

Расчетная модель и ее программная реализация для определения энергии, необходимой для изготовления объемной детали импульсными нагрузками

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

Рассмотрены особенности объемной штамповки на взрывном прессе. Данная схема конструкции взрывного пресса на базе пресса ВП-02. Рассмотрены особенности проектирования штампа для взрывного пресса. Представлены механизм работы пресса и его технические характеристики пресса. Рассмотрена методика грубого и точного расчетов параметров поковки для круглых в плане поволоков методами осадки, выдавливания и прессования. Приведены меню учебной программы для расчета параметров поковки и графики зависимости заряда от геометрических и пластических свойств заготовки.

Ключевые слова: взрывная объемная штамповка, схема взрывного пресса, техническая характеристика пресса, расчет заряда

Введение

Объемная штамповка на взрывном прессе – прогрессивный способ производства поволоков, в первую очередь для поволоков с тонкими, трудно деформируемыми элементами [1].

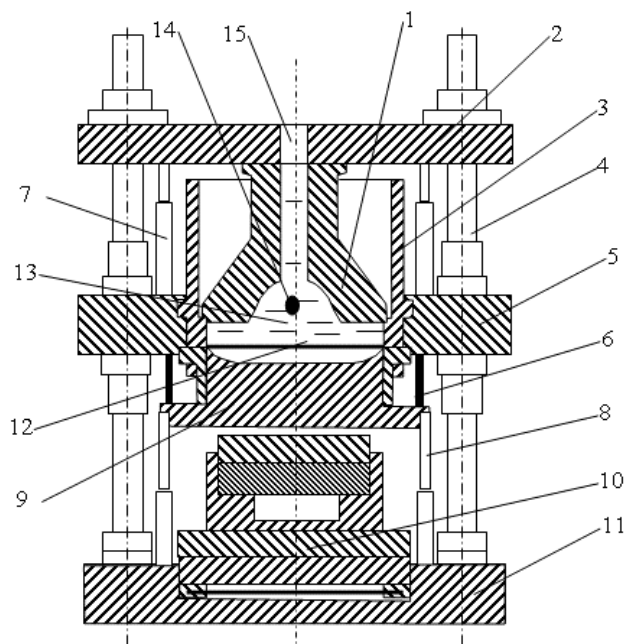


Рис. 1. Схема взрывного пресса:

- 1 – камера взрывная; 2 – траверса подвижная; 3 – стакан;
- 4 – колонны; 5 – траверса неподвижная; 6 – фиксатор;
- 7 – амортизатор; 8 – цилиндры возврата; 9 – ударник;
- 10 – технологический блок; 11 – заготовка; 12 – эластичная диафрагма;
- 13 – вода; 14 – заряд БВВ; 15 – отверстие

Штамповка на взрывном прессе (рис. 1) может осуществляться в открытых

и закрытых, одноручьевых и многоручьевых штампах, на мерных и фасонных (предварительно спрофилированных) заготовках [2].

На базе ВП -02 в ХАИ разработана конструкция взрывного пресса ВП-02М, отличающегося от своего аналога технологической частью, приспособленной для объемной штамповки заготовок [3].

Характеристики пресса

| | |
|---|-----------------------------------|
| Энергоноситель | бризантное ВВ (аммонит № 6ЖВ, ДШ) |
| Располагаемая технологическая энергия | 160 кДж |
| Достижимые давления жидкости во взрывной камере | 2,0...300 МПа |
| Максимальная масса заряда | 0,15 кг |
| Диаметр плоской заготовки максимальный | 1200 мм |
| Диаметр трубчатой заготовки максимальный | 800 мм |
| Диаметр объемной заготовки максимальный | 150 мм |
| Диаметр оснастки максимальный | 1250 мм |
| Высота оснастки максимальная | 800 мм |
| Усилие прижима фланца заготовки | 3000 кН |
| Продолжительность рабочего цикла | 2,5 мин |
| Габариты комплекса | 2200x4700x2900 мм |
| Масса установки | около 20000 кг |
| Уровень шума | 80 Дб |

Пользуясь классификацией при разработке технологического процесса штамповки, можно рассматривать технологический процесс и определять энергию, необходимую для получения номенклатуры выбранных деталей. В основу определения энергии, необходимой для получения номенклатуры выбранных деталей, выбора способа и переходов штамповки, положены форма и размеры поковки.

Заготовительные ручки для поковок первой группы выбирают путем построения расчетной заготовки и ее эпюры сечений по диаграмме пределов применения заготовительных ручьев и коэффициентам подкатки.

В некоторых случаях эти расчеты весьма громоздки, поэтому необходимы расчеты, выполненные на ПЭВМ. Для этой цели создана программа расчета, которая использовалась в дипломном проектировании для расчета параметров деталей типа «Вал».

Для грубого расчета энергии можно воспользоваться методикой, аналогичной для расчета необходимой энергии для паровоздушных молотов двойного действия, где определяется масса падающих частей по таким формулам:

- для круглых в плане поковок

$$m_o = 5,6 \cdot 10^{-3} \sigma (1 - 0,0005 D_n) \left\{ 3,75 \left(\epsilon + \frac{D_n}{4} \right) \times \right. \\ \times (75 + 0,001 D_n^2) + D_n \left(\epsilon^2 / 2 + \epsilon D_n / 4 + D_n^2 / 50 \right) \times \\ \left. \times \ln \left[1 + 2,5 \left(75 + 0,001 D_n^2 \right) / D_n \cdot h_{об} \right] \right\}$$

- для поковок некруглой формы

$$m_m = 5,6 \cdot 10^{-3} \sigma (1 - 0,0005 D_{np}) \left\{ 3,75 \left(\epsilon + \frac{D_n}{4} \right) \times \right. \\ \times (75 + 0,001 D_{np}^2) + D_{np} \left(\epsilon^2 / 2 + \epsilon D_{np} / 4 + D_{np}^2 / 50 \right) \times \\ \left. \times \ln \left[1 + 2,5 (75 + 0,001 D_{np}^2) / D_{np} \cdot h_{об} \right] \right\} (1 + 0,1 \sqrt{\ell_n / \epsilon_{cp}}),$$

где m_o , m_m – масса падающих частей, кг;

D_n – диаметр поковки, мм;

ϵ , $h_{об}$ – соответственно ширина и высота мостика облойной канавки, мм;

$D_{np} = 1,13 \sqrt{F_n}$ – приведенный диаметр некруглой в плане поковки, мм;

$\ell_{cp} = F_n / \ell_n$ – средняя ширина поковки, мм;

σ – предел прочности материала при температурековки, Па.

Для открытых штампов форму и размеры заусеничной (облойной) канавки можно выбирать в зависимости от способа штамповки и последующих обрезки заусенца и пробивки отверстия.

В справочной литературе детально описаны конструктивные особенности заготовительных и штамповочных ручьев молотовых штампов, приведены основные расчетные соотношения и размеры, определено их положение на зеркале штампа.

Методика «грубого» расчета энергии деформирования и расчет массы заряда

Зная скорость движения верхнего штампа, работу A по деформированию объемной заготовки можно рассчитать по формуле:

$$A = \frac{G_{нд} \cdot V^2}{2},$$

где V – скорость, м/с;

$G_{нд}$ – вес падающих частей оборудования для штамповки, кг:

$$G_{нд} = 5,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma (1 - 0,0005 D_{np}) \cdot \left\{ 3,75 \cdot \left(l_3 + \frac{D_{np}}{4} \right) \cdot (75 + 0,001 D_{np}^2) + \right. \\ \left. + D_{np} \cdot \left(\frac{l_3^2}{2} + \frac{l_3 D_{np}}{4} + \frac{D_{np}^2}{50} \right) \cdot \ln \left[1 + \frac{2,5 (75 + 0,001 D_{np}^2)}{D_{np} h_3} \right] \right\} \cdot \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{l_n}{b_{cp}}} \right)$$

где D_{np} – приведенный диаметр некруглой в плане поковки, мм:

$$D_{np} = 1,13 \cdot \sqrt{F_n},$$

где F_n – площадь поковки в плане, мм²;

σ – временное сопротивление разрыву материала поковки при температуре окончания штамповки;

l_n – длина поковки в плане, мм;
 l_3 – ширина мостика облойной канавки, мм;
 h_3 – высота мостика облойной канавки, мм;
 b_{cp} – средняя ширина поковки в плане, мм:

$$b_{cp} = \frac{F_n}{l_n}.$$

Энергия, заключенная в заряде бризантного взрывчатого вещества

$$W = Q \cdot m,$$

где Q – теплотворная способность БВВ, Дж/кг;
 m – масса заряда, кг.

КПД процесса η находят по формуле

$$\eta = \frac{A}{W} \cdot 100\%,$$

Соответственно, приравняв работу к выделенной энергии, получим:

$$\frac{G_{nd} \cdot V^2}{2} = Q \cdot m \cdot \eta$$

Выразив из предыдущей формулы массу заряда m , получим

$$m = \frac{G_{nd} \cdot V^2}{2 \cdot Q \cdot \eta} \cdot k.$$

где k соответствует количеству ударов в закрытом штампе.

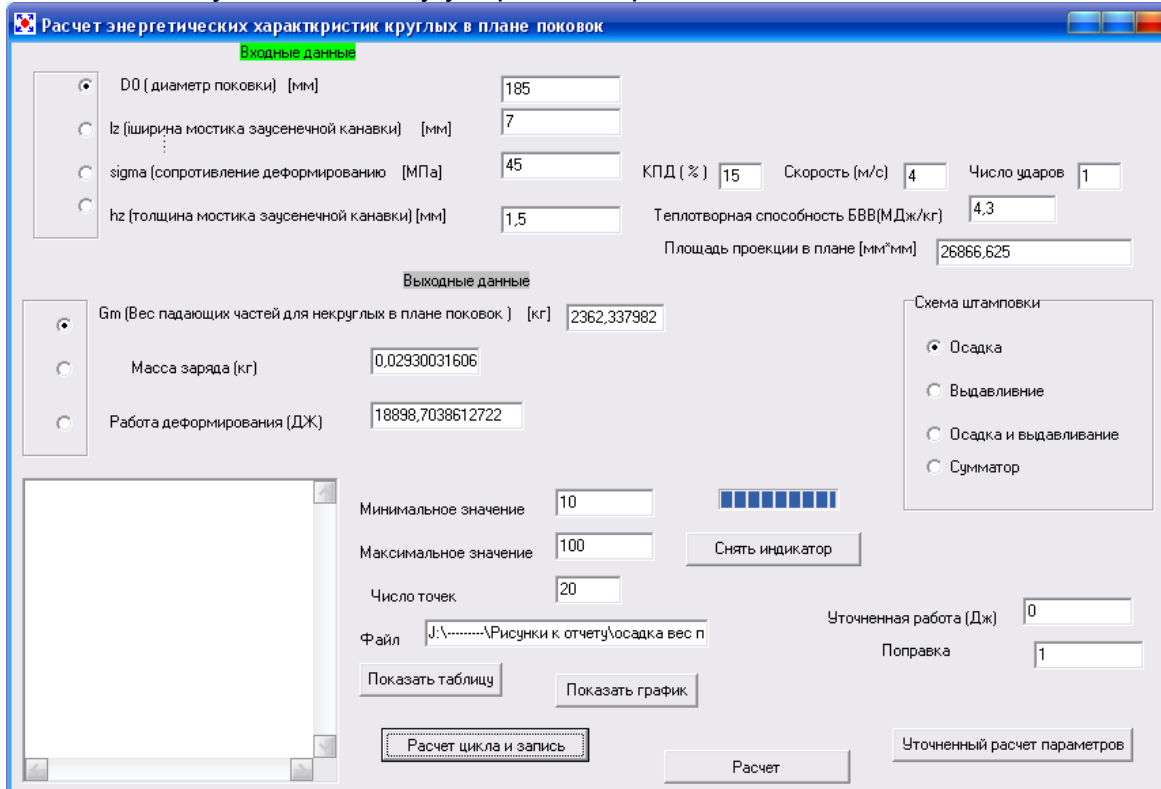


Рис. 2. Меню расчета потребной энергии деформирования в зависимости от диаметра поковки

На рис. 2 показано главное меню программы для расчета энергетических параметров расчета для взрывного пресса, выполненной «грубым» расчетом для круглой поковки.

В результате «грубого» расчета получены графики численных значений необходимой веса падающих частей, энергии деформирования и заряда для деталей авиационных двигателей (рис. 3).

Входные данные (например, скорость движения матрицы, КПД и др.) необходимо корректировать для новой номенклатуры в ходе экспериментальных исследований.

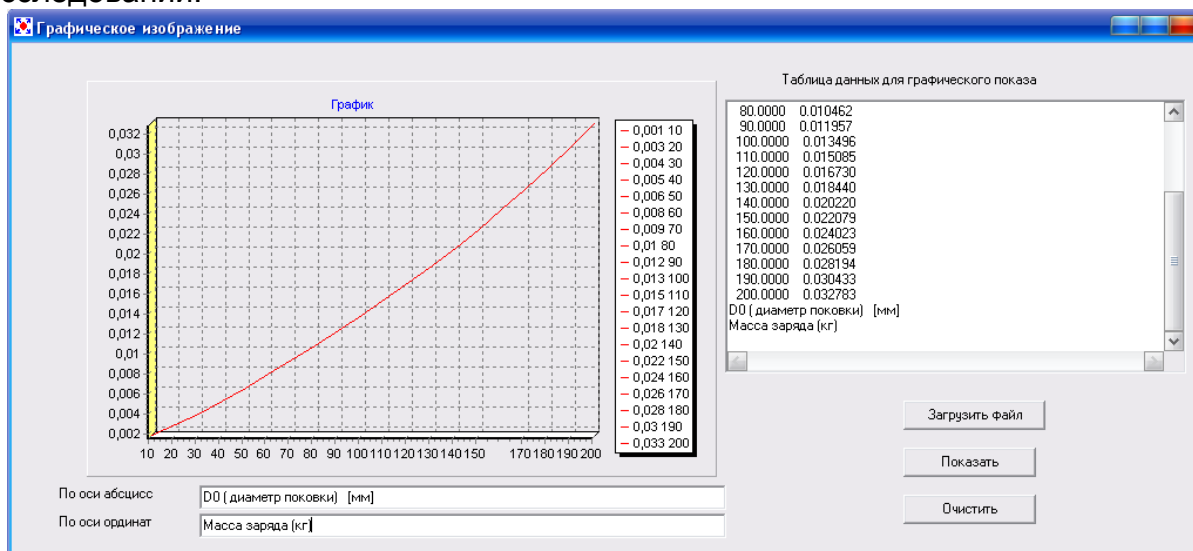


Рис. 3. График для расчета массы заряда в зависимости от габаритного размера поковки

Уточненная методика для расчета энергии деформирования сложных поковок

Методика, описанная выше является «грубой» поскольку не учитывает сложную конфигурацию поковки и может быть использована только для простых в плане поковок.

Для расчета сложных поковок, имеющих различную разнотолщинность и сложные элементы предлагается методика уточненного расчета энергосиловых параметров изготавливаемых с помощью взрывного пресса.

Энергия деформирования определяется по формуле

$$E_0 = keV \frac{1}{\psi},$$

где k - коэффициент, учитывающий сложность конфигурации поковки (степень отличия ее от шайбы, получаемой при плоско-параллельной осадке, или круглого стержня с утолщением - при выдавливании), $k = 1,05...1,3$.

КПД удара ψ изменяется в пределах 0,66...0,95. При штамповке с большим ходом формоизменения следует пользоваться большей величиной КПД, при «жестких» ударах - меньшей. При определении энергии выдавливания необходимо иметь в виду, что в расчете следует учитывать объем только выдавливаемой части заготовки; объем части заготовки, находящейся в контейнере и не подвергаемой деформации, в расчет не входит.

Если оформление штамповки протекает по «смешанной» схеме, то энергию следует считать по элементам, каждый из которых формуется по одной из «чистых» схем и результаты суммировать.

Ориентировочная «грубая» методика не учитывает ряд практически действующих факторов: форму и размеры исходной заготовки, изменение угла заходного конуса и силы инерции (при выдавливании), которые иногда оказывают существенное влияние. При этом усилие и удельные усилия деформации могут быть рассчитаны лишь как средние, а это существенно расходится с максимальными значениями. Перечисленные факторы учитываются уточненной методикой [3].

Особенности штамповки по схеме осадки

Расчетные формулы для определения энергии, усилия и удельного усилия деформирования таковы

$$E_0 = a a_i V \delta_{cp}^\eta;$$

$$Q_{max} = 1,3 a a_i F_k \eta \delta_{cp}^{\eta-1};$$

$$p_{max} = 1,3 a a_i \eta \delta_{cp}^{\eta-1},$$

где δ_{cp} – средняя степень деформации;

$\delta_{cp} = 2,3 \lg(F_0/F_k)$;

1,3 - коэффициент, учитывающий пиковое повышение усилий в конечный момент штамповки: в фазе оформления радиусов скруглений и выдавливания заусенца; a_i - произведение коэффициентов,

$a_i = a_1 a_2 a_3 a_4$; здесь a_1 – связан с характерным размером заготовки и учитывает теплотери (а следовательно, и сопротивление деформированию); a_2 – учитывает соотношение размеров заготовки; $a_3 = 1/\psi = 1,05 \dots 1,5$; a_4 – сложность конфигурации поковки, $a_i = 1,05 \dots 1,3$.

Штамповка по схеме выдавливания

Выдавливание протекает в два последовательных этапа: запрессовка (осадка) и собственно выдавливание.

Работа запрессовки

$$A_1 = 0,06 a a_1 a_2 V,$$

где 0,06 - степень деформации, которая определяется величиной зазора, обеспечивающего удобство укладки заготовки в штамп, приблизительно постоянная во всех случаях.

Работа, необходимая для выдавливания.

$$A_2 = b b_i \frac{V_k}{\xi} \left(1 + \frac{m_k}{M} \alpha \right),$$

где $b_i = b_1 b_2 b_3 b_4 b_5$ - произведение коэффициентов;

$b_1 = a_1$ - характерный размер исходной заготовки;

b_2 - соотношение размеров исходной заготовки;

$b_3 = a_3 = 1,05 \dots 1,5$;

$b_4 = 1,0 \dots 1,3$ – сложность конфигурации поковки;

b_5 – влияние угла заходного конуса матрицы.

Если поковка имеет несколько элементов, формируемых выдавливанием, то работу A_2 рассчитывают для каждой части, а полную энергию штамповки определяют как

$$E_0 = A_1 + \sum A_2.$$

При этом наибольшие усилия развиваются в момент оформления радиусов закруглений и вытекания заусенца, тогда

$$Q_{max} = 1,3bb_iF_0;$$

$$P_{max} = 1,3bb_i.$$

Поковка и штамп спроектированы с расчетом частичного незаполнения гравюры (например, выдавливаемый стержень должен немного не доходить до толкателя).

В этом случае наибольшие усилия будут в начале процесса, когда инерционная составляющая максимальна:

$$Q_{max} = bb_iF_0 \left(1 + 2 \frac{m_k}{M} \alpha \right);$$

$$P_{max} = bb_i \left(1 + 2 \frac{m_k}{M} \alpha \right);$$

При наличии нескольких выдавливаемых элементов силовые параметры рассчитывают для той части, которая формируется с наибольшей вытяжкой.

Штамповка по схеме осадки с выдавливанием

Расчет энергии ведется с расчленением поковки на элементы и последующим суммированием работ формоизменения по каждому из них.

Силовые параметры определяют для элемента, формируемого с наибольшим обжатием.

Для расчета энергосиловых параметров подготовлена программа, главное меню которой изображено на рис. 4 и 5.

Уточненный расчет параметров при осадке

Входные параметры

n_i (КПД процесса) ?

a_1 (коэффициент корректировки по размеру, связанный с потерей тепла и сопротивлением деформированию) ?

a_2 (коэффициент корректировки по соотношению размеров заготовки) ?

a_3 (коэффициент, учитывающий КПД процесса $a_3 = 1/f_i = 1.05 - 1.3$) ?

a_4 (коэффициент корректировки по сложности поковки) ?

a (удельная работа деформирования (кг/мм²мм)) ?

Начальный внешний диаметр Начальный внутренний диаметр Начальная высота

Конечный внешний диаметр Конечный внутренний диаметр Конечная высота

Параметры

Выходные параметры

Суммарный коэффициент a_i

Площадь начальная

Площадь конечная

Конечная высота

Средняя степень деформации

Объем (см³см³см)

$$E_0 = aa_1 V \delta_{cp}^{\eta}$$

$$Q_{max} = 1,3aa_1 F_k \eta \delta_{cp}^{\eta-1}$$

$$P_{max} = 1,3aa_{1\eta} \delta_{cp}^{\eta-1}$$

Работа (Дж)

Усилие (Н)

Удельное усилие

Рис. 4. Меню для расчета параметров штамповки по уточненной методике для осадки

Уточненный расчет параметров при выдавливании

Входные параметры

n_i (КПД процесса) ?

a_1 (коэффициент корректировки по размеру, связанный с потерей тепла и сопротивлением деформированию) ?

a_2 (коэффициент корректировки по соотношению размеров заготовки) ?

a_3 (коэффициент, учитывающий КПД процесса $a_3 = 1/f_i = 1.05 - 1.5$) ?

a_4 (коэффициент корректировки по сложности поковки -1.05 - 1.3)) ?

a (удельная работа деформирования (кг/мм²мм)) ?

Удельная работа запрессовки и выдавливания ?

b_1 ?

b_2 ?

b_3 ?

b_4 ?

b_5 (влияние угла захода заходного конуса матрицы) ?

Угол захода в матрицу - фи) ?

Alfa ?

Коеф.вытяжки(лямбда) ?

Коеффициент a^* ?

Коеффициент кси ?

Начальный диаметр Начальная высота

Конечный диаметр

M mk

Выходные параметры

Суммарный коэффициент a_i

Площадь начальная

Площадь конечная

Конечная высота

Средняя степень деформации

Объем (см³см³см)

$$A_1 = 0,06 aa_1 a_2 V$$

$$A_2 = bb_i \frac{V_k}{\xi} \left(1 + \frac{m_k}{M} \alpha \right)$$

$$Q_{max} = 1,3bb_i F_0$$

$$P_{max} = 1,3bb_i$$

Работа запрессовки (Дж)

Работа выдавливания (Дж)

Усилие (Н)

Удельное усилие

Рис. 5. Меню для расчета параметров штамповки по уточненной методике при выдавливании и запрессовке

По данной методике можно рассчитать энергетические параметры отдельных элементов детали. Для всей детали необходимо сложить работу деформирования всех элементов.

Данная программа используется в учебном процессе для дипломного проектировании магистров авиадвигателестроительного факультета ХАИ.

Список литературы

1. Борисевич, В.К. К вопросу моделирования импульсных процессов в замкнутой камере для взрывных процессов [Текст] / В.К. Борисевич, В.В. Третьяк, И.В. Скорченко // Вестник двигателестроения: № 2(23)/2010. Запорожье. ОАО «Мотор Сич». – 2010. – С.166–171.

2. Третьяк, В.В. Особенности импульсной штамповки объемных деталей авиационных двигателей [Текст] / В.В. Третьяк // Авиационно-космическая техника и технология: №2 (79). Научно-технический журнал, Х.: «ХАИ». – 2011. – С. 42–46.

3. Согришин, Ю.П. Штамповка на высокоскоростных молотах [Текст] / Ю.П. Согришин, Л.Г. Гришин, В.М. Воробьев // – М. «Машиностроение» , 1978.– 167 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 07.06.2013

Розрахункова модель і її програмна реалізація для визначення енергії, необхідної для виготовлення об'ємної деталі імпульсними навантаженнями

Розглянуто особливості об'ємного штампування на вибуховому пресі. Дана схема конструкції вибухового преса на базі преса ВП-02. Розглянуто особливості проектування штампа для вибухового преса. Представлені механізм роботи преса і його технічні характеристики преса. Розглянуто методику грубого і точного розрахунків параметрів поковки для круглих в плані поковок методами опади, видавлювання та пресування. Наведено меню навчальної програми для розрахунку параметрів поковки і графіки залежності заряду від геометричних і пластичних властивостей заготовки.

Ключові слова: вибухова об'ємна штампування, схема вибухового преса, технічна характеристика преса, розрахунок заряду

The computational model and its software implementation to determine the energy required for the manufacture of bulk items pulse-load

The features of forging an explosive press. This design scheme on the basis of an explosive press press VP-02. The features of die design for explosive press. The mechanism of the press and its specifications press. The method of payment of fine and coarse settings for round forgings forging methods in terms of rainfall, extrusion and molding. Menu shows the training program for calculating the parameters of the forging and plots of charge on the geometry and properties of the plastic piece.

Keywords: forging an explosive, explosive press scheme, the technical characteristics of the press, the calculation of the charge