

П.И. Нежмаков, А.В. Прокопов

Национальный научный центр "Институт метрологии", Харьков, Украина

ОБ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ МЕТРОЛОГИИ В СФЕРЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Метрология и научно-технический прогресс находятся в неразрывной связи, поскольку, с одной стороны, без точных измерений невозможно развитие науки и инновационных технологий, а с другой, именно достижения науки и техники стимулируют развитие измерительной техники, появление новых методов и средств измерения различных физических величин. В силу данной взаимосвязи среди актуальных задач современной метрологии обязательно должны быть задачи, решение которых обеспечивает прогресс во всех сферах человеческой деятельности, включая науку, технику и технологии, экологию, общественные отношения и т.д. В докладе обсуждаются актуальные проблемы метрологии, обусловленные переходом к третьему этапу промышленной революции, развитием аддитивных и информационных технологий, нанотехнологий. Анализируются подходы стран с развитым научно-техническим и экономическим потенциалом к решению данных проблем.

Ключевые слова: фундаментальные исследования, аддитивные технологии, метрология.

К числу наиболее характерных тенденций современного научно-технического развития относится бурный рост числа исследований и разработок в рамках таких направлений как нанотехнологии и компьютерные технологии. Тесно связанными с указанными направлениями (и в немалой степени вызванными прогрессом, достигнутым в последние годы для данных направлений) являются так называемые аддитивные технологии.

Стандартами ASTM F2792–12a (American Society for Testing and Materials) определены два основных термина — Additive Fabrication (AF) и Additive Manufacturing (AM) (а также их синонимы — additive processes, additive techniques, additive layer manufacturing, layer manufacturing, freeform fabrication), которые могут быть переведены как «аддитивные технологии» [1,2].

Аддитивные технологии подразумевают процесс объединения (добавления) материала, из которого создается объект по данным его компьютерной модели. Как правило, для аддитивных технологий это происходит «слой за слоем» — в отличие от традиционных «вычитающих» технологий. Под «вычитающими» технологиями подразумеваются широко используемые в настоящее время технологии, основанные на механообработке — удалении («вычитании») материала из массива заготовки. Таким образом, наряду с традиционным способом — производить что-либо при помощи механической обработки, постепенно избавляясь от всего лишнего путем отрезания, отбивания, высверливания, фрезирования и т. д., в настоящее время пристальное внимание уделяется аддитивному способу произ-

водства, основанному на постепенном добавлении материала и создании необходимой формы. Жаргонным определением аддитивных технологий является часто используемое словосочетание 3D-печать.

Историю аддитивных технологий в соответствии с [1,3] можно проследить с 1986 года, когда Чарльз Халл запатентовал метод стереолитографии, основал компанию 3D Systems и разработал первый в мире 3D-принтер Stereolithography Apparatus. Серийное производство данных принтеров под маркой SLA-250 было начато в 1988 году. Существенной вехой для развития данного направления стала разработка Скоттом Крапом в 1988 году технологии послойного наплавления FDM. В те годы термин 3D-печать еще не использовался (соответствующие инновационные технологии назывались «быстрое прототи-пирование»). Термин 3D-печать появился в 1995 году, когда Джим Бредт и Тим Андерсен перестроили струйный принтер так, чтобы он делал объемное изображение в специальной емкости.

В течение последующих 20 лет аддитивные технологии получили бурное развитие во многих странах мира, в том числе, в Европе, где появились крупные производители промышленных 3D-машин: Voxeljet, SLM Solutions, EOS GmbH, Concept Laser, Realizes (все пять в Германии), Arcam (Швеция), Phenix Systems (Франция), Renishaw (Великобритания). В США сейчас сосредоточены около 40 % произведенных в мире аддитивных машин, финансированием разработок в этой сфере активно занимается агентство DARPA. В Германии используется около 15 % мирового парка 3D-машин.

В конкурентную борьбу за лидерские позиции в сфере аддитивных технологий активно включился Китай [1]. В соответствии с планами профильного промышленного союза КНР ожидается, что в 2016 году китайский рынок 3D-печати будет характеризоваться оборотом 1,65 млрд долл., превысив на порядок показатели 2012 года. Для достижения поставленных целей в конце 2012 года был образован Индустриальный альянс Китая по технологиям 3D-печати, включающий 30 китайских научно-исследовательских институтов и ведущих компаний отрасли. К настоящему времени достигнутые Китаем успехи не уступают европейским и американским. Разработан истребитель с несущей конструкцией, напечатанной из порошка титана. Компанией Southern Fan создан крупнейший в мире 3D-принтер (28 метров в длину, 23 метра в ширину, 9,5 метра в высоту), способный производить металлические компоненты с максимальным диаметром до 6 метров и весом до 300 тонн. Изделия планируется применять в ядерной, нефтехимической, металлургической отраслях.

Привлекательность аддитивных технологий вызвана целым рядом факторов, прежде всего, они позволяют:

1. Уменьшить отношение массы материала, необходимого для выпуска детали, к массе самой детали с 20:1 (для традиционных «вычитающих» технологий) до 1:1 (для аддитивных технологий). Данный фактор способствует значительному повышению конкурентоспособности производства, поскольку снижает потребности в сырье.

2. Сэкономить средства при запуске производства, поскольку данные, необходимые для запуска, могут храниться в цифровом виде и воспроизводиться без дополнительных материальных затрат.

3. Быстро внести поправки на любом этапе производственного процесса, адаптировать производство к постоянно меняющимся требованиям рынка, менять размер производимой партии в любую минуту в зависимости от повышения или снижения спроса.

4. И т. д.

Впечатляющие темпы роста аддитивного производства могут быть проиллюстрированы такими данными [1]: в 2013 году глобальный рост доходов бизнеса в области аддитивных технологий составил 34,9 %, что является самым высоким годовым темпом роста за предшествующие 17 лет. Ежегодный прирост доходов за 26 лет, предшествовавших 2013 году, составлял в среднем 27 % (за 2011–2013 годы – 32,3 %).

Таким образом, очевидны перспективы широкого распространения в ближайшие годы аддитивных технологий. Очевидно также, что для их успешного освоения и развития требуется соответствующее развитие необходимых методов стандартизации,

методов и средств метрологического обеспечения аддитивных технологий.

Метрология и стандартизация в сфере аддитивных технологий уже стали одним из основных направлений деятельности NIST, где с 2013 года реализуется обширная программа Measurement Science for Additive Manufacturing Program, в рамках которой выполняются несколько проектов по таким тесно связанным направлениям как: определение характеристик материалов, управление технологическими процессами в режиме реального времени, сертификация продукции и системная интеграция [4].

Проектами планируется расширить возможности существующих методов определения характеристик металлических порошков (материалов) и механических свойств металлических деталей АМ, разработать новые методы, применимые к АМ. Будет создана база данных высокой точности для АМ материалов, образцовых материалов, результатов круговых сличений упомянутых выше методов определения характеристик.

В области управления технологическими процессами в реальном масштабе времени основное внимание будет уделено метрологическим инновациям, обеспечивающим контроль количественных параметров с целью проверки моделей процессов, калибровки датчиков, используемых при контроле, определения оптимальных условий для процессов. Будут установлены показатели и методы испытаний с целью оценки эффективности используемых метрологических датчиков и инструментов. Апробированные модели, основанные на физике процессов, будут использованы для разработки аналитических моделей и алгоритмов управления в реальном масштабе времени. Будут исследованы возможности как итеративного управления с открытым контуром обратной связи и постобработкой, так и управления с обратной связью в режиме реального времени. Будут разработаны показатели эффективности для обоих типов методов контроля.

В части сертификации продукции будут созданы основы для установления эквивалентности путем сертификации материалов, процессов и деталей, используемых в АМ, с помощью новых методов испытаний и протоколов для круговых испытаний, а также формирования надежных данных для обмена информацией о АМ между заинтересованными сторонами. Для разработки высокоточных моделей будут привлекаться специалисты по соответствующим физическим процессам, будут использоваться надежные данные в ходе проверки достоверности моделей. Будут разработаны методы, объединяющие предварительную обработку, процесс производства, а также измерения, выполняемые после завершения процесса.

В области системной интеграции предусматривается решение проблемы цифровой реализации процессов АМ по всей его цепочке. Цифровые реализации будут системно сконфигурированы для установления соответствия реальных физических процессов преобразования используемым моделям и результатам моделирования. Информационные преобразования будут осуществляться через стандартные интерфейсы. Будет разрабатываться и тестироваться независимая архитектура информационных систем для АМ. Эта архитектура будет определять требования, предъявляемые к продукции, этапы процесса создания продукции, а также интерфейсы, необходимые, чтобы связать эти этапы вместе. Общие структуры данных и интерфейсы будут разработаны для того, чтобы упорядочить интеграцию систем АМ, снизить стоимость разработки и использования аддитивных технологий.

Не менее важные исследования в области метрологии аддитивных технологий планируются и ведутся в Европе. Великобритания утвердила специальную программу UK National Strategy for Additive Manufacturing / 3D Printing, предусматривающую исследования и разработки по актуальным направлениям АМ [5]. Одним из ключевых исполнителей данной программы является Ноттингемский университет, где организован EPSRC — Centre for Innovating Manufacturing in Additive Manufacturing [6]. Подобная активность наблюдается и в Германии, Франции, других промышленно развитых странах. В ходе 7-й рамочной программы ЕС по научным исследованиям и разработкам был выполнен проект Additive Manufacturing: SASAM Standardisation Roadmap, законченный в 2014 году, которым обоснована программа разработки и внедрения стандартов в сфере АМ до 2022 года.

Для Украины чрезвычайно важной является гармонизация принципов функционирования национальной экономики с принципами и тенденциями, выработанными в странах ЕС. Такая гармонизация позволит, прежде всего, строить конкурентоспособную на европейском и мировом рынках экономику [8]. Поэтому развитие аддитивного производства, создание соответствующих технических регламентов и стандартов, развитие необходимых методов и средств метрологического обеспечения аддитивных технологий, относятся к наиболее актуальным проблемам, решению которых необходимо уделить особое внимание.

Первоочередной задачей метрологии в этом отношении является анализ возможностей имеющейся эталонной и испытательной базы, существующих методов и средств неразрушающего контроля (в том числе, с использованием стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов), нанотехнологий, компьютерных технологий для решения задач освоения аддитивных методов производства, а также разработка на базе проведенного анализа специальной национальной программы, направленной на дальнейшее развитие имеющихся возможностей.

Список литературы

- [1] Филатов С.А. Аддитивные технологии: Современное состояние и перспективы / С.А. Филатов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://research.bsu.by/wp-content/uploads/2015/06/%D0%A4%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%A1%D0%90%D0%90%D0%B4%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8.pdf>
- [2] ASTM F2792–12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://engramikhailil.weebly.com/topics-archive/f2792-12a-astms-standard-the-terminology-for-additive-manufacturing-technologies>
- [3] Herderick E. Additive Manufacturing of Metals: A Review / E Herderick. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.asminternational.org/documents/10192/23826899/cp2011mstp1413.pdf/04f142d0-f1ca-44d4-8a10-891992e5529a>
- [4] [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nist.gov/el/isd/sbm/msam.cfm>
- [5] UK National Strategy for Additive Manufacturing / 3D Printing. / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.amnationalstrategy.uk/>
- [6] [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.3dp-research.com/Home>
- [7] [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.sasam.eu/index.php/downloads.html>
- [8] Данилишин Б. Третья промышленная революция и Украина / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://politica-ua.com/tretya-promyshlennaya-revoluciya-i-ukraina/>