

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт машиностроения, материалов и транспорта  
Высшая школа машиностроения

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОСНАСТКИ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ  
ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «КРЫШКА» ИЗ ЛАТУНИ Л68 ТОЛЩИНОЙ 0,5 ММ**

Выпускная квалификационная работа магистра

Выполнила

студентка гр. 3341501/90101

А.И. Паскина

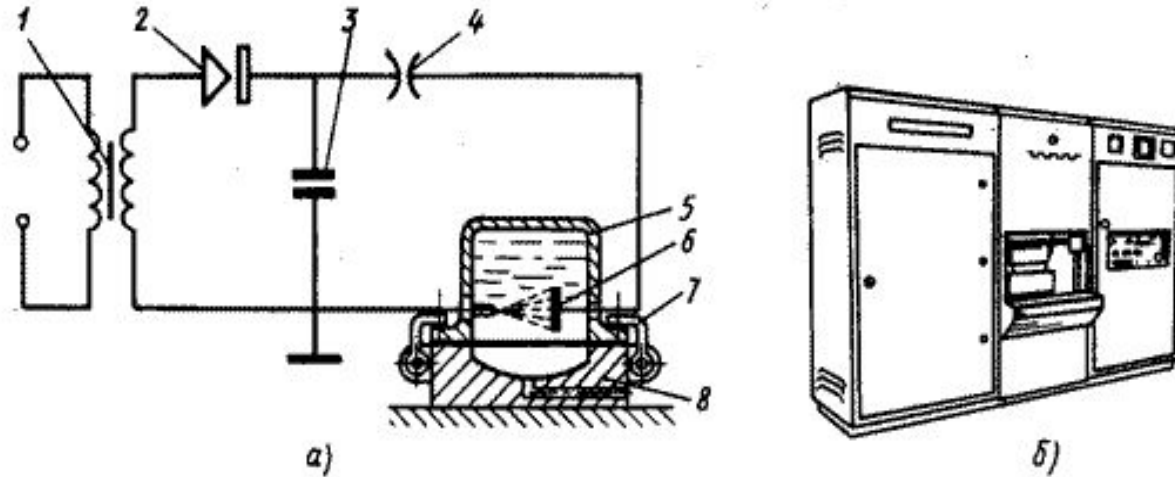
Руководитель, профессор, д.т.н.

В.С. Мамутов

Санкт-Петербург - 2021

# Обзор технической литературы

Моя работа связана с электрогидроимпульсной вытяжкой – формовкой.



Принципиальная схема ЭГИ штамповки (а); внешний вид ЭГИ-установки (б).

ЭГИШ применяют для

- вытяжки деталей сложной формы из плоской заготовки,
- рельефной штамповки,
- калибровки оболочек,
- пробивки отверстий и пр.

# Преимущества ЭГИ штамповки

- повышается точность изготовления изделий из-за уменьшения пружинения (особенно, при работе с труднодеформируемым материалом);
- увеличивается возможность совмещения операций, выполняемых за один или несколько переходов;
- значения критических степеней деформации за один переход достигают своих наивысших значений, что позволяет обрабатывать почти любой материал, любой формы и сложности изготовления.

# Цели и задачи исследования

## Цель работы:

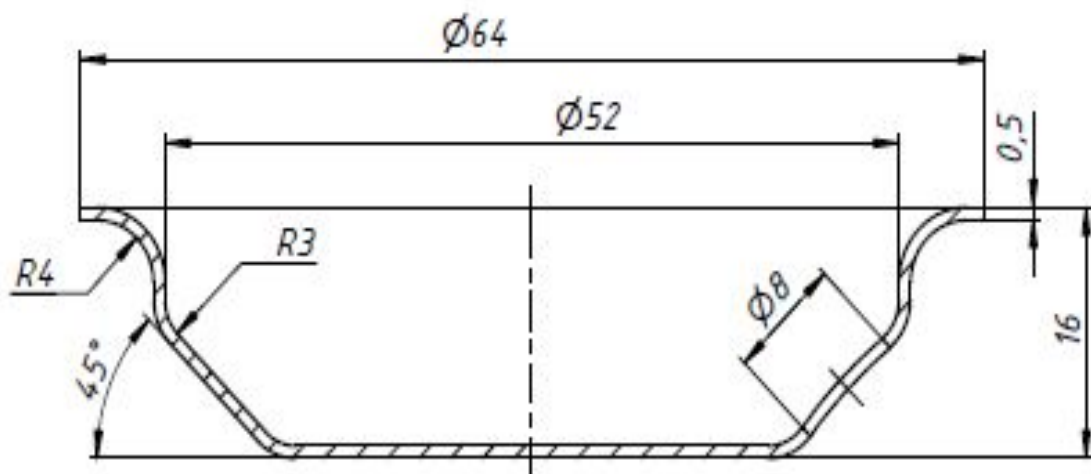
- Разработка технологии и конструкции оснастки для изготовления детали «крышка» из материала Л68 толщиной 0,5 мм

## Задачи исследования:

- Разработать технологию изготовления детали
- Путем компьютерного моделирования с использованием КЭ-комплекса LS-DYNA определить параметры импульсного давления, обеспечивающего заполнение рельефа матрицы
- Определить энергоемкость ЭГИ-установки
- Спроектировать технологическую оснастку
- Разработать меры по охране труда и оценить экономическую эффективность процесса

# Исходные данные

Исходными данными является эскиз детали «крышка». Материал – латунь 68. Серийность – 1000 шт./год



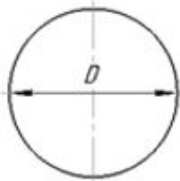
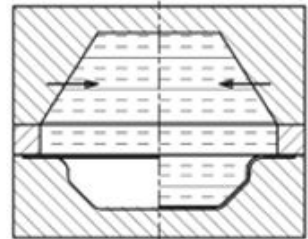
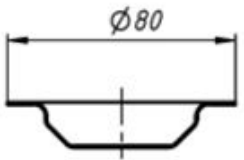
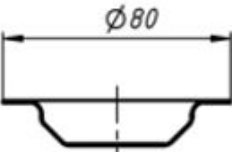
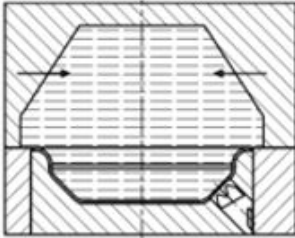
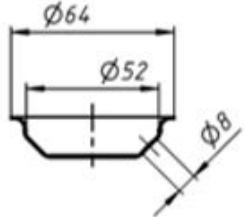
Химический состав латуни Л68

Основные химические элементы, %		Примеси, %, не более					
Cu - медь	Zn - цинк	Pb - свинец	Fe - железо	Sb - сурьма	Bi - висмут	P - фосфор	Прочие элементы
67-70	Остальное	0,03	0,1	0,005	0,002	0,01	0,3

# Маршрутная технологическая карта

№ операции	Метод обработки	Вид операции	Способ выполнения операции	Вид исходной заготовки	Технологическая схема операции	Вид детали (заготовки)	Тип технологического оборудования
1	Холодная обработка металла давлением	Разрезка полосы на ленты	Получение ленты для однорядного раскроя				Гильотинные ножницы
2	Холодная обработка металла давлением	Вырубка	Получение исходного полуфабриката – круглой в плане заготовки				ЭГИ листоштамповочный пресс ПЭГ-25
3	Термическая обработка металла	Отжиг	T=450-500°C (с последующим охлаждением на воздухе)	—	—	—	Печь камерного типа
4	ОТК	Контроль размеров	Промежуточный контроль размеров	—	—	—	Штангенциркуль, часовой индикатор

# Маршрутная технологическая карта

№ операции	Метод обработки	Вид операции	Способ выполнения операции	Вид исходной заготовки	Технологическая схема операции	Вид детали (заготовки)	Тип технологического оборудования
5	Холодная обработка металла давлением	Электрогидравлическая вытяжка-формовка	Основная формообразующая операция				ЭГИ листоштамповочный пресс ПЭГ-25
6	ОТК	Контроль размеров	Промежуточный контроль размеров	—	—	—	Штангенциркуль, часовой индикатор
7	Холодная обработка металла давлением	Пробивка отверстия, калибровка и обрезка фланца	Завершающая формообразующая операция				ЭГИ листоштамповочный пресс ПЭГ-25
8	Термическая обработка металла	Отжиг	T=450-500°C (с последующим охлаждением на воздухе)	—	—	—	Печь камерного типа  Активация Wi

# Компьютерное моделирование процесса

## Задачи:

- Разработка и отладка компьютерной модели в комплексе LS-DYNA
- Варьируя параметрами давления, определяется давление, необходимое для полного заполнения рельефа матрицы и устранения отскока заготовки
- Определение параметров давления, необходимых для оценки энергоемкости ЭГИ-установки
- Оценка возможного пружинения заготовки



# Давление при импульсной вытяжке

- Импульсное давление задавалось временным соотношением (ф-ла Арсентьевой К.С.):

$$p = p_0 N_p (t/\theta)^a \exp(-bt/\theta),$$

где  $t$  – время,

$p_0$  – амплитудное значение давления,

$\theta$  – характеристическое время, за которое давление уменьшается в  $e$  раз.

Нормирующая величина  $N_p$ , определяется соотношениями

$$N_p = \exp(b-1),$$

$$a = b \cdot t^*,$$

$$b = 1/(1 - t^* + t^* \cdot \ln t^*),$$

$$t^* = t_m/\theta, \quad \text{где } t_m \text{ – время нарастания давления}$$

# Аппроксимация по Третьякову

Основные характеристики материала заготовки

Материал	$\sigma_{s0}$ КГ/ММ <sup>2</sup>	$B_1$ КГ/ММ <sup>2</sup>	$m_1$	Плотность, $\rho$ (КГ/М <sup>3</sup> )	Модуль Юнга, $E$ МПа	Коэффициент Пуассона, $\nu$
Латунь Л68	12	3.6	0.62	8400...8700	9000...12000	0.32...0.42

В таблице дана следующая аппроксимация КДУ

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + B_1(100\varepsilon_{en})^{m_1},$$

где  $\sigma_{s0}$  – начальное напряжение текучести;

$\varepsilon_{en}$  – инженерная или относительная деформация, связанная с интенсивностью тензора логарифмических деформаций соотношением  $\varepsilon_i = \ln(1 + \varepsilon_{en})$ .

# Аппроксимация кривой деформационного упрочнения

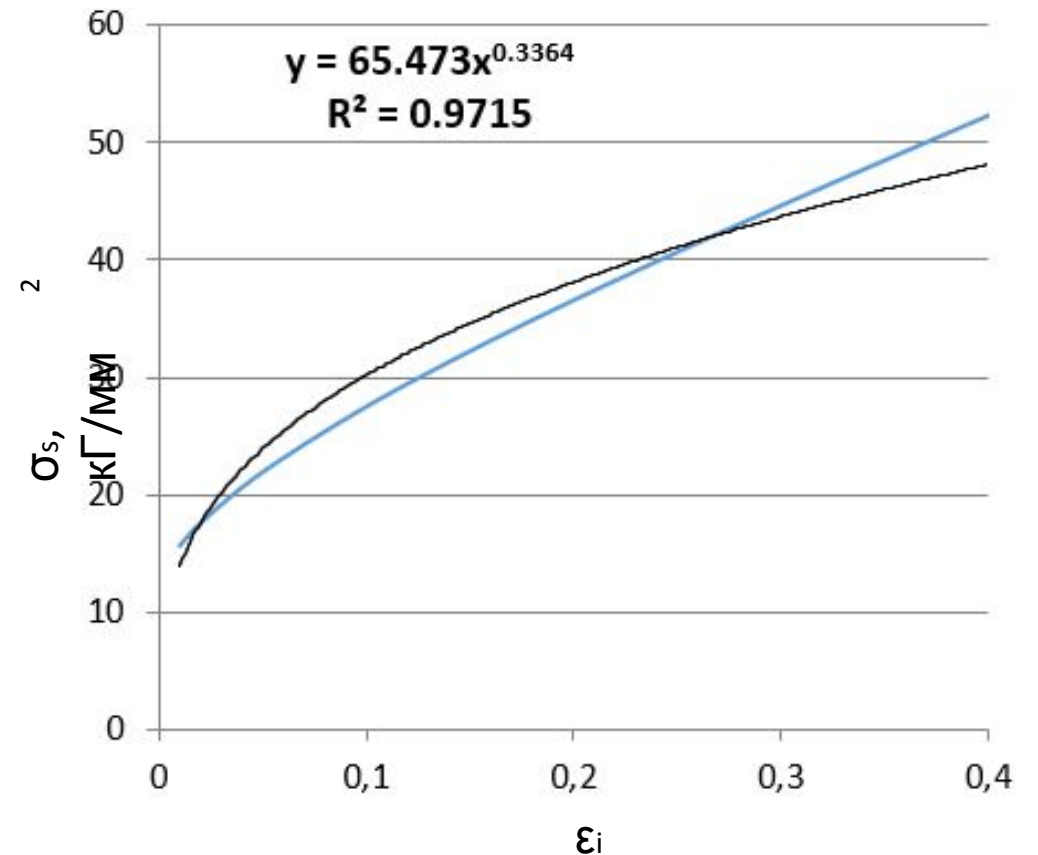
Для конечно-элементных расчетов нужно задать параметры кривой деформационного упрочнения в виде аппроксимаций по типу Холломана (Holloman):

$$\sigma_s = B \varepsilon_i^m,$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести;

$\varepsilon_i$  – интенсивность тензора логарифмических деформаций;

$B, m$  – параметры степенной аппроксимации.



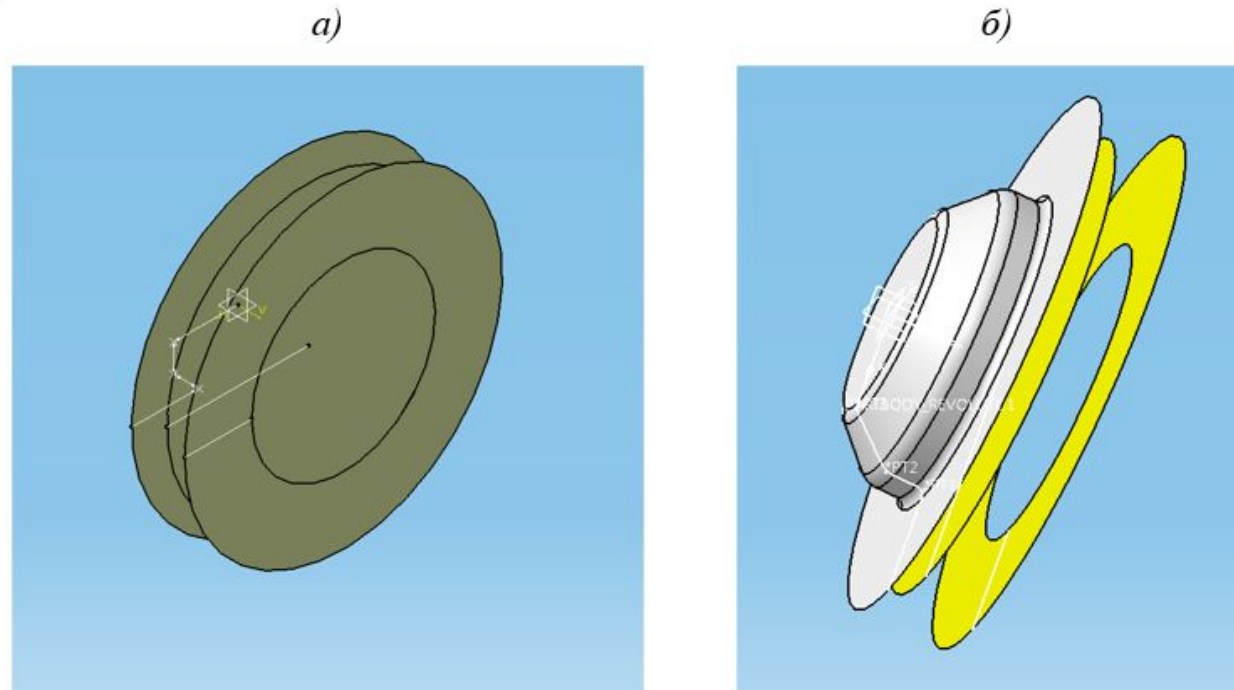
Аппроксимация кривой деформационного упрочнения латуни Л68

# Параметры КЭ-модели

- Материал заготовки – изотропный, выбрана модель *MAT\_POWER\_LAW\_PLASTICITY*.
- Задавались упругие константы материала:  $E = 1,12 \cdot 10^5$  т/(мм · с<sup>2</sup>) – модуль Юнга,  
 $\nu = 0,35$  – коэффициент Пуассона,  
 $\rho = 8,3 \cdot 10^{-9}$  т/мм<sup>3</sup> - плотность.
- Кулоновское трение при трении покоя  $\mu = 0,2$  и  $\mu = 0,15$  при движении.
- Модель материала инструмента – *RIGIT*.

# Разработка геометрической модели в комплексе CATIA

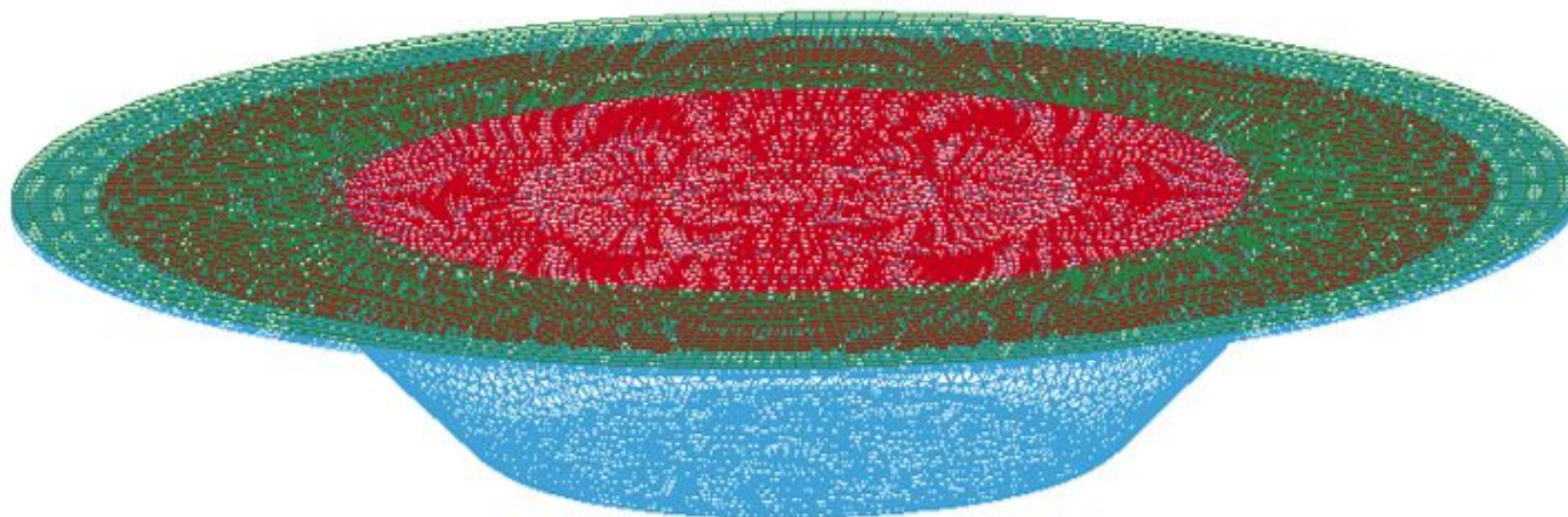
- Поверхностная геометрическая модель заготовки, матрицы и прижима созданы в комплексе CATIA.



Поверхностная модель (а, б – разные виды)

# КЭ-разбивка

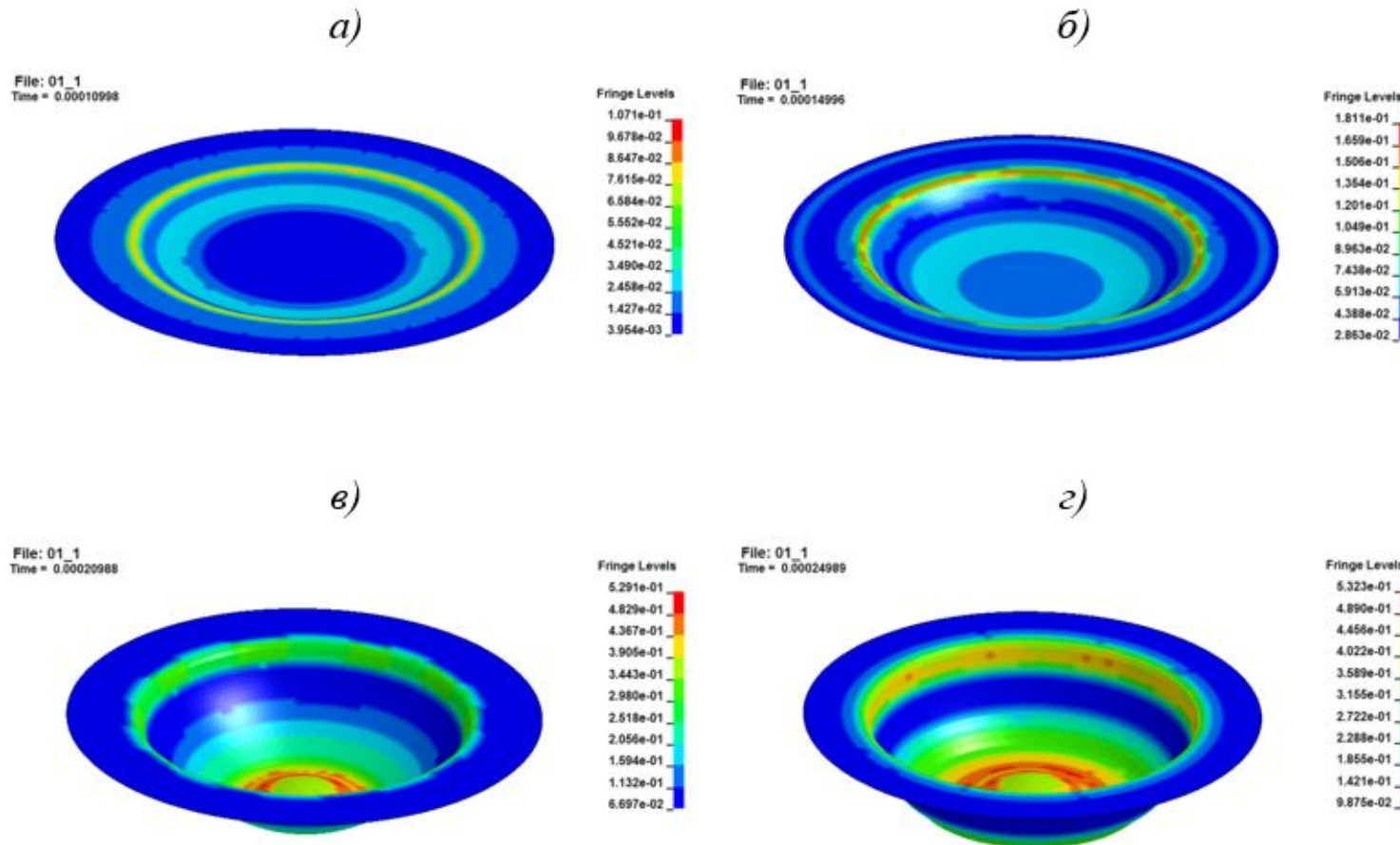
- Тонколистовой материал заготовки был задан оболочкой с типом элемента SHELL 163 вида Belytshko-Wong.



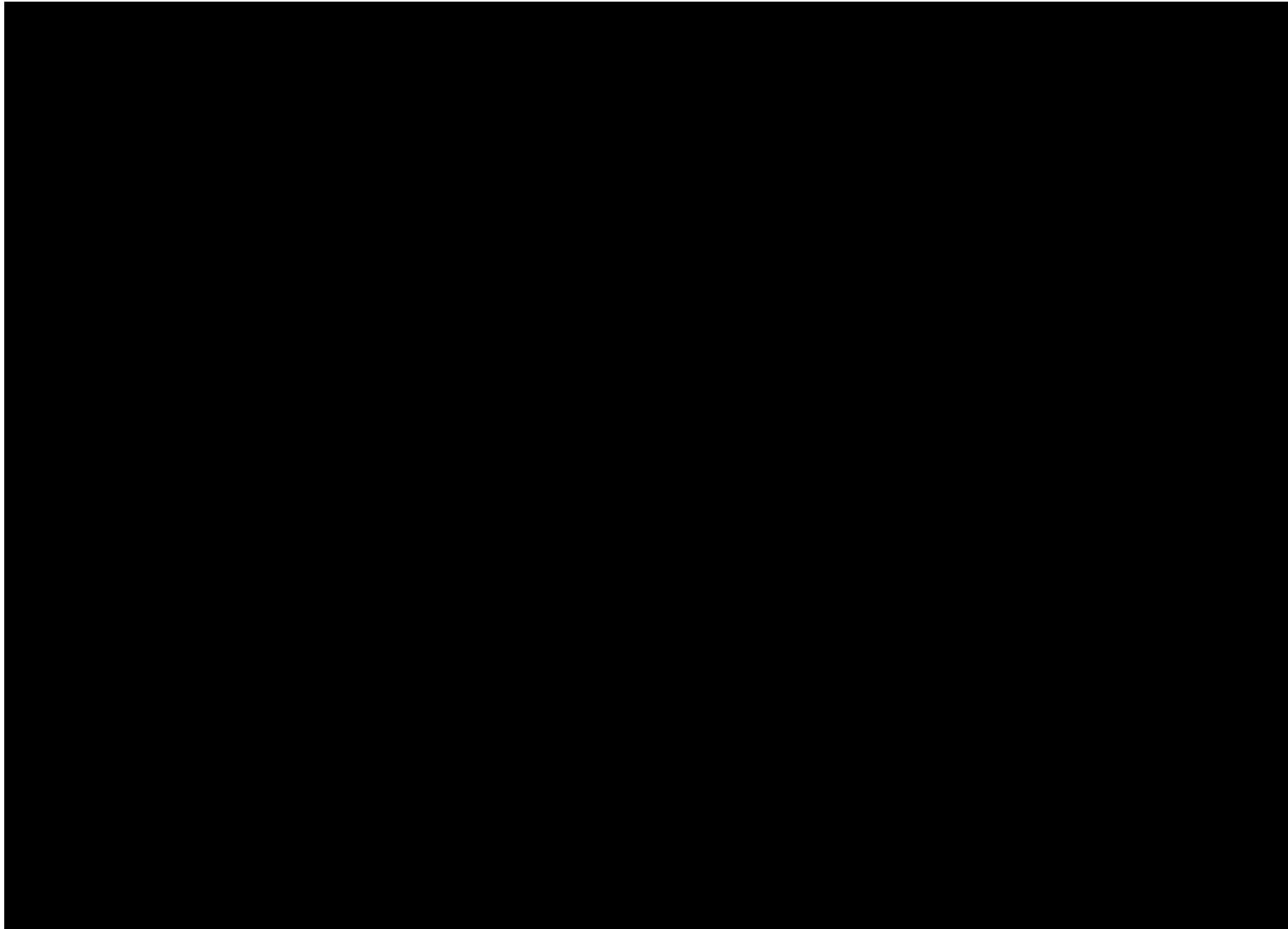
По толщине оболочки для заготовки задавалось 50 слоев, а для инструмента по 2 слоя.

# Компьютерный расчет ЭГИ вытяжки-формовки

- Изменение формы заготовки в процессе штамповки примерно через 50 мкс (а, б, в, г) диаграммами эффективной деформации.



# Компьютерный расчет ЭГИ вытяжки-формовки



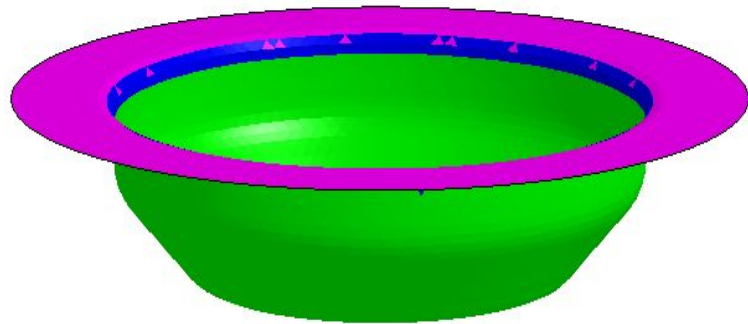
В начале есть колебания (упругие волны), но при этом заготовка не отскакивает (из-за правильных параметров давления).

Затем колебания уходят.



# Оценка возможного разрушения заготовки

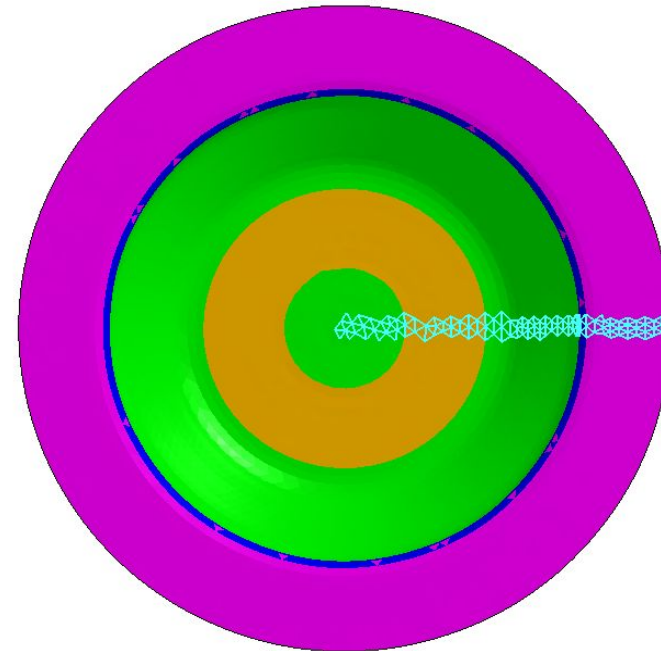
File: 01\_1  
Time = 0.002  
Contours of Formability: Mid. Surface  
FLD curve: CRLCS (t=0.5 n=0.3043, True strain)



Formability key

Cracks	Red
Risk of cracks	Yellow
Severe thinning	Orange
Good	Green
Inadequate stretch	Grey
Wrinkling tendency	Blue
Wrinkles	Purple

File: 01\_1  
Time = 0.002  
Contours of Formability: Mid. Surface  
FLD curve: CRLCS (t=0.5 n=0.3043, True strain)

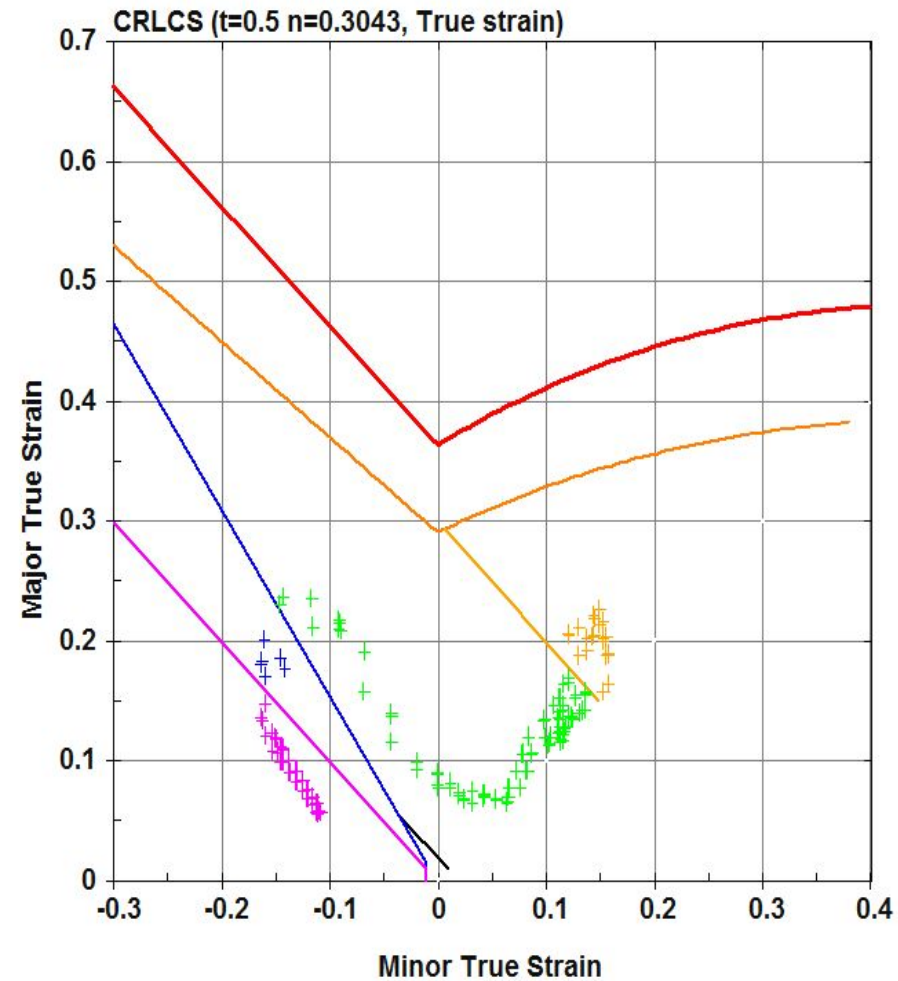


Formability key

Cracks	Red
Risk of cracks	Yellow
Severe thinning	Orange
Good	Green
Inadequate stretch	Grey
Wrinkling tendency	Blue
Wrinkles	Purple

Из рисунка видно, что заготовка в процессе деформирования не разрушается.

# Диаграмма предельных деформация (FLD)



Из рисунка видно, что заготовка в процессе деформирования не разрушается.

# Выбор ЭГИ оборудования

По объему потребляемой энергии процесса штамповки был выбран пресс ПЭГ-25



$$p_m \approx 0,46 \cdot 10^{-6} r^{-0,5} \rho_0^{3/8} (E/\delta)^{5/8} \tau^{-3/4}. \quad [8]$$

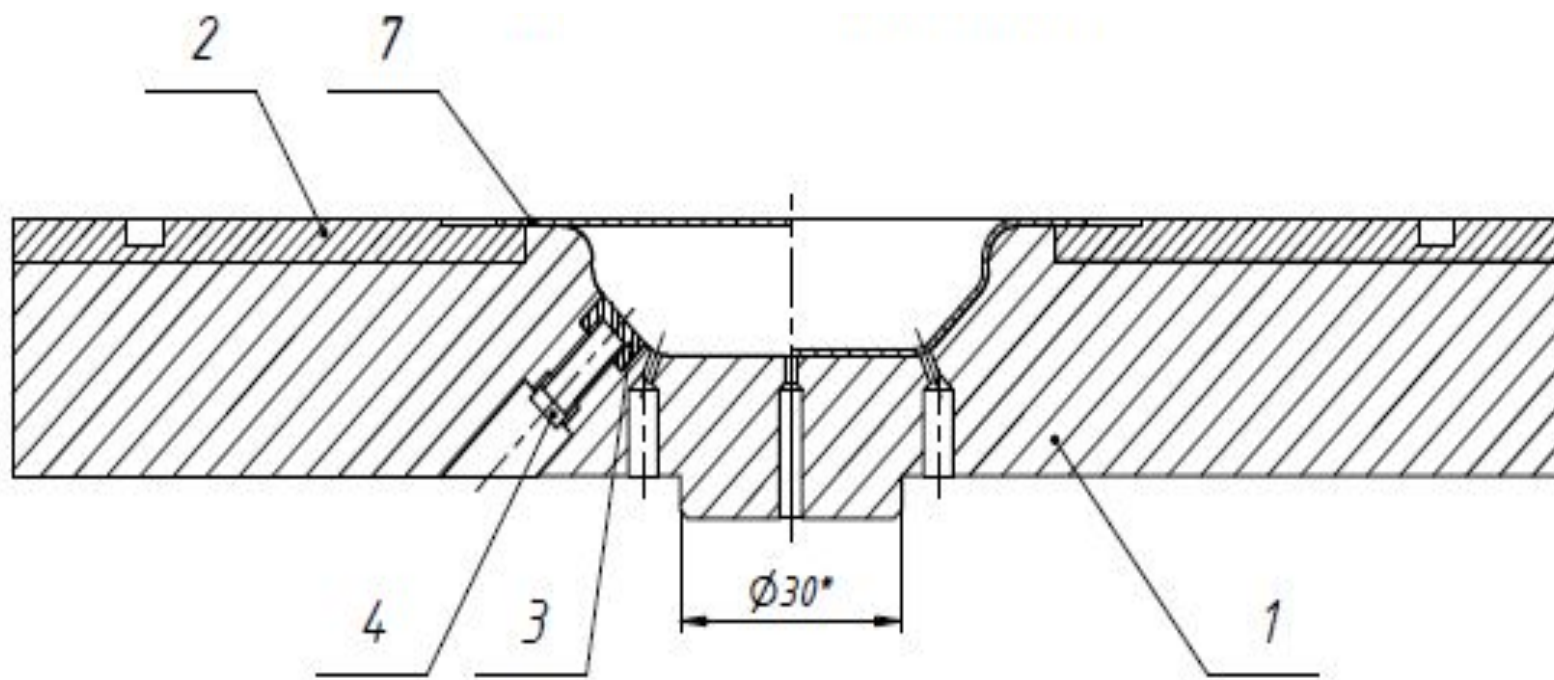
Технические характеристики пресса ПЭГ – 25

Энергия разряда, кДж	25
Наибольшее напряжение, кВт	32
Наибольший размер заготовки, мм	580*520
Число синхронно включаемых разрядных контуров, шт	1
Минимальная площадь технологического участка, м <sup>2</sup>	13, 4
Масса пресса, т	8,5

**E ≈ 6,5 кДж**

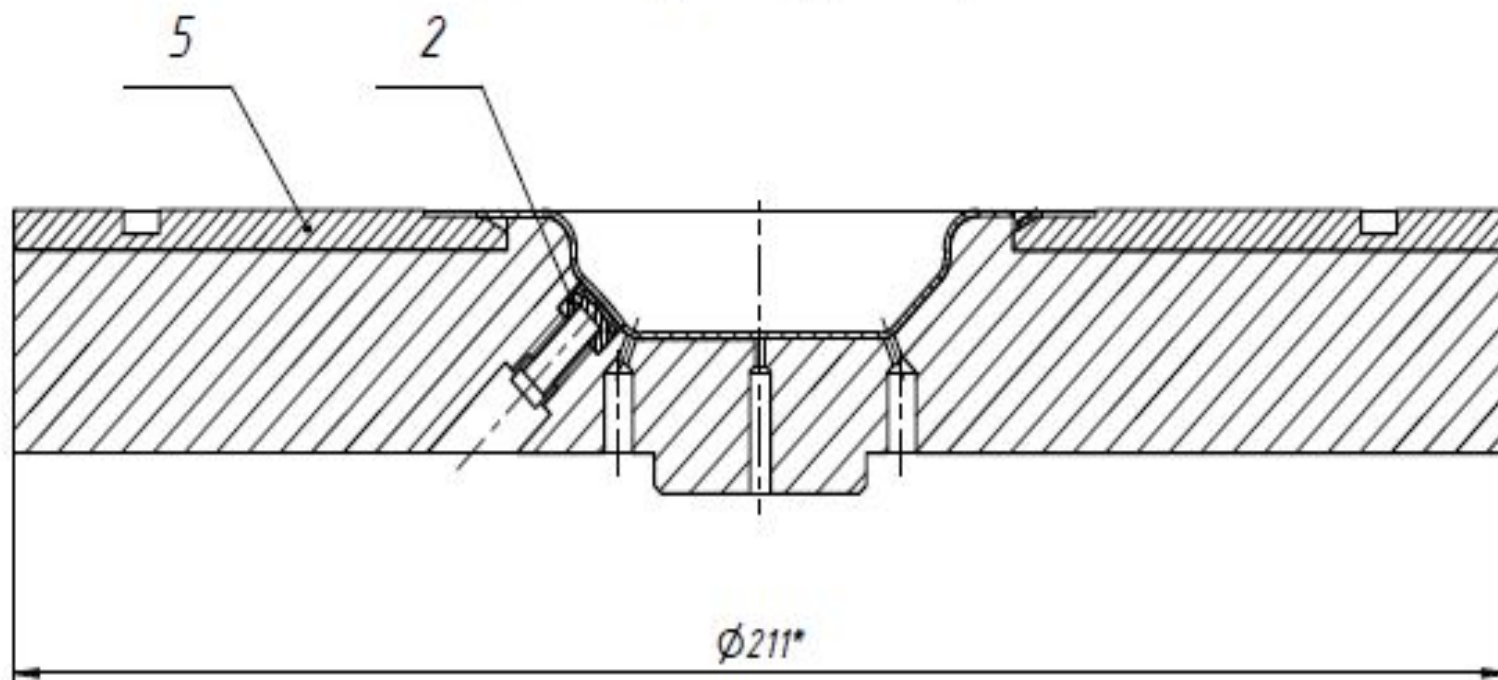
# Разработка конструкции штампа

Эскиз принципиальной конструкторской схемы матрицы для операции «вытяжка-формовка».



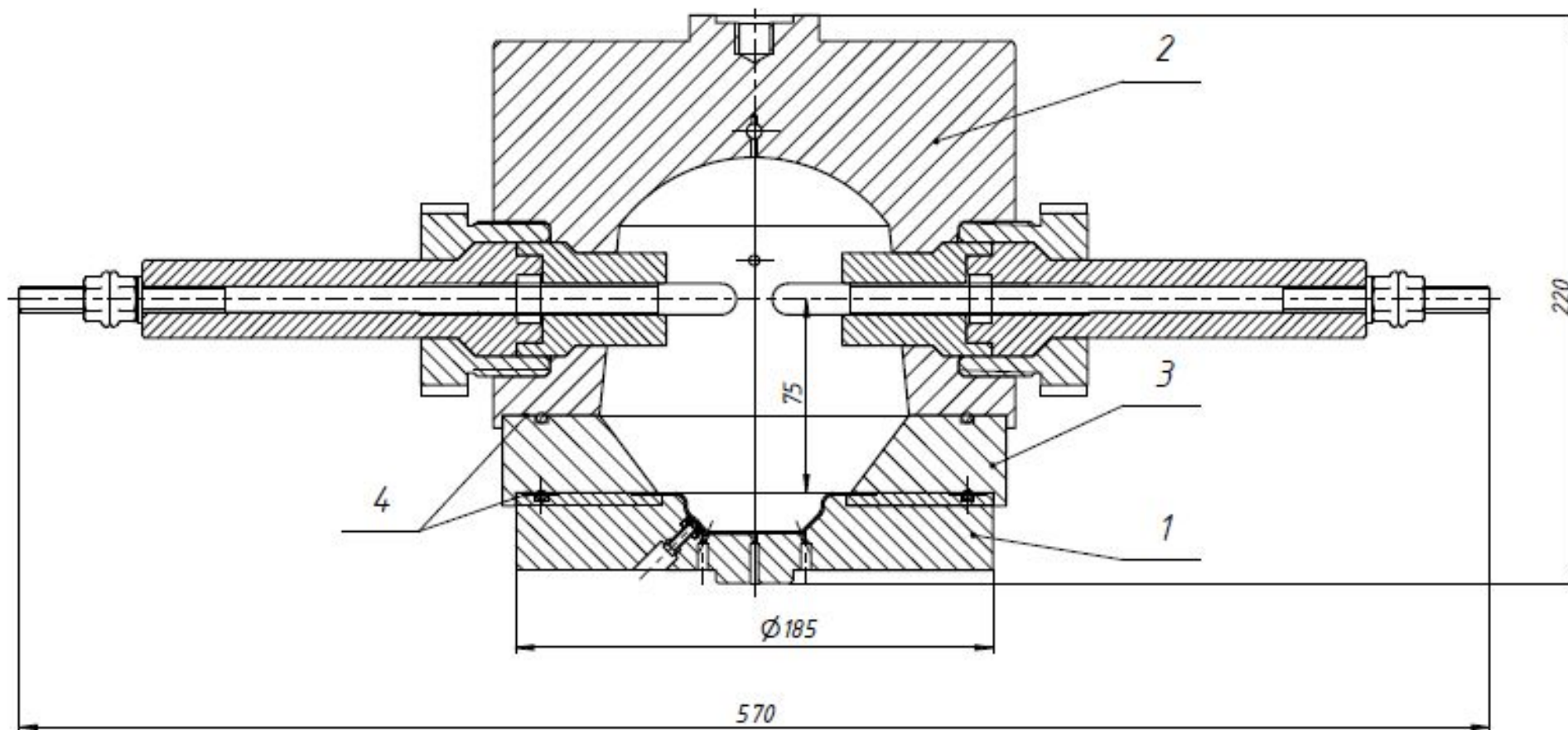
# Разработка конструкции штампа

Эскиз принципиальной конструкторской схемы матрицы для операций «пробивка отверстия и обрезка фланца».



# Разработка конструкции штампа

Эскиз принципиальной конструкторской схемы матрицы и камеры в сборе.



# Выводы

- Разработана технология детали «крышка» методом ЭГИ штамповки.
- В конечно-элементном комплексе LS-DYNA разработана компьютерная модель вытяжки-формовки детали «крышка» из латуни Л68.
- В результате компьютерных расчетов варьированием амплитудой и длительностью давления получены параметры импульсного давления.
- Установлено, что с выбранными параметрами давления происходит полное заполнения рельефа матрицы и исключается отскок заготовки.
- Установлено с применением диаграммы FLD , что в результате импульсной вытяжки-формовки не происходит разрушение заготовки.
- Разработана оригинальная конструкция матрицы, позволяющая изменением разных вставок использовать ее как для вытяжки-формовки, так и для обрезки.
- Разработана конструкция разрядной камеры для реализации процесса.
- Рассмотрены меры по охране труда и экономической эффективности процесса.

**Спасибо за внимание!**