

# РАЗРАБОТКА CAM-SYSTEM ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХПРОЦЕССА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

## CAM-SYSTEM DEVELOPMENT TO DO TECHNOLOGY DESIGN TO PROJECT SHEET-METAL STAMPING TECHNOLOGY PROCESS

проф. к. т. н. Пучков В., доцент к. т. н. Лазарева А., доцент к. т. н. Троицкий А.,  
доцент к. т. н. Прис Н., ас. Жилина Т.  
Арзамасский политехнический институт – Арзамас, Нижегородская область, Россия

**Abstract:** Degree work on a theme “CAM-system development to do technology designs to project sheet-metal stamping technology process” is done according to the task. While processing sheet-metal stamping technology process empirical dependences are used from various directories, which do not take into consideration many important factors. In many cases it is necessary to manufacture such rig which extends the terms and increases the cost of the preparation of manufacturing the given part. In the computing system the forms (the subsystem) are created. They allow to solve the problems which demand difficult calculations of technological parameters of sheet-metal stamping technology.

**Keywords:** SHEET-METAL STAMPING, TECHNOLOGY DESIGNS, TECHNOLOGICAL PARAMETERS, COMPUTING SYSTEM, WINDOWS FORMS

### 1. Введение

CAM – system (computer aided manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) еще называют системами технологической подготовки производства.

Листовая штамповка – это один из видов холодной штамповки, которая является одним из прогрессивных методов получения узлов и деталей в различных отраслях промышленности особенно таких, как автостроение, самолетостроение, приборостроение, электрическая промышленность и другие.

Специфической особенностью процесса холодной штамповки является высокая стоимость инструмента – прессов и штампов, а также материала. Эти факторы предъявляют особо жесткие требования к качеству разработки технологических процессов.

Листовая штамповка применяется для изготовления изделий из листового материала. При ее использовании выполняются:

- разделительные операции (обрезка, вырубка и другие), предназначенные для получения заготовки из листа;
- формообразующие операции, при которых стремятся получить заданную величину деформации, чтобы заготовка приобрела требуемую форму. Одна из основных формообразующих операций – это вытяжка.

CAM – system разрабатывается для математического моделирования сложного технологического процесса изготовления одной из типичных деталей на производстве – детали типа цилиндр, которая изготавливается вытяжкой в инструментальном штампе. В качестве среды программирования выбрана Visual C++ 2005 – Windows Forms (формы Windows). Windows Forms считается современной альтернативой прежних методов создания Windows-приложений, таких как использование Win 32 API, а также программирования на C++ с использованием классов MFC.

### 2. Предпосылки и средства для решения проблемы

Проектирование технологических процессов первой и последующих операций вытяжки в штампах осесимметричных деталей из плоской заготовки включают следующие этапы:

- определение размеров плоской заготовки;
- определение количества операций вытяжки;
- определение силы обработки заготовки, выбора прессового оборудования и проектирования штампов.

Определение силы обработки заготовки является сложной математической задачей, решение которой сводится к решению упругой и пластической задачи для кольца методом конечных элементов (МКЭ).

Алгоритм расчета по МКЭ следующий:

1. Задание исходных размеров и механических свойств заготовки.
2. Разбиение заготовки на конечные элементы, назначение и расчет координат узлов, в которых необходимо определить перемещения.
3. Определение зависимостей между силами и перемещениями в узлах элемента, то есть, вычисление локальных матриц жесткости и вектора узловых сил для каждого конечного элемента.
4. Составление полной системы линейных алгебраических уравнений равновесия, то есть, сборка одной глобальной матрицы жесткости и глобального вектора узловых сил для всех конечных элементов.
5. Изменение системы уравнений с учетом граничных условий в перемещениях и силах.
6. Решение полученной системы уравнений.
7. Определение компонентов напряженно-деформированного состояния (НДС) заготовки.
8. Расчет силы обработки плоской круглой заготовки.

Моделирование вытяжки цилиндрической детали из круглой заготовки по МКЭ состоит из следующих этапов:

- весь процесс формоизменения заготовки разбивается на большое количество элементарных этапов и задается малое приращение хода пуансона (или матрицы);
- с учетом напряженно-деформированного состояния и изменения толщины заготовки рассчитывается объем заготовки, который на данном этапе должен быть втянут из фланца для образования стенки детали.
- из условия постоянства объема определяются перемещения частиц на внутреннем контуре фланца, и задача сводится к решению упругой и пластичной задачи для кольца;
- анализируется опасность складкообразования или разрушения заготовки в случае такой опасности вносятся коррективы в параметры технологического процесса для устранения дефектов;
- рассчитывается новая измененная форма заготовки после данного приращения хода пуансона;
- задается следующее приращение хода пуансона, и все стадии математического моделирования повторяются.

Если на каком-то этапе вытяжки возникла опасность складкообразования или разрушения заготовки, то изменяются параметры процесса до тех пор, пока такая опасность не исчезнет.

После нескольких решений задачи методом последовательных приближений определяются рациональные режимы и диапазоны изменения параметров вытяжки для получения качественной детали без складок и разрывов при минимальном расходе листового проката и себестоимости изготовления.

### 3. Решение рассматриваемой проблемы

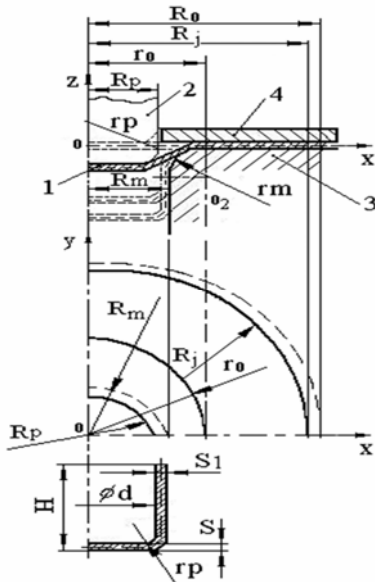


Рис. 1 – Вытяжка цилиндрической детали из круглой заготовки

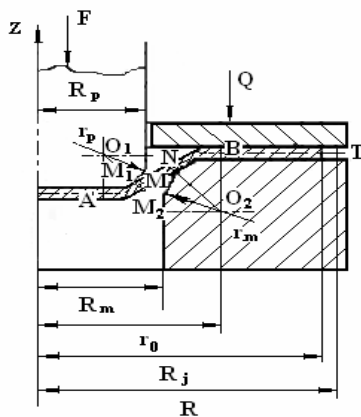


Рис. 2 – Укрупненное сечение штампа

На рис. 1 представлен  $j$ -й этап вытяжки детали из круглой заготовки. Плоская листовая заготовка 1 какой-либо конфигурации (круглая, квадратная, прямоугольная с обрезанными углами и т. п.) толщиной  $s$  укладывается на матрицу 3, которая размещена на нижней плите штампа, закрепленного на столе (стол не показан) прессы двойного действия (с двумя верхними ползунами).

Наружный ползун прессы перемещается вниз, силой  $Q$  прижимает фланец заготовки при помощи кольца штампа 4 и останавливается. Далее внутренний ползун прессы перемещает вниз пуансон 2, который и осуществляет вытяжку детали силой  $F$ . После выхода из матрицы 3 и съема с пуансона 2 деталь (стакан) с наружным диаметром  $d$ , высотой  $H$  и толщиной  $s$  (толщина в верхней части детали  $s_1$  намного больше исходной толщины  $s$ ) показана в нижней части рис. 1.

Аналогично осуществляется процесс вытяжки на прессы простого действия (с одним верхним ползуном), когда пуансон 2 закрепляется на столе прессы, матрица 3 – на

ползуне, а для прижима заготовки при помощи кольца 4 применяется пневматическая подушка прессы (схему этой вытяжки получим, если рис. 1 перевернем).

Сила вытяжки  $F$  на каждом этапе деформирования рассчитывается по формуле

$$F = 2\pi r_{gr} s_{gr} \sigma_{r_{max}} \sin \alpha,$$

где

$\sigma_{r_{max}}$  (или  $\sigma_{\rho_{max}}$ ) – максимальное растягивающее

напряжение в опасном сечении  $M_1M_2$ , которое проходит через точку  $M$  вдоль линии  $MN$  срединной поверхности заготовки (показанную на укрупненном рис 2); напряжение  $\sigma_{r_{max}}$  равномерно распределено вдоль линии  $M_1M_2$ ; точка  $M_1$  находится на границе контакта заготовки с закруглением пуансона;

$s_{gr}$  – минимальная толщина заготовки в опасном сечении  $M_1M_2$ ;

$r_{gr}$  – радиус, координирующий опасное сечение (от оси  $OZ$  до точки  $M$ );

$\alpha$  – угол между направлением действия напряжения  $\sigma_{r_{max}}$  и горизонталью (этот угол равен углу охвата заготовкой скругленных кромок пуансона радиуса  $r_p$  и матрицы радиуса  $r_m$ ).

В начальные этапы вытяжки фланец заготовки сначала деформируется упруго, и только на последующих этапах отдельные участки заготовки начинают переходить в пластическое состояние. Упругая задача для фланца заготовки сводится к решению упругой задачи для кольца.

Первая стадия вытяжки заканчивается при ходе пуансона  $h = r_p + r_m + s$ . Вторая стадия вытяжки длится от конца первой стадии до достижения силой вытяжки  $F$  максимального значения  $F_{max}$ . Третья стадия вытяжки длится от конца второй стадии до выхода края заготовки из под прижимного кольца штампа.

Если на производстве или при математическом моделировании сила  $F$  станет больше предельной величины, то необходимо остановить процесс обработки, внести в него изменения с целью уменьшения силы  $F$  и продолжить обработку заготовки до получения качественной детали.

### 4. Результаты и дискуссии

В *Visual C++ 2005 – Windows Forms* (формы *Windows*) создана вычислительная система с формами (подсистемами), позволяющими решать задачи, которые требуют трудоемких и сложных вычислений. Из огромного количества классов производимых изделий мы выбрали наиболее распространенные цилиндрические изделия без фланца с одинаковой толщиной по всей поверхности изделия

При вводе исходных данных принимаются следующие допущения: толщина заготовки принимается равной толщине детали; форма пуансона соответствует внутренней полости готовой детали; радиус скругленной кромки пуансона равен радиусу дна детали; радиус скругленной кромки матрицы равен радиусу фланца детали, а если его нет, то рассчитывается по специальной литературе.

Определение формы и размеров плоской заготовки осуществляется методом последовательных приближений с учетом изменения толщины и поверхности заготовки в процессе деформирования. Первое приближение для контура заготовки рассчитывается из условия равенства поверхностей заготовки и готовой детали с учетом припуска на обрезку

На рис. 3 представлено окно *Windows Forms* вычислительной системы для выбора решаемой задачи.

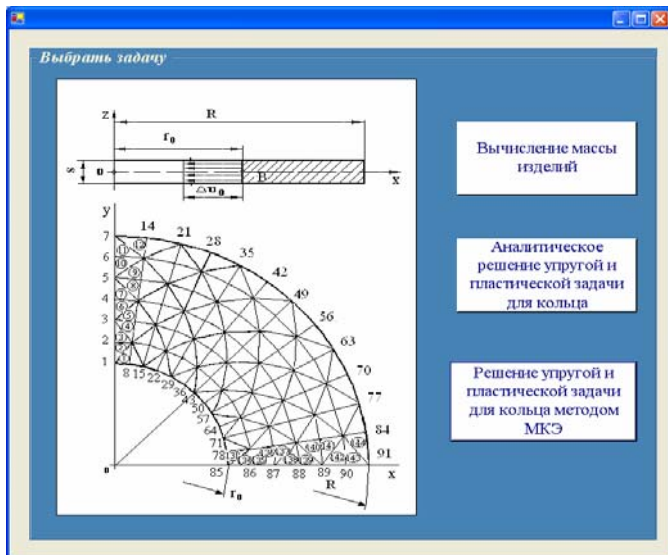


Рис. 3 – Форма вычислительной системы для выбора решаемой задачи

На рис. 4 представлена форма для расчета размеров плоской круглой заготовки и ее массы. Зная размеры заготовки, можно проводить физическое и математическое моделирование технологического процесса обработки.

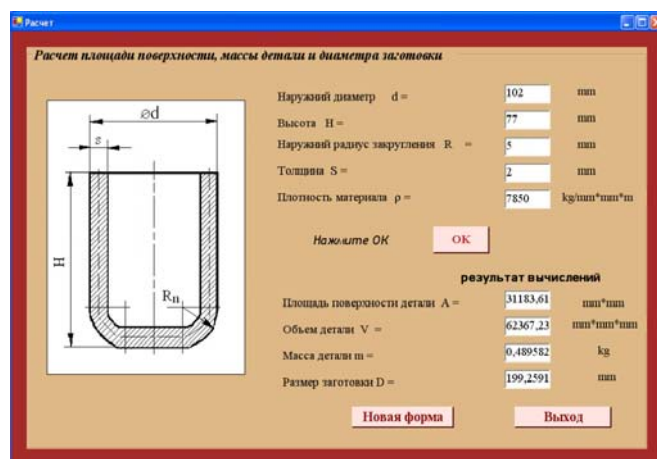


Рис. 4 – Форма в режиме выполнения с результатами вычислений

На рис. 5 представлена форма для определения количества операций вытяжки.

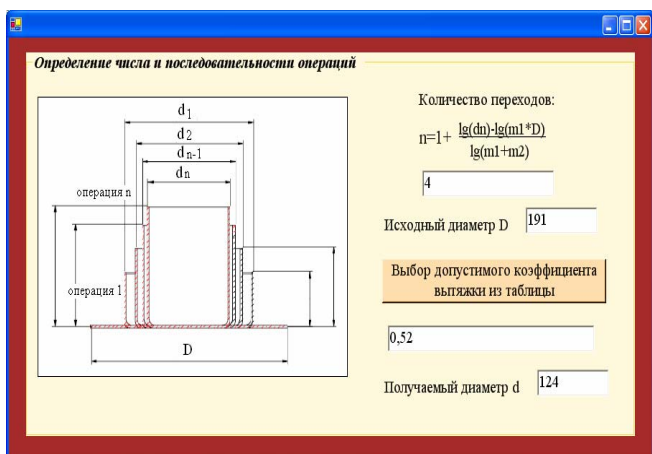


Рис. 5 – Определение количества переходов

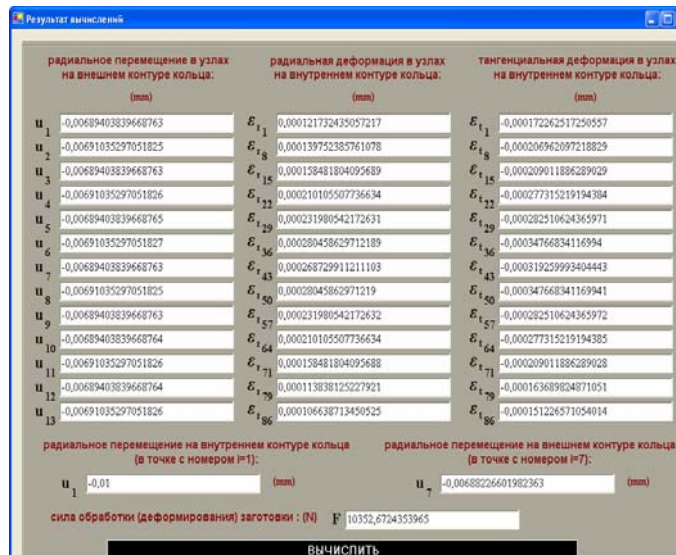


Рис. 6 – Форма вычислительной системы с результатами вычислений силы обработки заготовки

### 5. Результаты и дискуссии

Выполнен расчет параметров технологического процесса изготовления изделия из круглой заготовки при помощи математического моделирования обработки этой заготовки инструментом. Моделирование основано на аналитических решениях упругой и пластической задач теории упругости и пластичности при обработке широкого распространённых в технике заготовок типа кольца. Рассчитана динамика изменения заготовки в процессе ее обработки инструментом. Определена сила обработки заготовки для выбора технологического оборудования. Создана вычислительная система для математического моделирования, которое позволяет исключить или уменьшить дорогостоящий натуральный эксперимент при отладке нового или совершенствовании существующего технологического процесса изготовления изделия из заготовки. Система апробирована при проектировании технологических процессов листовой штамповки на машиностроительном предприятии.

### 6. Литература

1. Грегори, К. Использование Visual C++ .NET. Специальное издание; пер. с англ. /К.И. Грегори – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2002.
2. Арчер, Т., Visual C++ .NET. Библия пользователя; пер. с англ. /Т. Арчер, Уайтчелл – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2005.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 2003 г.
4. Жарков, В.А. Самоучитель Жаркова по анимации и мультипликации в Visual C++ .NET 2003. /В.А. Жарков. – М.: Жарков Пресс, 2003.
5. Справочник технолога машиностроителя Т. 1 / Под ред. А.Г. Касиловой. - М.: Машиностроение, 2006.
6. Андреев Н.Х., Зимин В.В., Коротков С.Е. и др. Производственный процесс изготовления машины. Конструкционные материалы и технология их производства. / МГТУ “Станкин”. М., 2008.
7. Зубцов М. Е. Листовая штамповка Машиностроение, 2007.