

нологических параметров установки для получения наиболее благоприятных теплотехнических свойств получаемых ребер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинский И. А. Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое обеспечение: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1985. – 263 с. 2. Зубков Н. Н. и др. Токарная обработка без снятия стружки // Технологическое оборудование и материалы. – 1997. -№ 6 – с. 19-26. 3. Дьяков И. И., Кочергин А. И., Якимович А. М. Инструмент для получения ребристых трубчатых радиаторов. – Положительное решение от 21. 01. 1987 г. по заявке № 4084466/08. 4. Якимович А. М. Получение круглых оребренных элементов теплообменников методом резания – скальпирования: Диссертация на соискание уч. степени к. т. н.: 621. 1. 002. 5. – Мн., 1990 –238 с. 5. Справочник по теплообменникам. В 2-х т., т. 1 / Пер. с англ., под ред. Петухова Б. С., Шинова В. К. – М.: Энергоатомиздат, 1987. –560 с.

УДК 621.9

Ажар А.В.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СБОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

До настоящего времени режущий инструмент независимо от степени его конструктивной и функциональной сложности рассматривался с точки зрения свойств и показателей надежности, как одно целое без разбиения на элементы. Чаще всего в качестве условия выхода из строя принимались внезапные (поломки) и постепенные (износные) отказы режущей части, как наиболее подверженной внешним нагрузкам в процессе резания [1, 2].

В настоящее время широкое распространение получили многолезвийные инструменты, как более производительные, но в тоже время более сложные по конструкции и стоимости эксплуатации.

Еще одним направлением развития инструментального хозяйства является построение инструментов на базе модулей, состоящих из унифицированных элементов. Данный подход позволяет проектировать сложные высокопроизводительные специальные инструменты с минимальными затратами. При этом одни и те же элементы могут быть использованы в различных конструкциях инструментов. Модульный подход позволяет сократить расходы на восстановление инструмента после отказа и упростить систему его обслуживания.

В свою очередь торцовые фрезы – это высокопроизводительные многолезвийные инструменты, применяемые при обработке плоских поверхностей (рис. 1). Современные конструкции этих инструментов имеют блочно-модульную структуру с ре-

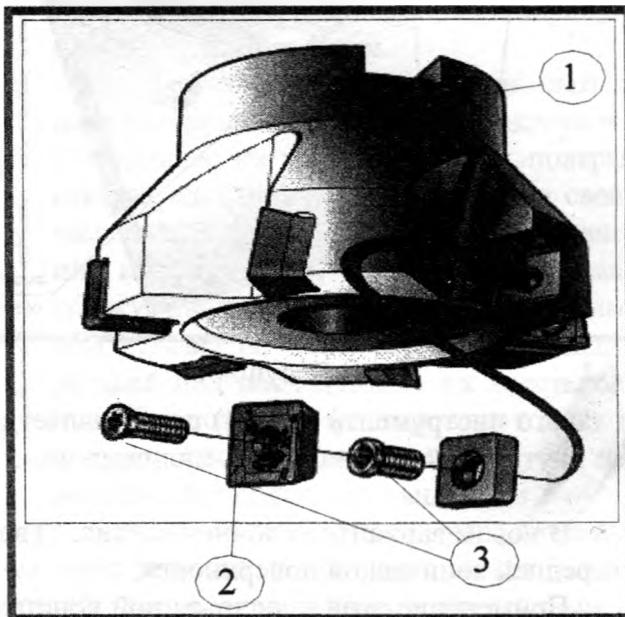


Рисунок 1 – Торцовая фреза, как сложная многоэлементная техническая система:  
1 – корпус; 2 – режущий элемент (пластина); 3 – механизм крепления (винт)

жущей частью в виде сменных неперетачиваемых пластин [3].

С усложнением конструкций режущих инструментов, эксплуатируемых в условиях автоматизированных производств машиностроительных предприятий, возрастают требования к обеспечению и прогнозированию их надежности. Это связано с возрастающей долей расходов на сам инструмент и его эксплуатацию в общей структуре себестоимости выпускаемой продукции

Таким образом, с точки зрения надежности сборные режущие инструменты необходимо рассматривать как многоэлементные системы с различной степенью их функциональной зависимости.

В работах [4, 5] приведена общая классификация существующих структурных схем надежности технических систем и методов резервирования на основе, которой торцовые фрезы можно представить в виде структурной модели надежности параллельно-последовательной типа с резервированием.

В большинство конструкций торцовых фрез присутствует структурное резервирование. Часто это вызвано не преднамеренным введением резерва, а особенностью конструкций инструментов и режимами их эксплуатации. Поэтому очень важным является задаться минимально необходимыми условиями функционирования этих инструментов. Одним из таких условий может стать нагрузочная способность зуба инструмента, определяемая «ломающей» подачей. Отказы в связи с поломкой режущей части наиболее часто проявляют себя при черновой обработке поверхностей резанием твердосплавными инструментами. При чистовом фрезеровании работу инструмента определяют критерии точности обработки и здесь преобладают отказы, определяемые величиной допустимого износа режущей части.

Временное резервирование тесно переплетается со структурным, т.к. при эксплуатации инструмента увеличение времени обработки напрямую связано с занижением режимов резания и приводит к уменьшению нагрузки на режущую часть.

В пределах функционирования одного режущего элемента добиться нагрузочного резервирования возможно путем увеличения размеров, прочности, износостойкости режущего элемента. По другому, нагрузочного резервирования можно добиться использованием защитных и разгружающих элементов: перераспределение нагрузки за счет рациональных схем резания (групповых); компенсация сил резания (расположение зубьев напротив друг друга); гашение вибраций (расположение зубьев со смещенным шагом и устранение дисбаланса). Нагрузочное резервирование еще в большей степени характерно корпусной (державочной) части инструмента и проявляет себя в запасе прочности, который в несколько раз превышает допустимый при расчете.

Перечисленные виды резервирования могут быть применены либо к инструменту (инструментальной системе) в целом, либо к отдельным элементам системы или к их группам. Таким образом, инструменту присуще общее, отдельное и смешанное резервирование.

Что касается способа включения резерва, то при непрерывной эксплуатации инструмента в пределах периода обработки одной детали допустимо использование только постоянного резервирования за счет структурной избыточности многолезвийного режущего инструмента. Для постоянного резервирования существенно, что в случае отказа основного элемента не требуется специальных устройств, вводящих в действие резервный элемент, а также отсутствует перерыв в работе.

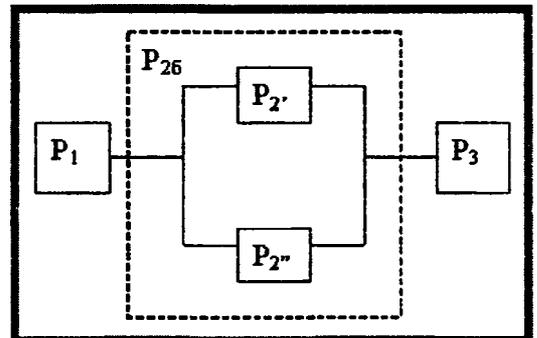


Рисунок 2 – Структурная схема надежности торцовой фрезы с точки зрения безотказности работы:

P1 – вероятность безотказной работы корпуса;

P2 – вероятность безотказной работы режущего элемента – пластины;

P2' – основные пластины,

P2'' – активный резерв;

P3 – вероятность безотказной работы механизма крепления

Скольльзящее резервирование применяется в конструкциях сборных торцовых фрез со сменными неперетачиваемыми пластинами. Это резервирование замещением, при котором группа основных элементов, чаще всего режущих пластин, резервируется дополнительными элементами, 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. Здесь необходимо учитывать время восстановления и разброс его значений при определении показателей надежности инструмента в целом. Такой подход значительно увеличивает долговечность инструмента и улучшает показатели ремонтпригодности в связи с уменьшением расходов на обнаружение отказа и сам процесс восстановления работоспособности инструментов. При этом возможна выборочная замена отказавших элементов, что еще больше удешевляет сам процесс восстановления.

Восстанавливаемость резерва можно оценить по способам восстановления режущей части, то есть по возможности ее переточки после отказа. В современном инструментальном производстве наметилась тенденция использования резервирования без восстановления работоспособности отказавших резервных элементов. Это связано с широким внедрением сборных конструкций инструментов со сменными неперетачиваемыми пластинами. Режущая часть таких инструментов не подлежит восстановлению, после отказа она утилизируется и полностью идет на переработку.

С точки зрения безотказности работы торцовая фреза имеет структурную схему надежности, представленную на рис. 2.

Т.к. корпус фрезы и механизм крепления режущей части инструмента в некотором приближении можно отнести к высоконадежным элементам системы, имеющим вероятность безотказной работы  $P_1$  и  $P_3$  близкими по значению к единице в промежутке времени до отказа инструмента, то надежность фрезы можно оценивать по надежности ее режущей части.

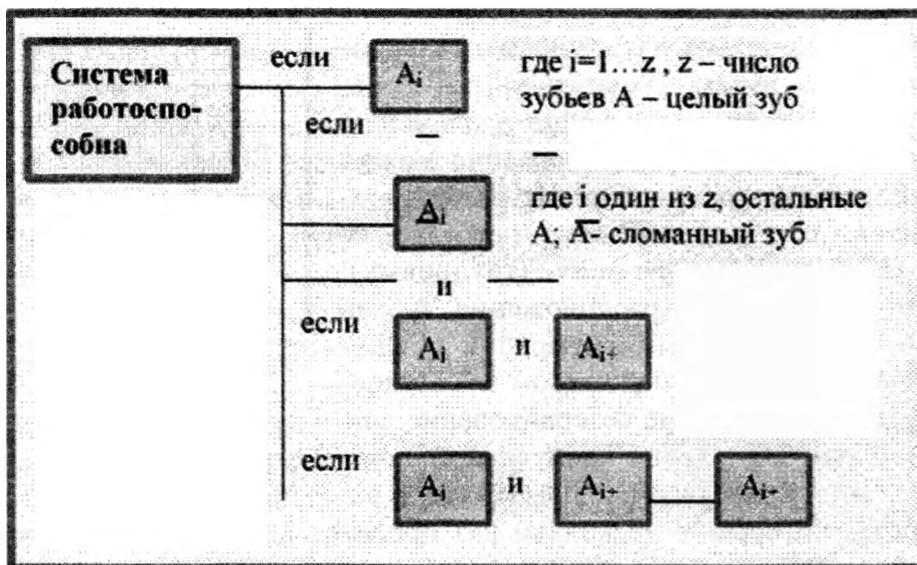


Рисунок 3 – Логическая схема торцовой фрезы с точки зрения безотказности работы

Для оценки надежности режущих пластин фрезы воспользуемся методом логических схем [4]. Если в качестве критерия отказа фрезы принять выход из строя (поломку) двух последовательно идущих друг за другом зубьев, то структура работоспособности режущих элементов инструмента будет иметь вид (рис. 3).

Для примера рассчитаем вероятность безотказной работы торцовой фрезы с числом зубьев  $z=6$ , материал режущей пластины твердый сплав марки Т15К6, ведущей обработку стали 45, глубина фрезерования  $t=3,5$  мм; подача на зуб  $S_z=0,1$  мм/зуб [6]. В качестве количественного критерия работоспособности зуба фрезы примем величину «ломающей» подачи  $S_p$ , приводящей к поломке режущего элемента. По графику [1, рис. 116, кривая 4] величина

$S_p=1,4$  мм/об, тогда  $S_{zp}= S_p/z= 0,23$  мм/зуб. Исходя из принятых значений, условие отказа фрезы - это когда два последовательно идущих друг за другом зуба фрезы выйдут из строя, при этом на третий зуб придётся подача  $S_z=0,3$ мм/зуб  $> S_{zp}$ .

Для примера рассмотрим случай, когда вероятность безотказной работы каждой пластины равна 0,9 при заданной стойкости  $T=30$  минут. В соответствии с принятой моделью надёжности вероятность безотказной работы режущих элементов фрезы будет равна:

$$P(t)=P_1P_2P_3P_4P_5P_6 + (1-P_1) P_2P_3P_4P_5P_6 + (1-P_1) (1-P_3) P_2P_4P_5P_6 + \\ + (1-P_1) (1-P_3) (1-P_4)P_2P_5P_6 = 0,531+0,059+0,006561+0,000729= 0,597,$$

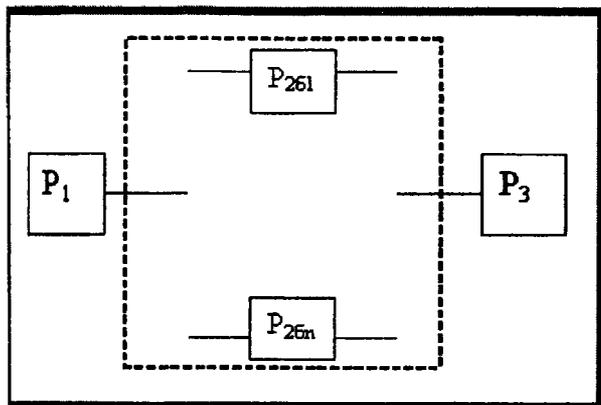


Рисунок 4 – Структурная схема надёжности торцовой фрезы с точки зрения использования суммарного ресурса пластин  
 $n$  – число рабочих граней пластин

где  $P_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го зуба фрезы.

Модель надёжности торцовой фрезы с точки зрения использования суммарного ресурса сменных пластин представлена на рис. 4.

Для выше приведенного примера при учете использования суммарного ресурса пластин вероятность безотказной работы инструмента без учета времени восстановления работоспособности при  $n=4$  :

$$P_{2д} = 1 - (1 - P_{261}) (1 - P_{262}) (1 - P_{263}) (1 - P_{264}); \\ P_{2д} = 1 - (1 - 0,597)^4 = 0,973.$$

## ВЫВОДЫ

Сборная торцовая фреза с точки зрения надёжности может быть представлена в виде системы параллельно-последовательного типа с активным резервом. Этот резерв не преднамеренный, а вызван конструктивной избыточностью инструмента в связи с возрастающими требованиями к росту производительности при обработке.

Анализ предложенной модели надёжности 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 показателей надёжности ресурс этого инструмента будет недоиспользован.

В соответствии с принятой моделью надёжности критерий отказа торцовой фрезы будет зависеть от величины «ломающей подачи», приводящей к поломке режущего элемента. В зависимости от принятой подачи на зуб этот критерий может представлять собой выход из строя более одного последовательно идущего друг за другом зуба. При определении наиболее вероятной стойкости необходимо воспользоваться зависимостью по определению вероятности безотказной работы фрезы, полученной на основе логической схемы надёжности конкретного инструмента.

Как показывает анализ предложенной модели надёжности и практика эксплуатации торцовых фрез повысить их надёжность с точки зрения безотказности инструмента можно путём увеличения количества резервных элементов. Если мы хотим сохранить подачу на зуб, а следовательно и производительность при обработке необходимо увеличивать диаметр фрезы. Однако это приведёт к увеличению стоимости самого инструмента. С другой стороны можно увеличить количество режущих лезвий при сохранении диаметра фрезы, что приведет к уменьшению подачи и как следствие снижению производительности. Таким образом, изменение конструкции фрезы с целью увеличения ее надёжности должно быть обосновано с точки зрения технико-экономических показателей процесса механической обработки для конкретных условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ХаеГ Г.Л. Надежность режущего инструмента. Киев, 1968 - 31 с.;
2. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. М.: Советское радио, 1966.;
3. Технический справочник от Sandvik Coromant 2005.09;
4. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.;
5. Острейковский В.А. Теория надежности. Учебник для технических ВУЗов – М.: Высш. шк., 2003. – 462 с.;
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. т.2. Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова - М.: Машиностроение, 1986. - 496 с.;

УДК 621.787

*Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф., Хабибуллин А.И.*

### **ГЛУБОКОЕ СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ МЕДНЫХ СПЛАВАХ**

*Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь*

В связи с развитием всех отраслей промышленности и необходимостью повышения качества выпускаемой продукции требуется создание новых конструкционных материалов.

Применение новых конструкционных материалов обусловлено их важными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Особая роль принадлежит композиционным порошковым материалам, обладающим высокими значениями жаропрочности. Дисперсно-упрочненные материалы на основе меди представляет собой порошковую композицию, состоящую из медной матрицы, в которой равномерно распределено до 10 % по объему дисперсных частиц упрочняющей фазы. В качестве последней применяются термодинамически стабильные соединения с высоким значением модуля сдвига, например,  $Al_2O_3$ . Материал обладает структурой микрокристаллического типа с размерами зерен матрицы 0,2-0,5 мкм и величиной частиц упрочняющей фазы менее 0,05 мкм, что позволяет ему иметь высокие значения всего комплекса физико-механических свойств. Микрокристаллический тип структуры, характеризующийся развитой поверхностью границ зерен и субзерен, стабилизированных дисперсными включениями механически и термически стабильных фаз, обуславливающий низкую скорость протекания рекристаллизационных процессов, определяет высокие значения твердости и прочности не только при 20оС, но и при температурах, достигающих 600оС. Разработанные материалы по комплексу физико-механических свойств превосходят лучший классический электродный материал, которым является бронза БрХЦр.

При электропроводности 70-75 % от меди они обладают механическими свойствами характерными для нагартованной стали 50: твердостью 200-240 НВ, пределом прочности 700-900 МПа, относительным удлинением 2-4 %.

Одной из перспективных областей применения дисперсно-упрочненных материалов на основе меди является изготовление токоподводящих наконечников аппаратов для сварки электродной проволокой в среде защитных газов. Для получения полуфабриката – калиброванного прутка порошковая композиция определенного состава подвергается обработке в механореакторе, а затем, после компактирования, экструзии. Из экструдированных прутков изготавливают заготовки токоподводящих наконечников. В этих изделиях необходимо получить отверстие диаметром 0,8...2,0 мм глубиной 18...30 мм. В данной работе приведены результаты исследования процесса получения отверстия спиральным сверлом из быстрорежущей стали диаметром 0,9 мм на глубину 20 мм в заготовке из дисперсно-упрочненной меди. Сверление производилось со следующим режимом резания:  $n = 1450$  об/мин,  $s = 0,02$  мм/об при осевом перемещении сверла в процессе резания 0,5-0,9 мм. После сверления на эту глу-