

Н.А. ДЕМИНА, Государственный Таврический агротехнологический университет, г. Мелитополь, **Н.А. ТКАЧУК**, докт. техн. наук, НТУ „ХПИ”

МЕТОД ОБОБЩЕННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

Описано теорію узагальненого параметричного опису елементів штампової оснастки. Запропоновано структуру спеціалізованих систем автоматизованого аналізу напружено-деформованого стану елементів штампів

The theory of generalized parametrical description of elements of the stamp rigging is described. The structure of specialized systems of the automated analysis of stressed and deformed state of stamps elements is offered.

Введение. Решение задачи определения напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки, описанное в [1-8], в условиях реального проектирования необходимо проводить в большом количестве. Это обусловлено как многообразием номенклатуры, формы и размеров штампуемых деталей, так и характером самого процесса проектирования, требующего даже в ходе разработки одного штампа, пакета или набора режущих элементов моделирования поведения в процессе штамповки многих вариантов конструктивного исполнения элементов штамповой оснастки (ЭШО). Более того, решение формально поставленной задачи синтеза элементов штамповой оснастки в любом варианте требует многократного решения задачи анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) на каждом из этапов поиска оптимального решения.

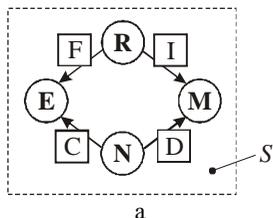
В связи с указанными обстоятельствами традиционная схема исследований (рис. 1, а) составляет или полностью, или в качестве какой-то своей части элемент проектирования, причем на каждом этапе требуется исследование текущего варианта S_i (рис. 1, б). Поскольку в настоящее время цикл проектирования предельно сжат во времени, то возникает задача максимальной автоматизации каждого цикла исследований S с целью сокращения общего времени разработки конструкции, решение которой описано в данной статье.

Постановка задачи. Необходимо отметить следующие особенности элементов штамповой оснастки, отличающие их от других механических систем.

1. **Математическая модель** напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки характеризуется: нелинейностью основных соотношений, обусловленной описанием условий контакта; неопределенностью величины и закона распределения нагрузки в сопряжении элементов штампов; изначально присущей математической модели формальной параметризацией.

2. **Геометрическую модель** ЭШО отличает: многообразие конструкций штамповой оснастки (реальных штампов и их элементов); достаточно высокая степень параметризации при описании геометрии в современных системах авто-

матерIALIZED проектирования; отсутствие в то же время достаточно разработанного аппарата параметрического описания структур, состава и геометрической формы элементов штамповой оснастки; наличие многочисленных проблем при передаче данных из одной CAD-системы в другую, потеря параметричности при такой передаче, а также сквозная ассоциативность при использовании нескольких CAD-систем (при том, что в настоящее время на практике даже в пределах одного предприятия возможно использование нескольких типов САПР).



R, M, N, E – реальный объект и его математическая, численная, экспериментальная модели соответственно;
I, D, C, F – этапы идеализации, дискретизации, верификации и физического моделирования соответственно

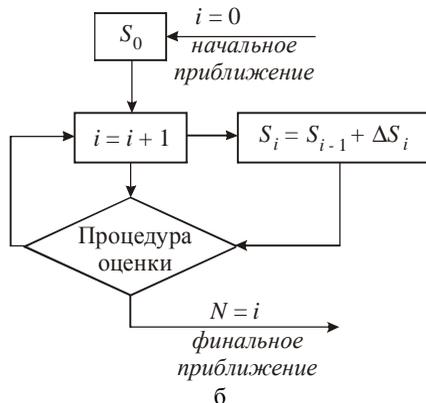


Рис. 1. Цикл исследований элементов штамповой оснастки как составной элемент синтеза оптимальной конструкции разделительного штампа

3. Для **конечно-элементной модели** свойственно: наличие большого количества прямых трансляторов геометрической информации из CAD в CAE-системы; наличие разнообразных встроенных „мешэров” (программ, совершающих разбивку исследуемой области на конечные элементы), которые обладают определенной степенью управляемости, автоматизации и параметризации, однако сопровождающейся отсутствием управляемости качеством разбивки, особенно для области сложной формы.

4. В **экспериментальной модели** элементов штамповой оснастки можно выделить: наличие достаточно большого массива экспериментальных данных, полученных различными методами и зафиксированных на разных типах носителей; отсутствие при этом единого формата описания экспериментальных и численных моделей для верификации основных свойств расчетной модели ЭШО по данным экспериментальных исследований.

Отмеченные проблемные особенности требуют привлечения подходов, которые обеспечивают автоматизацию проведения исследований элементов штамповой оснастки. В наибольшей степени этим требованиям отвечает метод обобщенного параметрического описания сложных механических систем [9, 10]. Однако с учетом присущих ЭШО особенностей необходима адаптация данного подхода к определенному классу исследуемых объектов. Она состоит в

том, что при проектировании реальных разделительных штампов этапы верификации (этап С на рис. 1, а) численной модели N по результатам экспериментального исследования можно вынести за рамки процедуры многовариантных исследований (см. рис. 1, б), проведя его в самом начале использования моделей разных уровней. Кроме того, поскольку математическая модель формально параметризуема достаточно просто, то основное внимание следует уделить этапам создания геометрической и конечно-элементной моделей наиболее ответственных и нагруженных элементов штампов. При этом необходимо учесть, что существующие CAD/CAE-системы, реализующие методы геометрического и конечно-элементного моделирования, уже обладают мощными средствами анализа. Таким образом, требуется обеспечить достаточную универсальность, управляемость и двунаправленную параметричность геометрической и конечно-элементной моделей.



Рис. 2. Этапы создания современных машиностроительных конструкций и элементов штамповой оснастки для их изготовления

Метод обобщенного параметрического описания элементов штамповой оснастки. Анализ показывает, что процесс создания современных машиностроительных конструкций представляет собой (рис. 2) единый цикл взаимосвязанных этапов. При этом на всех этапах производится интенсивный обмен информацией. Важной особенностью этой информации, как отмечалось выше, является ее двунаправленность и итерационный многошаговый характер уточнения на основе решения глобальных и локальных задач анализа, синтеза, оптимизации и компромиссов. Например, изменение конструкции того или иного узла или детали проектируемого объекта на любом из этапов проектирования влечет необходимость изменения соответствующего элемента технологической оснастки или технологических режимов обработки. И наоборот, любые технологические ограничения на любом из этапов технологической подготовки производства предполагают изменение конструкторской документации на детали проектируемого основного изделия. Для оперативного обеспечения такого типа связей в системах автоматизированного проектирования высокого уровня используются

принципы *параметричности* и *ассоциативности*.

В современных условиях процессы проектирования, конструирования, изготовления и исследования элементов современных машиностроительных конструкций представляются совокупностью CAD/CAM/CAE/PDM – систем, интегрированных в той или иной степени в составе единой системы (рис. 3).

Для современных компьютерных систем характерно соединение функций CAD, CAE, CAM, PDM – систем в интегрированных CAD/CAE/CAM/PDM – системах с единой базой данных (см. рис. 3). При этом тенденция эта является ведущей (примеры: Pro\ENGINEER, UniGraphics, CATIA, SolidWorks). Данное соединение приносит очевидные преимущества: беспроблемный обмен данными; оперативность; сквозная параметричность; ассоциативность; возможность создания внутренних оптимизационных процедур, включая математическое моделирование физических процессов; расширение базы параметров (наряду с геометрической частью появляется часть, содержащая негеометрическую: нагрузки, напряжения, технологические параметры и т.д.); возможность комплексного решения проблемы создания сквозной автоматизированной системы в цепи “проектирование – конструирование – исследование – изготовление – управление проектом – управление документооборотом”; возможность создания (с учетом блочно-модульной структуры и наличия средств интеграции) системы автоматизированного проектирования, исследования, изготовления (САПИИ) с учетом специфических потребностей того или иного предприятия (т.е. “закрытие” потребностей предприятия с поставкой САПИИ “под ключ”).

Однако основным недостатком универсальных систем автоматизированного проектирования высокого уровня является *неучет специфики* конструкций штамповой оснастки, а также отсутствие в этих системах средств описания *трудноформализуемой специальной информации*. Это относится в первую очередь к этапу технологической подготовки производства (см. рис. 2), в том числе элементов штамповой оснастки, который в силу исторически сложившихся причин является наименее автоматизированным этапом в процессе создания современных машиностроительных конструкций.

Как показывает анализ, при создании систем автоматизированного проектирования, исследования и изготовления элементов штамповой оснастки, которые позволяют использовать широкие возможности и инструментарий



Рис. 3. Схема обмена информацией в единой интегрированной CAD/CAM/CAE/PDM-системе

современных систем автоматизированного проектирования высокого уровня и избавленных от их основных недостатков, необходимо удовлетворение следующим требованиям: оперативность; учет специфики технологического оборудования отечественных предприятий; низкая стоимость; параметричность; наличие специальных модулей; функциональный интерфейс; двусторонняя взаимосвязь и возможность оказывать влияние проектанта на процесс проектирования в любой момент; выход на внешний способ верификации используемых при исследованиях расчетных моделей.



Рис. 4. Схема взаимодействия элементов САПИИ

С другой стороны, анализ структуры современных интегрированных систем автоматизированного проектирования, изготовления и исследования показывает, что они организованы на основе модульного принципа построения (рис. 4). На рис. 5 приведена схема структуры данных в системе автоматизированного проектирования, исследования, изготовления. Анализ схем на рис. 4, 5 показывает, что в данных системах присутствует несколько ключевых элементов, определяющих как возможности той или иной системы в целом, так и эффективность обработки и обмена информацией с другими системами. При этом *центральным звеном* большинства систем является *математическое ядро*, определяющее технологию работы с основной первичной геометрической информацией. *Основная форма* хранения информации задается используемым *форматом хранения данных* в единой БД. Соответственно при генерации расчетных моделей используются те или иные *генераторы сеточных разбиений* и *форматы* хранения *конечно-элементных моделей*.

Для обеспечения автоматизированного компьютерного моделирования элементов штамповой оснастки возможны несколько путей: полномасштабная разработка *оригинальной* специализированной системы; разработка специаль-

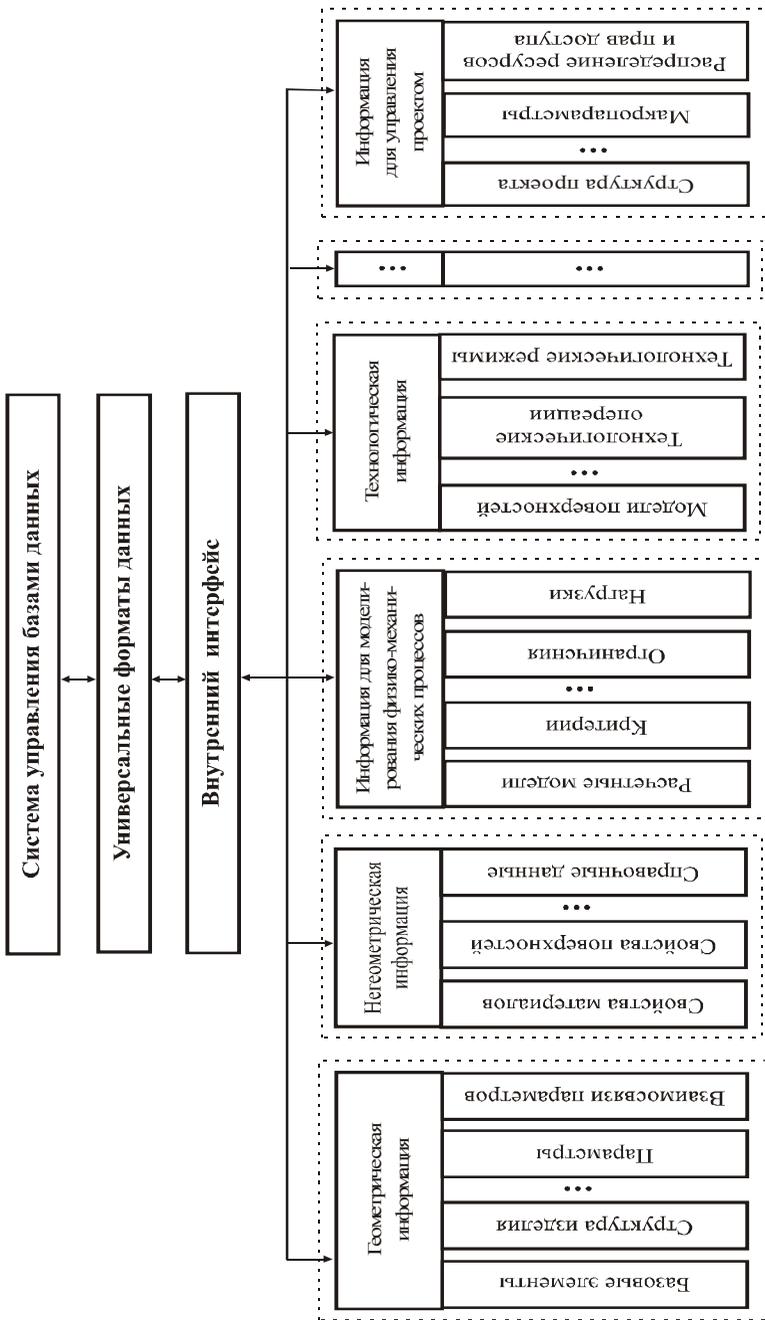


Рис. 5. Структура организации данных в интегрированных системах автоматизированного проектирования, исследования и изготовления

ных модулей в составе универсальной системы; создание автономных специализированных модулей, ориентированных на проектирование того или иного класса конструкций; создание специализированных модулей анализа и синтеза ЭШО, которые могут работать как автономно, так и в режиме интегрирования, причем как со специализированными, так и с универсальными системами (рис. 6). Последний вариант в силу отмеченных преимуществ избран в качестве базового.

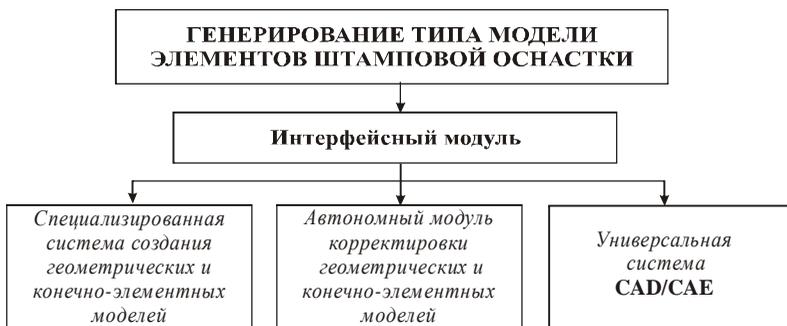


Рис. 6. Специализированная интегрированная система автоматизированного анализа и синтеза элементов штамповой оснастки

Основная идея адаптации расширенного параметрического подхода [9, 10] состоит в том, что реализованный в CAD/CAM/CAE – системах обычный параметрический подход при использовании специализированных моделей может быть расширен. Действительно, в пределах этих модулей удобно организовать не только тривиальную параметризацию, но и принять в качестве обобщенных параметров, например, структуру расчетной модели, конструктивное решение, тип конечно-элементной разбивки, способы реализации сопряжения элементов штамповой оснастки. При этом не требуется создания специального метаязыка, формализующего указанное описание модели. Для того или иного ЭШО, исходя из опыта проектирования, изготовления и исследования, строится внутренний алгоритм, который по простому набору входных данных производит построение набора конструкций на языке команд CAD/CAM/CAE/PDM – систем высокого уровня для создания соответствующей модели (рис. 7).

Предложенная схема дает возможность не только оперировать со сложноформализуемыми данными, но также учитывать сложные системы связей между ними. Это, в свою очередь, позволяет организовать целенаправленного перебора вариантов исследуемых объектов (см. рис. 7). Важнейшей особенностью и преимуществом предложенного подхода является *нечувствительность к типу, виду и составу* множества P_0 . Таким образом, в качестве обобщенных параметров могут выступать не только количественные

(как в традиционном подходе), но и качественные параметры. Кроме того, сам состав множества P_0 может быть обобщенным варьируемым параметром. При этом важно то, что при использовании данной технологии не требуется переработки создаваемой специализированной интегрированной системы автоматизированного анализа и синтеза. Специальный модуль *встраивается* в уже функционирующую систему и придает ей *новые качества*.

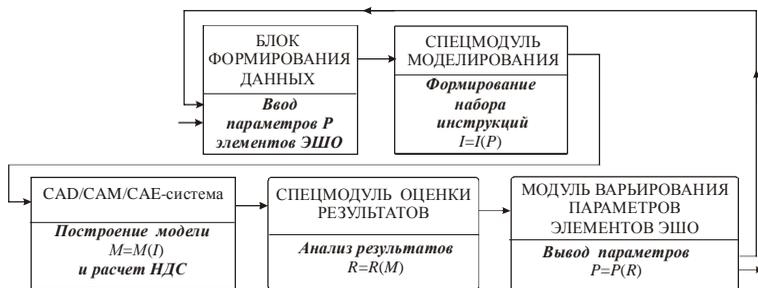


Рис. 7. Расширенный параметрический подход в процессе проектирования, исследования и изготовления элементов штамповой оснастки

Предлагаемая структура специализированной системы для анализа напряженно-деформированного состояния и синтеза элементов штамповой оснастки представлена на рис. 8.

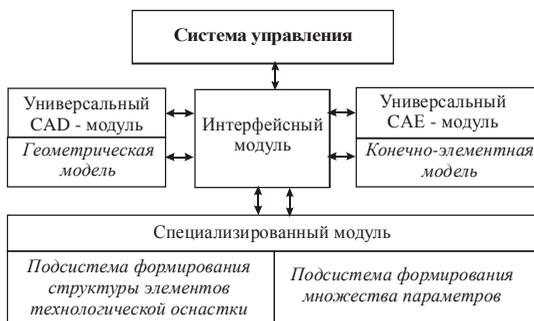


Рис. 8. Структурная схема специализированной интегрированной системы автоматизированного исследования элементов технологической оснастки

Характерной особенностью предложенной методики является использование расширенного параметрического подхода. Под параметрами в данном случае понимаются и конструктивные, и технологические, и эксплуатационные параметры, а также характеристики внешних воздействий, особенности конечно-элементной сетки и т.д. Специализированный модуль настроен на определенный класс конструкций. При изменении этого класса требуется только изменение подсистемы формирования структуры исследуемой конструкции. Ис-

пользование расширенного параметрического подхода предполагает при этом формирование в специализированном модуле характеристик геометрической формы, параметров технологического оборудования, действующих нагрузок и т.д. С использованием команд универсальных систем и исходных данных от специализированного модуля производится построение геометрической и конечно-элементной моделей исследуемых объектов. Благодаря специальному интерфейсному модулю обеспечивается двусторонняя связь по параметрам, а значит, и направленный многовариантный расчет характеристик напряженно-деформированного состояния. Дополнительно достигается оперативность, учет специфики исследуемого класса объектов, низкая стоимость исследований. Кроме того, специализированный модуль позволяет формировать данные для верификации расчетных моделей исследуемых объектов по результатам экспериментальных исследований.

Заклучение. Предложенная адаптация метода обобщенного параметрического описания применительно к элементам штамповой оснастки является замыкающим звеном, позволяющим объединить метод конечных элементов, метод пространственного геометрического моделирования, а также процедуры и алгоритмы синтеза элементов штамповой оснастки в единой комплексной математической модели. Предложена также общая структура реализации данного подхода, конкретизированная в [1-8] в виде специализированного программно-модельного комплекса.

Список литературы: 1. Гоголь Н.А., Ткачук Н.А., Назарова О.П. Моделирование напряженно-деформированного состояния элементов штампов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАА, 2005. – Вип.31. – С.103-108. 2. Гоголь Н.А., Назарова О.П., Ткачук А.В., Кохановская О.В. К задаче формирования расчетных элементов технологических систем листовой штамповки // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Динамика и прочность машин”. – 2005. – №47. – С.50-60. 3. Ткачук Н.А., Грищенко Г.Д., Липовецкий Л.С., Глуценко Э.В., Гоголь Н.А. Методика экспериментального исследования элементов механических систем методом голографической интерферометрии // Механіка та машинобудування. – 2005. – №1. – С.88-99. 4. Гоголь Н.А. Влияние конструктивных и технологических параметров на напряженно-деформированное состояние матриц штампов холоднолистовой штамповки // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР. – 2005. – №60. – С.68-76. 5. Демина Н.А., Назарова О.П., Чепурной А.Д., Бараников Я.Н. Численное моделирование процесса холоднолистовой штамповки // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР. – 2006. – №3. – С.70-79. 6. Демина Н.А. К вопросу моделирования напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №24. – С.75-83. 7. Демина Н.А., Ткачук А.В., Пеклич М.М., Подобедов В.В. К вопросу о влиянии высоты матрицы штампа для вырубki-пробивки на ее деформированное состояние // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР. – 2006. – №33. – С.28-33. 8. Демина Н.А., Назарова О.П., Ткачук А.Н. Контактное взаимодействие в сопряжении „пуансон – штампуемый материал – матрица” // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР. – 2007. – №23. – С.39-48. 9. Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Малакей А.Н., Грищенко Г.Д., Орлов Е.А. Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения. // Механіка та машинобудування. – 2005. – № 1. – С.184-194. 10. Ткачук Н.А., Грищенко Г.Д., Чепурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Механіка та машинобудування. – 2006. – №1. – С.57-79.

Поступила в редколлегию 21.10.2007