

Обеспечение безопасности и охраны труда на аддитивном производстве

Г.В. Зулаева, В.А. Зотов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Обоснование. Аддитивные технологии, такие как 3D-печать, стремительно изменяют промышленность, предоставляя новые возможности для создания сложных конструкций в различных отраслях, включая аэрокосмическую, медицинскую, автомобильную и другие [1–3]. Однако их широкое распространение сопровождается возникновением новых рисков для здоровья работников и окружающей среды, которые требуют дальнейшего изучения. Традиционные методы охраны труда часто не учитывают особенности работы с наноматериалами, металлическими порошками, лазерными установками и токсичными полимерами. Это может привести к увеличению вероятности профессиональных заболеваний, химических отравлений и производственных аварий.

Цель — анализ специфических угроз аддитивного производства и методы обеспечения безопасности труда на аддитивном производстве.

Методы. Комплексный анализ угроз аддитивного производства на примере установок, существующих в Самарском университете. Измерение химического состава в лаборатории и присвоение класса условий труда по параметру АПДФ (аэрозоль пыли фиброгенного действия).

Результаты. На данный момент в Самарском университете представлены три технологии 3D-печати: FDM, SLM и SLA. Каждая из них применяется для решения различных технологических задач. Каждая из них обладает своими опасностями.

Использование SLA-принтеров сопряжено с рядом потенциальных рисков, включая выделение химических паров, воздействие ультрафиолетового излучения и возможность контакта жидких полимеров с кожей. SLM-принтеры представляют опасность из-за выбросов металлической пыли, интенсивного лазерного излучения, высоких температур в рабочей камере и, как следствие, потенциальной пожароопасности. FDM-принтеры могут выделять летучие органические соединения и мелкодисперсные частицы.

Каждый из рассматриваемых 3D-принтеров классифицируется по степени опасности. FDM-принтеры, использующие PLA-пластик, относятся к классу безопасности 4, что указывает на их низкую токсичность. В то же время ABS-пластик, применяемый в FDM-принтерах, содержит стирол и акрилонитрил и относится к классу 2, что свидетельствует о его высокой токсичности. Фотополимерные принтеры работают со смолами, которые обычно классифицируются как вещества 3-го класса опасности, что означает их умеренную токсичность. SLM-принтеры используют лазеры 4-го класса опасности, а также металлические мелкодисперсные порошки 2-го класса, что указывает на их высокую токсичность.

Для обеспечения безопасности производственных помещений необходимо соблюдать ряд мер предосторожности. В частности, сотрудники должны использовать средства индивидуальной защиты, включая перчатки, респираторы, защитные очки и специализированные костюмы. В лабораториях должны быть предусмотрены средства пожаротушения, аптечки и оборудование для обеспечения безопасности, в том числе защитные камеры SLM, которые необходимо регулярно обслуживать для предотвращения утечек газов и пыли. Также необходимо обеспечить лабораторию современной системой вентиляции производственных помещений [4].

В рамках исследования были проведены замеры микроклимата и химического состава воздуха в лаборатории. Температура воздуха составила 25 °С, температура рабочих поверхностей — 25 °С, относительная влажность воздуха — 52 % (по прибору — гигрометр), скорость движения воздуха — 0, т. к. отсутствует подвод воздуха в вентиляционной системе, осуществляется только отвод. Интенсивность теплового излучения сводится к минимуму, т. к. установка SLM оснащена защитой. На рис. 1 представлен химический состав воздуха.

Составляющие пыли	Пыль металлическая, ПДК в воздухе рабочей зоны (мг/м ³)
Пыль с содержанием окиси кремния более 70% и её кристаллических модификаций (кварц и прочее)	1
Пыль содержащая от 10 до 70% свободных окисей кремния	2
Пыль других силикатов (тальк, оливин и прочее) с содержанием свободной окиси кремния менее 10%	4
Пыль пятиоксида ванадия	0,5
Дым пятиоксида ванадия	0,1
Мышьяковый и мышьяковистый ангидриды	0,3
Окислы титана	10
Окись железа с примесью фтористых или марганцевых соединений	4
Марганец	0,3
Свинец и его неорганические соединения	0,01
Окись цинка	5

Рис. 1. Химический состав воздуха в лаборатории

Выводы. По итогам химического анализа устанавливается класс условий труда по показателю АПДФ — 2. 2-й класс условий труда относится к допустимым условиям, при которых воздействие вредных факторов на работника не превышает установленных нормативов. Окончательный вариант по выбору допустимых условий мы применим после дополнительных анализов, проведенных с помощью газоанализаторов лаборатории экологии и БЖД Самарского университета.

Ключевые слова: аддитивное производство; 3D-печать; FDM; SLM; SLA; промышленная безопасность; анализ угроз.

Список литературы

1. Финогеев Д.Ю., Решетникова О.П. Аддитивные технологии в современном производстве деталей точного машиностроения // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2020. № 3(86). С. 63–71. EDN: QHXXJP
2. Abbasi M., Váz P., Silva J., Martins P. Head-to-head evaluation of FDM and SLA in additive manufacturing: performance, cost, and environmental perspectives // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, N 4. P. 2245. doi: 10.3390/app15042245 EDN: BSQCJ
3. Ramadugu S., Ledella S.R.K., Gaduturi J.N.J., et al. Environmental life cycle assessment of an automobile component fabricated by additive and conventional manufacturing // International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). 2024. Vol. 18. P. 847–858. doi: 10.1007/s12008-023-01532-0 EDN: HVVVNB
4. Боровицкий А.А., Угорова С.В., Тарасенко В.И. Современная промышленная вентиляция: учебное пособие. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. 59 с. EDN: QNPORJ

Сведения об авторах:

Галина Владиславовна Зулаева — студентка, группа 3413-240305D, институт двигателей и энергетических установок; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: Gala.Zu@mail.ru

Владислав Александрович Зотов — студент, группа 3413-240305D, институт двигателей и энергетических установок; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: vlad198189@gmail.com

Сведения о научном руководителе:

Сергей Петрович Ващук — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: amurgermovvod@mail.ru