

УДК 621.914.2

**В.Г. Нечепаяев, профессор, д-р техн. наук,****А.Н. Гнисько, канд. техн. наук***ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»**ул. Артема, 58, г. Донецк, Украина, 83001**E-mail: opm@mech.dgtu.donetsk.ua***ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРАБОТКИ Т-ОБРАЗНЫХ ПАЗОВ**

*Выполнена оценка прочности Т-образных фрез со сплошным сечением и с сечением, имеющим осевой и радиальные каналы для подачи СОТС. Оценка выполнена на основе компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов в среде АРМ WinMachine (в модуле Studio).*

**Ключевые слова:** прочность, Т-образная фреза, метод конечных элементов.

Обработка профильных (Т-образных, типа «ласточкин хвост», угловых) пазов является технологически весьма несовершенной операцией, поскольку процесс резания сопровождается циркуляцией отделенной стружки с дальнейшим повторным взаимодействием зубьев фрезы со стружкой. Так как отделенная стружка имеет высокую твердость, это обуславливает рост силовой нагруженности режущего инструмента и интенсивный износ зубьев фрезы [1] с последующим снижением стойкости и поломкой режущего инструмента.

В то же время, одним из основных направлений совершенствования современного машиностроительного производства является интенсификация процессов механической обработки. Применительно к обработке профильных пазов интенсификация достигается путем повышения режимов резания. Таким образом, повышение производительности обработки профильных пазов путем повышения режимов резания в силу указанных причин лимитируется прочностью режущего инструмента. Поэтому назначение режимов резания, наряду с учетом других факторов, должно сопровождаться оценкой прочности режущего инструмента.

Однако, в результате выполненного анализа литературных источников [2, 3 и др.], не установлено методик для оценки прочности фрез при обработке профильных пазов.

Это определяет актуальность разработки такой методики, основанной на использовании современных методов и инструментария.

Разработанная методика включает четыре основных этапа:

- анализ и корректное определение действующих нагрузок;
- разработка расчетных схем, установление характера действующих напряжений, установление потребных методов расчета и т.д.;
- анализ и выбор методов и средств расчетов запасов прочности режущего инструмента;
- определение действующих напряжений и характера их распределения.

На основании разработанной методики выполнена оценка прочности Т-образных профильных фрез.

Анализ и корректное определение действующих нагрузок. Основной действующей нагрузкой, определяющей прочность режущего инструмента, при фрезеровании Т-образного паза, является сила резания, формирующаяся на зубьях фрезы.

В результате выполненного анализа литературных источников [2, 3 и др.] не установлены рекомендации и методики для определения сил резания применительно к фрезерованию профильных пазов Т-образными фрезами. Поэтому, в настоящей работе определение сил резания выполнялось экспериментально [4].

На рисунке 1 представлена схематизация составляющих сил резания при обработке профильной Т-образной фрезой, из которой следует, что горизонтальные составляющие  $P_{hi}$  силы резания на зубьях фрезы, находящиеся по разные стороны от предварительно обработанного прямоугольного паза (позиция

1), направлены противоположно. Поэтому значение результирующего вектора  $\sum_{i=1}^n P_{hi}$  ( $n$  – количество зубьев фрезы, находящиеся одновременно в обработке) определяется их разностью, а измерение величины  $\sum_{i=1}^n P_{hi}$  не позволяет судить об истинных мгновенных значениях составляющих  $P_{hi}$ .

Вертикальные же составляющие  $P_{vi}$  силы резания на зубьях фрезы, находящиеся по разные стороны от предварительно обработанного прямоугольного паза, направлены одинаково. Поэтому

значение результирующего вектора  $\sum_{i=1}^n P_{vi}$  определяется их суммой, а измерение величины  $\sum_{i=1}^n P_{vi}$  позволяет судить об истинных мгновенных значениях составляющих  $P_{vi}$ .

Исходя из приведенного, в качестве измеряемой величины выбрана суммарная составляющая  $\sum_{i=1}^n P_{vi}$  силы резания от зубьев, непосредственно находящихся в зоне резания.

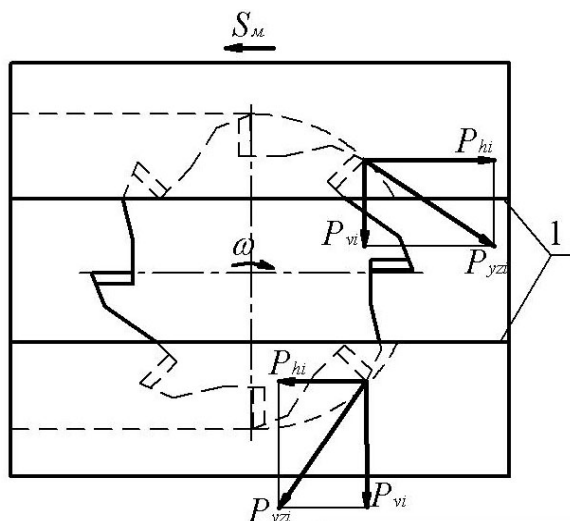


Рисунок. 1 – Схема измерения составляющих сил резания

Разработка расчетных схем. Для анализа прочности Т-образных фрез выделены три основные группы существующих конструкций:

- со сплошным сечением фрезы (без подачи смазочно-охлаждающего технологического средства СОТС или с подачей СОТС поливом по каналам внешнего сопла (рисунок 2));
- с сечением фрезы, имеющим осевой канал (с подачей СОТС по каналу в теле фрезы (рисунок 3));
- с сечением фрезы, имеющим осевой и радиальные каналы (с подачей СОТС по каналам в теле фрезы (рисунок 4)).

Выполненный анализ конструкций и сил, формирующихся при фрезеровании Т-образных пазов, а также опыт эксплуатации фрез показал, что потенциально опасными являются:

- сечение хвостовика в месте закрепления в станочной оправке (сплошное сечение А-А, рисунок 2 и сечение Б-Б с осевым отверстием для подачи СОТС, рисунок 3);
- сечение В-В у ножек зубьев фрезы (рисунок 4);
- сечение Г-Г радиальных каналов для подачи СОТС (рисунок 4).

Анализ и выбор методов и средств расчетов и определение действующих напряжений.

На основании выполненного анализа конструкции Т-образных фрез выполнена оценка ее прочности на основе компьютерного моделирования с использованием конечно-элементного анализа в среде АПМ WinMachine (в модуле Studio).

На первом этапе расчета с использованием конечно-элементного анализа создана 3D модель фрез со сплошным сечением, а также с осевым и радиальными каналами для подачи СОТС (рисунок 5).

На втором этапе в модуле Studio к зубу фрезы приложены силы, возникающие при резании (рисунок 5).

На третьем этапе в модуле Studio выполнено разбиение моделей на конечно-элементную сетку.

На четвертом этапе в модуле Studio выполняется расчет моделей.

На основании анализа полученных результатов расчета установлено:

- наибольшие эквивалентные напряжения имеют место в зоне галтельного перехода от шейки фрезы к ее хвостовику, который в этом случае является концентратором напряжений (рисунок 6, а и 6, б);
- для фрезы сплошного сечения (рисунок 6, а) значение действующих эквивалентных напряжений в указанной зоне составляет  $\sigma_3 = 380$  МПа (коэффициент запаса прочности равен 3);

– для сечения с осевым и радиальными отверстиями для подачи СОТС (рисунок 6, б) значение действующих эквивалентных напряжений в этой же зоне составляет  $\sigma_{\text{э}} = 395$  МПа (коэффициент запаса прочности равен 2,9).

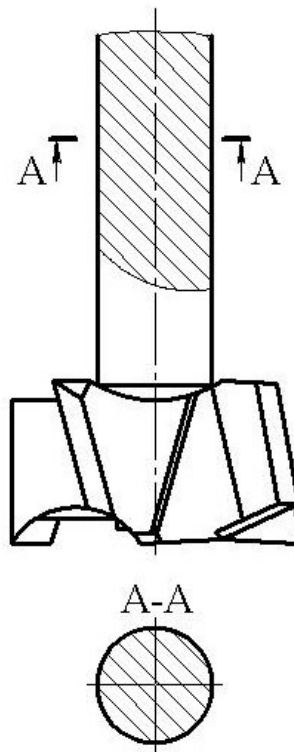


Рисунок 2 – Режущий инструмент со сплошным сечением

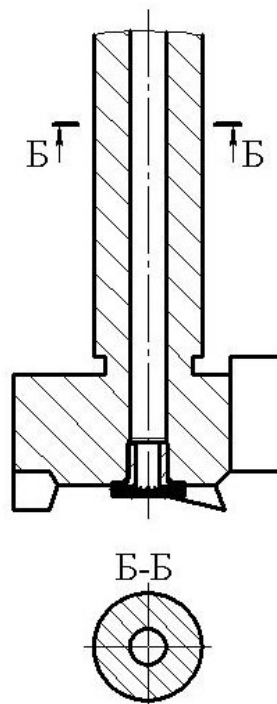


Рисунок 3 – Режущий инструмент с подачей СОТС по осевому каналу в теле фрезы (Патент Украины № 71320)

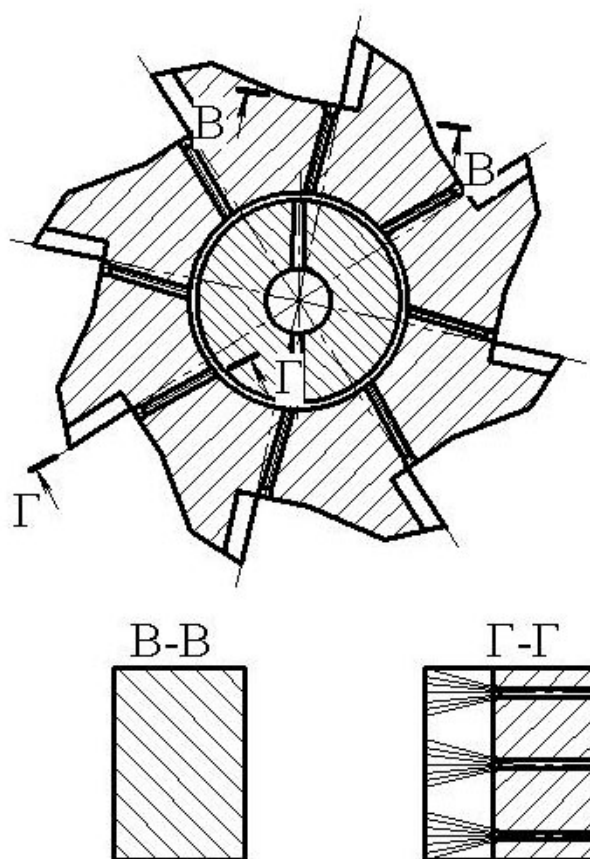


Рисунок 4 – Режущий інструмент з подачей СОТС по осевому і радіальному каналам в тілі фрези (Патент України № 68794)

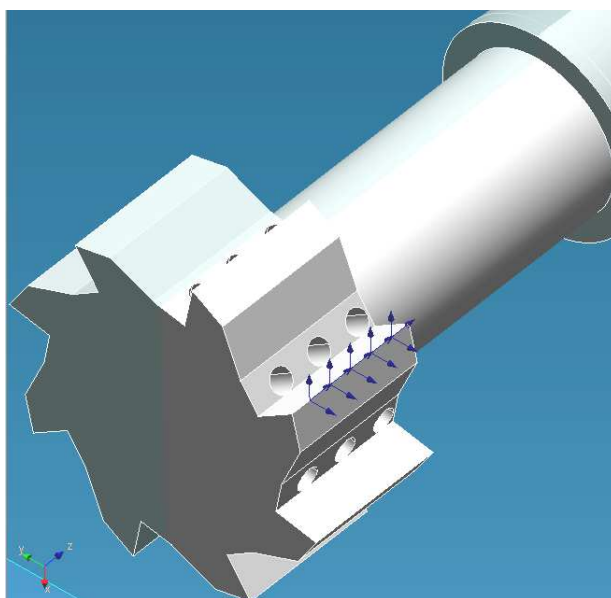
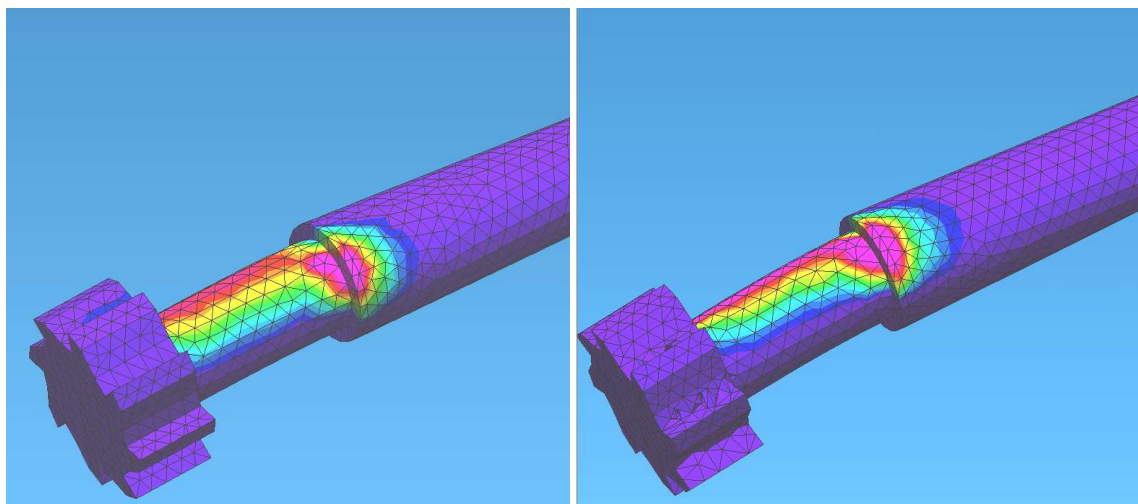


Рисунок 5 – 3D модель Т-образної фрези з осевим і радіальними каналами для подачі СОТС



а) б)  
Рисунок 6 – Распределение коэффициента запаса прочности фрезы:  
а) со сплошным сечением; б) с осевым отверстием для подачи СОТС

Полученные результаты оценки прочности Т-образных фрез показали, что наличие осевого и радиальных каналов в теле фрезы незначительно (не более чем на 4 %) снижает значение коэффициента запаса прочности и повышает значение эквивалентных напряжений.

Из приведенного следует вывод, о том, что совершенствование конструкции Т-образных фрез за счет изготовления осевого и радиальных отверстий в теле инструмента для подачи СОТС не ограничивает его прочность. Это позволяет рассматривать фрезы такой конструкции перспективными для повышения производительности обработки профильных пазов.

#### **Бibliографический список использованной литературы**

1. Нечепаяев В.Г. Экспериментальное подтверждение адекватности моделей функционирования устройств удаления стружки из закрытых профильных пазов / В.Г. Нечепаяев, А.Н. Гнiтько // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. НТУ “ХПИ”. — Харьков, 2006. — Вып. 70. — С. 332–343.
2. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. — М: Машгиз, 1962. — 952 с.
3. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: учебник для вузов / П.Р. Родин – 3-е изд. — К.: Вища школа, Головное изд-во, 1986. — 455 с.
4. Нечепаяев В.Г. Результаты экспериментальных исследований фрезерования профильных пазов / В.Г. Нечепаяев, А.Н. Гнiтько // Надiйнисть iнструменту та оптимiзацiя технологiчних систем: зб. наук. праць. — Краматорськ–Київ, 2006. — Вип. 20. — С. 54–62.

*Поступила в редакцию 2.03.2011 г.*

#### **Нечепаяев В.Г., Гнiтько О.М. Оцiнка мiцностi фрез для обробки Т-образних пазiв**

Виконана оцiнка мiцностi Т-подiбних фрез iз суцiльним перетином i з перетином, що має осевий i радiальнi канали для подачi МОТЗ. Оцiнка виконана на основi комп'ютерного моделювання з використанням методу кiнцевих елементiв у середовищi APM Winmachine (у модулi Studio).

**Ключовi слова:** мiцнiсть, Т-подiбна фреза, метод кiнцевих елементiв.

#### **Nechepaev V.G., Gnytko A.N. Estimation of mills durability for the T-shaped slots handling**

Estimation of the T-shaped mills durability with continuous section and with the section having axial and radial channels for the LCTE feeding is conducted. The estimation is executed based on the computer simulation with final-element analysis using in the environment of APM WinMachine (in module Studio).

**Keywords:** durability, T-shaped mills, final-element analysis.