

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Балякин А.В.¹, Вдовин Р.А.¹, Галкина Н.В.¹, Чемпинский Л.А.¹

¹Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва, г. Самара, balaykinav@ssau.ru

Ключевые слова: *аддитивные технологии, SLM, FDM, проектирование для аддитивного производства, конструкторские ограничения, поддерживающие структуры, ориентация деталей, минимальная толщина стенок.*

Распространение аддитивных технологий (FDM, SLM и др.) приводит к тому, что конструкторская деятельность всё чаще ориентируется не на универсальную геометрию, а на конкретные ограничения и возможности выбранного процесса. При послойном формировании изделия геометрические решения напрямую определяют стабильность построения, вероятность дефектов, величину остаточных напряжений и объём постобработки. Игнорирование этих факторов на стадии проектирования ведёт к росту себестоимости и снижению надёжности деталей.

Цель работы – систематизировать основные правила проектирования деталей для аддитивных технологий и сформулировать практические рекомендации для инженеров-конструкторов. Рассмотрены процессы FDM (термопласты) и SLM (металлические порошки) как наиболее распространённые в промышленности и образовании.

Для FDM доминирующими являются анизотропия механических свойств, геометрическая точность и качество поверхности. Для SLM ключевыми становятся термонапряжённое состояние и стабильность формы: тонкий слой порошка и высокие градиенты температур формируют остаточные напряжения, способные вызвать коробление и трещины.

Ориентация детали в рабочем объёме установки – одно из ключевых решений. Рекомендуются: располагать ответственные поверхности так, чтобы они требовали минимум поддержек; уменьшать площадь поперечного сечения в одном слое для снижения температурных градиентов; для консольных элементов соблюдать угол нависания не менее 45° (иначе требуются поддержки). Для длинных тонких элементов выгодно вводить скругления, плавные переходы или наклонять деталь.

Минимальная толщина стенок определяется возможностями технологии. Для FDM она составляет несколько ширин экструзионной дорожки, для SLM возможны более тонкие элементы при условии рациональной ориентации. Рекомендуются: назначать толщину стенок с запасом (2–3 крата минимально устойчивой ширины дорожки/луча); избегать резких переходов от тонких участков к массивным; для герметичных конструкций предусматривать запас по толщине и испытания.

При проектировании отверстий и каналов целесообразно: вместо точных цилиндрических горизонтальных форм использовать «каплеобразные» профили, уменьшающие объём поддержек; ограничивать минимальный диаметр с учётом возможности удаления порошка; предусматривать технологические отверстия для высыпания несвязанного порошка из замкнутых полостей.

Поддерживающие структуры (поддержки) обеспечивают устойчивость нависающих участков и отвод тепла, но увеличивают объём постобработки. Рекомендации: избегать горизонтальных плоских нависающих поверхностей; при необходимости изменять геометрию (скосы, своды); планировать зоны контакта поддержек в местах, удобных для последующей обработки. Для SLM поддержки также отводят тепло, поэтому для массивных элементов важно предусматривать достаточное их количество.

Практические правила для инженера-конструктора: 1) исходить из конкретной технологии и оборудования; 2) проектировать с учётом ориентации детали на платформе; 3) избегать ненужных массивов и резких перепадов сечений; 4) соблюдать мини-

мальную толщину стенок с запасом; 5) рационально формировать отверстия, каналы и полости, обеспечивая удаление порошка; 6) планировать постобработку (припуски, места крепления); 7) использовать топологическую оптимизацию и решётчатые структуры вместо простого копирования традиционных деталей.

Таким образом, проектирование для аддитивных технологий требует учёта комплекса факторов: ориентации, толщины стенок, поддержек, отверстий и постобработки. Соблюдение сформулированных правил способствует повышению качества изделий, снижению дефектов и затрат. Дальнейшее развитие связано с интеграцией CAD-систем и методов топологической оптимизации.

Список литературы

1. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
2. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. – Springer, 2015. – 498 p.
3. Балякин А.В., Галкина Н.В., Чемпинский Л.А. и др. Практика сквозной подготовки бакалавров на основе использования цифровых технологий // Всероссийская научно-методическая конференция с международным участием «Образование в современном мире: ключевые тренды трансформации». – 2022. – С. 65-70.

Сведения об авторах

Балякин Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент технологий производства двигателей, Самарский университет; область научных интересов: аддитивные технологии, CAD/CAM-системы, инженерная графика.

Вдовин Роман Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры инженерной графики, Самарский университет; научные интересы: 3D-моделирование, прототипирование.

Галкина Наталья Викторовна – старший преподаватель кафедры инженерной графики, Самарский университет; научные интересы: методика преподавания графических дисциплин, компьютерная графика.

Чемпинский Леонид Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий производства двигателей, Самарский университет; научные интересы: цифровое производство, стандартизация конструкторской документации.

DESIGN OF PARTS FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES

Balyakin A.V.¹, Vdovin R.A.¹, Galkina N.V.¹, Chempinsky L.A.¹

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara,
balaykinav@ssau.ru

Keywords: *additive technologies, SLM, FDM, design for additive manufacturing, design constraints, support structures, part orientation, minimum wall thickness.*

The article discusses the design features of parts for additive manufacturing (FDM and SLM) in terms of geometry, orientation, support structures and accuracy. Practical rules are formulated that allow designers to reduce the risk of defects, reduce post-processing volume and rationally use the capabilities of additive manufacturing. Recommendations are given on the choice of minimum wall thickness, design of holes and grooves, thin-walled and cantilever elements, as well as on the preparation of design documentation for additive manufacturing. The proposed approaches are intended for use in the practice of design engineers and in the educational process of technical universities.