

**Сравнение технологий SLS и BJ для изготовления литейных форм**

Студент гр. 10404120 Письменкова Ю.А.

Научный руководитель – Ровин С.Л.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одним из наиболее знаковых направлений инновационного развития в литейном производстве последнего десятилетия является активное внедрение аддитивных технологий: для изготовления модельной оснастки, выплавляемых и выжигаемых моделей, разовых литейных форм и стержней и, собственно, металлических изделий. Уже сегодня их применение позволяет значительно сократить трудоемкость и время подготовки производства и освоения новой продукции, в первую очередь отливок ответственного назначения, имеющих сложную конфигурацию. Все более заметную роль играют эти технологии при необходимости изготовления пилотных изделий и прототипов, в мелкосерийном и индивидуальном производстве отливок, особенно в тех отраслях, где большая часть продукции является уникальной: в авионавтике, медицине, энергетике, авиастроении, военной технике [1, 2].

Одна из областей применения аддитивных технологий в литейном производстве – это 3d-печать разовых литейных форм и стержней, что позволяет исключить из цепочки подготовки производства отливки необходимость проектирования и изготовления модельной оснастки. Фактически, благодаря использованию аддитивных технологий, конструктор-технолог сегодня может распечатать не только конструкторскую документацию на литейную форму, но и саму форму, не обращая при этом в модельный цех, на стержневой и формовочный участки, что позволяет сократить время от проектирования литейной технологии до получения готовой отливки с 2-3 месяцев до 2-3 дней [1, 3].

На текущий момент наибольшее распространение получили два метода 3d-печати песчаных литейных форм и стержней [3, 4]:

- послойное селективное спекание песчано-полимерной смеси лазером (Select Laser Sintering);
- послойное выборочное отверждение песчано-полимерной смеси точечным нанесением связующего (Binder Jetting).

Сущность метода Select Laser Sintering (SLS) заключается в спекании углекислотным лазером плакированной песчано-смоляной смеси, которая ровными слоями толщиной 0,2-0,5 мм подается на поверхность рабочего стола – постепенно опускающейся платформы. Таким образом, слоем за слоем создается литейная форма или стержень вне оснастки и без необходимости каких-либо дополнительных поддержек (опорой служит сама плакированная смесь окружающая отверждаемый участок) [4].

Основными преимуществами этой технологии являются:

- отсутствие необходимости в поддерживающих конструкциях, что позволяет печатать формы и стержни практически любой сложности и, таким образом, исключить необходимость применения сборных центровых стержней и наружных стержней для оформления геометрически сложной внешней поверхности отливок;
- возможность повторного использования побывавшей в обороте, но не отвержденной смеси;
- высокая точность ( $\pm 0,2-0,5$  мм) и детализация изготавливаемых форм и стержней, что особенно важно при создании сложных и тонких элементов;
- возможность одновременно печатать несколько форм или полуформы верха/низа и стержень, что ускоряет процесс и позволяет делать параллельно весь формовочный комплект для той или иной отливки.

К недостаткам данного метода можно отнести следующее:

- SLS-принтеры и материалы для печати этим методом форм и стержней, как правило, являются весьма дорогостоящими, что существенно увеличивает инвестиции и текущие затраты;
- Размеры, которые можно напечатать на SLS-принтерах ограничены, что может создать неудобства при создании крупных форм и стержней;
- Процесс SLS-печати форм является достаточно энергоемким.

Технологический процесс Binder Jetting (BJ) начинается с нанесения тонкого слоя смеси, состоящей из огнеупорного наполнителя и отвердителя (иногда в состав входят и некоторые специальные добавки) на рабочую платформу. Затем на созданный слой (0,3-0,6 мм) точно (капельным способом) наносится связующее, склеивая частицы смеси друг с другом. Связующее вступает в реакцию с отвердителем и отверждается. Процесс повторяется слой за слоем, формируя нужную форму или стержень в соответствии с данными 3D-модели. Данная технология считается менее энергоемкой, более рентабельной и позволяет печатать большие формы и стержни чем SLS-метод [5].

В BJ-технологии в качестве основного наполнителя применяют в основном силикатные (кварцевые) пески, хотя могут использоваться также оливинные и хромитовые пески. В качестве связующего, как правило, применяются фурановые смолы. Это позволяет значительно удешевить процесс по сравнению с SLS-методом.

К преимуществам BJ-технологии можно отнести [5]:

- Возможность также, как и по SLS-методу, легко создавать формы и стержни со сложной геометрией и внутренними полостями без специальных поддержек;
- Меньшие удельные энергетические и материальные затраты, чем при SLS-методе (нет необходимости в использовании мощного лазерного излучателя, не надо охлаждать неиспользованную смесь, меньшие потери неиспользованной смеси);
- Большая (почти на порядок) скорость печати, чем SLS-методом;
- Менее жесткие требования к смеси, чем при использовании SLS-метода, могут использоваться различные огнеупорные наполнители и нет жестких требований к их грансоставу (хотя требования по однородности песка тоже должны соблюдаться);
- Меньшая стоимость оборудования и исходных материалов, чем при использовании SLS-метода.

При использовании струйной печати связующим следует учитывать и некоторые присущие методу недостатки:

- Как правило литейные стержни и формы, изготовленные с использованием BJ-метода, требуют последующей обработки (зачистки кромок и некоторых поверхностей), что может несколько увеличить время производства и привести к некоторому снижению точности.
- Разрешение (точность), которую обеспечивает BJ-технология несколько ниже по сравнению с SLS-методом, что может быть ограничением её использование для производства небольших, тонкостенных и геометрически сложных стержней.
- Большие удельные газовыделения и токсичность в процессе заливки полученной формы, чем при использовании плакированных смесей.

С учетом сравнения приведенных выше достоинств и недостатков применяемых для 3d-печати литейных форм и стержней методов, сегодня большее распространение получает BJ-технология. Первые производственные участки, оснащенные такими принтерами, использующими BJ-технологии печати есть уже и на белорусских предприятиях, в частности на Минском моторном заводе.

### Список использованных источников

1. Применение технологии экструзионной 3D-печати в литейном производстве / Н. К. Толочко, А. А. Андрушевич, П. Н. Василевский, П. С. Чугаев // *Литье и металлургия*. 2018. № 4. С. 139–144.
2. Гибсон, Я. Технологии аддитивного производства. Трёхмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство / Я. Гибсон, Д. Розер, Б. Стакер. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. 280 с.
3. Толочко, Н. К. Применение технологии экструзионной 3D-печати в литейном производстве / Н. К. Толочко, А. А. Андрушевич, П. Н. Василевский, П. С. Чугаев // *Литье и металлургия*. 2018. № 4. С. 139–144.
4. Григорьев, С. Высокоэффективные технологии обработки / С. Григорьев, М. Волосова, Маслов А. – М.: Машиностроение, 2015, 455 с.
5. Binder Jetting (BJ) Machines: Definition, Applications, Types, Advantages, and Disadvantages // [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/binder-jetting-bj-machines/>.