Для того чтобы инструмент из стали 9ХС мог конкурировать с инструментом из стали Р6М5 по производительности обработки отверстий, необходимо на него нанести PVD-покрытие. Наличие покрытия на инструменте из стали 9ХС позволяет назначать повышенные режимы резания в соответствии с составом покрытия. Дополнительная криогенная обработка инструмента из стали 9ХС с PVD-покрытием обеспечивает повышение стойкости до уровня, превышающего стойкость инструмента из стали Р6М5 с PVD-покрытием, что в конечном счете обеспечивает повышение производительности и стойкости, снижение себестоимости обработки и затрат на осевой инструмент.

Литература

1. Кокорин, Н. А. Термическая обработка при криогенных температурах / Н. А. Кокорин ; ООО «НПЦ «КриоТехРесурс». – Ижевск : Шелест, 2019. – 136 с. : ил.
2. Кокорин, Н. А. Стабилизация размеров и формы деталей криогенным воздействием / Н. А. Кокорин // РИТМ машиностроения. – 2020. – № 1. – С. 10–14.
3. Воробьев, В. Г. Термическая обработка стали при температуре ниже нуля / В. Г. Воробьев. – М. : Оборонгиз, 1954. – 306 с.
4. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов : учебник / Ю. М. Лахтин. – М. : Металлургия, 1979. – 320 с.
5. Термическая обработка коррозионностойких сталей и сплавов на железоникелевой основе в химическом машиностроении : СТП 26.260.484-2004.
6. Кокорин, Н. А. Криогенное упрочнени – гарантия оптимизации инструмента / Н. А. Кокорин // РИТМ машиностроения. – 2018. – № 4. – С. 80–84.
7. Использование криогенной обработки для повышения износостойкости профилегибочных валков / А. В. Колобов, М. А. Соминин, С. В. Плеханов [и др.] // Металлург. – 2017. – № 6. – С. 86–90.
8. Криогенное упрочнение для повышения эффективности технологий обработки инструмента из стали Х12МФ / Ю. О. Михайлов, Н. А. Кокорин, В. В. Тарасов [и др.] // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2017. – № 4. – С. 23–25.
9. Строение и свойства авиационных материалов : учеб. для вузов / А. Ф. Белов, Г. П. Бенедиктова, А. С. Висков [и др.]. – М. : Металлургия, 1989. – 368 с.
10. Гуляев, А. П. Инструментальные стали : справочник / А. П. Гуляев, К. А. Малинина, С. М. Саверина. – М. : Машиностроение, 1975. – 272 с.
11. Исследование абразивной износостойкости серого чугуна с криогенным упрочнением / В. В. Тарасов, И. А. Данилов, Н. А. Кокорин [и др.] // Механика и физико-химия гетерогенных сред, наносистем и новых материалов / В. В. Тарасов, И. А. Данилов, Н. А. Кокорин [и др.]. – Ижевск : ИМ УрО РАН, 2015. – С. 190–198.
12. Данилов, И. А. Повышение абразивной износостойкости чугуна криогенным воздействием / И. А. Данилов, Н. А. Кокорин, М. С. Кондратенков // Литейное производство. – 2015. – № 12. – С. 7–10.
13. Кокорин, Н. А. Оптимизация инструмента криогенным воздействием / Н. А. Кокорин // Промышленные страницы Сибири. – 2019. – № 10. – С. 60–63

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ПАРАМЕТРОВ 3D-ПЕЧАТИ НА ЗОЛЬНОСТЬ ВЫЖИГАЕМОЙ МОДЕЛИ

А. Д. Левкина

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

Исследована FDM-печать выжигаемой модели для литья детали «Вилка». Ключевой параметр – зольность, зависящая от выбора полимера и параметров печати. Проведено сравнение пластиков REC CAST, PolyCast и PLA, которое показало, что PLA оптимален: золь-

ность – 0,003 %, полное выгорание – при 500 °С. Установленные параметры печати: горизонтальная ориентация модели при 3D-печати, заполнение «зигзаг» полностью – 8 % (обеспечивает массу модели 46 г и исключает деформацию при нагрузке давлением 100 Н · м², весом смеси 3 кПа), время печати – 2 ч 27 мин.

Ключевые слова: 3D-печать, выжигаемая модель, зольность, параметры печати.

В данной работе объектом исследования является 3D-модель детали «Вилка», созданная в программе SolidWorks2020 на основе чертежа детали. Основным методом изготовления детали является литье, обеспечивающее высокие точность исполнения поверхности и повторяемость детали, а также ее изготовление в большом количестве. Однако у данного метода есть ряд недостатков: сложность, дороговизна и длительность изготовления литейной оснастки, отладка процесса, которая также занимает много времени и требует лишних расходов материалов. В современном обществе время и стоимость для заказчика являются важными и решающими критериями. Для устранения возникающих при производстве недостатков можно использовать метод литья по выжигаемым моделям, где сами модели производятся при помощи 3D-печати по технологии FDM (послойное наложение филамента), которая позволяет создать деталь любой геометрической формы за короткий промежуток времени без потери качества и перерасхода материала.

Для изготовления детали подобным методом ключевым параметром является зольность – количество неорганического остатка, образующегося после сжигания полимерной модели. Зольность напрямую влияет на качество отливки: высокий процент золы может привести к дефектам поверхности, ухудшению механических свойств и увеличению брака. Поэтому нужно учитывать несколько факторов: выбор правильного материала и параметры, выставляемые при печати. Целью работы является определение зольности выжигаемой модели в зависимости от ее материалов и параметров.

Зольность пластика зависит, в первую очередь, от его химического состава: органическая оставляющая пластика (базовая углеводородная цепь) дает наименьшее количество золы. Усложнение ее структуры (внедрение ароматических колец, силиконов или галогенов) и добавление неорганических соединений (металлы в составе катализаторов, добавки для окрашивания, упрочнители и т. д.) значительно повышает процентное содержание твердых остатков после горения. Также важно, на какие мономолекулы и простые соединения полимер распадается при нагреве: многие звенья склонны к перекрестному скрещиванию при распаде. В итоге образуются дополнительные неорганические соединения, которые начинают тлеть, образуя высокое содержание золы.

Для создания выжигаемых моделей выделяют ряд специальных полимеров, которые больше всего подходят по упомянутым выше свойствам: REC CAST, PolyCast, PLA (см. таблицу) [1].

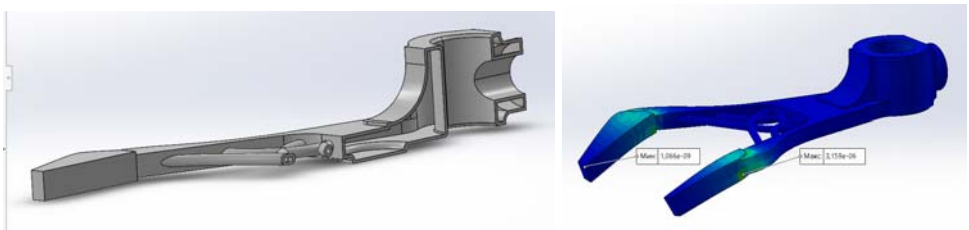
Исходя из приведенных данных можно сделать вывод о том, что PLA пластик обладает наилучшей для горения химической основой (сгорает без остатка), практически не нуждается в химических добавках, нетребователен к условиям горения и, как следствие, имеет наименьшее значение зольности из предложенных материалов. Учитывая эти сведения, было принято решение произвести деталь именно из этого материала.

Параметры выжигаемых полимеров

Параметр	Полимер		
	REC CAST	**PolyCast**	**PLA**
Химическая основа	Полиметилметакрилат (PMMA)	Поливинилбутираль (PVB)	Полимолочная кислота
Используемые добавки	Пластификаторы, антипирены, стабилизаторы (тальк), упрочнители (медный порошок)	Примеси и загрязнения (остатки других соединений после получения)	Биосовместимые добавки
Условия горения и тления	Горит при *t* 400–450 °C только при условии хорошей аэрации, при низкой температуре нагрева склонен образовывать маслянистые олигомеры	Выгорает при *t* 600–700 °C, тлеет при низкой температуре нагрева, недостатке кислорода или быстрой скорости нагрева	Выгорает при *t* 500 °C, тлеет при низкой температуре нагрева и недостатке кислорода
Процент зольности	0,01 %	От 0,003 до 0,006 %	0,003 %

Зольность зависит не только от пластика, его химического состава, но и от выставляемых параметров печати: расположение изделия при печати, плотность и шаблон заполнения, процент перекрытия. Задание программы печати происходит в программе UltimakerCura 5.4.0.

Чем меньше материала используется при печати модели, тем меньший коэффициент зольности будет в итоге. Идеальным вариантом заполнения считается каркасное (пустотелое). Однако, учитывая специфику производства, нужно брать в расчет нагрузку, которая будет оказана на модель при ручном формовании в песчано-глинистою форму: давление при уплотнении составляет 100 $Н \cdot м^2$, вес самой смеси (также давление на модель) – 3 кПа. При нагрузке каркасной модели с толщиной стенки 1 мм – минимальная допустимая толщина слоя экструзии (рис. 1, *а*), происходит значительная деформация изделия при формовке, которую нельзя допустить (рис. 1, *б*).

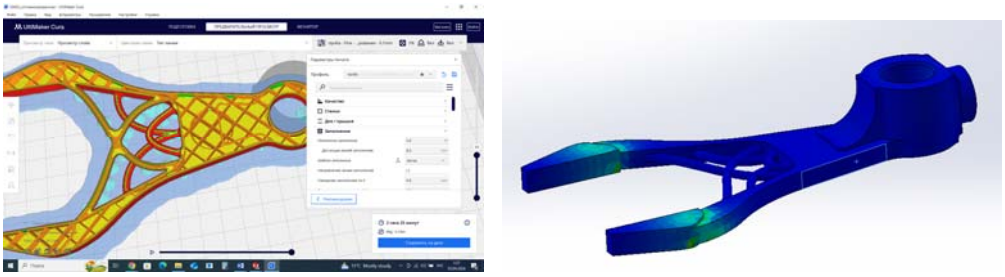


а) *б*)

Рис. 1. Нагружение модели:
а – разрез нагружаемой детали; *б* – деформация при нагружении

Оптимальное решение, не требующее использования большого количества материала, – построение внутренних ребер жесткости, которые можно расположить несколькими способами: восьмигранники, зигзаг, крестовое, сетка, гироид. Заполнение зигзагом является самым простым и быстрым для печати. При использовании такого шаблона возможность провисания материала при построении верхних слоев и лишнего материала внутри модели минимальна. Наилучшее отображение внутреннего заполнения можно получить на 55-м слое печати (рис. 2, *а*).

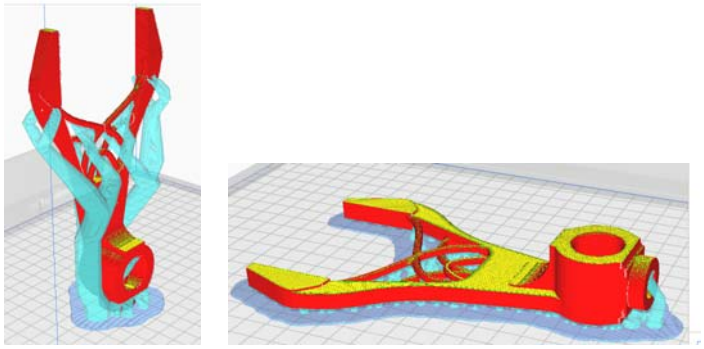
При выборе плотности заполнения нужно обращать внимание: чем ниже плотность, тем ниже масса модели и тем меньше процент зольности. При минимальном допустимом заполнении 5 % связанный с этим параметр дистанции линии равен 8 мм, а масса детали составляет 47 г; при проценте заполнения 6 (7) % значение дистанции будет дробным; при 8 % заполнения значение дистанции равно 5 %, а масса модели составляет 46 г [2]. При нагрузке детали с заполнением 8 % деформации не происходит (рис. 2, *б*).



а) *б*)

Рис. 2. Нагружение модели:
а – шаблон и плотность заполнения; *б* – нагружение модели с заполнением

От расположения детали при печати зависят время печати, количество поддержек и конечная масса изделия. Если расположить деталь вертикально (рис. 3, *а*), то итоговая масса модели составит 48 г, а время печати – 3 ч 4 мин. Если расположить деталь горизонтально (рис. 3, *б*), то итоговая масса модели составит 46 г, а время печати – 2 ч 27 мин.



а) *б*)

Рис. 3. Расположение модели при печати:
а – вертикально; *б* – горизонтально

Таким образом, для литья по выжигаемым моделям оптимален PLA-пластик: он дает минимальную зольность (0,003 %) и полностью выгорает при 500 °С. Деталь «Вилка» из PLA пластика печатают горизонтально с заполнением «зигзаг» плотности 8 % (масса – 46 г, время печати – 2 ч 27 мин), что предотвращает деформацию при формовке и снижает твердый остаток.

Литература

1. Битюцкий, А. Д. Выбор материала для трехмерной печати моделей в ювелирном и художественном литье / А. Д. Битюцкий, Л. П. Ивлева // Прогрессивные литейные технологии : тр. X Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 9–13 нояб. 2020 г. – М., 2020. – С. 404–408. – EDN NKTRHL.
2. Аддитивные технологии. Современные методы 3D-печати : учеб.-метод. пособие для обучающихся по направлениям подготовки: 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 09.03.04 «Программная инженерия»; 27.03.03 «Системный анализ и управление»; 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / С. Г. Менюк, В. В. Дядичев, Г. Р. Биленко, Д. С. Менюк. – Симферополь : Ариал, 2024. – 114 с. – EDN WGBJIM.

АНАЛИЗ И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАДИЕНТЫХ ФИЛЬТРОВ

И. В. Селюков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. Н. Бобрышева

Рассмотрены принципы построения градиентных фильтров с пространственно-изменяемой структурой пор, обеспечивающих высокую эффективность очистки и увеличенный ресурс работы. Проведен анализ полимерных, металлических и керамических материалов. Предложен подход к созданию градиентных материалов на основе бентонитовой глины, дисперсных отходов (металлургический шлака, боя фарфора).

Фильтрационные материалы играют важную роль в химической промышленности, биотехнологии, медицине, системах очистки воды и газов. Одним из наиболее эффективных типов фильтров являются градиентные фильтры, обладающие пространственно изменяемой структурой пор. Такие фильтры представляют собой многослойные пористые материалы, в которых размер пор постепенно уменьшается по направлению движения фильтруемой среды. Реализация концепции градиентных структур с закономерно изменяемым размером пор в пространстве обеспечивает распределение задерживаемых частиц по всему объему и кратно увеличивает ресурс работы при сохранении тонкости очистки. В отличие от традиционных фильтров с однородной пористостью градиентные конструкции позволяют минимизировать перепад давления на фильтре при сохранении высокой удерживающей способности.

Процесс фильтрации начинается с прохождения жидкости или газа через первый слой фильтра, имеющий наиболее крупные поры. Этот слой выполняет функцию предварительной очистки и задерживает крупные частицы загрязнений, такие как механические примеси, пыль и крупные агрегаты молекул. Далее поток проходит через второй слой с меньшим размером пор, где задерживаются частицы среднего размера. Последний слой фильтра имеет наиболее мелкие поры и предназначен для задержания самых маленьких частиц, включая микроорганизмы и мелкодисперсные примеси. Современные требования к фильтрации, например, в системах топливоподачи высокого