

всего несколько отливок, то нерационально изготавливать для этого дорогостоящий кокиль, а использовать для этого выплавляемые модели, тем самым исключить продолжительный по времени этап обработки изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зотов, Б. Н. Художественное литье: учеб. пособие для учащихся средних профессионально-технических училищ / Б.Н. Зотов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 288 с.
2. Кукуй, Д.М. Введение в специальность: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / Д.М. Кукуй, Р.Л. Тофпенец, Ф.И. Рудницкий. – Минск: ИВЦ Минфина, 2011. – 272 с.

УДК 378.016, 669.01

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРАКТИКИ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ-ЛИТЕЙЩИКОВ

ADDITIVE TECHNOLOGIES: NEW OPPORTUNITIES AND EFFECTIVE PRACTICES FOR TRAINING FOUNDRY ENGINEERS

Ровин С.Л. д.т.н., доцент, зав. каф.,
Иванов И.А. д.т.н., профессор, декан,
Дикун А.О. преподаватель-стажер,
Белорусский национальный технический университет, г.Минск, foundry@bntu.by
Rovin S.L. D-r of Technical Sciences, Ass. Prof., Head of the Department,
Ivanov I.A. D-r of Technical Sciences, Prof., Dean,
Dikun A.O. prentice,
Belarusian National Technical University, Minsk, foundry@bntu.by

Аннотация. В статье представлены главные направления использования цифровых аддитивных технологий в литейном производстве и опыт подготовки кадров, обладающих необходимыми знаниями и навыками в этой сфере, на кафедре «Машины и технология литейного производства» механико-технологического факультета Белорусского национального технического университета.

Ключевые слова: аддитивные технологии, литейное производство, подготовка кадров.

Abstract. The article presents the main directions of using digital additive technologies in foundry production and the experience of training personnel with the necessary knowledge and skills in this field at the Department of "Machines and Technology of Foundry Production" of the Faculty of Mechanics and Technology of the Belarusian National Technical University.

Key words: additive technologies, foundry production, personnel training

Введение. Современное развитие промышленности, в целом, и литейно-металлургического комплекса, в частности, характеризуется активным освоением цифровых технологий, роботизацией производственных процессов и широким внедрением информационно-интеллектуальных систем.

Одним из важнейших направлений цифровизации в литейном производстве является расширение сфер использования аддитивных технологий – технологий послойного выращивания (синтеза) объектов. Сегодня определились четыре таких сферы: 3D-печать пластиковой модельной оснастки для изготовления разовых литейных форм; печать

выплаваемых или выжигаемых моделей; «выращивание» литейных форм и стержней; и получение пилотных металлических изделий наплавлением прутка или сплавлением металлического порошка. Главными задачами, которые решают сегодня литейщики, применяя аддитивные технологии, являются задачи прототипирования, ускорения процессов подготовки производства и получения пилотной отливки, что особенно важно в авиационной и аэрокосмической промышленности, атомной индустрии, медицине и других отраслях, где характерным является мелкосерийное, штучное производство высококачественных литых изделий в кратчайшие сроки [1, 2].

Применение аддитивных технологий в литейном производстве и подготовка кадров для белорусских предприятий.

Для изготовления литейной модельной оснастки для разовых форм сегодня активно используются FMD и SLA технологии. Наиболее простым и доступным, требующим относительно небольших инвестиций, является FMD-процесс – производство моделей методом наплавления полимерной нити из ABS, PLA, PETG и некоторых других видов пластика. Однако модели, изготовленные с применением FMD-технологии, не отличаются высокой точностью и качеством поверхности. Для получения более точных прототипов обычно используется SLA-технология (лазерная стереолитография). Основные недостатки этого метода – необходимость производить окончательную засветку напечатанной модели, малые размеры области печати и высокая стоимость материалов [1].

Для изготовления выжигаемых и выплаваемых моделей, соответственно, используются SLS-процесс послойного спекания порошковых материалов – полиамида или полистирола, и MJM-технология многоструйной печати воскоподобных синтез-моделей (специальный модельный материала, в состав которого входит светочувствительная смола, многоструйной головкой послойно наносится на поверхность рабочей платформы и затем отверждается под действием ультрафиолетовой лампы) [1].

Для «выращивания» песчаных стержней и форм как правило используется одна из разновидностей SLS-технологии – послойное спекание лазерным лучом плакированного смолы песка, или технология послойного поочередного нанесения связующего состава огнеупорного наполнителя (InkJet-технология).

Для печати из жидкого состояния литых металлических изделий используются *селективная лазерная плавка (Selective Laser Melting), электронно-лучевая плавка (Electron Beam Melting), прямое нанесение металлов (Direct Metal Deposition), точное лазерное формование (Laser Engineered Net Shaping)* [2].

Стремительное развитие цифровых технологий и внедрение их в промышленности, привели к острому дефициту инженеров, в том числе в литейном и металлургическом производстве, которые наряду с фундаментальными знаниями по специальности обладают знаниями и практическими умениями в области математического моделирования, 3D-проектирования и инженерного анализа технологических процессов, оснастки и оборудования (с применением CAD-, CAE- и CAM-систем), в области синтеза изделий с помощью аддитивных технологий, эксплуатации и обслуживания роботизированных систем. Для подготовки таких специалистов на кафедре «Машины и технология литейного производства» механико-технологического факультета Белорусского национального технического университета в рамках специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» была открыта специализация 1-36 02 01 05 «Аддитивные технологии в литейном производстве» [3].

Первый набор на специализацию состоялся в 2020 году. За прошедшее время на кафедре разработана вся необходимая учебно-методическая документация, проведена работа по обновлению и развитию учебно-материальной и лабораторной базы. Приобретено современное программное обеспечение, проведено переоснащение современной вычислительной техникой компьютерных классов. За счет собственных средств Бело-

русский национальный технический университет и благодаря спонсорской помощи создана новая учебная лаборатория, оснащенная 3D-принтерами, позволяющими изучать и осваивать различные материалы и технологии выращивания объектов (рис. 1).



Рис. 1. Процесс подготовки и печати модели кронштейна в учебной лаборатории кафедры МиТЛП, Белорусский национальный технический университет

Учебный процесс включает в себя блок общеобразовательных, общенаучных дисциплин и блок базовых дисциплин по специальности. Кроме этого предусмотрено проведение учебной и производственных практик. На старших курсах студенты специализации 1-36 02 01 05 «Аддитивные технологии в литейном производстве» изучают специальный модуль дисциплин, который наряду с освоением всех базовых дисциплин в области литейного производства помогает получить углубленные знания по аддитивным технологиям, математическому моделированию, системам автоматизированного проектирования и инженерного анализа. В рамках этого модуля изучаются дисциплины:

- «Аддитивные технологии и прототипирование в литейном производстве»;
- «САПР технологических процессов, оснастки и оборудования»;
- «Автоматизация литейного производства»;
- «Автоматические линии, системы цифрового проектирования и производства»;
- «Оборудование литейных цехов и аддитивных технологий» (с выполнением курсового проекта).

В рамках модуля предусмотрено 440 часов аудиторных занятий, из них 254 часов – лекции, 16 часов – лабораторные работы, 170 часов – практические занятия и курсовой проект.

Заключение. Таким образом, на кафедре «Машины и технология литейного производства» начата очень важная работа по освоению нового направления подготовки инженерных кадров для литейно-металлургического комплекса. Эта работа стала возможной благодаря наличию в Белорусский национальный технический университет современной вычислительной и лабораторной базы и тесному взаимодействию университета с отечественными машиностроительными и металлургическими предприятиями-партнерами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – Москва: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015 – 217 с.
2. Григорьев, С. Н. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом / С. Н. Григорьев, И. Ю. Смуров // Инновации: журн. – 2013. – Т. 10. – № 180. – С. 76–82.
3. Подготовка специалистов в области аддитивных технологий для литейно-металлургического производства / И.А. Иванов, С.Л. Ровин: сборник трудов IX Форума ВУЗов союзного государства, Минск, 26–30 октября 2020 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020. – С. 120.