

УДК 621.914

## СНИЖЕНИЕ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИЕЙ ЕЕ МАССЫ

Литвинов Игорь Николаевич

*Студент 6 курса  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Н.Н. Зубков,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и  
технологии»*

На производстве широко востребована проблема торцевого фрезерования глубоких карманов, уступов и сложнопрофильных деталей. Такая обработка ведется с использованием фрезерных оправок для насадных торцевых фрез увеличенной длины, что приводит к снижению изгибной жесткости инструментальной сборки и возникновению автоколебаний. Вибрации торцевой фрезы недопустимо увеличивают шероховатость обработанной поверхности и могут приводить к сколам режущих кромок твердосплавных пластин. Снижение вибраций возможно достичь повышением динамической жесткости системы, которая определяется статической жесткостью, массой колеблющихся частей и наличием демпфирующих элементов.

Статическую жесткость можно увеличить, используя в качестве материала оправки твердый сплав, имеющий модуль упругости практически в три раза превосходящий модуль упругости сталей. Однако удельный вес твердого сплава в два раза больше удельного веса стали, что приводит к увеличению массы колеблющихся частей. Поэтому наиболее эффективным способом снижения вредного воздействия вибраций является уменьшение массы корпуса торцевой фрезы, что приведет к повышению частоты ее колебаний, но к значительному снижению их амплитуды, что снизит шероховатость обработанных поверхностей.

Решение задачи снижения массы возможно с применением топологической оптимизации. Данный метод предполагает применение специальных алгоритмов на основе метода конечных элементов с целью удаления внутренних участков конструкции, минимально отвечающих за ее прочность и жесткость.

Одной из применяемых программ топологической оптимизации является ANSYS Workbench 2019R3, модуль Topology Optimization.

Топологическая оптимизация предлагает большой выбор внутренних ячеистых структур. Исследования показывают, что наиболее прочной и жесткой является кубическая ячейка с угловыми и диагональными поддержками [1].

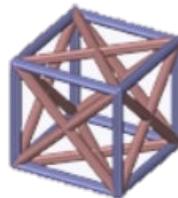


Рис. 1. Кубическая ячейка с угловыми и диагональными поддержками

Создание ячеистой структуры проводится с изменением внутреннего объема, при сохранении наружной стенки корпуса фрезы толщиной 2,5 мм и всех функциональных поверхностей, и отверстий.

Изготовление разработанной ячеистой конструкции возможно только с использованием аддитивных технологий. Поэтому в конструкции предусмотрены отверстия для удаления неспеченного порошка с последующей установкой пробок в эти отверстия. Помимо каналов подвода СОЖ, в конструкции корпуса фрезы предусмотрены четыре осесимметричные камеры с последующим их заполнением твердосплавным порошком для демпфирования колебаний корпуса.

Наиболее применяемая аддитивная технология для изготовления корпуса фрезы является селективное лазерное плавление (SLM). Она обладает высокой точностью ( $\pm 0,1$  мм), приемлемой шероховатостью ( $Ra$  16 и ниже) и вариативностью применяемых материалов. В работе предложено использовать для корпуса фрезы алюминиевый сплав AlSi10Mg (RS-300).

Габаритные размеры корпуса торцевой фрезы составили: диаметр корпуса 48,4 мм, высота 38,3 мм. Масса конструкции до оптимизации – 0,309 кг, после оптимизации – 0,090 кг. Снижение массы составило 70,87%.

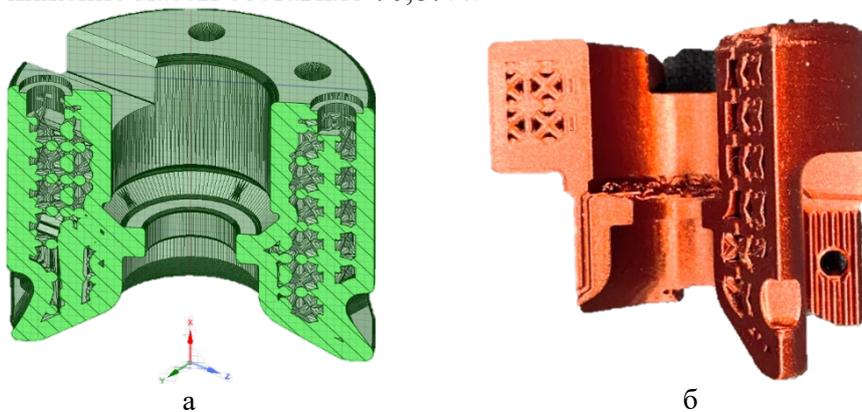


Рис. 2. Оптимизированный корпус торцевой фрезы в разрезе  
а – модель после топологической оптимизации, б – фотография полимерной модели

На данном этапе разработана конструкция корпуса, изготовлены полимерные модели, планируется изготовление металлического корпуса в центре аддитивных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана и проведение вибрационных испытаний.

## Литература

1. *Wahyudin P. Syam, Wu Jianwei, Bo Zhao, Ian Maskery, Waiel Elmadih, Richard Leach* Design and analysis of strut-based lattice structures for vibration isolation // *Precision Engineering*. 2018. Vol. 52. P. 494-506. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2017.09.010.