УДК 621.9.02

СТРУКТУРА, МОДЕЛЬ И МЕТОД РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СБОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ

Ажар А.В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Современные торцовые фрезы имеют блочно-модульную конструкцию с режущей частью в виде сменных неперетачиваемых пластин (СНП). Торцовую фрезу можно представить, как многоэлементную систему с различной степенью функциональной зависимости элементов, имеющую структуру надежности параллельно-последовательного типа с резервированием [1-4]. 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).

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. 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. Облегченный и тем более ненагруженный резерв в конструкциях фрез практически не реализуется, за исключением инструментов с регулируемой геометрией и при применении ступенчатых конструкций.

При эксплуатации сборных фрезы широко применяется резервирование замещением, при котором группа режущих пластин резервируется дополнительными, такими же пластинами, каждая из которых может заменить любую отказавшую основную пластину. Такую замену возможно осуществить только после остановки цикла обработки изделия в плановом режиме или по причине отказа. Планирование замен значительно увеличивает фактическую долговечность инструмента и улучшает показатели ремонтопригодности в связи с уменьшением расходов на обнаружение отказа и сам процесс восстановления инструмента. При этом возможна выборочная замена отказавших элементов. На практике выборочная замена применяется чаще для промежуточных элементов конструкции, а не для режущих пластин из-за значительной выработки последних к моменту отказа инструмента.

Применение метода расчета показателей надежности торцовой фрезы (классического, логико-вероятностного, с использованием графа переходов) зависит от особенностей принятой структурной модели надежности инструмента (с независимыми или функционально зависимыми элементами, без резервирования, с нагруженным, частично нагруженным или ненагруженным резервом), оцениваемых показателей надежности (безотказности, долговечности). Определение долговечности фрезы с учетом параметров восстановления работоспособности при принятой модели надежности, учитывающей функциональную зависимость элементов (СНП) с нагруженным или частично-нагруженным резервом позволит наиболее объективно оценить надежность фрезы, но является наиболее сложным с точки зрения постановки задачи и применяемого математического аппарата. Поэтому для проектной оценки надежности можно использовать логико-вероятностный метод расчета безотказности фрезы, состоящей из независимых элементов (СНП) с нагруженным резервом [2, 3].

Рассчитаем вероятность безотказной работы сборной торцовой фрезы с числом зубьев z=6, с пластинами из Т15К6, при обработке стали 45, глубина фрезерования t=3,5 мм, подача на зуб S_z=0,1 мм/зуб. Критерий работоспособности фрезы – «ломающая» оборотная подача S_p=1,4 мм/об (или подача на зуб S_{zp}=0,23 мм/зуб), приводящая к поломке зуба. Условие отказа фрезы – выход из строя не менее двух последовательно идущих друг за другом зубьев, при этом на третий зуб придётся подача S_z=0,3 мм/зуб > S_{zp}. Вероятность безотказной работы каждого зуба фрезы P_i=0,9.

Безотказную работу режущей части инструмента можно описать логико-вероятностным методом (рисунок 1). Логическая функция рабочего состояния фрезы состоит из 18 дизъюнкций («или»), каждая из которых состоит из конъюнкции («и») состояний зубьев, соответствующих работоспособному состоянию фрезы. Полученная логическая функция арифмитизируется, события заменяются их вероятностями. Тогда вероятность безотказной работы фрезы:

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

Анализ предложенной модели показывает, что в качестве критерия отказа торцовой фрезы недопустимо принимать предельный износ или поломку одного зуба инструмента, а при определении стойкости – среднюю стойкость лимитирующего зуба. При таком подходе к определению надежности ресурс инструмента не будет использован полностью.

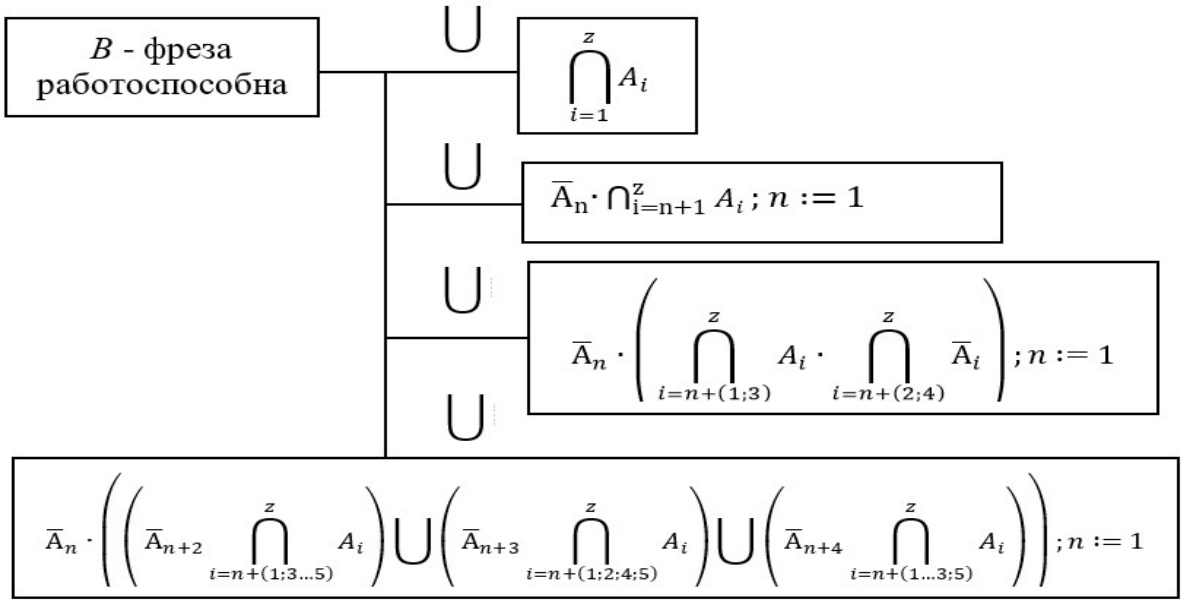

Рисунок 1 – Логическая схема надежности торцовой фрезы:
i=1…z –номер зуба; A_i–зуб целый; *n*–номер отказавшего зуба; $\overline{A}_n$–зуб сломан

1. Острейковский, В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
2. Кочергин, А.И. Основы надежности металлорежущих станков: Учеб. пособие для вузов по спец. 0501 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш. школа, 1982. – 175 с.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Практикум. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
4. Благодарный, В.М. Надежность и диагностика технологических систем. - Барановичи: РИО БарГУ, 2009. – 192 с.