

УДК 621.91.02

К ВОПРОСУ О ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФРЕЗЫ С РЕШЕТЧАТЫМИ СТРУКТУРАМИ

Н. Н. ПОПОК, С. А. ПОРТЯНКО, Д. А. ШЕЛЕПЕНЬ

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой
Новополоцк, Беларусь

Современные процессы фрезерования характеризуются высокими динамическими нагрузками, обусловленными периодическим изменением сил резания, неравномерным входом режущих кромок в заготовку и колебаниями жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь». В соответствии с классическими соотношениями механики вращательного движения увеличение массы и удаленность материала от оси вращения приводят к росту момента инерции. Для оценки динамических характеристик инструмента применяются основные соотношения механики [1]. Расчет момента инерции J и кинетической энергии $W_{кин}$ вращения производится по формулам

$$J = \sum_i m_i r_i^2; \quad (1)$$

$$W_{кин} = \frac{J \omega^2}{2}, \quad (2)$$

где m_i – масса элемента, кг; r_i – его расстояние от оси вращения, м; ω – угловая скорость, рад/с.

Это объясняет, почему тяжелые и неуравновешенные фрезы большого диаметра склонны вызывать повышенные вибрации, износ узлов станка и ухудшение качества обработанной поверхности.

Одним из перспективных путей снижения массы фрезы при сохранении её несущей способности является применение решетчатых структур во внутреннем объеме корпуса (рис. 1).

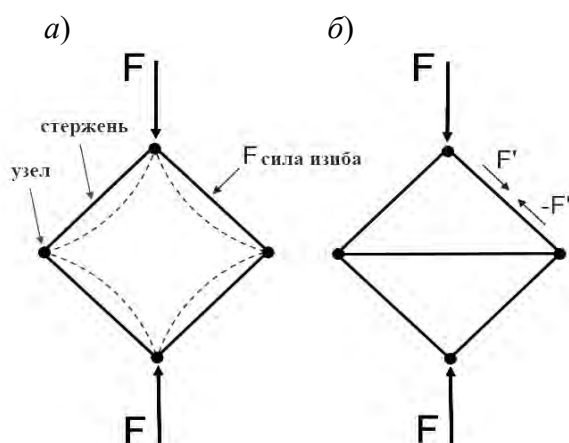


Рис. 1. Морфология структуры: с преобладанием изгиба (а), прочности (б)

Такие структуры представляют собой пространственные каркасы из системы стержней, механические свойства которых определяются материалом, топологией ячеек, числом стержней в узле и их ориентацией относительно действующих нагрузок. Для количественной оценки несущей способности и механического поведения решеток может быть использован расширенный критерий Максвелла, предложенный в [1] для трехмерных стержневых систем. Согласно этому критерию, для устойчивости к сложному нагружению, характерному при фрезеровании, в каждом узле решетки должно сходиться от 6 до 12 стержней на узел:

$$b - 3j + 6 = s - m, \quad (3)$$

где b – количество стержней в структуре; j – количество узлов с идеальными соединениями; s – количество состояний самонапряжения; m – количество степеней свободы.

Эти условия позволяют формировать топологии с высокой удельной жесткостью без избыточного увеличения массы, что является важным при проектировании вращающихся режущих инструментов.

Среди топологий при металлическом аддитивном производстве трехмерных решеток перспективной для применения в корпусах фрез является ВСС-топология, обладающая восьмью стержнями в узле. На данный момент применение таких структур эффективно реализуется в первую очередь с использованием технологий SLM и DMLS.

Снижение массы фрезы за счет применения решетчатого заполнения приводит к уменьшению момента инерции и, как следствие, снижению динамических нагрузок на шпиндель и элементы станка. Экспериментальные исследования показывают [1, 2], что пустотелые решетчатые структуры могут демонстрировать медленное затухание колебаний по сравнению со сплошными телами.

Таким образом, проектирование фрезы с решетчатыми структурами должно рассматриваться как комплексная задача, в которой критерии динамики вращения согласуются с топологическими условиями прочности и жесткости. Совмещение этих подходов с возможностями металлического аддитивного производства позволяет создавать конструкции фрез, обладающих пониженным моментом инерции и повышенной динамической устойчивостью при резании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Hanzl, P.** Benefits of a New Approach to Designing Milling Cutter Using Metal Additive Manufacturing / P. Hanzl, I. Zetková // Manufacturing Technology. – 2019. – Vol. 19, № 3. – P. 385–390.
2. Design and analysis of strut-based lattice structures for vibration isolation / W. P. Syam, Wu Jianwei, Bo Zhao [et al.] // Precision Engineering. – 2018. – Vol. 52. – P. 494–506.