

## Разработка проектирующей системы для синтеза технологической оснастки импульсных процессов взрывной штамповки

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

Применение новых подходов к проектированию современных технологических процессов диктует использование оригинальных ресурсосберегающих импульсных технологий на простейшем оборудовании (рис.1), обеспечивает решение задач технической подготовки производства в сжатые сроки.

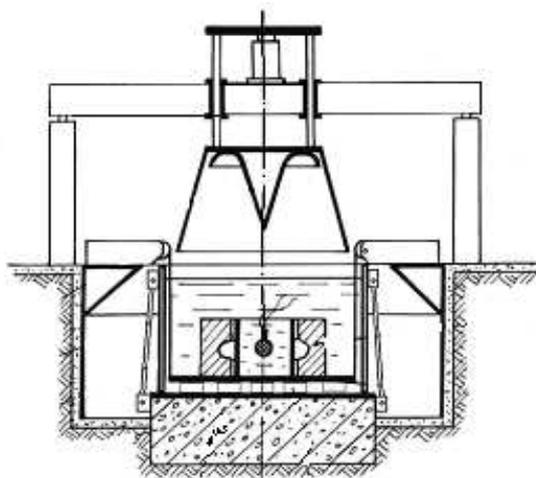


Рис. 1. Схема оснастки и оборудования для штамповки обечаек

Применение современных технологий импульсной штамповки (в том числе взрывной) на базе комплексного подхода к знаниям, накопленным наукой и производством за счет использования новейших математических методов и компьютерных технологий, позволяет значительно снизить сроки изготовления деталей, свести к минимуму материальные и временные затраты на подготовку производства и само производство.

Наиболее эффективен метод импульсной штамповки для отраслей оборонного комплекса. Так, производство аэрокосмической и авиационной техники, как правило, мелкосерийное и отличается частой сменой объектов производства, а предъявляемые требования к качеству деталей очень высокие.

В настоящее время хорошо разработаны основы оптимизации параметров импульсного нагружения заготовки, поскольку большинство научных исследований были направлены на определение параметров операционной технологии и режимов обработки.

Маршрут техпроцесса, исходная схема штамповки, схемы оснастки и термообработки назначались интуитивно, по сложившейся практике на предприятии.

В настоящее время на базе объектного подхода разрабатываются формализованные методы автоматизированного проектирования технологичес-

ких процессов и оснастки для взрывной штамповки с использованием метода синтеза технических решений [1].

В проектируемой системе проектирования оснастки используется методология объектно-ориентированного проектирования. В качестве объектов выступают сборочные единицы, узлы и элементы оснастки [2].

Состояние объекта характеризуется перечнем его свойств и текущими значениями каждого из этих свойств. Функции объектов определяются набором правил, описываемых с помощью модулей инженерных знаний, объединенных в методы.

Для описания технологических знаний используются принципы объектного представления знаний. При этом математическая модель детали описывается в понятиях конструкторско-технологических элементов, которые обладают иерархической структурой, состоящей из нескольких уровней элементов. Каждый элемент, так же как и деталь представляют собой объект со своим набором свойств. При описании детали используются достаточно простые инженерные термины и их значения, что делает процесс легким и доступным для технологов.

Математическая модель проектирования импульсных технологических процессов представляется в виде иерархической классификации: метод обработки, этап обработки, операция, переход. Метод обработки складывается из этапов, этапы — из операций, операции — из переходов.

Проектирование ТП и оснастки состоит из двух фаз: структурного и параметрического синтеза. Структурный синтез (рис. 2) устанавливает последовательность элементов на соответствующем уровне. При параметрическом синтезе формируются свойства элементов [3]. При разработке технологического процесса и элементов оснастки на уровне структурного синтеза могут быть использованы методы распознавания образов.

Процессы проектирования технологии и оснастки тесно взаимосвязаны и дополняют друг друга в условиях недостаточности информации на начальной стадии.

Проектирование начинается "сверху", принятые решения в дальнейшем детализируются "вглубь". В случае возникновения неопределенности на каком-то уровне проектирование идет "снизу", и при достижении уровня проверяются совместимость принятых решений и их коррекция.

На первом этапе определяют схему штампа, дающую представление о составе, типе и характере взаимодействия основных компонентов. Например, в штампе для изготовления обечаек это матрица, корпус, бандаж, фиксирующие элементы. Далее представлен к рассмотрению алгоритм выбора штампа для задачи обечаек.

Создание программных модулей для различных технологических операций позволяет делать их максимально удобными с точки зрения интерфейса с пользователем, значительно сократить объем входной информации.

Аналогичные результаты получены и для других видов штамповочных операций: вытяжки, обжима и т.д.).

Типовые конструктивные схемы устанавливают на основе системного анализа данных промышленного эксперимента и информационно-справочной литературы. Проектные процедуры выбора конструктивных схем штампа оформлены в виде бинарных деревьев решений.

На каждом этапе проектирования выбираются приоритетные решения,



Рис. 2. Схема реализации метода синтеза с использованием элементов-аналогов

которые могут корректироваться проектировщиком в зависимости от внешних условий и связей. В системе предусматривается возможность возврата на любой уровень проектирования для внесения поправок в данные и коррекции принимаемых решений.

На первом этапе проектирования определяется материал штампа и осуществляется оценка его прочностных свойств и габаритных размеров для выбора заготовки для штампа. Оценка производится с учетом анализа напряженно-деформированного состояния штампа от действия внешней нагрузки при выбранной толщине стенки матрицы.

Для расчетов разработана упрощенная методика [4], обеспечивающая необходимую инженерную точность. Выбор материала штампа обусловлен следующими факторами: прочностью, толщиной штампуемого материала, параметрами нагружения заготовки, программой выпуска, конфигурацией детали, видом образующей поверхности детали, другими факторами.

В качестве обобщенной характеристики, обуславливающей прочность матрицы, принято импульсное давление на стенку матрицы, передаваемое через деформируемую заготовку:

$$P(t) = B \cdot P e^{\frac{-t}{\theta}},$$

где  $t$  - параметр времени, а  $\theta$  - время понижения максимального давления в  $e$  раз.

Значение коэффициента  $B$  колеблется от 1,0 для калибровочных операций до 0,4 - 0,5, когда выполняется первый переход и существенен прогиб заготовки (т.е. расстояние от заготовки до формирующей поверхности штампа).

Зависимость для определения толщины матрицы с учетом вышесказанного и проведенных ранее исследований представлена в таком виде:

$$K_m = \left(1 - \frac{4 \cdot B \cdot P_m \cdot C \cdot \theta}{[\sigma] \cdot \sqrt{(C \cdot \theta)^2 + 0.8 \cdot r}}\right)^{-1/2}, \quad (1)$$

где  $C$  - скорость звука в металле;  $r$  - внутренний радиус матрицы;  $[\sigma]$  - допускаемые напряжения, Па.

Формулу (1) можно преобразовать к виду

$$K_M = \left(1 - \frac{B \cdot P_m}{[\sigma]} \cdot F\right)^{-1/2}, \quad (2)$$

где  $F = 4\left[1 + 0,8\left(\frac{r}{C \cdot \theta}\right)^2\right]^{-1/2}$ .

Значение коэффициента после анализа типовой номенклатуры деталей, штампуемых взрывом из обечаек, принято равным  $F=3$ .

После преобразований и упрощений для оценки относительной толщины на верхних уровнях проектирования используют зависимость

$$K_M = \sqrt{\frac{\sigma_s}{\sigma_s - 3 \cdot B \cdot N_s \cdot P_m}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_s$  - предел текучести материала оснастки;

$N_s$  - коэффициент запаса прочности.

Величина  $N_s$  обусловлена рядом факторов, присущих используемому технологическому процессу (виду операции), оснащению (конфигурации внутренней поверхности матрицы, качества ее обработки), и определяется по зависимости

$$N_s = N_n \cdot N_o \cdot N_r,$$

где  $N_n$  - коэффициент, учитывающий количество взрывов на величину партии штампуемых деталей;

$N_o$  - коэффициент, учитывающий поверхностную обработку зеркала штампа;

$N_r$  - коэффициент, учитывающий геометрию детали и наличие концентраторов напряжений.

Значения коэффициента запаса прочности таковы:  $N_s = 1,5 - 3$ .

Выработаны рекомендации по выбору материала и оценке толщины стенки матрицы и соответствующий алгоритм (рис. 3). Вначале проверяют возможность получения детали методом взрывной штамповки с учетом ограничений по прочности оснастки.

Так, при штамповке относительно толстых ( $t/r = 0,1$ ) заготовок из высокопрочных материалов ( $\sigma_b > 600$  МПа) прочность штамповой оснастки при реализации техпроцесса будет лимитирующей.

Поэтому предусмотрена корректировка ТП, отражающая изменение метода штамповки (например, реализовав штамповку нагретых заготовок).

Из соображений минимальной металлоемкости относительная толщина матрицы принимается  $K_M = 1,4$ . При этом требуемое значение предела текучести для выбираемого материала матрицы должно быть  $\sigma_s = 6 \cdot P_m \cdot N_s$ , по величине которого и выбирается материал из банка данных с учетом его стоимости и наличия на предприятии. На рис. 3 представлена блок-схема выбора материала штамповой оснастки.

Марка материала для штампа рекомендуется программно. После выбора марки материала производится поиск его в банке данных и определяются его характеристики ( $\sigma_s$ ).

Банк данных по материалам является открытым и может пополняться непосредственно во время работы с программой.

В дальнейшем оценивается величина относительной толщины матрицы  $K_m$  по формуле (3). Если  $K_m > 2$ , то необходимо другое конструктивное решение штампа (например матрица составная с бандажом) или корректируется техпроцесс (снижается величина заряда на переходах, а количество переходов увеличивается).

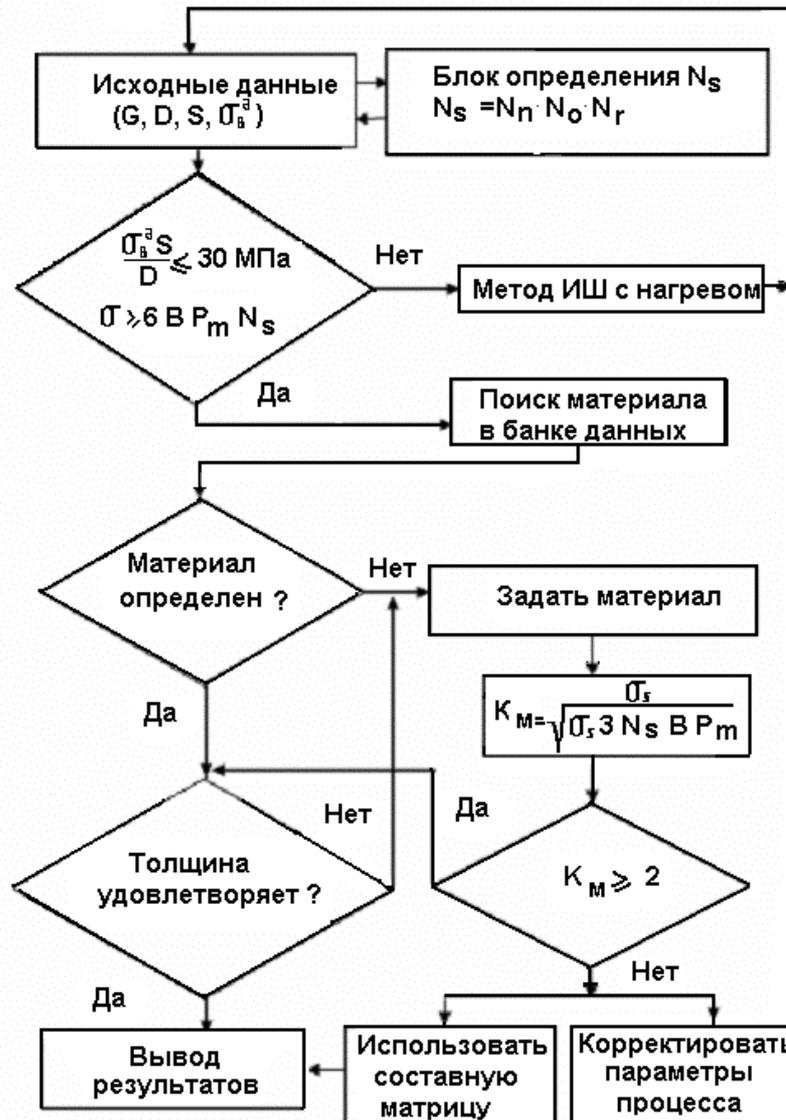


Рис. 3. Блок-схема выбора материала штамповой оснастки.

При построении дерева решений для выбора типовой схемы штампа (рис. 4) установлены логические связи, обуславливающие принимаемые решения, и приоритетные признаки, по которым проектируемый штамп относится к определенному множеству, а также пороговые значения выбранных приоритетных признаков.

На первом уровне абстрагирования массив разделен на две группы оснасток по виду взрывной штамповки и типу оборудования для ее реализации.

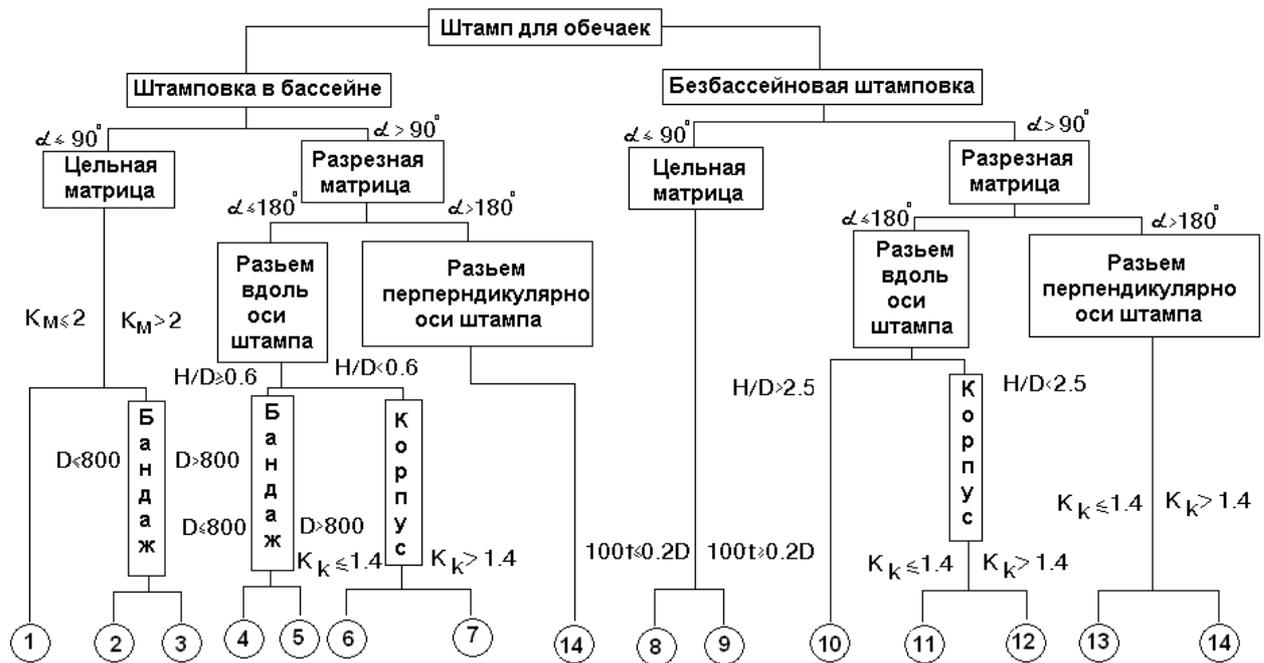


Рис. 4. Схема выбора схемы штампа для штамповки обечаек.

Цельность матрицы обусловлена наличием полостей у детали и их параметрами, определяющими функциональное свойство извлекаемости детали из матрицы.

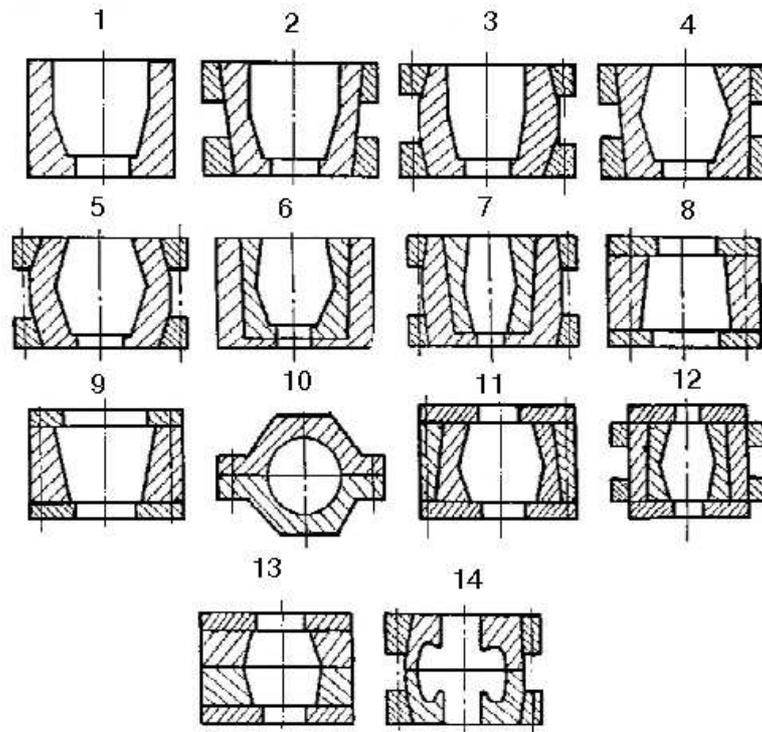


Рис. 5. Типовые схемы оснастки для штамповки обечаек

Для выбора плоскости разъема (горизонтальная, вертикальная) также определены приоритеты с учетом свойства фиксации заготовки.

Тип элементов оснастки, обеспечивающих свойство цельности, определяется габаритами матрицы, высотой и толщиной стенки, программой выпуска, типом оборудования, режимами обработки, используемыми методами получения компонентов (поковка, литье, прокат) и их материалом.

Прохождение по дереву решений обеспечивает выбор приоритетной типовой схемы штампа (рис. 4, 5) и определение массы штампа. В дальнейшем полученное решение можно корректировать в зависимости от производственных условий.

По данной методике отработана эффективная взрывная технология и изготовлена оснастка для раздачи конических заготовок при получении оживал (рис. 6). К деталям такого типа предъявляются высокие требования по точности поверхности.



Рис. 6. Оснастка и детали, изготовленные методом штамповки взрывом

Сопрягаемые детали должны быть эквидистантными, и по каналам между ними прокачивается жидкость, снимающая тепловой поток сопел, например ракетных двигателей.

Существующие методы получения конусообразных деталей на прессах с использованием секционных пуансонов непригодны из-за значительной огранки рабочей поверхности детали.

Метод раскатки сопел на импортном оборудовании по специальной программе также требует последующей калибровки полученных поверхностей. Стоимость такого оборудования для раскатки достаточно дорогая.

Точность рабочих поверхностей отштампованных оживал выше, чем у полученных методом раскатки на два качества (с 14-го до 12-го).

Отработана технология и изготовлена оснастка для деталей газотурбинных двигателей, на рабочих поверхностях которых имеются различные рифты, пуклевки, фрагменты, обеспечивающие существенное повышение жесткости тонкостенных деталей из листа.

Фрагменты используются в основном для крепления различных датчиков, контролирующих параметры газового потока.

Ранее фрагменты изготавливали на прессовом оборудовании, в детали вырезали соответствующие окна и вваривали эти фрагменты на генеральную форму.

Длина сварных швов на детали достигала десятка метров. Для такого типа деталей также отработана эффективная технология и изготовлена соответствующая оснастка [5].

Данная методика расчета может быть использована при проектировании ресурсосберегающих импульсных технологий для изготовления крупногабаритных листовых деталей перспективной номенклатуры.

### **Список литературы**

1. Особенности объектно-ориентированного представления знаний импульсных технологий в интеллектуальных проектирующих системах / В.В. Третьяк, В.Ю. Гранин, И.В. Скорченко // КШП. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением: Науч.техн. и производственный журнал.- №12'06. - С. 33 - 36.

2. Объектный подход к проектированию ресурсосберегающих импульсных технологий / В.В.Третьяк В.В. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006.- №3 (29). - С. 26 - 31.

3. Расчет импульсного нагружения объектов технологической системы / В.Я. Зорик, В.В. Третьяк, А.Ю. Комаров // Авиационно-космическая техника и технология.- 2007.- №7 (43). - С. 8 - 11.

4. Проектирующие системы для технологического оснащения взрывной штамповки / В.Я. Зорик, В.В. Третьяк // Импульсная обработка давлением. Межвуз. тем. сборник. - 1997. – С. 31 - 37.

5. Методы проектирования технологических процессов взрывной штамповки для получения листовых деталей / В.Я. Зорик, В.В. Третьяк, В.П. Павиченко, И.В. Скорченко // Авиационно - космическая техника и технология. 2007.- №11 (47). - С. 255 - 261.