

propellers, as a rule, with steered wheels of one axle are used on SHSV with a carrying capacity of 30 tons or more for operation in wide underground mine workings, since they have lower maneuverability. All-wheel drive two- or three-axle wheel propellers with an articulated frame are widely used in underground LHDs, which provide them with high maneuverability. The application of these schemes on SHSV is limited by the design parameters of the bunker with a moving bottom in the form of a double-chain scraper conveyor.

The scheme of a two-axle propeller SHSV with rotary axes and motor-wheels seems promising for the design study.

УДК 621.9.02

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ И РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СБОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ

Ажар А. В., Верхотуров А. Д.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: azhar.a@bntu.by

Summary. *The cutter body and the insert holding mechanism are highly reliable elements that have a probability of failure-free operation close to unity in the period of time before the tool stops. The reliability of the cutter is assessed by the reliability of its inserts (cutting part), which often fail due to breakages and chipping. The assembled face milling cutter has a reliability model of a parallel-serial type with a constant loaded reserve caused by the constructive redundancy of the tool. The cutter performance criterion is the load capacity of the plate (tooth), determined by the "breaking" feed. Models of reliability and examples of evaluating the reliability of face mills with the number of teeth $z = 6$ at various tool feeds are presented. The calculation of the reliability of the tool was made using a logical-probabilistic method. It was found that there is an extreme (optimal) feed, which determines the specified level of tool reliability as a whole, and the change in feed has a non-linear effect on the level of reliability of face milling.*

Современные торцовые фрезы имеют блочно-модульную конструкцию с режущей частью в виде сменных неперетачиваемых пластин [1]. Анализ существующих структурных схем надежности и методов резервирования технических систем показал, что торцовая фреза – это многоэлементная система с различной степенью функциональной зависимости элементов, имеющая структуру надежности параллельно-последовательного типа с резервированием [2, 3]. Т. к. корпус фрезы и механизм крепления режущей части в некотором приближении можно отнести к высоконадежным элементам, имеющим вероятность безотказной работы P_i близкими к единице в промежутке времени до отказа инструмента, то надежность фрезы можно оценивать по надежности ее режущей части. Фрезам при непрерывной эксплуатации характерно структурное постоянное резервирование, вызванное конструктивной избыточностью инструмента в связи с возрастающими требованиями к росту производительности при обработке. Одним из условий функционирования этих инструментов является нагрузочная способность зуба, определяемая «ломающей» подачей при черновой обработке [4]. При постоянном резервировании не требуются специальные устройства, вводящие в действие резервный элемент, а также отсутствует перерыв в работе. С точки зрения режима работы резервные элементы нагружены.

Модель и метод расчета показателей надежности торцовых фрез во многом зависят от критерия отказа инструмента (поломка, предельный износ, потеря точности детали), от оцениваемого показателя надежности (безотказность работы инструмента, общий ресурс с учетом или без учета параметров восстановления работоспособности). Для примера рассчитаем вероятность безотказной работы торцовой фрезы с числом

зубьев $z = 6$, с пластинами из твердого сплава марки Т15К6, ведущей обработку стали 45, глубина фрезерования $t = 3,5$ мм; подача на зуб $S_z = 0,1$ мм/зуб, соответствующая оборотной подаче инструмента $S_0 = S_z \cdot z = 0,1 \cdot 6 = 0,6$ мм/об [5]. Критерий работоспособности фрезы – «ломающая» оборотная подача $S_p = 1,4$ мм/об, приводящая к поломке режущего элемента. Тогда «ломающая» подача на зуб: $S_{zp} = S_p / z = 0,23$ мм/зуб. Исходя из принятых значений, условие отказа фрезы – выход из строя не менее двух последовательно идущих друг за другом зубьев, при этом на третий зуб придется подача $S_{z1} = 3 \cdot S_z = 3 \cdot 0,1 = 0,3$ мм/зуб $> S_{zp} = 0,23$ мм/зуб. Вероятность безотказной работы каждого зуба (пластины) фрезы $P_i = 0,9$ при нормальной работе инструмента и достижения заданной стойкости $T = 120$ мин. Безотказную работу режущей части инструмента можно описать логико-вероятностным методом [6]. Надежность фрезы характеризуется 2-мя состояниями работоспособным – B и неработоспособным – \bar{B} . Каждому из этих состояний соответствует $2^z = 2^6 = 64$ состояния элементов (пластин, зубьев) фрезы, которые могут находиться также в 2-х состояниях, работоспособном (зуб или грань пластины целая) – A_i и неработоспособном (зуб или грань сломана) – \bar{A}_i , в различных сочетаниях. Логическая схема и логическая функция работоспособного состояния данной фрезы представлена в работе [3]. В результате арифметизации полученной логической функции и замене событий их вероятностями вероятность безотказной работы фрезы по принятой модели рассчитывается по формуле:

$$P = P_i^6 + 6((1 - P_i) \cdot P_i^5) + 9((1 - P_i)^2 \cdot P_i^4) + 2((1 - P_i)^3 \cdot P_i^3) = 0.946$$

Для тех же условий работы фрезы при той же «ломающей» подаче увеличение подачи на зуб до $S_z = 0,13$ мм/зуб и оборотной подачи до $S_0 = 0,78$ мм/об на 30 % приводит к изменению логической функции работоспособного состояния инструмента. Условие отказа фрезы – выход из строя хотя бы одного зуба, при этом на второй зуб идущий за отказавшим придется подача $S_{z1} = 2 \cdot S_z = 2 \cdot 0,13 = 0,26$ мм/зуб $> S_{zp} = 0,23$ мм/зуб. Вероятность безотказной работы, соответствующая в данном случае работоспособному состоянию всех зубьев фрезы, рассчитывается по формуле: $P = P_i^6 = 0.531$.

При уменьшении подачи на зуб до $S_z = 0,07$ мм/зуб и оборотной подачи до $S_0 = 0,42$ мм/об на те же 30 % логическая функция рабочего состояния инструмента, соответствует работоспособному состоянию всех зубьев, поломке одного зуба или двух, трех, но не рядом стоящих в корпусе фрезы. Условие отказа фрезы – выход из строя (поломка) не менее трех рядом стоящих зубьев, при этом на зуб идущий за последним отказавшим придется подача $S_{z1} = 4 \cdot S_z = 4 \cdot 0,07 = 0,28$ мм/зуб $> S_{zp} = 0,23$ мм/зуб. Вероятность безотказной работы фрезы, соответствует 19-ти событиям, определяющим отказ инструмента и рассчитывается по формуле:

$$P = 1 - [Q_i^6 + 6(P_i \cdot Q_i^5) + 6(P_i^2 \cdot Q_i^4) + 6(P_i^3 \cdot Q_i^3)] = 0.995$$

где Q_i – вероятность отказа зуба (пластины) фрезы: $Q_i = 1 - P_i = 0,1$.

Примеры моделирования надежности торцевой фрезы позволяют оценить влияние параметров производительности процесса фрезерования (подачи на зуб, оборот) на параметры безотказности инструмента. Так увеличение подачи инструмента на 30 % по отношению к исходной $S_z = 0,1$ мм/зуб приводит к уменьшению вероятности его безотказной работы P на 44 %, а уменьшение подачи на те же 30 % дает увеличение надежности фрезы всего на 5 % при всех прочих равных условиях. Таким образом, для конкретных условий резания и принятой конструкции фрезы существует экстремальная (оптимальная) подача определяющая заданный уровень надежности (безотказности)

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-