

Учреждение образования Республики Беларусь  
«Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого»

Кафедра "Материаловедение в машиностроении"

Лабораторная работа №4  
по теме: «ФОТОПОЛИМЕРНЫЕ СМОЛЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ»

Выполнил:  
студент группы ТТ-31  
Галицкий И.П.  
Принял преподаватель  
Прусенко И.Н.

**Цель работы:** изучить свойства и области применения фотополимеров для технологий аддитивного синтеза.

**Приборы и материалы:** образцы на растяжение и ударную вязкость из фотополимеров, разрывная машина, копер, 3D-принтер.

## Теоретическая часть

Особое место в области аддитивного производства занимают фотополимерные смолы. Фотополимерные материалы используются в 3D-принтерах, работающих по технологиям MJM, SLA и PolyJet. В эту группу объединены вещества, которые послойно отверждаются под действием ультрафиолетового излучения или лазера.

Основные характеристики фотополимерных материалов:

- высокая точность и детализация;
- гладкие поверхности готовых изделий;
- наличие выжигаемых материалов;
- относительная хрупкость (за исключением нескольких материалов);
- низкая температура размягчения и деформации у большинства материалов.

В зависимости от типа материала, применяемой технологии и оборудования, фотополимерные материалы могут решать широкий круг производственных, творческих и научных задач:

- печать мастер-моделей для литья в силикон;
- печать выжигаемых литейных мастер-моделей;
- быстрое прототипирование для различных целей;
- печать образцов для проверки собираемости;
- производство тестовых образцов продукции;
- печать пресс-форм для небольших серий.

Различают фотополимеры для профессиональных и промышленных 3D-принтеров.

Фотополимеры для **профессиональных 3D-принтеров**. К этой группе относятся вещества, используемые для построения в большинстве 3D-принтеров серии ProJet компании 3D Systems и 3D-принтерах серии Objet компании Stratasys:

– фотополимеры VisiJet серий M3, M5 и FTX — применяются в 3D-принтерах ProJet. Общее количество — около 20. Каждый из материалов обладает одним характерным свойством (например, повышенная прочность, выжигаемость, прозрачность и пр.);

– фотополимеры серий Vera и Tanga — применяются в 3D-принтерах Objet. Каждый материал (также как и в случае с VisiJet) отличается характерными свойствами, прозрачностью или цветом. Подробнее с характеристиками каждого из материалов вы можете ознакомиться [здесь](#).

Фотополимеры для **промышленных 3D-принтеров**:

– материалы серии VisiJet SL — используются в промышленных SLA-машинах ProJet 6000/7000 компании 3D Systems. Включают в себя максимальный выбор физических свойств;

– фотополимеры серии Somos — применяются в 3D-принтерах компании Uniontech. Есть водостойкие, термостойкие, высокопрочные, прозрачные и другие материалы.

Более подробно о фотополимерах для **профессиональных 3D-принтеров**.

Компания 3D Systems производит широкую линейку материалов для серии профессиональных 3D-принтеров ProJet: фотополимеры, пластик, воск.

*VisiJet M3 Black* — очень прочный материал черного цвета. Схож по качеству поверхности изделиями, изготовленными с помощью прямого отлива. Используется в сферах, где необходима высокая прочность и качество поверхностей. Обеспечивает потрясающую детализацию. Материал VisiJet M3/M5 Black обладает прекрасными физическими свойствами. Он применяется в функциональном тестировании, производстве инструментов и изготовлении конечных деталей. VisiJet M3 Black используется там, где необходима быстрая и качественная печать очень прочных и гибких изделий: в промышленности, автомобилестроении, производстве корпусов электроприборов, сантехнических изделий и других отраслях.

*VisiJet M3 Crystal* — полупрозрачный и очень прочный пластик. Прекрасно подходит для проверки функциональности, производства готовой продукции и прототипов. Обладает шестым классом биосовместимости, благодаря чему может применяться в медицине. Материал VisiJet M3 Crystal применяется также в промышленности и дизайне. Из него изготавливают очень прочные детали и сложные конструкции с определенной степенью прозрачности, когда необходим визуальный доступ внутрь изделия. Технические характеристики фотополимера VisiJet M3 Crystal приведены в табл. 1

Таблица 1

#### Технические характеристики фотополимера VisiJet M3 Crystal

Показатель	Значение
Плотность при 80°С, г/см <sup>3</sup>	1,02
Прочность на разрыв, МПа	42,4
Модуль упругости при растяжении, МПа	1463
Относительное удлинение при разрыве, %	6,83
Прочность на изгиб, МПа	49
Термическая деформация, °С	56

*VisiJet M3 Navy* — универсальный материал, предназначенный для изготовления пластиковых моделей различной формы и сфер применения. Обеспечивает высокую детализацию и качество поверхностей. Этот материал применяют для производства выжигаемых мастер-моделей, по которым изготавливаются литейные формы. Сферы применения: промышленность, медицина, ювелирное производство, металлургия, автомобилестроение, приборостроение (рис. 4.22). Зольность – 0,01%.

*VisiJet M3 Procast* — этот материал обеспечивает наилучшее качество моделей для точного литья. Идеально подходит для высокоточного производства: тонких медицинских инструментов, ювелирных изделий, микроэлектроники, металлических деталей. Зольность – 0,01%. Также VisiJet M3 Procast используется для создания высокоточных выжигаемых мастер-моделей. Прототипы, созданные с использованием этого материала, обеспечивают высокую детализацию и качество поверхностей.

Сферы применения: микроэлектроника, медицина, стоматология, ювелирное производство, автомобилестроение, приборостроение.

*VisiJet M3 Proplast* — это экономичный полупрозрачный материал для построения самого широкого спектра моделей. VisiJet M3 Proplast используется для печати широкого спектра изделий в самых разных сферах. Кроме того, он может использоваться для производства выжигаемых моделей для точного литья.

*VisiJet M3 Techplast* — серый пластиковый материал, обеспечивающий экономичную 3D-печать моделей для самых разных сфер. VisiJet M3 Techplast применяется для печати широкого спектра изделий в самых разных сферах: производство, дизайн, металлургия, машиностроение, медицина и другие (рис. 1). Этот материал может применяться для производства выжигаемых мастер-моделей.



Рис. 1. Изделие, напечатанное на 3D-принтере из VisiJet M3 Navy

*VisiJet M3/M5-X* — полимерный материал, полностью имитирующий свойства ABS-пластика. Идеален для быстрого прототипирования, проверки формы, дизайна, функциональности. Очень прочный и устойчивый к воздействию высоких температур. VisiJet M3/M5-X применяется для печати широкого спектра изделий в самых разных сферах: производство, дизайн, металлургия, машиностроение, медицина и других. Его используют везде, где необходимы очень прочные модели с заранее известными характеристиками.

*VisiJet M5 MX* — специальный инженерный материал, по своим свойствам и внешнему виду максимально близкий к промышленному пластику. Используется для функционального тестирования, оценки формы и дизайна, быстрого изготовления готовой продукции. Имеет полупрозрачный янтарный цвет. Применяется для быстрого прототипирования широкого спектра изделий в самых разных сферах: производство, дизайн, металлургия, машиностроение, медицина и других.

*VeroClear* — фотополимерный материал, с помощью которого вы сможете создавать как совершенно прозрачные, так и тонированные изделия с разной степенью прозрачности. Он демонстрирует прекрасную стабильность формы и прочность, имитируя полупрозрачную пластмассу. С его помощью изготавливают различные изделия: от очков и светопроницаемых элементов до медицинских устройств. В сочетании с материалами другого цвета, можно получать уникальные изделия с узорами и сложной окраской. Объединение VeroClear с эластичными материалами позволит печатать модели с нужными физическими свойствами.

*Rigur* — это фотополимер нового поколения, имитирующий свойства полипропилена. Он эластичен, обладает улучшенной ударной вязкостью, прекрасно держит форму и обеспечивает гладкую поверхность изделий. Материал Rigur обычно используется для быстрого создания моделей, испытания соответствия, формы и

функциональности для изделий точной подгонки, подвижных и гибких изделий, упаковок и другой продукции.

*RGD720* — универсальный полимерный материал, имитирующий стандартную прозрачную пластмассу. Сочетает гладкость поверхности и прекрасную формоустойчивость. Благодаря сочетанию прозрачности, формоустойчивости и гладкости поверхности, прозрачный фотополимер RGD720 позволяет создавать прозрачные и цветные полупрозрачные модели изделий: от очков и светопроницаемых покрытий до медицинских устройств.

*VeroWhite* — жидкий полимер, который затвердевает под действием ультрафиолета. Однотонный белый материал VeroWhitePlus может применяться для создания прототипов, для которых особенно важен визуальный (зрительный) анализ формы. Именно белый цвет позволяет точнее всего воспринимать форму. Семейство материалов Vero включает в себя не только белый, но и черный, голубой и серый цвета и позволяет пользователям принтеров Eden изготавливать непрозрачные модели, которые имеют максимальное сходство с конечным изделием. Материалы обладают высокими механическими свойствами и способностью выдерживать нагрузки на изгиб.

*DurusWhite* — материал, специально разработанный для 3D-принтеров Objet, использующих технологию PolyJet. Однотонный белый материал DurusWhite, аналогичный полипропилену, может применяться для создания элементов типа защелок, которые будут использоваться многократно.

*TangoGray* и *TangoBlack* — жидкие полимеры, которые затвердевают под действием ультрафиолета. Это резиноподобные гибкие материалы. Модели из этих материалов получаются очень похожими на конечные изделия, особенно по тактильным ощущениям. Использование таких материалов открывает новые возможности для систем печати Eden.

*RGD525* — термостойкий материал, обладающий прекрасной формостойкостью. Деформационная теплостойкость 63...67 °C. Термальная обработка в программируемой печи может увеличить этот показатель до 80 °C.

Термостойкий материал имитирует температурные характеристики стандартной пластмассы, что идеально подходит для температурных испытаний статических деталей: испытание соответствия и функциональное температурное исследование статических деталей; детали высокой четкости, требующие превосходного качества поверхности; модели для выставки в условиях очень яркой освещенности; термоустойчивые монтажные и крепежные элементы; постобработка методами окрашивания, оклеивания или металлизации; модели для перевозки; краны, трубы и бытовая техника; испытания горячим воздухом или водой.

RGD525 может сочетаться с эластичным материалом и создавать гибкий ряд материалов с регулируемыми свойствами.

Биосовместимый фотополимер *MED610* обладает отличной прозрачностью, жесткостью, биосовместимостью, сохранением формы в течение долгого времени. Он применяется в медицине и стоматологии для изготовления стоматологических кап, ортодонтических приспособлений и хирургических ортопедических гид.

Фотополимеры для **промышленных 3D-принтеров**. Материалы линейки VisiJet SL позволяет создавать модели самой высокой сложности и самого высокого качества для удовлетворения широкого спектра коммерческих и производственных задач. Ниже представлены основные отличительные особенности и преимущества каждого фотополимера.

*VisiJet SL Flex.* Имеет свойства полипропилена, белый (непрозрачный), обладает высокой гибкостью и сохранением формы, высоким разрешением и точностью деталей, отлично подходит для защелкивающихся устройств.

*VisiJet SL Clear.* Обладает свойствами поликарбоната, кристальной прозрачностью, твердостью, долговечностью, биосовместимостью. Подходит для печати выставочных экземпляров, а также для получения изделий методом QuickCast.

*VisiJet SL Tough.* Имеет свойства полипропилена и ABS-пластика. Серый и непрозрачный, прочный, ударостойкий. Применяется в дизайне и для изготовления силиконовых пресс-форм.

*VisiJet SL Impact.* Также обладает свойствами полипропилена и ABS-пластика. Белый и непрозрачный, прочный, ударостойкий. Применяется для изготовления различных приспособлений в сборочном производстве.

*VisiJet SL Black.* Имеет свойства ABS-пластика. Черного цвета, прочный и ударостойкий. Применяется для изготовления разнообразных деталей в автомобилестроении и товаров народного потребления. Идеален для изготовления электронных корпусов.

*VisiJet SL e-Stone* – заменитель зуботехнического гипса. Медицинский материал, применяемый для создания рабочих моделей для зубных протезов, для реставрации коронок и зубных мостов, используется в процессе ортодонтической термоформовки.

*VisiJet SL HiTemp.* Этот полупрозрачный фотополимер обладает температуростойкостью до +130°C, влаго- и химстойкостью. Подходит для изготовления различных изделий в различных отраслях машиностроения, приборостроения и др.

*VisiJet SL Jewel.* Данный фотополимер синего цвета обладает низкой усадкой, высокой точностью при построении изделий ювелирного назначения, низкой стоимостью.

Для промышленного использования также разработана целая серия фотополимерных смол марки Accura.

Accura 25 Plastic — белый и непрозрачный мягкий, высокоточный материал со свойствами, близкими к полипропилену и ABS-пластику. Для материала характерны гибкость и эластичность.

Обладает рядом преимуществ: внешний вид и свойства, повторяющие свойства литого полипропилена; высокая гибкость и способность принимать исходную форму после деформаций; превосходная точность; расширенные возможности для моделирования; позволяет создавать надежные и прочные функциональные прототипы; используется для создания мастер-моделей для литья; максимальное качество и надежность.

Сферы применения: полноценные функциональные узлы и элементы конструкций для автомобильной промышленности, бытовой электроники, игрушек, предметов с защелкивающимися корпусами; мастер-модели для литья в силикон; для ускорения производства путем замены технологий ЧПУ-обработки ABS-пластика и полипропилена на 3D-печать; концептуальные и маркетинговые модели.

*Accura Amethyst* — специальный материал, предназначенный для ювелирного производства. Позволяет создавать максимально точные мастер-модели с высочайшим разрешением.

Преимущества материала: высочайшая точность; исключительная детализация; параметры материала обеспечивают высокую теплостойкость; детали контрастного

пурпурного цвета легко отличимы от других материалов в технологии формовки; материал может использоваться для непосредственного литья.

Сферы применения: печать мастер-моделей, используемых для создания резиновых литейных форм в ювелирном деле; концептуальные модели высокого разрешения.

*Accura Bluestone* — жесткий и прочный нано-композит для наиболее требовательных задач, требующих высочайшего качества материала.

Преимущества материала: исключительная жесткость; устойчивость к высоким температурам; высочайшая точность и влагостойкость; высокое сопротивление к деформациям даже при больших нагрузках; выдерживают температуру 250°C; детали сохраняют свойства в течение долгого времени; отличные механические свойства материала сохраняются даже на длинных и вытянутых деталях.

Сферы применения: тестирование аэродинамики моделей в сфере автоспорта и авиации; элементы осветительных приборов, подвергающихся нагреву от электрических компонентов; корпуса электрических и механических компонентов; ёмкости, взаимодействующие с водой и другими жидкостями; детали для силовых агрегатов автомобилей; корпуса и контейнеры, требующие высокой жесткости и прочности; изоляционные компоненты, разъемы, адаптеры, розетки. В ряде случаев может заменять керамические элементы, использующиеся в электронике.

*Accura CastPro* — точно дозируемый материал, разработанный для осуществления высококачественного литья по технологии QuickCast.

Преимущества: совместим со многими металлами; устойчивость к высокой влажности и жидкостям; улучшенный показатель теплового расширения; высокая точность и стабильность моделей; устойчивость к горению; материал повышает эффективность литья.

Сферы применения: литье по выплавляемым моделям; создание форм и шаблонов QuickCas; прототипы литых изделий.

*Accura CeraMAX Composite* — жесткий керамический армированный композитный материал с высочайшими тепло-, влаго- и износостойкостью.

Преимущества материала: обладает физическими свойствами пластика и керамики; высокая термостойкость; влагостойкость и жесткость; выдерживают температуру до 220 °C; модели очень стойки к износу при интенсивном применении; детали сохраняют свойства и размеры в течение длительного периода.

Сферы применения: элементы конструкций, требующие высокой тепло- и износостойкости; жесткие конструкции и функциональные прототипы; композитные компоненты со свойствами, присущими керамическим; модели произведений искусства и архивных моделей; влагоустойчивые модели; автомобильная и аэрокосмическая промышленность.

*Accura ClearVue* — полностью прозрачный пластик, имитирующий свойства и внешний вид поликарбоната и ABS-пластика.

Преимущества: высокая четкость и прозрачность; прочность и жесткость; влагостойкость.

Сферы применения: создание прототипов общего назначения; модели, требующие исключительной прозрачности материала; фары и линзы; модели для наблюдения потока жидкости внутри различных узлов; прозрачные конструкции; сложные конструкции с защелкивающимися элементами; медицинское оборудование.

*Accura e-Stone* — точный и прочный материал для создания стоматологических моделей. Материал имитирует традиционные гипсовые модели для создания слепков.

Применяется для изготовления стоматологических моделей с применением цифровых технологий; создания учебных и рабочих моделей коронок и мостов; ортодонтических рабочих и учебных моделей.

Преимущества: адаптирован к стандартной стоматологической лабораторной практике; повышенная детализация моделей; возможность повторного использования.

*Accura Peak* — жесткий, высокоточный пластик с отличной теплостойкостью и влагостойкостью. Применяется для изделий, находящихся в условиях высоких температур; создания оборудования, работающего с водой и другими жидкостями; получения моделей для тестирования аэродинамики; изготовления светильников, датчиков, чайников и прочих подобных приборов (рис. 2).



Рис. 2. Корпуса электрочайников из фотополимера *Accura Peak*

*Accura Xtreme White 200* — сверхжесткий и прочный пластик, напоминающий по свойствам полипропилен или ABS-пластик.

Преимущества: исключительно жесткий и прочный; непревзойденная прочность и сопротивляемость ударам; подходит для сборки корпусов и функционального тестирования; идеален для создания литьевых мастер-моделей.

Сферы применения: прототипирование; защелкивающиеся конструкции; прочные корпуса; компоненты бытовой электроники; мастер-модели для силиконовых формовок.

## Практическая часть





### **Контрольные вопросы**

1. Какие материалы относятся к фотополимерным смолам?
2. Какими характеристиками обладают фотополимеры?
3. На какие виды подразделяются фотополимеры?
4. Какие фотополимеры предназначены для профессиональных принтеров? Приведите несколько из них и опишите свойства.
5. Какие фотополимеры предназначены для промышленных принтеров? Приведите несколько из них и опишите свойства.