

**Ключевые слова:**

сборный твердосплавный резьбообразующий инструмент, конечно-элементный анализ, T-FLEX, планетарное резьбофрезирование

Keywords:

precast carbide threading tools, finite element analysis, T-FLEX, planetary thread milling

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ СБОРНОГО РЕЗЬБООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ РАСЧЕТОВ «T-FLEX АНАЛИЗ»

**Виктор БАЛКОВ, Владислав БОРОВСКИЙ,
Леонид КАМЕНЕЦКИЙ, Евгений НЕГИНСКИЙ**

Представлен способ оценки конструктивных исполнений сборного твердосплавного резьбообразующего инструмента с помощью инструментария, предоставляемого программным комплексом для конечно-элементного моделирования «T-FLEX Анализ». Описан опыт использования программных продуктов ЗАО «Топ Системы» при проектировании сложного сборного режущего инструмента. С помощью программного комплекса произведено сравнение способов крепления режущих элементов в корпусе сборного инструмента.

Presents the method evaluating design concept of precast carbide threading tools using the tools provided by the software system for finite element modeling «T-FLEX Analysis». It describes the experience of using software products of «Top Systems» JSC in the design of complex assembly cutting tool. With the help of software system one can make a comparison of methods of fastening the cutting elements in the modular tool housing.

В настоящее время широкое использование оборудования с ЧПУ снимает практически все технологические ограничения, обуславливавшие принимаемые в прошлом конструктивные решения при проектировании сборного инструмента.

Это существенно изменяет подход к конструированию инструмента, предоставляет возможность использовать конструктивные решения повышенной сложности, позволяющие улучшать габаритные характеристики, обеспечивать более экономное использование дорогостоящих инстру-

ментальных материалов и, в конечном счете, снижать издержки при изготовлении инструмента и повышать его конкурентоспособность.

Однако использование геометрически сложных конструктивных решений затрудняет использование упрощенных расчетных схем, позволяющих производить оценку прочностных и жесткостных характеристик конструктивных элементов сборного инструмента методами классического сопромата.

В то же время корректная оценка прочностных характеристик при разработке новых сборных

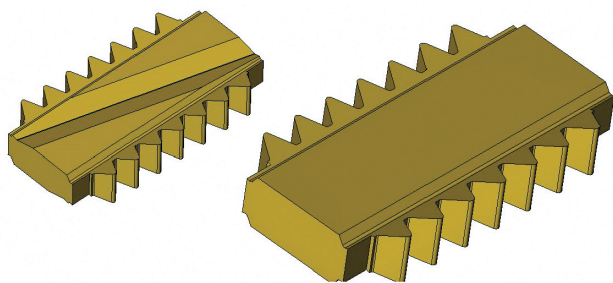


Рис. 1. Варианты исполнения твердосплавных пластин с увеличенным количеством режущих граней

инструментов крайне необходима, так как от них зависят эксплуатационные параметры инструмента.

Развитие методов автоматизированного проектирования привело к ускоренному развитию и появлению прикладных систем конечно-элементного анализа (МКЭ), которые не требуют от пользователя глубоких знаний теории МКЭ, исключают трудоемкие операции ручной подготовки исходных данных и предоставляют прекрасные возможности по обработке результатов математического моделирования.

Одним из удачных примеров реализации МКЭ является интегрированная с программным продуктом T-FLEX CAD среда конечно-элементных расчетов «T-FLEX Анализ» отечественного разработчика в области CAD-CAM-CAE систем — ЗАО «Топ Системы».

Ниже рассмотрено использование среды «T-FLEX Анализ» при оценке конструктивных исполнений сборного твердосплавного резьбообразующего инструмента.

Применение сборных инструментов с механическим креплением твердосплавных режущих элементов, начавшееся с относительно простых видов инструмента (токарные резцы, торцевые фрезы), постепенно распространилось практически на все

виды обработки. В настоящее время сборные твердосплавные инструменты используются во всех видах обработки, в том числе в самых сложных, как например высокопроизводительная обработка зубчатых колес [1, 2].

Сборный твердосплавный инструмент также целесообразно использовать для планетарного зубофрезерования при обработке относительно крупных внутренних резьб.

При разработке сборного твердосплавного инструмента для обработки резьбовых отверстий от М60×5,5 и выше методом планетарного зубофрезерования ставилась задача создания инструмента (твердосплавной сборной фрезы) с увеличенным количеством режущих граней на твердосплавной пластине (рис. 1). С учетом необходимости размещения на корпусе фрезы не менее четырех режущих пластин исключалась возможность наличия отверстия под крепление пластины, так как это ослабляло тело режущих элементов.

Было предложено два различных конструктивных исполнения сборного инструмента (рис. 2 и 3).

Конструктивное исполнение 1 предполагает взаимодействие клина с твердосплавной пластиной, обеспечивающее закрепление ее в пазу корпуса и фиксацию на базовых поверхностях.

Конструктивное исполнение 2 предполагает наличие, в дополнение к основному тянущему клину, промежуточного клина с V-образным выпуклым элементом, взаимодействующим с V-образным пазом твердосплавной пластины.

Для обоснованного выбора варианта исполнения необходимо проведение оценки надежности закрепления режущей пластины в корпусе фрезы на основе прочностных и жесткостных характеристик конструктивных элементов сборного инструмента.

В ходе выполнения работы в системе автоматизированного проектирования T-FLEX разработа-

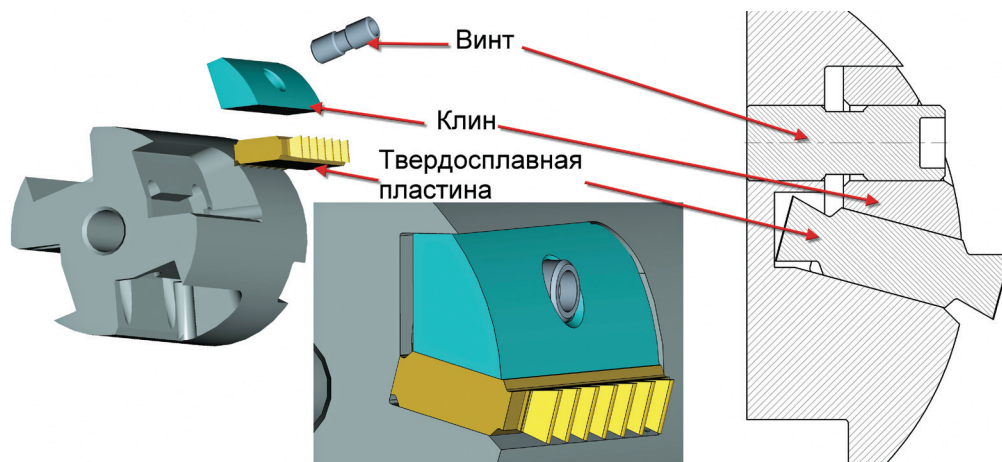


Рис. 2. Конструктивное исполнение 1

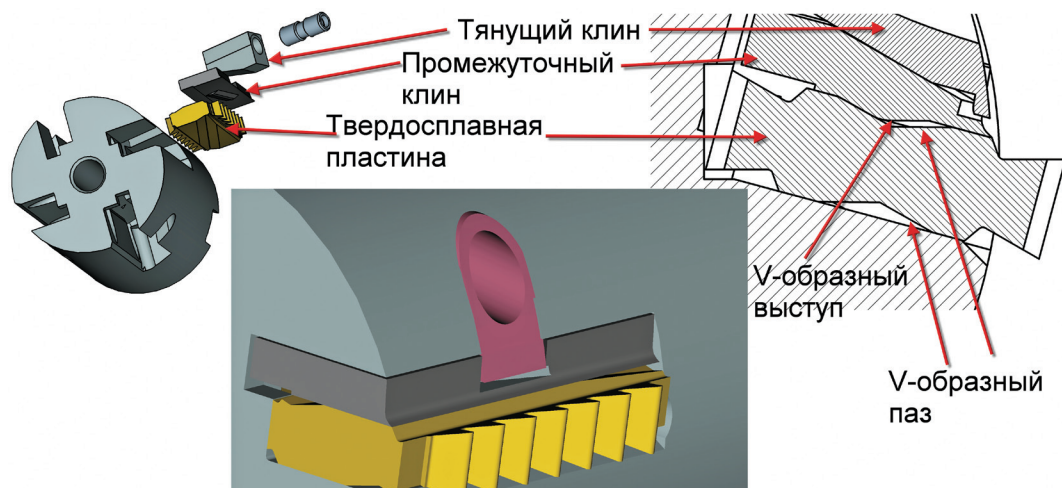


Рис. 3. Конструктивное исполнение 2

ны трехмерные модели двух вариантов сборных резбонарезных фрез с механическим креплением твердосплавных пластин. Для проведения конечно-элементного анализа в среде «T-FLEX Анализ» произведена конечно-элементная дискретизация объектов: построение совокупности элементарных объемов заданной формы (конечных элементов, КЭ), объединенных в единую систему – конечно-элементную сетку. Общий вид трехмерной модели и ее конечно элементной сетки для конструктивного исполнения 1 приведен на рис. 4 и 5.

Следующей задачей для корректного проведения расчетов является определение закреплений, то есть ограничений на перемещение отдельных элементов конструкции. «T-FLEX Анализ» предполагает использование следующих основных типов закреплений:

- полное, блокирующее все степени свободы для выбранного объекта;
- частичное, предоставляющее возможность произвольно (исходя из соображений проектанта) установить ограничения на различные степени свободы;

→ контактное, подразделяющееся на четыре типа: «жесткая связь», «нет контакта», «касание», «жесткая стенка».

В нашем случае используются два типа закреплений: полное — для корпуса фрезы, установленной на станке, и контактное (типа «жесткая связь») для элементов крепления режущей пластины (рис. 6 и 7).

Далее необходимо определить приложенную силу, обеспечивающую крепление твердосплавной пластины в корпусе фрезы. Она определяется как усилие зажима винта, приложенное в направлении оси отверстия, и интерпретируется как распределенная сила, приложенная к внутренней поверхности резьбового отверстия, которое в данной расчетной схеме принимается в качестве цилиндрической грани (рис. 8). Очевидно, что к внутренней поверхности резьбового отверстия в корпусе прикладывается сила реакции, равная по модулю усилию зажима, но в противоположном направлении.

После построения конечно-элементной сетки, определения закреплений и усилия зажима

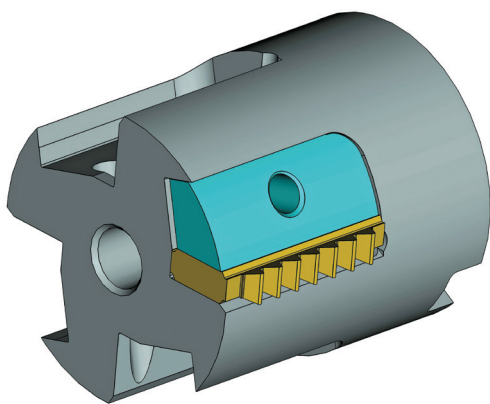


Рис. 4. Трехмерная модель для конструктивного исполнения 1

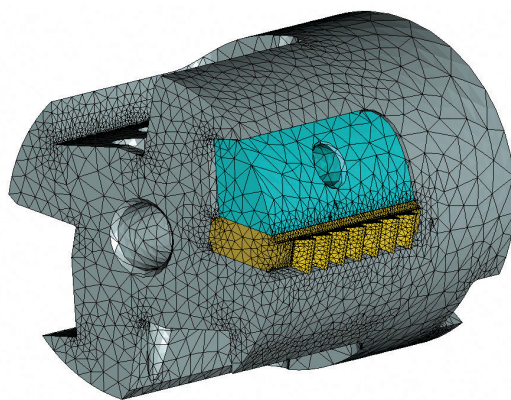


Рис. 5. Конечно-элементная сетка для конструктивного исполнения 1

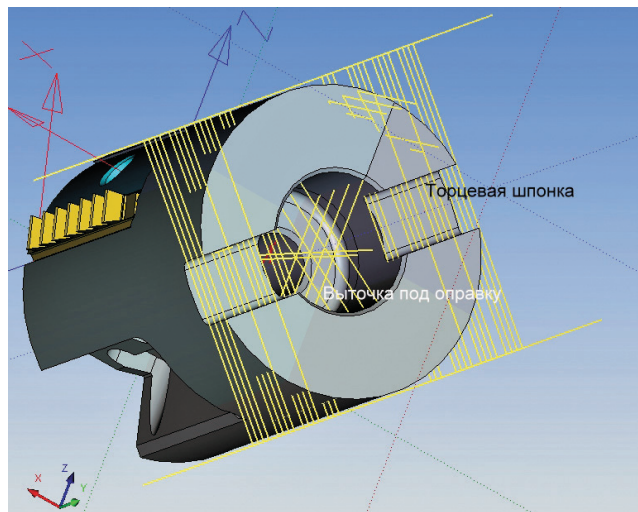


Рис. 6. Полное закрепление корпуса фрезы на станке

для обоих вариантов конструктивных исполнений осуществлены расчеты, результаты которых были представлены в виде набора трехмерных эпюр, интерпретирующих состояние трехмерных объектов в результате приложенных нагрузок. Среднее время проведения расчета для рассматриваемых конструкций определялось необходимым количеством итераций. Так, для расчета конструктивного исполнения 1 потребовалось проведение 50 итераций, на что было затрачено чуть более 10 мин, в случае же конструктивного исполнения 2 было произведено 289 итераций за 16,5 мин.

По результатам расчета система может сгенерировать до 38 эпюр, всесторонне описывающих состояние нагруженного объекта.

В нашем случае, для оценки эффективности закрепления режущих элементов наибольший интерес представляют напряжения, возникающие в зоне контакта опорной плоскости пластины и дна гнезда. Для более полного анализа целесообразно оценить эти напряжения в нескольких сечениях (рис. 9).

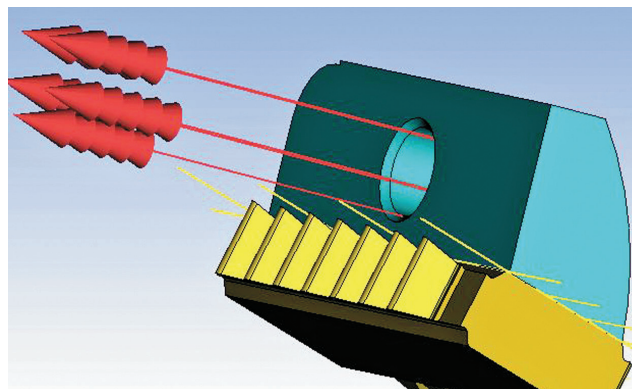


Рис. 8. Крепление твердосплавной пластины в корпусе фрезы

Эпюры, на которых представлены напряжения в зоне контакта опорной плоскости пластины и дна гнезда, представлены на рис. 10 и 11.

На основании анализа разброса значений напряжений в зоне контакта твердосплавной резцовой пластины и дна гнезда можно сделать вывод, что конструктивное исполнение 1 дает меньший разброс значений напряжений в зоне контакта. Максимальный разброс напряжений в одном сечении для исполнения 1 составляет 4,4 раза, в то время как для исполнения 2 может достигаться 15-кратный разброс

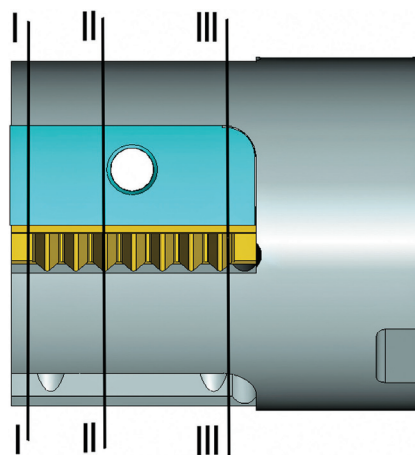


Рис. 9. Расположение сечений для определения напряжений

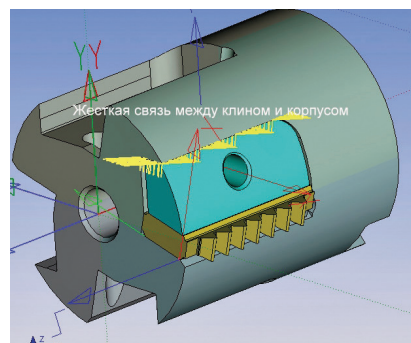
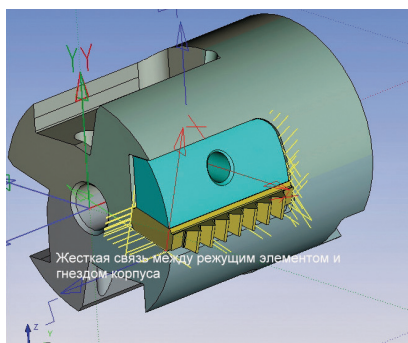
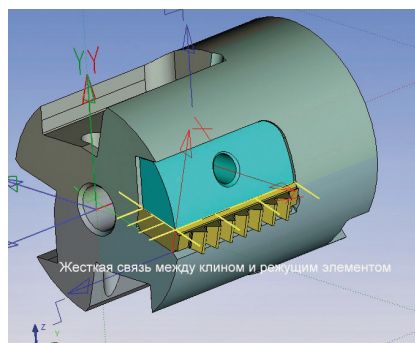


Рис. 7. Определение закрепления элементов крепления режущей пластины — контактное закрепление «жесткая связь»

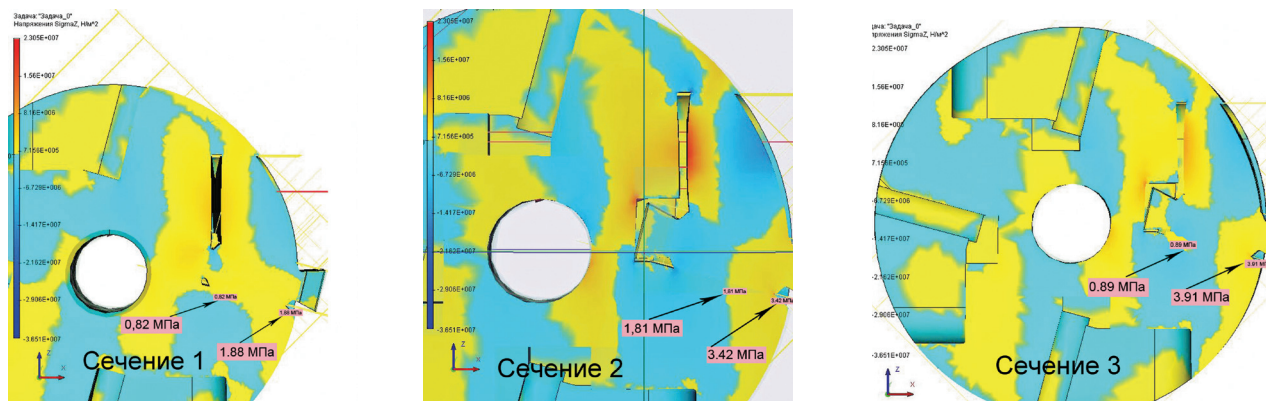


Рис. 10. Напряжения в зоне контакта опорной плоскости пластины и гнезда для конструктивного исполнения 1

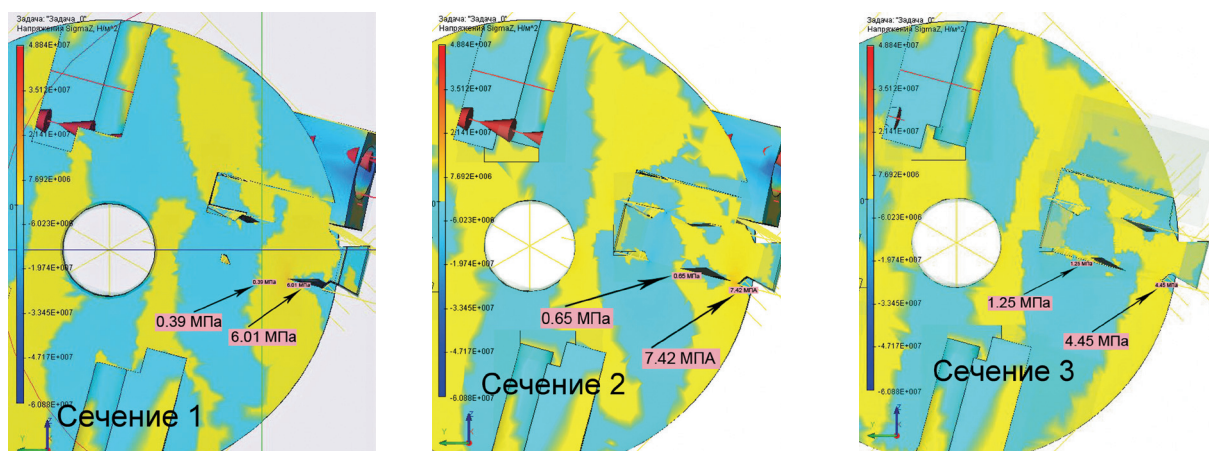


Рис. 11. Напряжения в зоне контакта опорной плоскости пластины и гнезда для конструктивного исполнения 2

напряжений. Таким образом, исполнение 1 обеспечивает более надежное крепление твердосплавной пластины и имеет пониженный, в сравнении с исполнением 2, риск от воздействия на ее тело внутренних напряжений.

ВЫВОДЫ

Программный комплекс для конечно-элементного моделирования «Т-FLEX Анализ» является эффективным программным продуктом, позволяющим быстро и качественно производить количественную оценку напряженного состояния конструкций сборного режущего инструмента.

Использование среды «Т-FLEX Анализ» позволило произвести предметное сравнение различных конструктивных исполнений сборного резбообразующего инструмента и выбрать вариант, обеспечивающий более надежное закрепление режущих элементов в корпусе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Отт О.С.* Разработка сборных дисковых фрез с кинематическим обкаточным движением

для обработки зубчатых колес крупного модуля на станках с ЧПУ. — Диссертация к.т.н.: 05.02.07. МГТУ «СТАНКИН». — М., 2011. 155 с.

2. *Балков В.П., Каменецкий Л.И., Кирютин А.С., Негинский Е.А., Отт О.С., Пищулин Д.Н.* Современные технологические подходы при изготовлении цилиндрических зубчатых колес в условиях мелкосерийного производства и особенности расчета и проектирования зуборезного инструмента // *Металлообработка*. 2015. № 4(88). С. 2–6.

Виктор Павлович БАЛКОВ —
заместитель генерального директора
ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»

Владислав Георгиевич БОРОВСКИЙ —
заведующий отделом ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»

Леонид Исарьевич КАМЕНЕЦКИЙ —
заведующий отделом ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»

Евгений Анисимович НЕГИНСКИЙ —
заместитель генерального директора
ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»