрашивается ●

очень сложно или не окрашивается ●



Окрашенные в структуре пластики MIKASON



ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ПЛАСТИКОВ

PAI, PI

Продукция из полиимидов (PI) производится путем спекания, компрессионного формования, а продукция из полиамид-имидов (PAI) может быть получена и методом экструзии.

Заготовки из PI, PAI могут обрабатываться «сухим» или «влажным» методом на стандартных станках для металлообработки.

Инструменты

- Используйте полностью закаленные металлические инструменты.
- Подходят инструменты с режущей поверхностью как у инструментов, использующихся для обработки алюминия.
- Для материалов с высоким содержанием армирующих добавок (например, со стекловолокном, углеволокном) используйте инструменты, оснащенные алмазными или керамическими наконечниками.

Обработка

- Высокая скорость резания и низкая скорость подачи в сочетании с сухой обработкой улучшают результат.
- Влажная обработка увеличивает давление резания и вызывает образование заусенцев, но она рекомендуется для продления срока службы инструментов.
- Синхронное фрезерование для предотвращения образования сколов и полостей.
- Промежуточный отжиг, как правило, не требуется.

Из практики

Из-за повышенной способности PAI, PI 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.

MIKAPEEK, MIKAFORM C / H, PET

Полукристаллические неармированные пластики MIKAPEEK, MIKAFORM C/H, PET легко обрабатываются и имеют в своей основе тенденцию к образованию короткой стружки. Они могут быть обработаны с очень высокой производительностью и высокими темпами подачи. Данные материалы стабильны в размерах, физико-механические характеристики сбалансированы. Возможно получение изделий высокой точности, поверхности 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 MIKAFORM и PET, в частности, имеют высокую тенденцию к постусадке (до ~2,5%), то может возникнуть деформация из-за локального перегрева.

MIKASON, MIKAPEI, MIKANAT

Аморфные неармированные пластики

MIKASON, MIKAPEI, MIKANAT являются аморфными материалами, поэтому склонны к образованию трещин от напряжения при контакте с агрессивной средой (масла, жиры). Также, некоторые СОЖ часто содержат вещества, которые могут спровоцировать рост напряжения в материале. По этой причине избегайте использования СОЖ при механической обработке этих материалов настолько, насколько это возможно или, к примеру, используйте вещества на водной основе. Кроме того, насколько это возможно, следует выбирать индивидуальные параметры механической обработки для данных материалов:

- Не используйте слишком высокие темпы подачи
- Избегайте чрезвычайно высокого давления
- Избегайте чрезмерно высокого натяжения
- Предпочтительно выбирать более высокую скорость вращения
- Используйте подходящие и острые инструменты
- Как правило, аморфные пластики предполагают отдельные конструкторские решения, чем полукристаллические. Адаптируйте дизайн, геометрию изделия, подходящие аморфным пластмассам.
- Избегайте напряжений сдвига (конструктивных и во время обработки)
- Разрабатывайте кромку/геометрию в соответствии с типом материала (предпочтительнее выбирать слегка закругленные внутренние кромки)

При применении подходящих параметров обработки аморфные материалы могут использоваться для производства деталей со стабильными размерами и очень узкими допусками.



РА (ПОЛИАМИДЫ)

Неармированные полиамиды

Полиамид 6 литой / экструдированный, полиамид 66 экструдированный являются материалами группы полиамидов. В отличие от других термопластов, для полиамидов естественна ломкость - это также может быть отнесено и к «свежесформованному» состоянию. Однако, из-за своей химической структуры, полиамиды имеют тенденцию к поглощению влаги. Это свойство дает им очень хороший баланс между ударной вязкостью и прочностью.

Поглощение влаги (в том числе, из окружающей среды) ведет к практически постоянному равномерному распределению воды в поперечном сечении как у заготовок небольших размеров, так и у готовых деталей. В случае с большими по размерам заготовками (в частности для круглых стержней диаметром более 100мм, листов толщиной более 100мм или втулок с толщиной стенки 100мм и выше) содержание влаги уменьшается от внешней поверхности к внутренней части. В самом неблагоприятном случае центральная часть материала находится в хрупком и жестком состоянии (высушенная, без влаги). Если добавить к этому внутреннее напряжение, полученное в процессе экструзии или вызванное внешними факторами (к примеру, сверление тупым инструментом в центре заготовки), то механическая обработка может привести к образованию трещин от напряжения.

Высокое поглощение влаги также может привести к изменению размеров. Это «разбухание» должно быть учтено при обработке и конструировании деталей из полиамидов. Поглощение влаги заготовками играет важную роль при механической обработке. В особенности тонкостенные компоненты (до ~10мм) могут поглощать до 6-9% влаги. Примите за правило:

→ Поглощение 3% влаги, вызывает 0,5% изменение в размерах!

Обработка полиамида 6 литого

→ Тенденция к образованию короткой стружки.

→ Как следствие, хорошо обрабатывается.

Обработка полиамида 6 и 66 экструдированного

→ Формируется потоковая стружка (спирали).

→ Может потребоваться более частое удаление стружки с инструмента, оснастки или заготовки.

→ Снимайте стружку тогда, когда она еще короткая. Это поможет избежать сбоя в технологическом процессе:

↳ Идеальные параметры механической обработки.

↳ Выбор подходящих инструментов.

В общем, мы рекомендуем предварительное нагревание до 80–120°C заготовок больших размеров (к примеру, круглые стержни > 100мм и листы толщиной > 80мм) и с обработкой вблизи центра, чтобы избежать растрескивания при растяжении во время обработки.

Пластики, содержащие PTFE

Материалы, содержащие в своем составе фторопласт (такие как: MIKAPEEK TF, MIKAPEEK PVX, MIKATRON PVX, PET TF), часто демонстрируют слегка более низкую механическую прочность, чем базовый полимер. Из-за содержания PTFE в материалах следует учитывать некоторые аспекты во время механической обработки:

→ Материалы, как правило, отстают от инструмента.

↳ Имеет место явное увеличение шероховатости поверхности (образование волосистости, спаяк).

→ 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, которое может привести к несоответствию размеров детали.



Пластики, армированные волокнами

Армированные волокном материалы включают в себя все типы волокон. В наших рекомендациях по обработке пластиков мы сконцентрируемся на наиболее важных продуктах, включая армированные углеродным и стеклянным волокном материалы (среди них: MIKAPEEK GF30, MIKAPEEK CF30, MIKAPEEK PVX, MIKATRON GF40, MIKATRON PVX, PA 66 GF30).

Инструментарий

- Используйте инструменты из закаленной стали (карбидная сталь K20), а в идеале, инструменты с алмазным покрытием (PCD) или керамические.
- Используйте очень хорошо заточенные инструменты.
- Важно производить регулярные проверки инструмента из-за абразивного эффекта материалов:
 - ↳ Более высокие сроки службы инструментов.
 - ↳ Снижение риска чрезмерного выделения тепла.

Фиксация заготовки

- Фиксируйте в направлении экструзии (максимальная сила сжатия).
- Используйте минимально возможное натяжение.
 - ↳ Избегайте провисания и изгибающей деформации.
 - ↳ Уменьшение деформации и/или снижение рисков образования трещин в компоненте из-за напряжения.

Предварительный нагрев

- Предварительный нагрев заготовки может быть рекомендован для улучшения ее дальнейшей обработки:
 - ↳ Высокая прочность материала.
- Заготовка должна умеренно нагреваться для этой цели. Рекомендуется скорость нагрева 20°C в час до 80–120°C.
- Для равномерного распределения температуры в поперечном сечении заготовки рекомендуется выдерживать материал при воздействии температуры (по крайней мере, 1 час на каждые 10мм толщины стенки).
- При этой температуре заготовки/черновые детали должны быть изготовлены с припуском, так как после остывания возможно уменьшение размеров.
- Чистовая обработка детали только после ее охлаждения до комнатной температуры.
- Инструментарий также должен быть нагрет перед обработкой:
 - ↳ Избегайте рассеивания тепла через материал.

Обработка

- Равномерная обработка заготовки с обеих сторон:
 - ↳ В идеале, каждый шаг обработки должен иметь максимальную режущую глубину в 0,5мм.
 - ↳ В результате - более однородное распределение напряжения в заготовке.
 - ↳ Более высокое качество обрабатываемых зон.

Из практики

Армированные волокнами пластики являются наиболее востребованными на рынке, так как сочетают в себе не только высокие механические характеристики, но и крайне хорошую термостабильность.

Мы получаем больше всего вопросов в части обращения именно с армированными пластиками. К сожалению, вопросы возникают после повреждения заготовки или детали в результате некорректной обработки, когда что-либо сделать уже поздно. Пожалуйста, отнеситесь крайне внимательно к рекомендациям и подбирайте параметры обработки, соответствующие марке материала и геометрии изделия. В обязательном порядке изготовьте тестовые детали для отладки всех процессов. Армированные волокнами пластики имеют высокую стоимость, и оптимальный подход позволит сэкономить не только время дальнейшего производства, но и деньги, затраченные на приобретение материала.

Из практики

К примеру, для изготовления ассиметричной детали со сложной геометрией с чистовой толщиной 25мм мы обрабатываем лист толщиной 30мм. Сначала мы удаляем экструзионную кожу с обеих сторон листа до номинальной толщины заготовки (30мм). Далее удаляется максимум 0,5мм слоя материала за один проход. После каждого прохода лист переворачивается и процедура повторяется вновь. В итоге, лист должен быть перевернут несколько раз. Это вызывает большие затраты по времени и делает процессы неудобными (к примеру, «привязка нулей»), однако снижает риск коробления из-за одностороннего перегрева изделия. В идеале, эта работа должна проводиться на предварительно нагретой или термообработанной заготовке. Чистовая обработка проводится уже на остывшем материале. Данный технологический процесс гарантирует оптимальное качество детали с низким напряжением и минимальными рисками деформации.

Композитные пластики

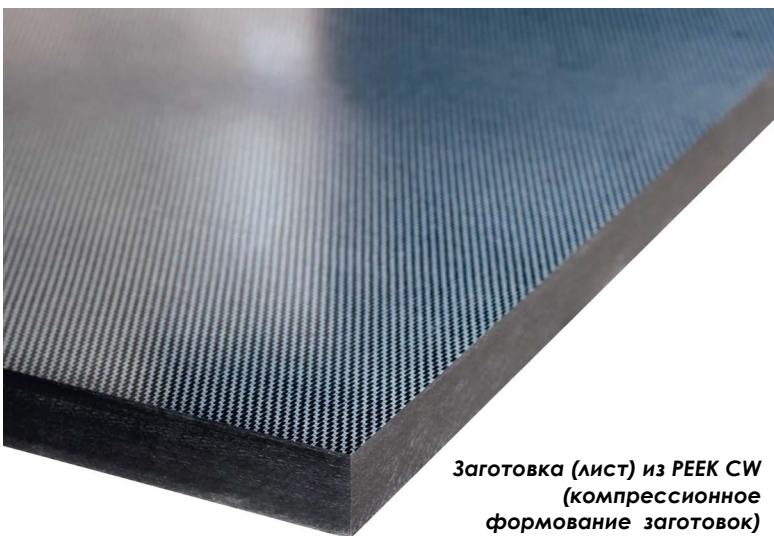
В основе заготовок из композитных материалов находится углеродная или стеклянная ткань, пропитанная PEEK, PPS, PEI или иными полимерами (по специальному запросу). Учитывая крайне высокий E-Модуль, сопоставимый со сталями, обработка композитных пластиков является значительно более сложным процессом, чем обработка армированных волокнами пластмасс. Из-за слоистой структуры материала неправильная обработка может приводить к различным эффектам:

- Скалывание краев
- Деламинирование
- Расслоение окантовки
- Прорыв волокон

По этой причине требуется специальная обработка, которая должна подбираться в зависимости от типа используемого материала и геометрии детали.

Дизайн заготовки

Пригодность материала для определенного применения и качество готовой детали, в первую очередь, зависит от положения детали в заготовке. Направление волокон ткани должно быть учтено в обязательном порядке еще на этапе конструирования детали, особенно это зависит от типа нагрузки (растяжение, сжатие, изгиб), которая будет воздействовать при эксплуатации на изготовленную деталь.



Заготовка (лист) из PEEK CW
(компрессионное формование заготовок)



Изделие из PEEK LCF,
(компрессионное формование черновых деталей)

Инструментарий

Для более высоких сроков службы по сравнению с инструментами из быстрорежущих или твердосплавных сталей, рекомендуется применение:

- инструментов с алмазным покрытием (PCD)
- керамических инструментов
- инструментов с титановым покрытием
- инструментов с функциональным покрытием (плазменная технология)

Помимо высоких сроков службы, данные инструменты помогают минимизировать усилия подачи при обработке определенных материалов.

- Выберите умеренную остроту резания
- Установите хороший баланс между качеством поверхности (с очень острыми лезвиями) и сроком службы инструментов (более тупые режущие инструменты).
- Спроектируйте геометрию фрезерования таким образом, чтобы волокна разрезались. В противном случае существует опасность образования волокнистой окантовки.

→ Из-за высокой абразивности углеродных и стеклянных волокон необходима регулярная замена инструментов:

- Избегайте излишнего тепловыделения и деформаций, вызванных тупым инструментом.

Обработка

→ Имеется существенно больший риск скалывания и образования заусенцев во время процесса механической обработки, когда она проводится параллельно волокну, чем когда она идет вертикально по отношению к ткани.

→ Для получения деталей с жесткими допусками компоненты также могут отжигаться несколько раз во время производства.

→ Вследствии относительно хорошего рассеивания тепла (благодаря содержанию большого количества волокон), можно ожидать хорошее распределение тепла в обрабатываемой заготовке. По этой причине рекомендуется подвергать материал «сухой» обработке.

Механическая обработка и параметры инструментов

Уделяйте внимание следующим параметрам:

- Избегайте использования высоких сил подачи
- Очень высокие точки углов (150-180°)
- Очень низкая скорость подачи (примерно <math><0,05\text{мм/мин}</math>)
- Высокая скорость резания (примерно 300–400м/мин)

Эта информация предназначена для предоставления начальной помощи в обработке композитов. Детальная информация зависит от отдельных случаев.

Важно

В некоторых случаях может быть разумным заказать формованные черновые детали, предусматривающие только чистовую обработку. Слои армирующих тканей в таких заготовках повторяют форму детали и обеспечивают дополнительную надежность при эксплуатации и оптимизацию процессов чистовой обработки.

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОПЛАСТОВ

Заготовки производятся различными методами. Выбор способа производства зависит от типа полимера и его модификации, размера. Некоторые типы пластиков просто невозможно получить тем или иным методом ввиду физических причин. А некоторые размеры пластиков невозможно произвести с высокой степенью экономической целесообразности желаемым методом.

Производственные процессы, в особенности экструзия заготовок, существенно влияют на свойства материала и его поведение при обработке.

EXT - экструзия. Самый недорогой и массовый способ производства заготовок. Обычно заготовки большой длины, но размеры сечений ограничены. Большинство доступных на рынке термопластов производятся данным методом.

Несмотря на то, что после производства каждая заготовка подвергается отжигу, существует риск привнесения напряжений в дальнейших процессах обращения с заготовками (к примеру, обработка полимера неправильным инструментом).

В случае использования армированных марок волокна расположены хаотично, но в большей степени ориентированы в направлении экструзии.

C - литье. Используется для изготовления заготовок больших размеров или объемов, где сырьем являются жидкие компоненты. Применяется для производства РА. Заготовки, полученные литьем, также проходят цикл термообработки, как и экструдированные пластики. В случае удаления большого количества материала из заготовки может быть рекомендован межстадийный отжиг для снятия внутренних напряжений.

Как правило, отлитые заготовки не содержат армирующих добавок.

SM - компрессионное формование, спекание. Применяется для производства ряда высокотемпературных полимеров, размеры которых сложно или невозможно изготовить экструзией. Самый доступный и рентабельный способ при заказе единичных заготовок специальных модификаций. Внутренние напряжения существенно снижены в сравнении с экструдированными или отлитыми заготовками. Материалы, возможные к производству: PEEK, PPS, PCTFE, PVDF, PTFE, PAI, PI, PBI и др. В армированных марках волокна расположены хаотично.

IM - литье под давлением. Самый экономичный способ получения изделий в случае высокой серийности. Для производства готовых или полуготовых (под чистовую обработку) изделий или заготовок небольших размеров и с небольшой толщиной стенки. Максимальный уровень внутренних напряжений из всех указанных здесь методов производства. Ориентация волокон в направлении литья.

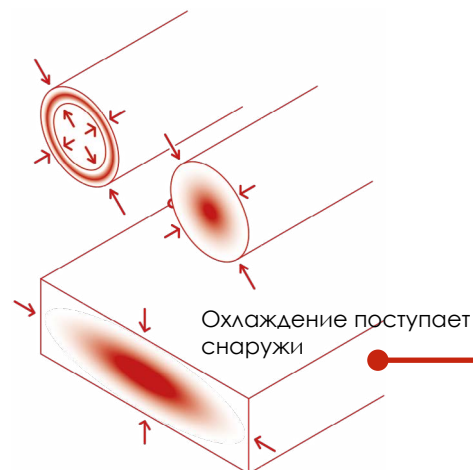
Несмотря на одинаковый химический состав, материалы, произведенные разными методами, имеют различия в механических показателях. Особенно это ярко выражено у наполненных, армированных полимеров. На рисунке справа представлено условное направление волокон в заготовках, произведенных разными способами. К примеру, заготовки из PEEK, произведенные путем SM и SM, обладают наименьшим уровнем внутренних напряжений, далее идут EXT материалы, а больше всего внутренних напряжений у IM материалов. Образование внутренних напряжений связано с разницей температур внутри и снаружи заготовки в процессе производства, а именно на стадии охлаждения.

SM - центробежное формование. Применяется для производства PEEK в виде втулок и колец. Внутренние напряжения существенно снижены в сравнении с экструдированными и отлитыми заготовками.

Армирующие волокна разнонаправлены, но при этом преимущественно ориентированы по окружности заготовки (параллельно окружности). Из данных заготовок возможно производство уплотнительных колец с высокой степенью эластичности, которые не ломаются даже под острым углом изгиба. Из-за минимальных внутренних напряжений из SM заготовок производят изделия со стыковыми соединениями, которые не отклоняются от оси даже в зоне контакта.

IsM - изостатическое формование. Заготовки имеют равномерное распределение плотности по объему, благодаря всестороннему сжатию прессуемого материала. Применяется для изготовления заготовок из PTFE.

Максимальный уровень внутренних напряжений в центре сечения заготовки



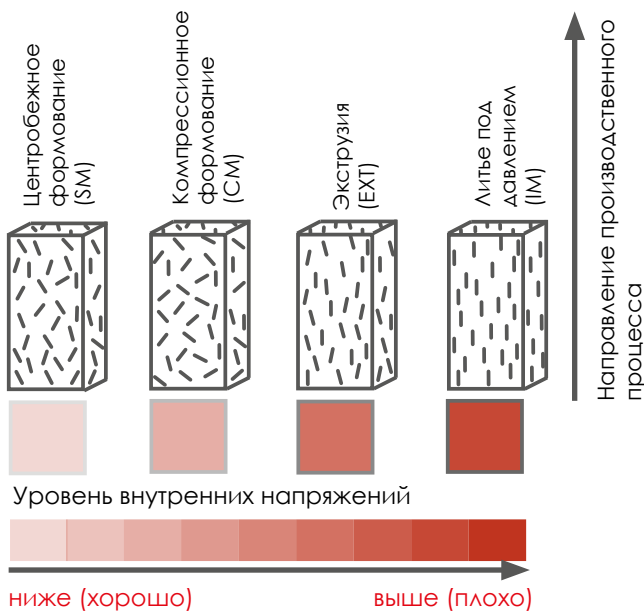
ДОБАВКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА

МАТЕРИАЛОВ

Механические и электрические характеристики, стабильность размеров, свойства скольжения, стойкость к износу, свойства герметизации, ресурс эксплуатации могут быть иными, чем присущие базовым ненаполненным термопластам, за счет введения специальных добавок, модификаторов. От типа добавки и ее содержания в полимере зависят конечные свойства термопласта.

У армированных волокнами пластиков свойства анизотропны и зависят от метода производства заготовки.

Направление волокон в материале и уровень внутренних напряжений (чем ярче, тем стресс выше)



Важно

В процессах производства заготовок присутствует этап охлаждения. Охлаждение происходит постепенно от внешней поверхности заготовки к внутренней. На определенной стадии охлаждения материал в центре заготовки еще горячий, мягкий и пытается «выйти наружу», а материал снаружи уже охлажденный, твердый и пытается сжаться к центру заготовки («есть»). В зонах сопряжения этих состояний материала и образуются внутренние напряжения, которые впоследствии снимаются благодаря отжигу.

Данные физические процессы действительны не только для полимеров, но и для металлов, стекла и других материалов, получаемых при высоких температурах и предусматривающих охлаждение.

GF - стекловолокно. Армирует пластик, повышая прочность при растяжении и сжатии. Существенно увеличивает жесткость, стойкость к ползучести и термостабильность. Введение стекловолокна снижает тепловое расширение (у некоторых термопластов тепловое расширение становится близким к металлам). Не рекомендуется для условий «сухого» трения/скольжения. Рекомендуется работа инструментами с алмазным покрытием, керамическими инструментами. Повышенный износ инструмента. Чувствительность к деформации (может потребоваться предварительный или межстадийный отжиг).

CF - углеволокно. Полимеры, наполненные углеволокном, обладают механическими свойствами, схожими со стеклонаполненными пластиками. Однако CF материалы, в отличие от GF материалов, отлично подходят для изделий, работающих в узлах трения, в том числе, при высоких скоростях и давлении. Введение углеволокна снижает электроизоляционные свойства. Большое содержание CF делает электроизоляционные материалы антистатиками или электропроводниками. Рекомендуется работа инструментами с алмазным покрытием, керамическими инструментами. Повышенный износ инструмента. Чувствительность к деформации (может потребоваться предварительный или межстадийный отжиг).

PTFE - Фторопласт-4. Материалы, находящиеся под воздействием трения и наполненные Фторопластом-4, образуют тонкую полимерную пленку с антифрикционными свойствами на поверхности изделия. Это позволяет с высокой степенью эффективности избежать stick-slip эффекта. Как правило, эти материалы относительно эластичны, поэтому фиксация при обработке должна быть аккуратной. Материалы, содержащие PTFE, как и ненаполненный PTFE, обладают чувствительностью к деформации.

GR (SF) - графит. Введение графита снижает коэффициент трения, повышает износостойкость и теплопроводность и больше всего предпочтительны в триботехнических узлах. Возможно налипание графита на инструменты. Стоит внимательно относиться к удалению стружки и использовать подходящие средства охлаждения.

MoS₂ - Дисульфид Молибдена. Введение MoS₂ повышает твердость, кристалличность, снижает коэффициент трения и улучшает свойства скольжения. Полиамиды с MoS₂ отлично подходят для изготовления резервных колец (back-up rings). Материалы с MoS₂ обрабатываются также, как и ненаполненные марки.

Oil - масло. Масло вводится в структуру материала и снижает коэффициент трения, увеличивают стойкость к износу. При обработке или эксплуатации масло не выделяется на поверхность изделия. Обрабатывается аналогично базовому полимеру.

Специальные смеси PVX. Материал с содержанием углеволокна, фторопласта и графита. Рекомендации по инструментарию и параметрам обработки аналогичны армированным пластикам. Чувствительность к деформации.

Красители. Черные пластики обладают повышенной стойкостью к воздействию УФ излучений - лучше подходят для работы на открытом воздухе. Пластики синего цвета широко используются в пищевом машиностроении, так как могут быть легко обнаружены в пище. Красители других цветов вводятся в технические пластики для их маркировки.

Окрашенные в структуре пластики обрабатываются так же, как и базовый полимер.

ТЕРМООБРАБОТКА

Для снижения внутренних напряжений, которые возникают в процессе производства, заготовки подвергаются термообработке после их изготовления. Термообработка (отжиг) производится в специальном конвекционном шкафу с циркуляцией воздуха, а для некоторых полимеров с циркуляцией азотом или в масляной ванне.

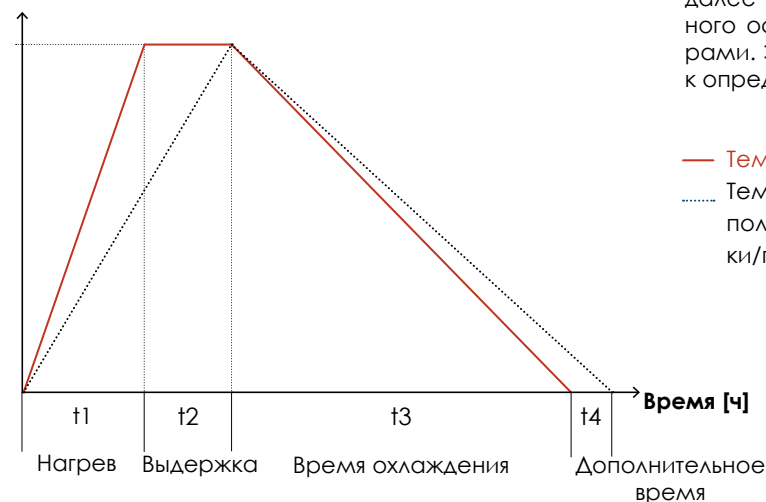
Дополнительная термообработка может понадобиться перед механической обработкой или между стадиями изготовления деталей:

- 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 индивидуального для каждого материала и размера. 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)

Температура [°C]



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 к следующим ситуациям:

- 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. Здесь межстадийный отжиг снижает риски.
- 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 изготовить черновую деталь, оставив припуск, далее термообработать черновую деталь. После полного остывания изготовить деталь с чистовыми размерами. Это важно учесть, так как отжиг может привести к определенной степени усадки.

Рекомендованные параметры термообработки

Материал	Этапы нагрева		Фаза выдержки*	Фаза охлаждения
ПОЛИИМИД (PI)	2 ч до 160 °С	6 ч до 280 °С	2 ч при 160 °С / 10 ч при 280 °С	20 °С / ч до 40 °С
МИКАРЕЕК (PEEK)	3 ч до 120 °С	4 ч до 220 °С	1,5 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
MIKATRON (PPS)	3 ч до 120 °С	4 ч до 220 °С	1,5 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
MIKASON E (PES)	3 ч до 100 °С	4 ч до 200 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
MIKASON P (PPSU)	3 ч до 100 °С	4 ч до 200 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
МИКАРЕИ (PEI)	3 ч до 100 °С	4 ч до 190 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
MIKASON S (PSU)	3 ч до 100 °С	3 ч до 165 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
ФТОРОПЛАСТ-2 (PVDF)	3 ч до 90 °С	3 ч до 150 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
МИКАНАТ (PC)	3 ч до 80 °С	3 ч до 130 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (PET)	3 ч до 100 °С	4 ч до 180 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (PBT)	3 ч до 100 °С	4 ч до 180 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
ПОЛИАМИД 6 С	3 ч до 80 °С	3 ч до 140 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
ПОЛИАМИД 6 (РА6)	3 ч до 90 °С	3 ч до 160 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
ПОЛИАМИД 66 (РА66)	3 ч до 100 °С	4 ч до 180 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
ПОЛИАМИД 12 (РА12)	3 ч до 80 °С	3 ч до 140 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
МИКАFORM С (РОМ-С)	3 ч до 90 °С	3 ч до 155 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
МИКАFORM Н (РОМ-Н)	3 ч до 90 °С	3 ч до 165 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С
ПОЛИФЕНИЛЕНЭФИР (PPE)	3 ч до 90 °С	3 ч до 125 °С	1 ч на 1 см толщины стенки	20 °С / ч до 40 °С

ОЧИСТКА ИЗДЕЛИЙ

Очистка является химическим процессом, используемым в производстве для удаления следов и остатков, образуемых в результате изготовления изделий.

Четыре группы факторов, имеющие 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).

Применяемые методы очистки пластиков

Влажная химическая очистка

- Хорошо подходит для деталей со сложной геометрией.
- Подходит для большинства пластиков.
- Отсутствует абразивное воздействие на детали.
- Стоит обратить внимание на допуски к изделиям, изготовленным из материалов с высоким влагопоглощением (к примеру, PA, PAI, PI).
- Требуется особое внимание к материалам, чувствительным к образованию трещин от напряжения (к примеру, к аморфным пластикам PC, PSU, PPSU, PEI, PMMA и т.д.).

Механические процессы

- В первую очередь подходят для грубой очистки пластмасс (чистка, вытирание, ...)
- Стоит проявить осторожность при работе с мягкими пластиками из-за возможного повреждения поверхности, образования царапин (к примеру, PTFE, PE и т.д.)

СО₂ 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 для мягких материалов 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.

ЧАСТЫЕ ОШИБКИ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Резка и распиловка

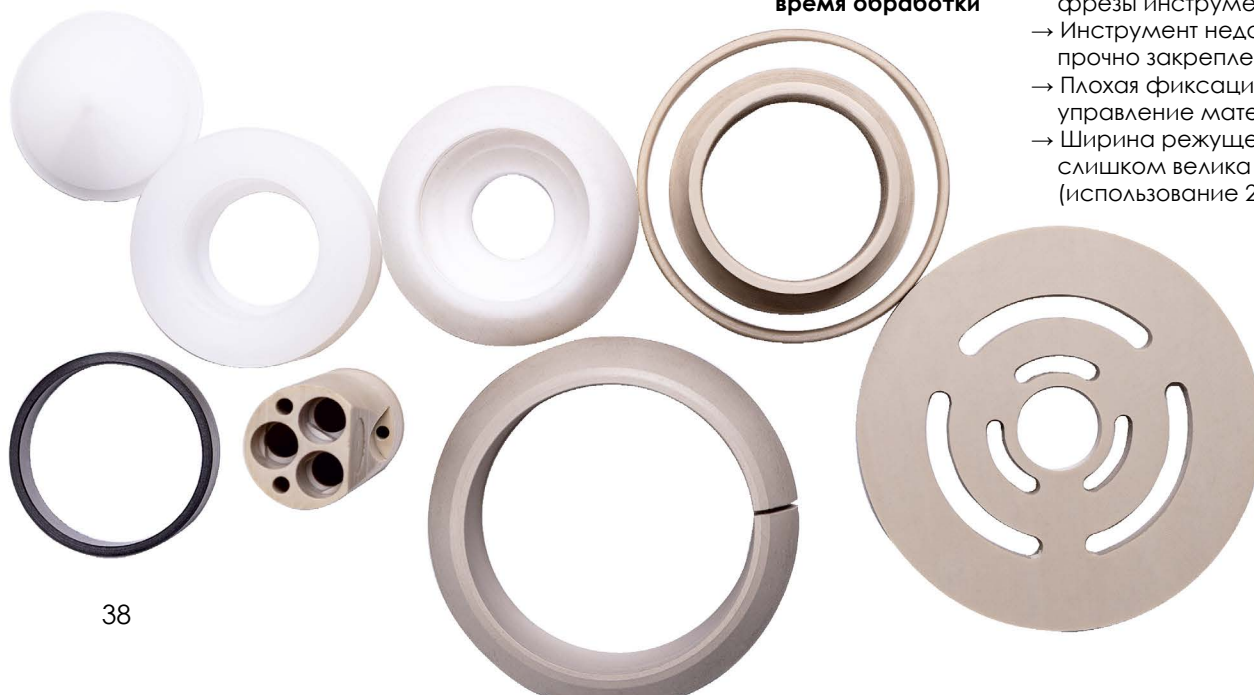
Проблема	Основные причины
Поверхность начинает плавиться	<ul style="list-style-type: none"> → Тупой инструмент → Недостаточный боковой зазор/задний угол → Недостаточное охлаждение
Шероховатая поверхность	<ul style="list-style-type: none"> → Слишком высокий темп подачи → Инструмент заточен непрофессионально → Режущая кромка не заточена
Спиральные отметки	<ul style="list-style-type: none"> → Трение инструмента при отводе → Заусенец на инструменте
Вогнутые и выпуклые поверхности	<ul style="list-style-type: none"> → Слишком большой угол заточки → Инструмент не вертикален по отношению к шпинделю → Инструмент отклонен → Темп подачи слишком высок → Инструмент установлен слишком высоко или низко от центра
Неровности или заусенцы в конце режущей поверхности	<ul style="list-style-type: none"> → Угол заточки недостаточно большой → Тупой инструмент → Слишком высокий темп подачи
Заусенцы на наружном диаметре	<ul style="list-style-type: none"> → Тупой инструмент → Недостаточно места за обрабатываемым диаметром

Токарная и фрезерная обработка

Проблема	Основные причины
Поверхность начинает плавиться	<ul style="list-style-type: none"> → Тупой инструмент или трение о фланец → Недостаточный боковой зазор/задний угол → Слишком низкий темп подачи → Скорость вращения шпинделя слишком высокая
Шероховатая поверхность	<ul style="list-style-type: none"> → Слишком высокий темп подачи → Неправильный задний угол → Острый конец инструмента (требуется небольшой радиус на конце фрезы) → Инструмент не отцентрирован
Заусенцы на углах обрабатываемой кромки	<ul style="list-style-type: none"> → Недостаточно места за обрабатываемым диаметром → Тупой инструмент → Недостаточный боковой зазор/задний угол → Нет ведущего угла на инструменте
Трещины и шелушение по углам	<ul style="list-style-type: none"> → Слишком большой положительный наклон у инструмента → Инструменты недостаточно приработаны (слишком жесткое воздействие инструмента на материал) → Тупой инструмент → Инструмент установлен под центром → Острый конец инструмента (требуется небольшой радиус на конце фрезы)

Дребезжание во время обработки

- Чрезмерный радиус точки фрезы инструмента
- Инструмент недостаточно прочно закреплен
- Плохая фиксация или управление материалом
- Ширина режущей кромки слишком велика (использование 2 резцов)



Сверление

Проблема	Основные причины
Конические отверстия	<ul style="list-style-type: none"> → Неправильно заостренные сверла → Недостаточный ход/задний угол → Чрезмерно высокий темп подачи
Подгоревшая или оплавленная поверхность	<ul style="list-style-type: none"> → Использование неподходящих сверл → Неправильно заостренные сверла → Недостаточный темп подачи → Тупое сверло → Поверхность ленты сверла (зона между ленточкой и канавкой, перемычка) слишком широкая
Расщепление поверхности	<ul style="list-style-type: none"> → Чрезмерный темп подачи → Чрезмерный ход/задний угол → Угол между режущими кромками (заточка) слишком большой
Дребезжание при обработке	<ul style="list-style-type: none"> → Чрезмерный ход/задний угол → Недостаточный темп подачи → Слишком большое выступание сверла → Угол между режущими кромками (заточка) слишком большой
Отпечатки подачи или спиральные линии на внутреннем диаметре	<ul style="list-style-type: none"> → Чрезмерный темп подачи → Сверло не отцентрировано → Наконечник сверла не находится в центре
Отверстие сверления большего размера	<ul style="list-style-type: none"> → Наконечник сверла не находится в центре → Поверхность ленты сверла (зона между ленточкой и канавкой, перемычка) слишком широкая → Недостаточный ход/задний угол → Чрезмерный темп подачи → Слишком большой угол наклона точки сверла
Отверстие сверления недостаточного размера	<ul style="list-style-type: none"> → Тупое сверло → Чрезмерный ход/задний угол → Слишком малый угол наклона точки сверления

Проблема	Основные причины
Неконцентричные отверстия сверления	<ul style="list-style-type: none"> → Чрезмерный темп подачи → Слишком низкая скорость вращения шпинделя → Сверло проникает слишком глубоко в другую часть → После отрезания инструментом остается "обрубок", который отклоняет ход сверла → Поверхность ленты сверла (зона между ленточкой и канавкой, перемычка) слишком широкая → Слишком высокая скорость сверления в начале → Сверло не зажато ровно по центру → Сверло недостаточно заточено
Заусенцы остаются после отрезания	<ul style="list-style-type: none"> → Тупые режущие инструменты → Сверло не полностью проходит сквозь деталь
Сверло быстро затупляется	<ul style="list-style-type: none"> → Слишком низкий темп подачи → Слишком низкая скорость вращения шпинделя → Недостаточная смазка при охлаждении

СОЕДИНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

СВАРКА

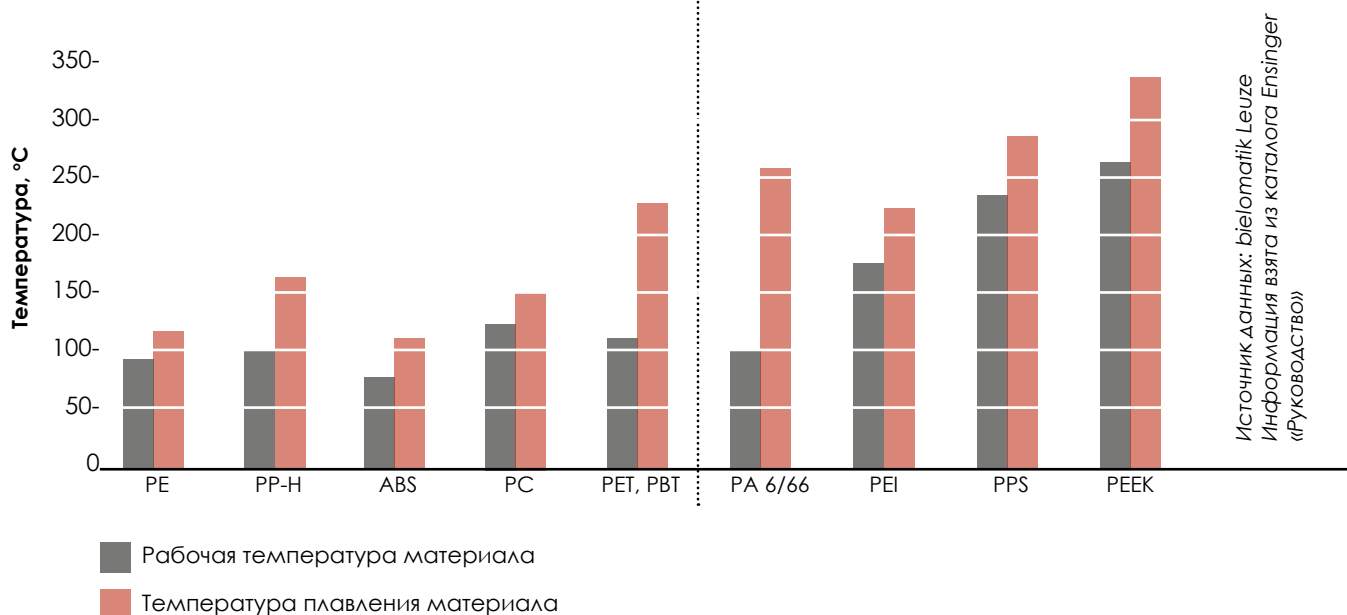
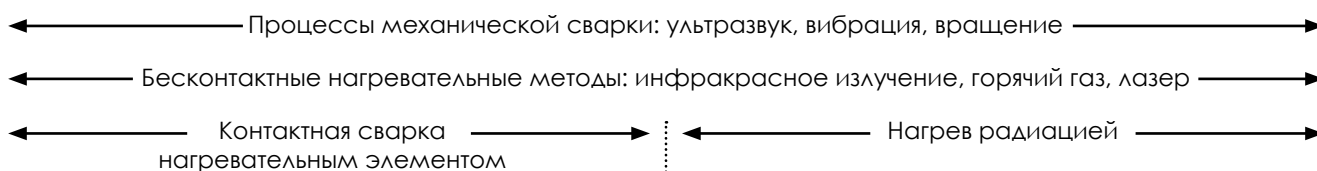
Сварка пластика для соединения двух термопластов является частой и высокоразвитой технологией соединения материалов. Доступны разнообразные процессы, которые работают как на бесконтактной основе (нагревательный элемент, ультразвук, лазер, инфракрасное излучение, газовая конвекционная сварка), так и на контактной основе (трение, вибрационная сварка). На этапе проектирования для обеспечения гарантии оптимального соединения материалов должны соблюдаться определенные руководящие принципы в зависимости от используемого процесса.

В случае с высокотемпературными пластиками должно быть принято во внимание, что для пластификации данных материалов требуется чрезвычайно высокий выход энергии. Подходящий метод сварки зависит от многочисленных факторов (формы и геометрии детали, размера, материала).

Технологиями для сварки пластика чаще всего являются:

- Сварка нагревательным элементом
- Инфракрасная сварка
- Конвекционная газовая сварка
- Фрикционная сварка
- Лазерная сварка
- Ультразвуковая сварка
- Тепловая контактная сварка
- Высокочастотная сварка

Материалы и технологии сварки



Сварочный процесс

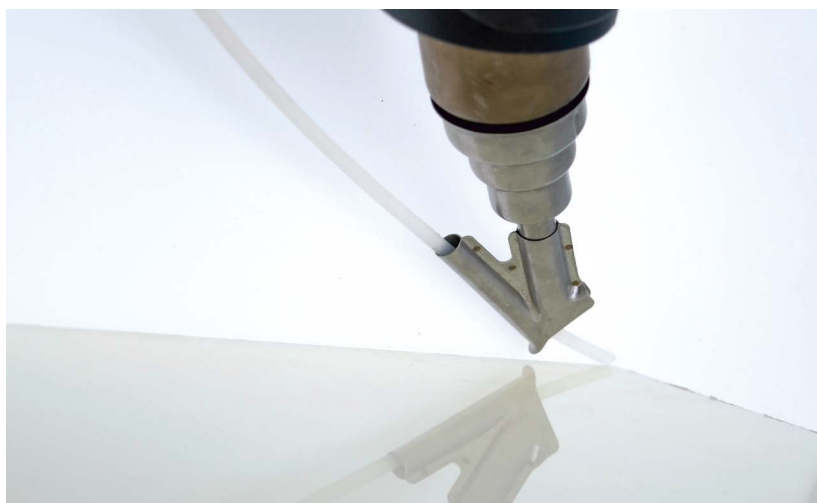
Метод	Сварка нагревательным элементом/ горячим газом	Ультразвуковая сварка	Вибрационная/фрикционная сварка	Лазерная сварка
Принцип	Нагревание соединяющихся материалов нагревательным элементом или горячим газом, соединение под давлением	Нагревание зоны соединения (со специфической геометрической формой) при помощи ультразвуковой вибрации	Нагревание соединяющихся материалов вибрацией или трением, соединение под давлением	Нагревание соединяющихся материалов лазерным лучом
Время сварки	от 20 до 40 сек.	от 0.1 до 2 сек.	от 0.2 до 10 сек.	
Результат	Высокая прочность, низкая цена	Минимальное время цикла, легкая автоматизация процесса	Подходит для больших деталей, возможна сварка чувствительных к окислению пластиков	Высокая прочность, практически любая геометрия шва, высокая точность

Проведение тепла	Излучение	Конвекция	Трение
Сварка нагревательным элементом	Сварка нагревательным элементом	Лазерная сварка	Сварка горячим газом
Сварка металлическим нагревательным элементом (насадка)	Сварка металлическим нагревательным элементом	Сварка горячим газом	Экструзионная сварка
			Внутреннее трение
			Внешнее трение
			Высокочастотная сварка
			Ультразвуковая сварка
			Сварка вращением
			Вибрационная сварка

Источник данных: *bielomatik Leuze*
Информация взята из каталога *Ensinger «Руководство»*

Важно

На территории РФ многие компании занимаются сваркой термопластов, изготовлением различного типа изделий методом сварки, а также поставкой оборудования для сварки, обучением сварочным процессам. Найти такую компанию, территориально близкую к вам, вы можете в сети Internet. Для соединения полимерных изделий для собственных нужд мы используем ручной экструдер (термофен) *Metabo* с температурой разогрева до 600°C и специальными насадками.



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.

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

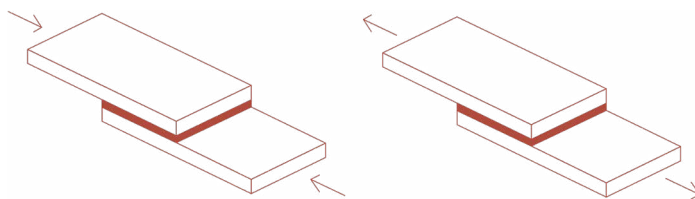
- Очистка и обезжиривание поверхности материала.
- Увеличение шероховатости поверхности путем шлифования или пескоструйной обработкой (рекомендуется).
- Физическая активация поверхности пламенем, плазмой или образованием короны.
- Химическое травление для формирования определенного пограничного слоя.
- Нанесение грунтовки.

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.

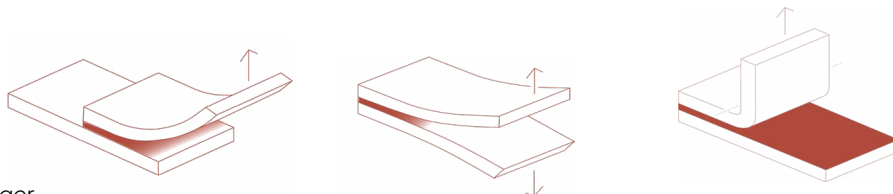
В случае необходимости, конструкция должна быть адаптирована таким образом, чтобы место склеивания можно было сконфигурировать для допустимого уровня напряжения.

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»

Важно

Материалы, которые не подходят или условно подходят для склеивания:

- ФТОРОПЛАСТЫ (PTFE, PVDF, PCTFE)
- МИКАФОРМ С / Н (POM-C, POM-N)
- ПОЛИЭТИЛЕН (PE-HD, PE-HMW, PE-UHMW)
- ПОЛИПРОПИЛЕН (PP-N).

По своей сути, чем более химстойким является полимер, тем сложнее его склеить. Это одна из причин почему сложные для склеивания виды пластиков соединяют сваркой.

Если соединение сваркой невозможно из-за высоких температур плавления, то склеивание производится только после активации поверхности материалов (в частности, касается PTFE).

Некоторые полимеры поставляются кашированными (с одной стороны «впечатан» тканевый слой). Такие листы можно приклеивать к различным поверхностям. Данный вид материалов в основном применяется для защиты металлических конструкций, резервуаров с агрессивными химическими веществами.



Склеенный PEEK 2 пластины (цианоакрилатный клей)

Склеивание PEEK

Соединяемые материалы/ Предварительная подготовка	Прочность на сжатие (Ст. 5)	Прочность	Резюме
PEEK / PEEK Очистка при помощи Delothen EP	10 МПа	+	Склеивание PEEK с PEEK. Хороший уровень прочности с адгезивами DELOMONOPOX. Значительное увеличение прочности после пескоструйной обработки или обработки плазмой.
PEEK / PEEK Плазма под атмосферным давлением	23 МПа	++	
PEEK / PEEK Пескоструйная обработка	25 МПа	++	
PEEK / алюминий Очистка при помощи Delothen EP	4 МПа	0	Склеивание PEEK и алюминия. Без предварительной обработки низкие уровни прочности с клеями DELOMONOPOX, очень хорошие показатели прочности после пескоструйной обработки или обработки плазмой.
PEEK / алюминий PEEK: Плазма под атмосфер. давлением	21 МПа	++	
PEEK / алюминий PEEK: Пескоструйная обработка	22 МПа	++	
PEEK / сталь PEEK: Очистка при помощи Delothen EP	3,5 МПа	0	Склеивание PEEK и стали. Без предварительной обработки низкие уровни прочности с DELOMONOPOX, очень хорошие показатели прочности после пескоструйной обработки.
PEEK / сталь PEEK: Пескоструйная обработка	21 МПа	++	

++ очень хорошая прочность; + хорошая прочность; 0 низкая прочность

Общие рекомендации по склеиванию

Материал и обозначение	Растворяющие адгезивы	Реакция на клеевые составы, основанные на:		
		Эпоксидной смоле	Полиуретане	Циано-акрилате
Высокотемпературные				
ПОЛИИМИД (PI)		●	●	●
ПОЛИАМИД-ИМИД (PAI)		●	●	●
MIKARPEEK (PEEK)		●	●	●
MIKATRON (PPS)		●	●	●
MIKASON E (PES)		●	●	●
MIKASON P (PPSU)	●	●	●	●
MIKASON S (PSU)	●	●	●	●
ФТОРОПЛАСТ-2 (PVDF)	●	●		●
Инженерные				
MIKANAT (PC)	●	●	●	●
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (PET)		●	●	●
ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (PBT)		●	●	●
ПОЛИАМИД 66 (PA 66)	●	●	●	●
ПОЛИАМИД 6 (PA 6)	●	●	●	●
MIKAFORM H (POM-H)	●		●	
MIKAFORM C (POM-C)	●		●	
Стандартные				
ПОЛИПРОПИЛЕН (PP-H)		●	●	
ПОЛИЭТИЛЕН (PE)		●	●	
ОРГСТЕКЛО (PMMA)				●

● Подходящая основа клея

ПОДВЕРЖЕННОСТЬ ПЛАСТИКОВ МЕТОДАМ ОБРАБОТКИ

Материал →	ПОЛИИМИД (PI)/ ПОЛИАМИД-ИМИД (PAI)	Композитные версии	MIKAREEK (PEEK)	MIKATRON (PPS)	MIKASON E (PES)	MIKAPEI (PEI)	MIKASON P (PFSU)	MIKASON S (PSU)	ФТОРОПЛАСТ-4 (PTFE)	ФТОРОПЛАСТ-2 (PVDF)	MIKANAT (PC)	ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (PET)	ПОЛИБУТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (PBT)	ПОЛИАМИД 6/66 (PA 6, PA 66)	MIKAFORM (POM-H, POM-C)	ПОЛИФЕНИЛЭНЭФИР (PPE)	ПОЛИПРОПИЛЕН (PP-H)	АКРИЛОНИТРИЛБУТАДИЕНСТИРОЛ (ABS)	ПОЛИЭТИЛЕН (PE-HD)	ПОЛИЭТИЛЕН PE-500 (PE-HMW)	ПОЛИЭТИЛЕН PE-1000 (PE-UHMW)	ОРГТЕКЛО (PMMA)	ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТГЛИКОЛЬ (PET-G)	ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (PVC)	
Метод обработки ↓																									
Механическая обработка																									
Резание пилами	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Резание лазером			●		●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		-
Гидроабразивная резка	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Токарная обработка	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Фрезерование	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Сверление и изготовление отверстий	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Нарезание резьбы	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Строгание, фрезерование поверхности	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Шлифование и полирование	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Штамповка									●	●				●	●		●		●	●	●				
Изменение формы																									
Термоформование			●		●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Глубокая вытяжка (вакуумная формовка)			●		●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Холодная гибка								●									●						●	●	
Обработка поверхности																									
Маркировка лазером	●	●	●	●	●		●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Нанесение печати*	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Окрашивание поверхности	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Лакирование поверхности																									
Соединение материалов																									
Склеивание*		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Соединение сваркой		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Заклепочное соединение									●								●		●	●	●		●	●	

Данные указаны условно и основаны на нашем текущем состоянии знаний. Это не означает, что метод обработки может быть или не может быть использован в индивидуальных условиях. Потребитель принимает решение о возможности использования метода обработки самостоятельно. * Возможно потребуется активация поверхности.

- широко используется, как правило поддается методу обработки
- существуют особенности или ограничения
- сложно, плохо поддается или не поддается
- в большей степени зависит от модификации или марки
- используется, мы не имеем информации насколько хорошо
- не использовать

ОБОЗНАЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Класс чистоты (до 1975г)	Ra, мкм	Rz и Rmax, мкм	Незаполненные пластики	Модифицированные марки
▽ 1	80-40	320-160	●	●
▽ 2	40-20	160-80	●	●
▽ 3	20-10	80-40	●	●
▽ 4	10-5	40-20	●	●
▽ 5	5-2,5	20-10	●	●
▽ 6	2,5-1,25	10-6,3	●	●
▽ 7	1,25-0,63	6,3-3,2	●	●
▽ 8	0,63-0,32	3,2-1,6	●	●
▽ 9	0,32-0,16	1,6-0,8	●	●
▽ 10	0,16-0,08	0,8-0,4	●	●
▽ 11	0,08-0,04	0,4-0,2	●	●
▽ 12	0,04-0,02	0,2-0,1	●	●
▽ 13	0,02-0,01	0,1-0,05	●	●
▽ 14	0,01-0,008	0,05-0,0025	●	●

Класс чистоты (до 1975г) - класс шероховатости поверхности в соответствии с ГОСТ 2789-59 (до 1975г.). Указаны рекомендуемые значения в соответствии с ГОСТ 2789-73.

Ra - среднеарифметическое отклонение профиля.

Rz - высота неровностей по 10 точкам.

Rmax - наибольшая высота неровностей профиля Rmax.

● достижимо при использовании соответствующих параметров и инструментов

● высокий уровень профессионализма, соответствующий инструментарий и параметры

КВАЛИТЕТЫ ТОЧНОСТИ

Интервал, мм		Квалитеты													
свыше	до	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
		МКМ							ММ						
		ТОЧНЫЕ ДЕТАЛИ							НИЗКАЯ ТОЧНОСТЬ						
6	10	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,50	2,20	
10	18	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80	2,70	
18	30	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10	3,30	
30	50	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50	3,90	
50	80	19	30	46	74	120	190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00	4,60	
80	120	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50	5,40	
120	180	25	40	63	100	160	250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,30	
180	250	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60	7,20	
250	315	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,20	8,10	
315	400	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,70	8,90	

До 4 включительно особо точные детали, к примеру, калибры;

5-12 - для сопрягаемых деталей, к примеру, для образования посадок;

13-17 - размеры низкой точности.

5-14 - диапазон квалитетов, обычно использующихся в машиностроении

● достижимо при использовании соответствующих параметров и инструментов

● высокий уровень профессионализма, соответствующий инструментарий и параметры

Важно

Указанные в таблицах значения не гарантируют, что данные параметры могут быть достигнуты в индивидуальных условиях использования. Указанные здесь значения были получены в результате обработки различных пластиков специалистами с большим опытом, использовавшим соответствующие инструменты и процессы.

ОБЩИЕ ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ И ОБРАЩЕНИЯ

Для соблюдения высокого стандарта качества и функциональности, а также обеспечения длительного времени хранения, должны быть приняты во внимание рекомендации по условиям хранения, транспортировки и обработке полимерных заготовок.

1. Хранение, транспортировка и предварительная обработка материалов должны проводиться таким образом, чтобы обеспечить сохранность обозначения пластика и номера производственной партии.

2. Атмосферные воздействия могут оказать влияние на свойства материалов. Воздействие солнечного излучения, атмосферного кислорода и влаги (осадки, влажность) могут оказывать негативное влияние на характеристики материала. Результатами этих воздействий может быть изменение цвета, окисление поверхности, набухание, искривление, хрупкость или даже изменение механических свойств. По этой причине, заготовки не должны подвергаться воздействию прямых солнечных лучей и погодных условий в течение длительного времени.

В идеале заготовки должны храниться в закрытых помещениях и нормальных климатических условиях (температура 23°C и 50% относительная влажность).

Все модификации должны быть защищены от атмосферных воздействий: MIKAPEEK (PEEK), MIKATRON (PPS), MIKASON P (PPSU), MIKASON S (PSU), MIKASON E (PES), ABS.

Модификации не черного цвета должны быть защищены от атмосферных воздействий: MIKAFORM C, H (POM-C, POM-H), PET, PA 6, 66, 11, 12, 46, PA 6 C, PE, PE-HMW, PE-UHMW, PP-H.

3. Если это возможно, пластики не должны подвергаться воздействию низких температур в течение длительного времени. В частности, следует избегать заметных колебаний температур, так как это может привести к деформации или хрупкости заготовок.

Следует избегать жестких ударов, бросания или опрокидывания заготовок, так как возможно образование трещин и разломов. Заготовкам, хранившимся при отрицательных температурах в течение длительного времени, требуется выдержка в теплых условиях перед обработкой (до достижения комнатной температуры в центре заготовки). Это может помочь предотвратить возникновение трещин, разрывов во время обработки. Также это помогает компенсировать усадку или удлинение после контакта с горячей атмосферой, вызванную из-за высокого коэффициента линейного теплового расширения пластмасс.

Для хранения готовой или полуобработанной продукции, предназначенной для высокоточного производства, рекомендуется хранение в нормальных климатических условиях (23°C / 50% отн. вл.). Это позволяет минимизировать внешние влияния, сохранять стабильность размеров и свойств на протяжении длительного времени. Невозможно установить максимальный период хранения полимерных материалов, так как он сильно зависит от условий хранения и внешних влияний.

При соблюдении правил транспортировки, хранения и обращения с продукцией поставщик несет гарантийные обязательства, установленные договором между поставщиком и потребителем.

4. Полимерные заготовки должны храниться в закрытых складских помещениях в горизонтальном положении и с максимально возможным контактом с поверхностью, дабы избежать деформации под воздействием собственной массы или в случае воздействия тепла.

5. При обращении с полимерными заготовками убедитесь, что используется подходящее складское оборудование. Убедитесь, что складские помещения, стропы, направляющие и другое подъемное оборудование является устойчивым и безопасным. Полимерные материалы должны храниться таким образом, чтобы устранить любую опасность опрокидывания или падения. Имейте в виду, что пластики имеют относительно низкий коэффициент трения и, следовательно, легко могут выскользнуть из устройств погрузки, что влечет за собой возможность получения серьезных травм.

6. По возможности избегайте воздействия излучений высокой энергии (Гамма, Рентгеновское и т.п. излучений), так как это может привести к повреждению молекулярной структуры полимера.

7. В целях предотвращения возможных химических воздействий или поглощения влаги, пластиковые заготовки должны храниться вдали от всех видов химических веществ и воды. Контакт с химическими веществами или водой может привести к набуханию, химическому разложению или растрескиванию под воздействием внутренних напряжений.

8. Пластмассы являются органическими веществами и, следовательно, горючими. При горении и разложении полимеров могут выделяться токсичные вещества. При правильном хранении пластмассы не представляют опасности возгорания. Полимеры не должны храниться вместе с другими горючими веществами. Перед началом использования пластиков внимательно ознакомьтесь с Паспортом безопасности на него.

9. При нормальных условиях пластиковые заготовки или готовые изделия не выделяют никаких токсичных веществ и не представляют никакой опасности при контакте с их поверхностью. Курение не должно быть разрешено вблизи мест обработки полимеров, так как частицы некоторых пластмасс (в частности фторполимеров), вступая в соединения с тлеющим табаком, могут выделять токсичные вещества.

Для обеспечения охраны здоровья человека, перед началом использования пластика внимательно ознакомьтесь с Паспортом безопасности на него.

10. Если Вы соблюдаете приведенные выше рекомендации, то никаких существенных изменений первоначальных свойств полимеров не произойдет. Возможно минимальное обесцвечивание поверхности пластика из-за влияния окружающей среды. Однако это не представляет какого-либо существенного ухудшения свойств материала, так как эти изменения затрагивают всего лишь несколько микрон поверхности материала в глубину.

11. Обрезки пластиковых заготовок, стружка могут быть вторично переработаны специализированными компаниями. Также отходы могут быть утилизированы профессиональными компаниями в области переработки полимерных отходов с соответствующим контролем по выбросу загрязняющих веществ. В частности, это относится к случаям, где отходы полимеров, стружка загрязнены нефтепродуктами, СОЖ.

12. Полимерные материалы могут быть транспортированы как в крытых, так и в открытых транспортных средствах в соответствии с правилами перевозки грузов, действующих на данном транспорте.

Рекомендации, представленные выше, целесообразно скорректировать в соответствии с индивидуальными требованиями и обстоятельствами. Данные рекомендации не заменяют законодательные акты и правила, в том числе, отраслевые и не освобождают потребителей, использующих продукцию, от их ответственности или индивидуальных лиц от их обязанностей. Вышеприведенная информация предназначена только в качестве рекомендаций, основанных на текущем состоянии знаний. Рекомендации не несут под собой какую-либо общеприменимую гарантию.

ОГРАНИЧЕНИЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Приведенные в настоящей брошюре примеры, данные испытаний и иная информация основаны на нашем опыте, опыте наших партнеров (производителей изделий и заготовок), специализированных тестах, а также взята из официальных открытых источников. При этом мы не можем дать каких-либо гарантий на законных основаниях о возможности применения материала и обращения с ним 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, условия эксплуатации.

Предоставленная информация сама по себе не является достаточной основой для проектирования компонентов, деталей или инструментов. Решение о пригодности конкретного материала, конкретной процедуры или конкретного компонента и конструкции инструмента для конкретной цели остается исключительно за соответствующим заказчиком.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СЕРВИС

Химическую устойчивость термопластов к воздействию веществ и сред можно проверить с помощью специального on-line сервиса «Подбор материала» на www.agent-itr.ru.

Рекомендуем ознакомиться с подробной информацией о применении термопластов и их особенностях при эксплуатации в тех или иных отраслях промышленности. Готовые отраслевые решения помогут избежать ошибок и сэкономят время. Скачать брошюры можно на www.polimer1.ru или www.agent-itr.ru.

По заказу потребителя мы производим распил заготовок, изготовление изделий на ЧПУ станках, 3D печать прототипов, а так же литьем под давлением.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

Указанные в брошюре термопласты, их модификации, размеры актуальны по состоянию на март 2026г. В программу поставки могут быть внесены изменения без уведомления потребителя. Пожалуйста, уточняйте серийность производства продукции до момента внесения наименования материала в КД.

Постоянные обновления Вы найдете на наших сайтах www.agent-itr.ru и www.polimer1.ru.

Фотоматериалы, информационные данные, использованные в данном каталоге, принадлежат ООО НПК «Элмика» и третьим лицам (по соглашению сторон) и не могут быть использованы без предварительного официального согласования с правообладателем.

MIKAPEEK, MIKATRON, MIKAPEI, MIKASON, MIKAFORM являются зарегистрированными торговыми марками и принадлежат ООО НПК «Элмика».



ПОЛЕЗНО ЗНАТЬ

Инструкции по работе с
техническими пластиками



Листы технических данных (TDS)
Паспорта безопасности (MSDS)



Каталоги и брошюры
Информация по применению



Анкеты для подбора
материалов



ООО НПК «ЭЛМИКА»
8-800-700-95-25
sale@elmica.ru

Ростовская область, Новочеркасск, Харьковское шоссе 10 ДМ (особая экономическая зона «Ростовская»), 346404

Екатеринбург, Елизаветинское шоссе, 41, 620024

Ростов-на-Дону, Шолохова 211/4, офис 4, 344009

Ростовская область, 1047 км+300м трассы М-4 («Дон»), 346735

