

инструмента в целом. На значение этой подачи может влиять как число зубьев инструмента, так и величина «ломающей» подачи, определяемая геометрией режущей части инструмента, размерами и материалом режущей пластины. Анализ предложенной модели надежности показывает, что в качестве критерия отказа торцевой фрезы недопустимо принимать предельный износ или поломку одного зуба инструмента, а при определении стойкости – среднюю стойкость лимитирующего зуба без анализа влияния этого отказа и времени его наступления на критерии работоспособности всего инструмента и операции его использования в соответствии с принятой структурой надежности. При неправильном подходе к определению показателей надежности ресурс этого инструмента будет использован не в полной мере.

Список использованных источников

1. Е. А. Фельдштейн, М. А. Корниевич. Металлорежущие инструменты: справочник конструктора. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
2. Острейковский, В. А. Теория надежности: Учеб. для вузов / В. А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с: ил. ISBN 5-06-004053-4.
3. Ажар, А. В. Структура, модель и метод расчета надежности сборных торцевых фрез. «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки» «Технология – Оборудование – Инструмент – Качество»: тезисы докл. междунауч.-техн. конф. (Минск, 8 апреля 2021 г.) – Минск: Бизнесофсет, 2021. – 156 с.
4. Хае Г. Л. Надежность режущего инструмента. Киев, 1968 – 31 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. т. 2. Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
6. Благодарный, В. М. Надежность и диагностика технологических систем. – Барановичи: РИО БарГУ, 2009. – 192 с.: ил.

УДК 621.923.6

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАТЫЛОВАНИЯ ДИСКОВЫХ МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ

Ажар А. В., Осадчий Е. Н., Ишкуло П. Ю.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: azhar.a@bntu.by

Summary. It is proposed to determine the optimal diameter of the grinding wheel for sharpening shaped disk modular cutters by 3D modeling of the grinding operation, taking into account the restrictions on the formation of a saddle on a sharpened tooth and grooves on an adjacent tooth. Analysis of the results of modeling the sharpening operation of standard cutters with a modulus of $m = 2...8$ mm showed the coincidence of the calculated diameter of the grinding wheel and the diameter of the wheel, built by modeling only for the cutter with the modulus $m = 6$ mm. Otherwise, the choice of the grinding wheel depends on the prevailing production requirements.

Дисковые модульные фрезы – это разновидность фасонных дисковых насадных односторонних фрез. Они применяются для чернового и чистового нарезания прямозубых цилиндрических колес, чернового нарезания зубьев косозубых колес, чернового, а иногда чистового нарезания прямозубых конических колес, зубчатых реек, шлицевых валов методом копирования в условиях единичного и мелкосерийного производства. Фрезы затылованные, профиль зуба выполнен по эвольвенте. Теоретически, для каждого нарезаемого колеса необходимо иметь свою фрезу. Практически, с некоторой погрешностью, одной фрезой данного модуля можно обрабатывать зубчатые колеса с определенным числом зубьев. Профиль зуба фрезы, входящий в набор, соот-

ветствует наименьшему числу зубьев определенного интервала. ГОСТ 10996 – 64 установлено два набора фрез: из 8-ми фрез для нарезания колес с модулем до 8 мм; из 15-ти фрез для колес с модулем свыше 8 мм.

Основной способ заточки задней поверхности фасонной фрезы при изготовлении затылование по кривой в виде спирали Архимеда. Этот метод наиболее простой с точки зрения реализации и имеющегося оборудования. Фрезы перетачиваются при затушении только по передней поверхности, независимо от вида износа, а затылование по спирали Архимеда позволяет сохранить высоту профиля зуба и обеспечить удовлетворительные задние углы во всех радиальных сечениях зуба на всех конхоидах как у нового, так и восстановленного инструмента. Затылование шлифованием наиболее трудоемкая, сложная и ответственная операция на которой достигается требуемая точность и качество изготовления инструмента. Наибольшую производительность операции затылования обеспечивают цилиндрические спрофилированные шлифовальные круги. При этом стремятся выбрать круг наибольшего диаметра. Однако при таком выборе часто не удается получить затылок, отшлифованный по всей длине зуба, т. к. в конце рабочего хода круг может задеть соседний зуб. Недобег круга часто приводит к образованию «седла» на зубе. Решить эту проблему не удастся даже при уменьшении числа зубьев. При этом современное производство нацелено на использование так называемые «многозубых» фрез повышенной производительности.

На практике минимальный диаметр шлифовального круга для затылования задних поверхностей рассчитывается по формуле (1):

$$D_{кр.min.} = \frac{D_{фр}}{2} * \sin \frac{180}{z} * \frac{1}{\sin \alpha_z}, \quad (1)$$

где $D_{фр}$ – диаметр фрезы, мм; z – число зубьев; α_z – задний угол на зубе.

Разработанная методика 3D моделирования операции затылования фасонной фрезы с использованием современных векторных САПР позволяет выбрать оптимальный диаметр, профиль и положение шлифовального круга. Она основана на построении окружности (образующей наружного контура профиля шлифовального круга), касательной к образующей затылка зуба в выбранном радиальном сечении и проходящей через соответствующую точку профиля на передней поверхности соседнего зуба (рис. 1). Моделирование затылования ряда фасонных фрез показало несостоятельность зависимости (1), т. к. она не учитывает изменяющиеся параметры глубины фасонного профиля зуба и угол впадины стружечной канавки фрезы. С целью определения оптимальных диаметров шлифовальных кругов, обеспечивающих заточку профиля зуба на 2/3 длины, и сравнения условий заточки зубьев фрез кругами, рассчитанными по формуле (1) проведено моделирование операции затылования стандартных дисковых фрез модулем $m = 2...8$ мм (рис. 1). Оценка эффективности применения рассчитанных и смоделированных кругов, осуществляется путем сравнения диаметров кругов и длин (углов) затылования при их использовании (рис. 2, 3).

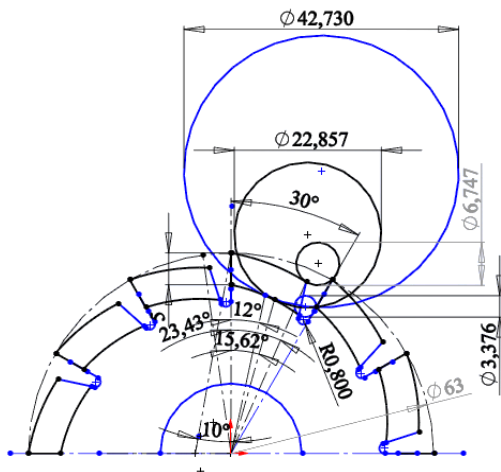


Рисунок 1 – Моделирование диаметра круга для затылования фрезы модулем $m = 2$ мм

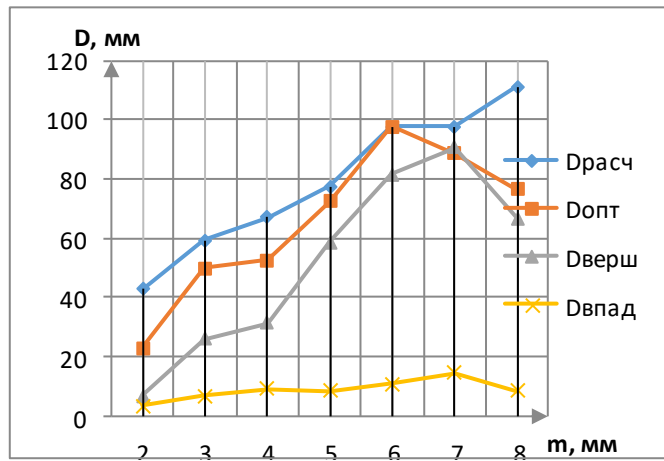


Рисунок 2 График зависимости диаметра шлифовального круга от модуля фрезы

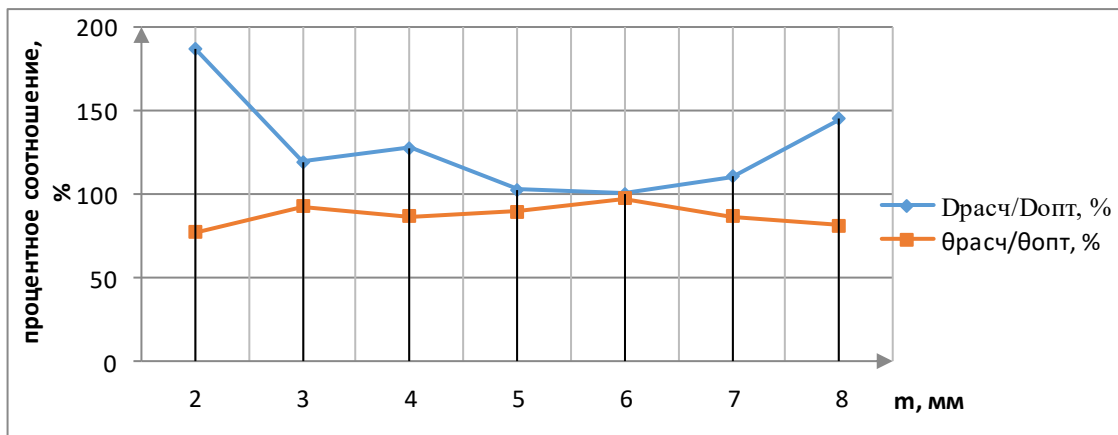


Рисунок 3 – Сравнение расчетных и оптимальных диаметров шлифовальных кругов и длин затылования для фрез модулем $m = 2 \dots 8$ мм

Так совпадение диаметра, рассчитанного и смоделированного оптимального круга, как и длины затылования наблюдается только для фрез модулем $m = 6$ мм, в остальных случаях диаметр смоделированного круга получается меньше, чем расчетный с прогрессирующей разницей в сторону как уменьшения, так и увеличения модуля заточиваемого инструмента. При этом длина затылования рассчитанным кругом уменьшается по сравнению с оптимальным как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения модуля, но в меньшей степени чем происходит изменение (увеличение) диаметра круга. Таким образом, в случае преобладающего влияния стоимости операции затылования на стоимость инструмента и его эксплуатации диаметр круга необходимо выбирать по расчетным зависимостям. В случае большего влияния на цену эксплуатации фрезы цены восстановления и суммарного ресурса инструмента следует выбирать смоделированные круги обеспечивающие оптимальную длину затылования зуба. Результаты проделанной работы могут лечь в основу разработки комплексных методов по замене опытных испытаний виртуальными при решении проблем конструирования и изготовления фасонных фрез, что позволит снизить их стоимость и общие затраты на подготовку производства.