

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов»

О.В. Хренов, Л.Н. Афанасьев, А.В. Лешок

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ПРЕСС-ФОРМ**

Учебно-методическое пособие  
по дисциплине «Конструирование и расчет технологической оснастки»  
для студентов специальности 1-42 01 02  
«Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия»

*Учебное электронное издание*

М и н с к 2 0 1 0

УДК 621.762 (076.5)

**Авторы:**

*О.В. Хренов,  
Л.Н. Афанасьев,  
А.В. Лешок*

**Рецензенты:**

*Ю.В. Соколов*, профессор кафедры «Материаловедение в машиностроении» БНТУ, доктор технических наук, профессор;

*В.М. Капцевич*, заведующий кафедрой «Технология металлов» БГАТУ, доктор технических наук, профессор

Учебно-методическое пособие по теме «Проектирование и расчет пресс-форм» предназначено для студентов, специализирующихся в области порошковой металлургии.

В учебно-методическом пособии содержатся сведения о расчёте основных элементов пресс-форм: матрица, пуансон верхний, пуансон нижний, стержень, их конструктивное исполнение. Дан расчёт размеров площади поперечного сечения прессовки, расчёта массы навески и массы детали, высоты камеры засыпки.

Цель данного методического пособия – оказание помощи студентам в написании курсового проекта по дисциплине «Конструирование и расчет технологической оснастки».

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.(017) 292-77-52 факс (017) 292-91-37  
Регистрационный № БНТУ/МТФ34-5.2010

© БНТУ, 2010

© Хренов О. В., 2010

© Хренов О. В., компьютерный дизайн, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. РАСЧЁТ НОМИНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПРЕССУЕМОЙ ДЕТАЛИ И ИНСТРУМЕНТА.....	5
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕССОВКИ, МАССЫ НАВЕСКИ И ДЕТАЛИ .....	7
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ.....	8
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАМЕР ЗАСЫПКИ .....	10
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ВЫСОТЫ МАТРИЦЫ .....	11
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ РАЗМЕРОВ РАБОЧЕЙ ПОЛОСТИ МАТРИЦЫ .....	12
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ВЕРХНЕГО, НИЖНЕГО ПУАНСОНА И СТЕРЖНЯ .....	13
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ВЫТАЛКИВАНИЯ, КАЛИБРОВАНИЯ И ДЕФОРМИРОВАНИЯ...	14
9. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ПРЕСС-ФОРМ, ПУАНСОНОВ, МАТРИЦЫ, СТРЕЖНЯ.....	15
ЛИТЕРАТУРА.....	25

## **ВВЕДЕНИЕ**

Всё большее распространение в автотракторо-, приборо- и машиностроении получают изделия изготавливаемые методом порошковой металлургии. Продуктивность метода прессования определяется в первую очередь производительностью процесса. Свойства детали, получаемой прессованием порошков, в большей мере зависят от вида и способа проведения этой операции, использования технологической оснастки. Геометрические параметры технологической оснастки определяют процесс поведения прессуемого порошка, его заполнение.

Процесс формования оказывает решающее влияние на качество и стоимость конечной продукции. Изделия, полученные из прессовок с неравномерной плотностью, также имеют неравномерную плотность. Их механические и электрические свойства снижаются, искажаются форма и размеры. С увеличением плотности спрессованной заготовки уменьшается контактное напряжение спекания. При прессовании следует учитывать, что чем больше степень консолидации перед спеканием при заданном режиме, тем больше степень консолидации после спекания.

Форма и размер прессовки определяют форму готовой детали и необходимость проведения дополнительных операций, что имеет большое значение при определении стоимости продукции.

## 1. РАСЧЁТ НОМИНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПРЕССУЕМОЙ ДЕТАЛИ И ИНСТРУМЕНТА

Расчёт геометрических параметров пресс-форм следует начинать с определения номинальных размеров прессуемой детали. Номинальные размеры деталей, формируемые матрицей, стержнем и пуансонами зависят от допуска на размер и направления износа формообразующих деталей пресс-формы и штампа. Номинальные размеры определяют по эмпирически полученным зависимостям с учётом допусков и предельных отклонений на размеры деталей (табл. 1).

Таблица 1

Определение номинальных размеров прессуемых изделий

Размеры по чертежу	Номинальный размер детали
$A^{+\Delta}$	$A_d = A + 0.65\Delta$
$A^{+\Delta_1}_{+\Delta_2}$	$A_d = (A + \Delta_2) + 0.65(\Delta_1 - \Delta_2)$
$A^{+\Delta_1}_{-\Delta_2}$	$A_d = (A - \Delta_2) + 0.65(\Delta_1 + \Delta_2)$
$A^{-\Delta_1}_{-\Delta_2}$	$A_d = (A - \Delta_2) + 0.65(\Delta_2 - \Delta_1)$
$B^{-\Delta}$	$B_d = B - 0.65\Delta$
$B^{-\Delta_1}_{-\Delta_2}$	$B_d = (B - \Delta_1) - 0.65(\Delta_2 - \Delta_1)$
$B$	$B_d = (B + \Delta_1) - 0.65(\Delta_2 + \Delta_1)$
$B^{+\Delta_1}_{+\Delta_2}$	$B_d = (B + \Delta_1) - 0.65(\Delta_1 - \Delta_2)$
$C^{-\Delta}$	$C_d = C - \Delta/2$
$C^{+\Delta_1}_{+\Delta_2}$	$C_d = (C + \Delta_2) + (\Delta_1 - \Delta_2)/2$
$C^{+\Delta_1}_{-\Delta_2}$	$C_d = (C + \Delta_1) - (\Delta_1 + \Delta_2)/2$
$C^{-\Delta_1}_{-\Delta_2}$	$C_d = (C - \Delta_1) - (\Delta_2 - \Delta_1)/2$

В таблице использованы следующие обозначения:

$A, B, C$  – номинальные размеры по чертежу детали, относящиеся соответственно к отверстию, валу и остальным;

$A_d, B_d, C_d$  – номинальные размеры детали, относящиеся соответственно к отверстию, валу и остальным;

$\Delta_1, \Delta_2$  – верхнее и нижнее предельные отклонения;

$\Delta$  – допуск на размер.

На основании номинальных размеров прессуемого изделия определяют номинальные размеры прессового инструмента, то есть матрицы, стержней и пуансонов. Допуски на номинальные размеры назначают по 6-му качеству для отверстий и валов, соответственно по Н6 и h6.

В сопряжённых матрица-пуансон и стержень-пуансон необходимо предусматривать зазоры, величины которых приведены в табл. 2.

Величина зазора в сопряжениях не должна быть меньше гарантированного зазора  $\Delta$  и не должна превышать сумму допуска на диаметр и гарантированного зазора.

При прессовании порошков на основе меди величину гарантированного зазора следует увеличить вдвое.

Допуски на размеры гнезда матрицы сложного контура следует назначать по 9-му качеству, но не менее чем на два качества выше допуска прессуемого изделия, а зазоры обеспечить подгонкой пуансонов.

Таблица 2

## Гарантированные зазоры и допуски

Диаметр, мм	$\Delta$ , мм	Допуск по 6-му качеству, мм	Зазор соединения, мм
Св. 1 до 3	20	6	0.020-0.032
Св. 3 до 6	20	8	0.020-0.036
Св. 6 до 10	30	9	0.030-0.048
Св. 10 до 18	30	11	0.030-0.052
Св. 18 до 30	40	13	0.040-0.066
Св. 30 до 50	40	16	0.040-0.072
Св. 50 до 80	50	19	0.050-0.088
Св. 80 до 120	60	22	0.060-0.104
Св. 120 до 180	60	25	0.060-0.110
Св. 180 до 250	70	29	0.070-0.128

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕССОВКИ, МАССЫ НАВЕСКИ И ДЕТАЛИ

Объём прессовки определяется по формуле:

$$V_{np} = V_d (1 + \varepsilon / 100), \quad (1)$$

где  $V_d$  – объём детали, см<sup>3</sup>;  
 $\varepsilon$  – усадка при спекании.

Массу прессовки определяют по формуле:

$$m_{np} = \rho_{np} V_{np}, \quad (2)$$

где  $\rho_{np}$  – плотность прессовки, г/см<sup>3</sup>.  
Масса навески определяется по формуле:

$$m_n = k \cdot m_{np}, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий потери порошка при засыпке шихты в матрицу и прессовании. Обычно принимается равным 1.02-1.05.

Масса детали определяется по формуле:

$$m_d = (1 - \xi / 100) m_{np}, \quad (4)$$

где  $\xi$  – коэффициент уменьшения прессовки при спекании за счёт выгорания смазки, восстановления оксидов.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Ось центра давления прессы при прессовании должна быть совмещена с осью центра давления пресс-формы и осью давления детали. Центр давления детали, в общем случае, определяется из условия равенства момента равнодействующей нескольких сил сумме моментов сил относительно одной оси. Усилие прессования для тел вращения должно быть направлено вдоль оси вращения. Для расчёта центра давления деталей сложной формы, деталь разбивается на элементарные геометрические фигуры (рис. 1).

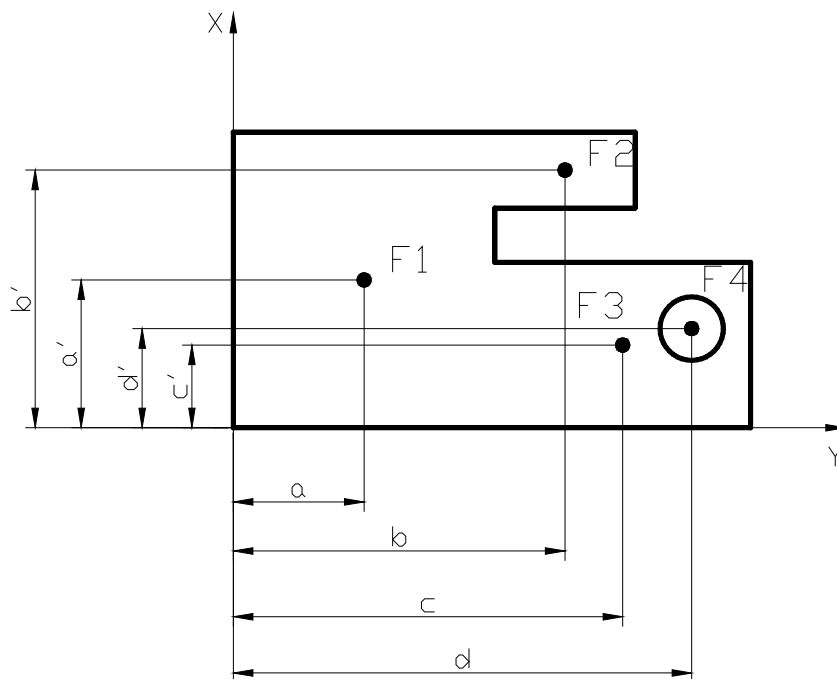


Рис. 1. Определение центра давления детали

Уравнение моментов относительно оси Y:

$$X = (F_1 a + F_2 b + F_3 c - F_4 d) / (F_1 + F_2 + F_3 - F_4). \quad (5)$$

Уравнение моментов относительно оси X

$$Y = (F_1 a' + F_2 b' + F_3 c' - F_4 d') / (F_1 + F_2 + F_3 - F_4). \quad (6)$$

где  $X$  – искомое расстояние от оси  $OY$  до центра давления;  
 $Y$  – искомое расстояние от оси  $OX$  до центра давления;  
 $F_1, F_2, F_3, F_4$  – площади элементарных фигур,  $\text{см}^2$ ;  
 $a, b, c, d$  – расстояние центра давления фигуры до оси  $OY$ ,  $\text{см}$ ;  
 $a', b', c', d'$  – расстояние центра давления фигуры до оси  $OX$ ,  $\text{см}$ .  
 Оси  $OX$  и  $OY$  выбираются произвольно.

В некоторых случаях по конструктивным причинам целесообразно совмещать оси пресс-формы с осью прессы. В этих случаях допускается смещение осей на величину, определяемую по формуле:

$$R = l \varepsilon_c, \quad (7)$$

где  $R$  – радиус круга смещения,  $\text{мм}$ ;  
 $l$  – расстояние между центрами колонок верхней плиты прессующего блока,  $\text{мм}$ ;



$\varepsilon_c$  – коэффициент смещения, определяемый по формуле:

$$\varepsilon_c = (P - P_d) / 30P, \quad (8)$$

где  $P$  – усилие прессы, кН;  
 $P_d$  – усилие прессования детали, кН.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАМЕР ЗАСЫПКИ

Для расчёта камеры засыпки необходимо знать высоту прессовки на конечной стадии прессования и коэффициент засыпки  $K$ .

Высоту прессовки определяют по формуле:

$$H_{np} = H_{д} - l_n \pm \varepsilon + \delta, \quad (9)$$

где  $H_{д}$  – номинальный размер высоты готовой детали, мм;

$l_n$  – упругое последствие по высоте, мм;

$\varepsilon$  – усадка по высоте, мм;

$\delta$  – припуск на механическую обработку, мм.

$$K = (\rho_{np} / \rho_n) \cdot b = [\rho_{д} (1 - \varepsilon / 100) / \rho_n] \cdot b, \quad (10)$$

где  $\rho_{np}$  – плотность прессовки на конечной стадии прессования, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_n$  – плотность свободно насыпанного порошка, г/см<sup>3</sup>;

$b$  – коэффициент уплотняемости (определяется экспериментально), для меди 1.0, железа 0.85.

Высота камеры засыпки равна:

$$H_3 = KH_{np}, \quad (11)$$

При прессовании деталей, имеющих переходы по высоте необходимо определять высоты камер засыпки для каждого участка прессовки:

$$H_{з.с} = KH_c C, \quad (12)$$

где  $H_c$  – высота ступени, мм;

$C$  – коэффициент перераспределения порошка (определяется экспериментально), принимается равным 0.9.

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ВЫСОТЫ МАТРИЦЫ

Размеры рабочей полости матрицы зависят от наружных размеров детали, величины упругих последствий при прессовании и дополнительной обработке, усадке при спекании, а также допустимой величины износа. В общем виде номинальные размеры рабочей полости матрицы определяются по формулам:

$$A_{mn} = A_D \pm l_{n1} \pm \varepsilon_1 \pm n_1, \quad (13)$$

$$B_{mn} = B_D - l_{n2} \pm \varepsilon_2 \pm n_2, \quad (14)$$

$$C_{mn} = C_D - l_{n3} \pm \varepsilon_3 \pm n_3. \quad (15)$$

При расчётах усадки, знак «+» ставится при усадке в процессе спекания, а знак «-» при росте.

Знак «+» ставится при калибровании детали для размеров, относящихся к валу и при деформации – для размеров относящихся к отверстию.

Знак «-» ставится при калибровании детали для размеров, относящихся к отверстию и при деформации – для размеров, относящихся к валу.

Припуск на калибрование и деформацию для размеров, относящихся к «остальным» как правило равен 0.

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ РАЗМЕРОВ РАБОЧЕЙ ПОЛОСТИ МАТРИЦЫ

Предельно допустимые размеры определяются по формулам:

$$A'_{mn} = A_{\min} - l_{n1} \pm \varepsilon_1 \pm n_1, \quad (16)$$

$$B'_{mn} = B_{\max} - l_{n2} \pm \varepsilon_2 \pm n_2, \quad (17)$$

$$C'_{mn} = C_{\max \min} - l_{n3} \pm \varepsilon_3 \pm n_3. \quad (18)$$

где  $A_{\min}$ ,  $B_{\max}$ ,  $C_{\max \min}$  – минимально и максимально допустимые размеры готовой детали, относящиеся соответственно к «отверстию», «валу», «остальным».

Припуск на матрицы определяются по формулам:

$$\Delta A = 0.9(A_{mn} - A'_{mn} - \Delta_1), \quad (19)$$

$$\Delta B = 0.9(B'_{mn} - B_{mn} - \Delta_2), \quad (20)$$

$$\Delta C = 0.9((C'_{mn} - C_{mn}) \pm \Delta_3). \quad (21)$$

где  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  – фактические допуски размеров рабочей полости матрицы при её изготовлении.

После ремонта матрицы в пределах допуска на износ изготавливаются новые пуансоны с таким расчётом, что выдержать заданную величину зазора между матрицей и пуансонами.

## 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ВЕРХНЕГО, НИЖНЕГО ПУАНСОНА И СТЕРЖНЯ

Рабочие номинальные размеры пуансонов определяются сопряжёнными размерами матрицы, а диаметры стержней сопряжёнными размерами пуансонов в пределах зазоров. Высота верхнего пуансона выбирается с таким расчётом, чтобы она обеспечивала его перемещение относительно верхней плоскости матрицы на величину:

$$H_{B \min} = H_m - h_H - H_{np}. \quad (22)$$

Высота нижнего пуансона должна обеспечивать выпрессовку изделий из матрицы при минимальной длине:

$$H_{H \min} = H_m. \quad (23)$$

Однако длина нижнего пуансона всегда превышает высоту матрицы из-за конструктивных особенностей пресса и оснастки.

Высота стержня зависит от конструкции выталкивателя и длины удлинителя. Высота стержня должна быть такой, чтобы в положении, когда основание стержня стоит на основании удлинителя штока пневмоцилиндра при засыпке, верхний торец стержня выходит на уровень верхней полости матрицы.

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ВЫТАЛКИВАНИЯ, КАЛИБРОВАНИЯ И ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Усилие  $P_{\text{выт}}$ , необходимое для выталкивания спрессованного изделия из матрицы, определяется по формуле:

$$P_{\text{выт}} = \mu P_{\delta} F_{\delta}, \quad (24)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения изделия о стенки матрицы, обычно принимается 0.1-0.2;  
 $F_{\delta}$  – площадь боковой поверхности изделия, см<sup>2</sup>;  
 $P_{\delta}$  – боковое давление, рассчитываемое по формуле:

$$P_{\delta} = 0.00725 \rho_n, \quad (25)$$

где  $\rho_n$  – плотность изделия после прессования, г/см<sup>3</sup>.

Боковое давление при прессовании шихты на основе меди принимается равным давлению прессования.

Крепление матрицы в плите пресса осуществляется при помощи прижимных планок, которые привинчиваются болтами или винтами. Количество болтов или винтов, удерживающих матрицу от выталкивающей силы зависит от усилия, развиваемого прессом и высоты детали и выбираются по табл. 3.

Таблица 3

Зависимость количества болтов, винтов удерживающих матрицу от усилия пресса

Усилие пресса, кН	Количество болтов, винтов , шт			
	Пресс механический		Пресс гидравлический	
	P<10 мм	H≥10 мм	P<10 мм	H≥10 мм
1000-6300	4	6	6	8

Усилие калибрования  $P_k$  определяется по формуле:

$$P_k = 0.3P, \quad (26)$$

где  $P$  – усилие пресса, кН.

Усилие выталкивания  $P_{\text{в.к.}}$  определяется по формулам:

а) при подвижном центральном стержне

$$P_{\text{в.к.}} = 0.8P_k; \quad (27)$$

б) при неподвижном центральном стержне

$$P_{\text{в.к.}} = P_k. \quad (28)$$

## 9. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ПРЕСС-ФОРМ, ПУАНСОНОВ, МАТРИЦЫ, СТРЕЖНЯ

На рис. 2-13 представлены примеры конструкции рабочих частей пресс-форм для прессования изделий различных групп сложности (матрица, пуансон, стержень).

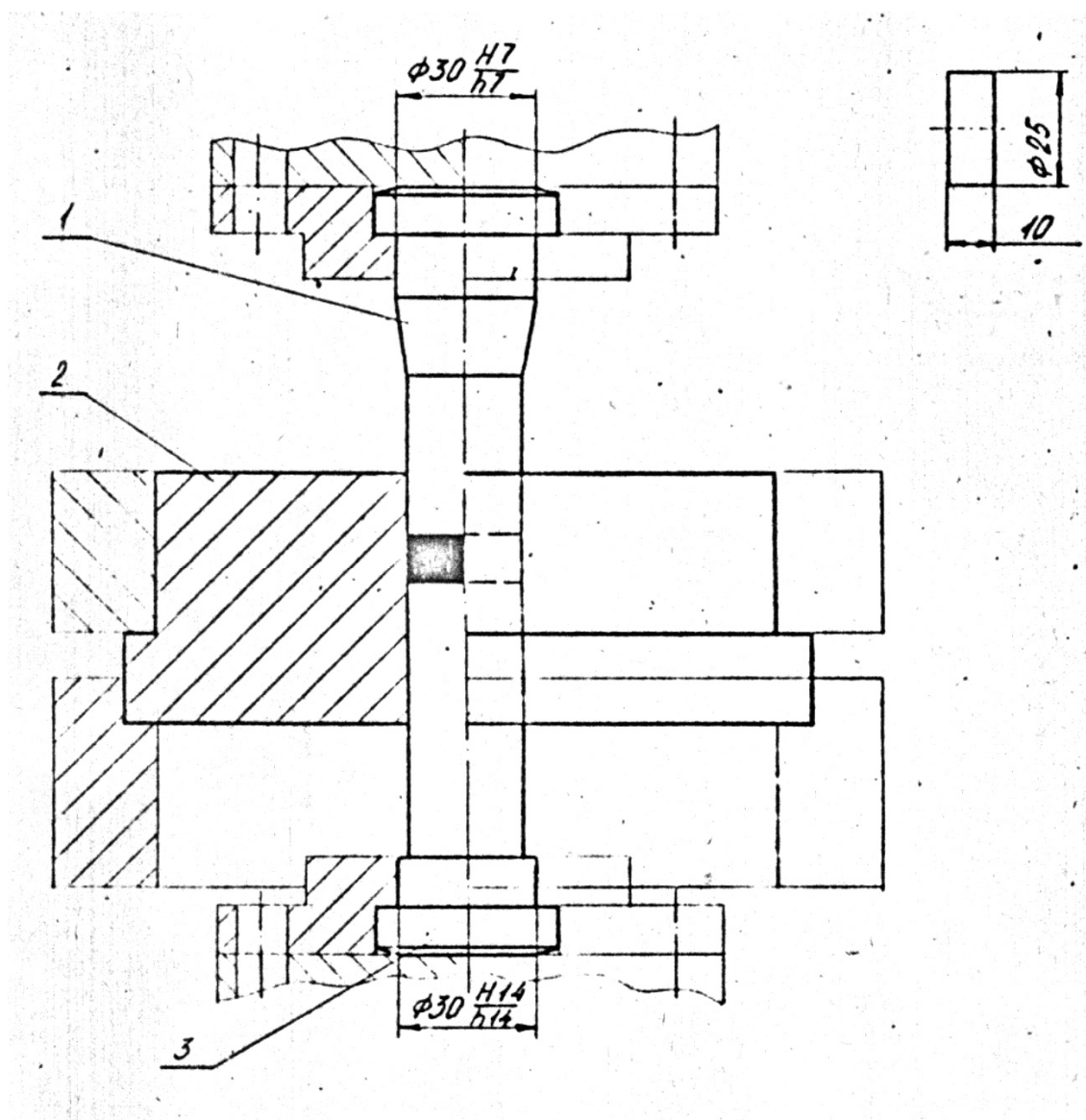


Рис. 2. Конструкция рабочих частей пресс-форм (матрица, пуансон, стержень)  
для прессования изделия прямоугольной формы

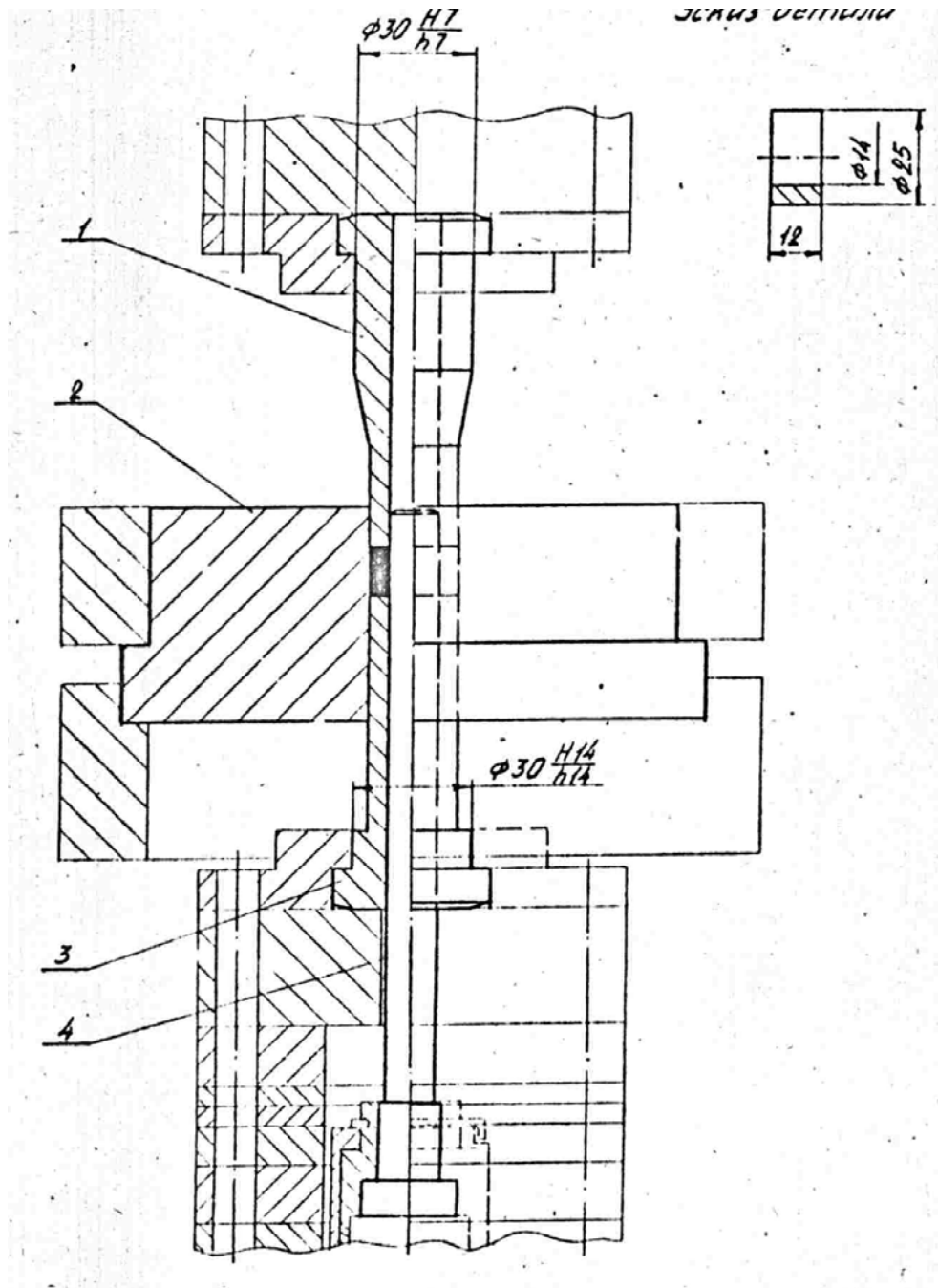


Рис. 3. Конструкция рабочих частей пресс-форм (матрица, пуансон, стержень) для прессования изделия цилиндрической формы с внутренним отверстием



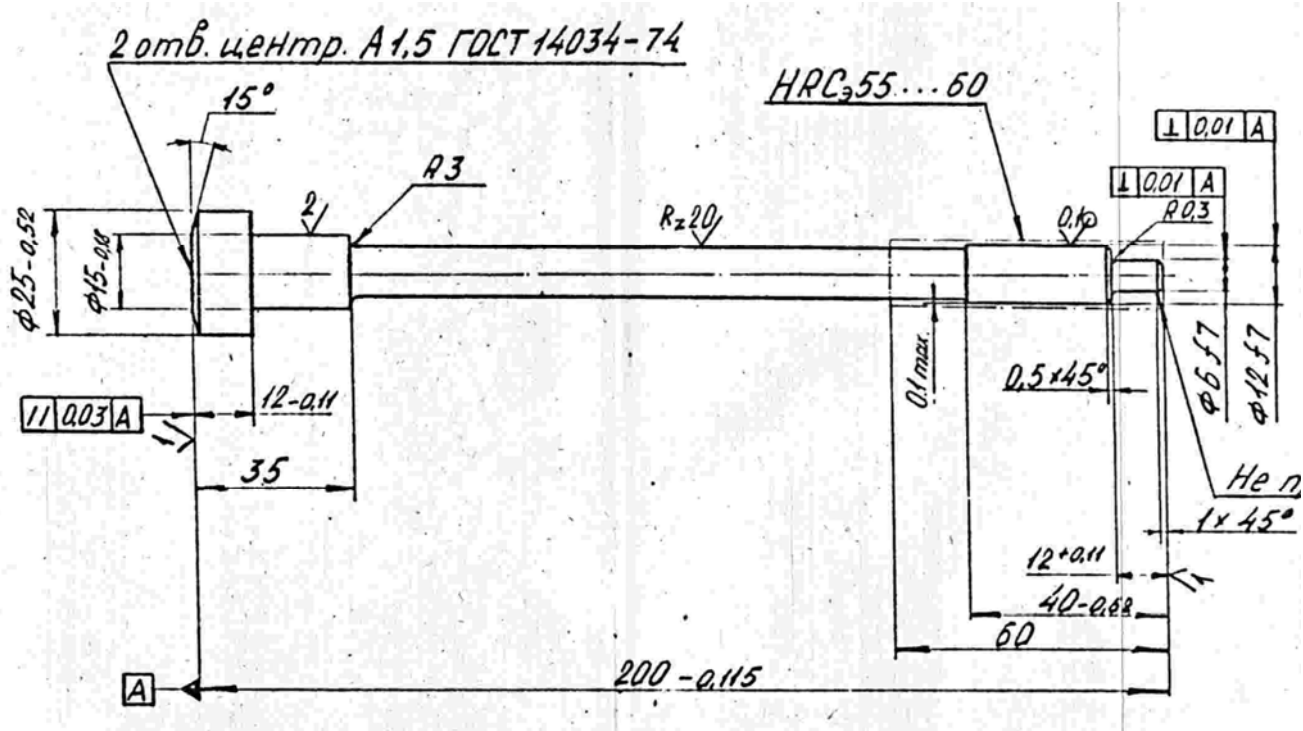


Рис. 4. Конструкция стержня

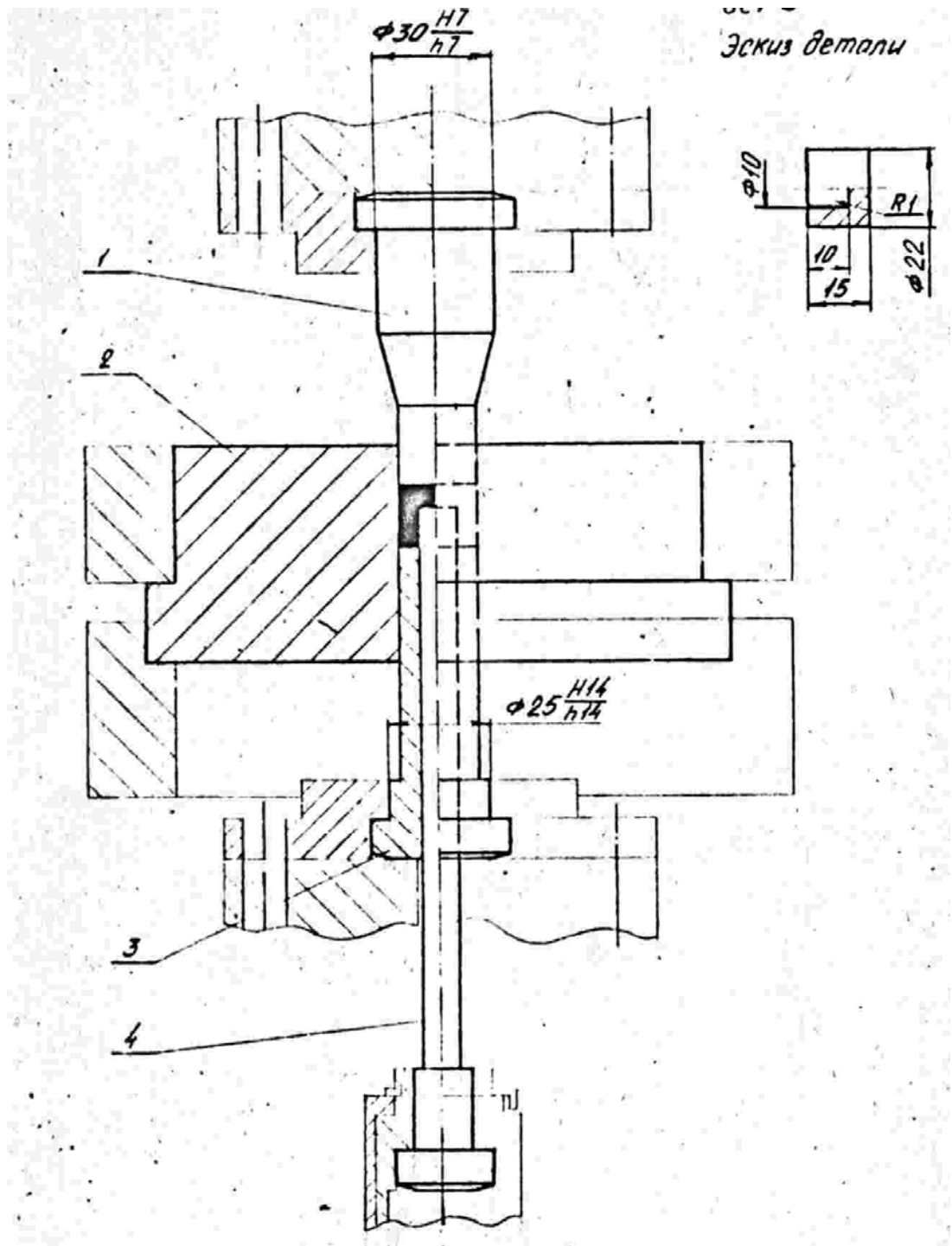


Рис. 5. Конструкция рабочих частей пресс-форм (матрица, пуансон, стержень) для прессования изделия цилиндрической формы с внутренним отверстием и буртом

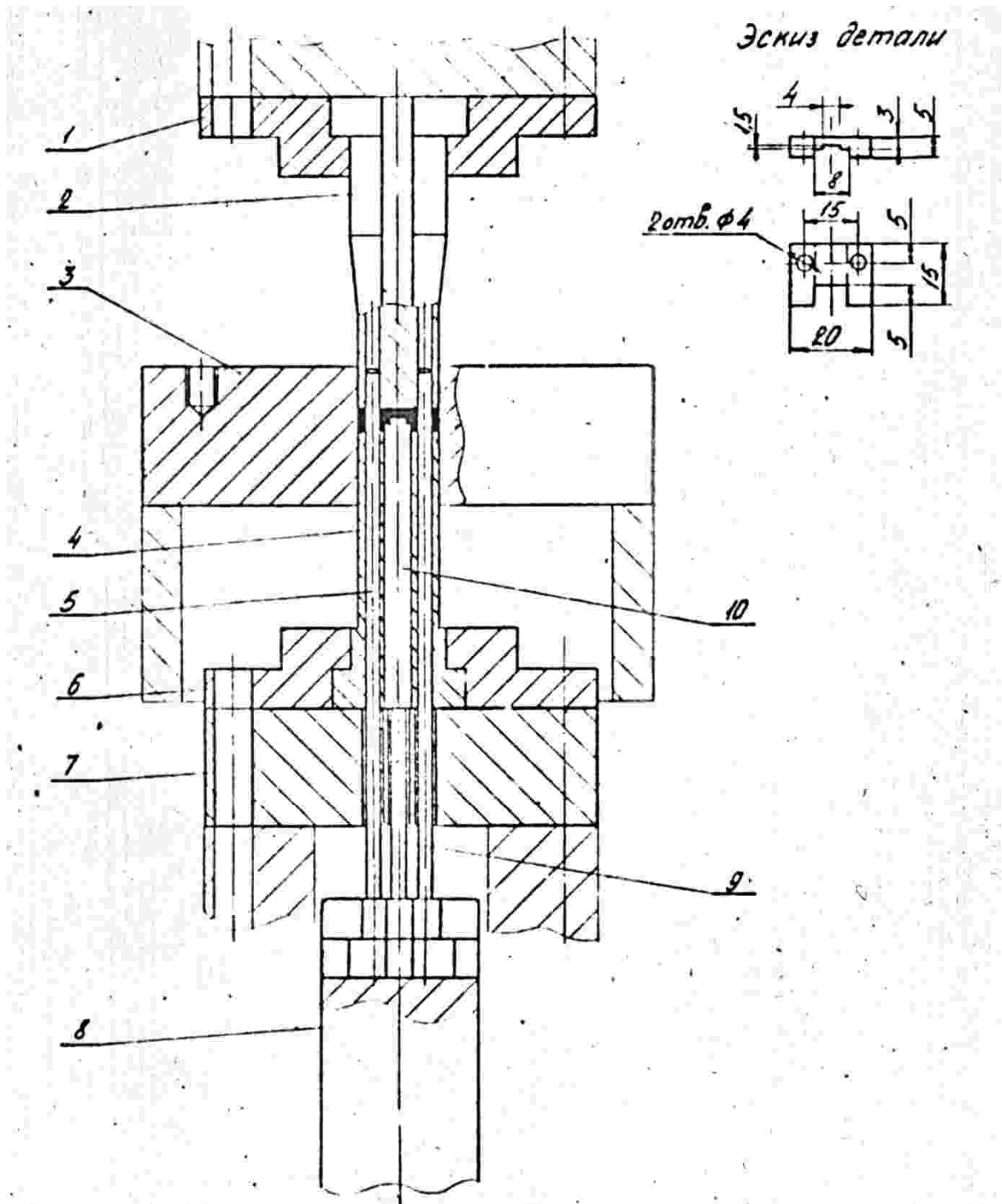


Рис. 6. Конструкция рабочих частей пресс-форм (матрица, пуансон, стержень) для прессования изделия сложной формы и несколькими переходами по высоте

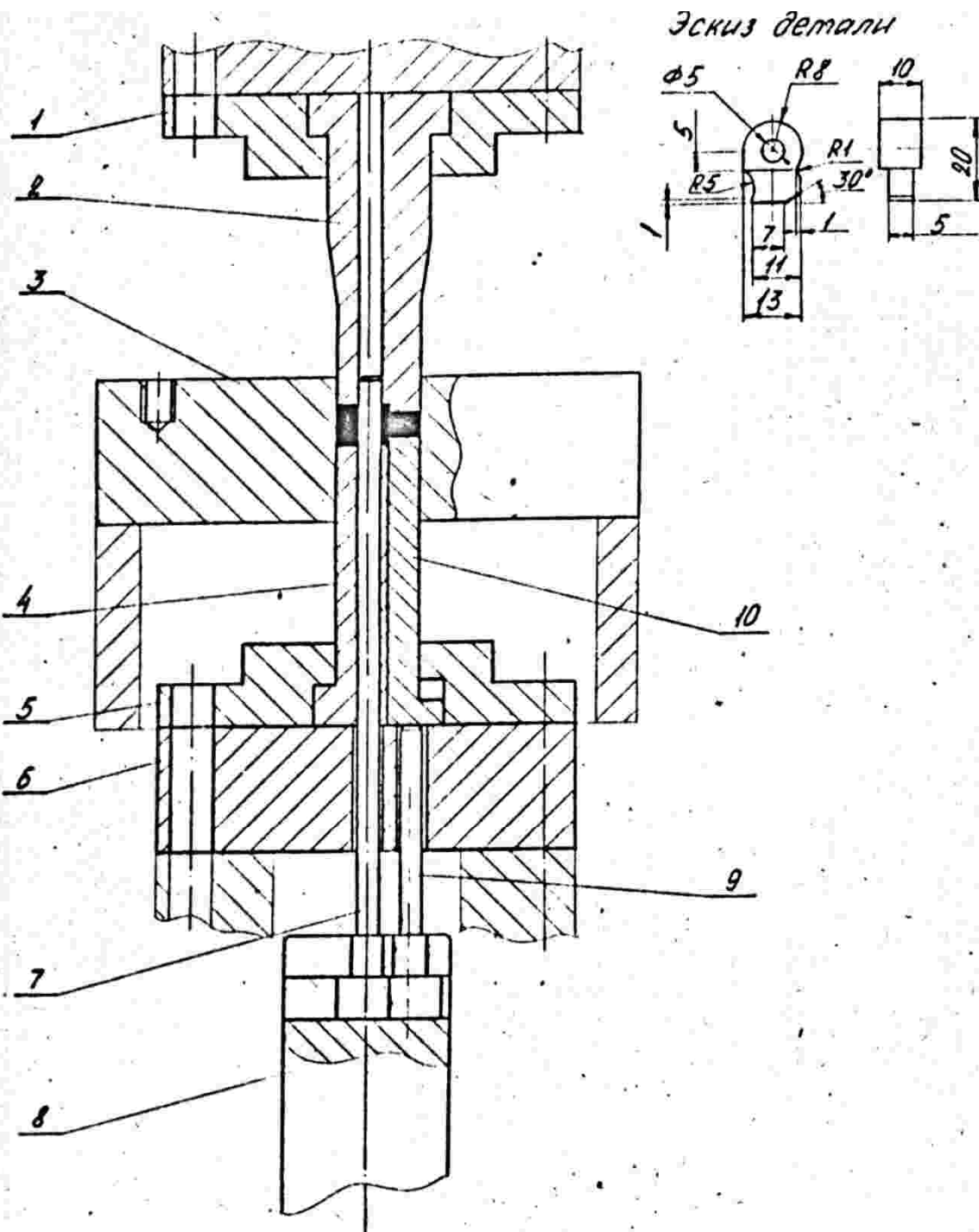


Рис. 7. Конструкция рабочих частей пресс-форм (матрица, пуансон, стержень) изделия сложной формы и несколькими переходами по высоте

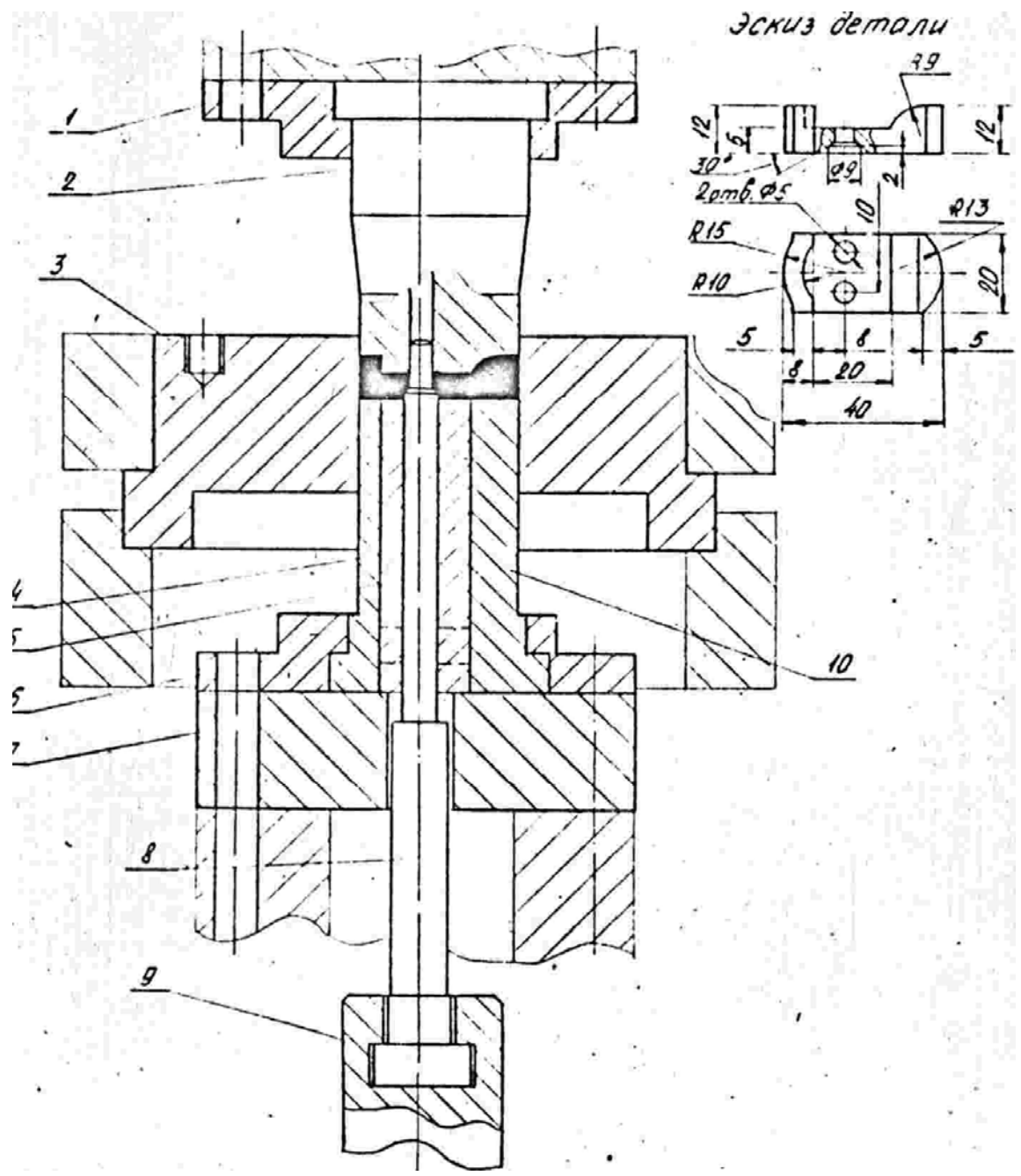


Рис. 8. Конструкция рабочих частей пресс-форм (матрица, пуансон, стержень) изделия сложной формы и несколькими переходами по высоте и несколькими отверстиями

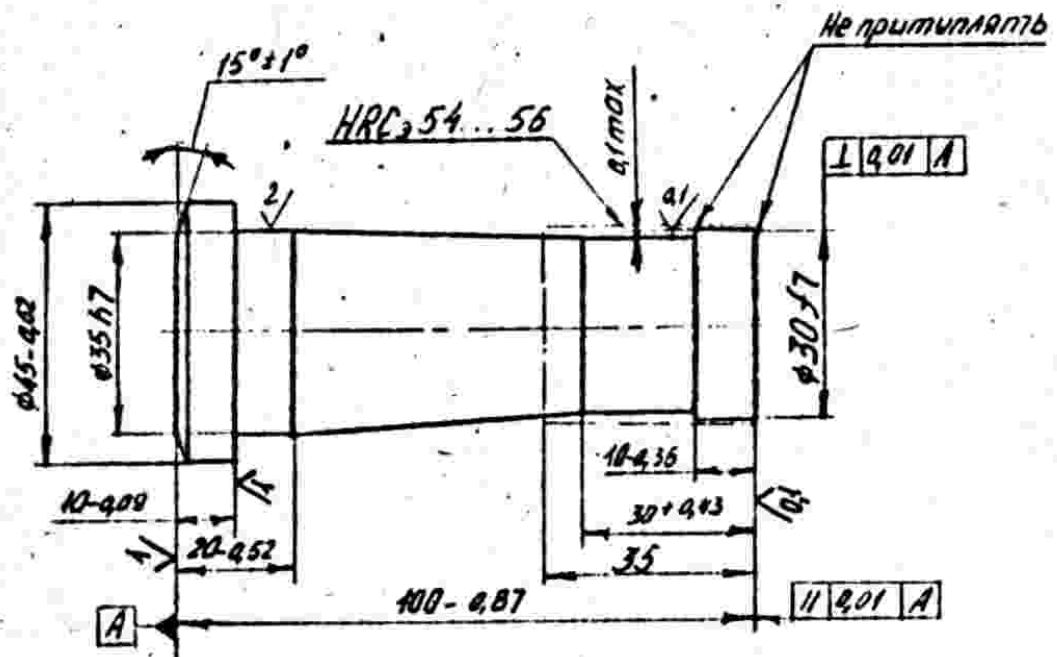


Рис. 9. Конструкция пуансона цилиндрической формы без стержня

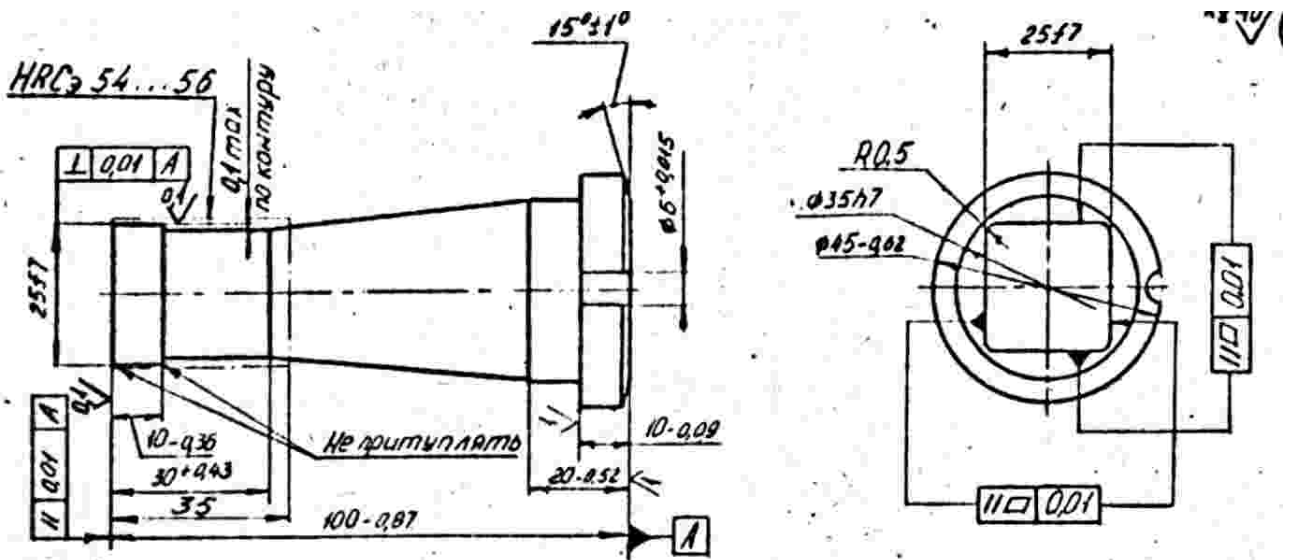


Рис. 10. Конструкция пуансона прямоугольной формы без стержня

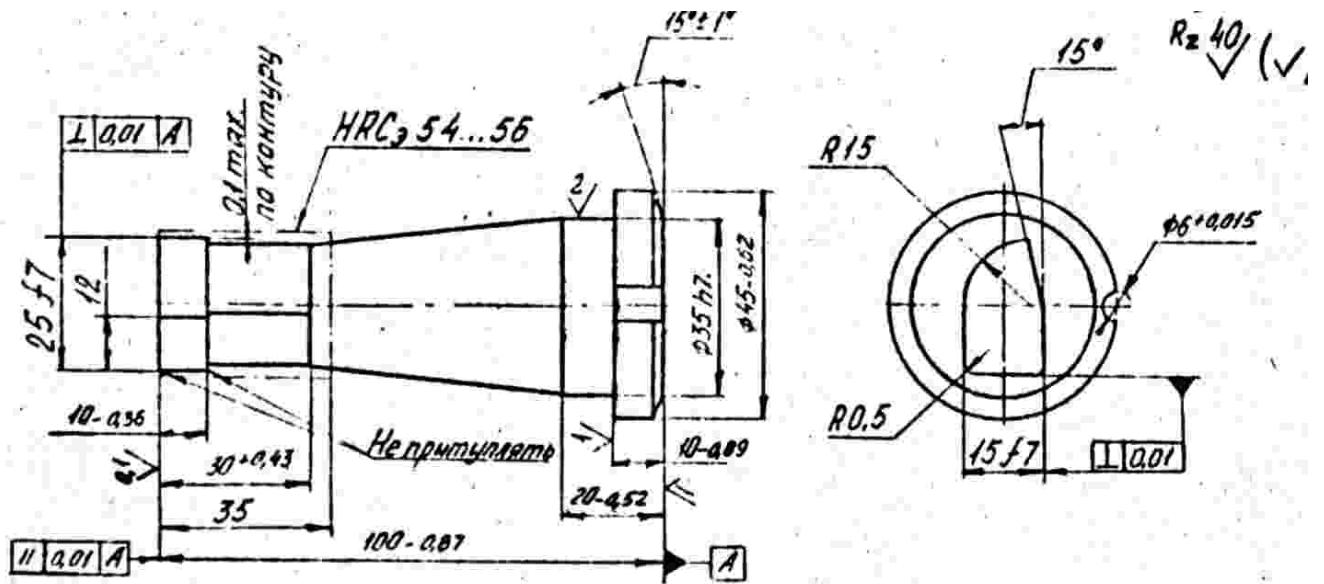


Рис. 11. Конструкция пуансона сложного профиля

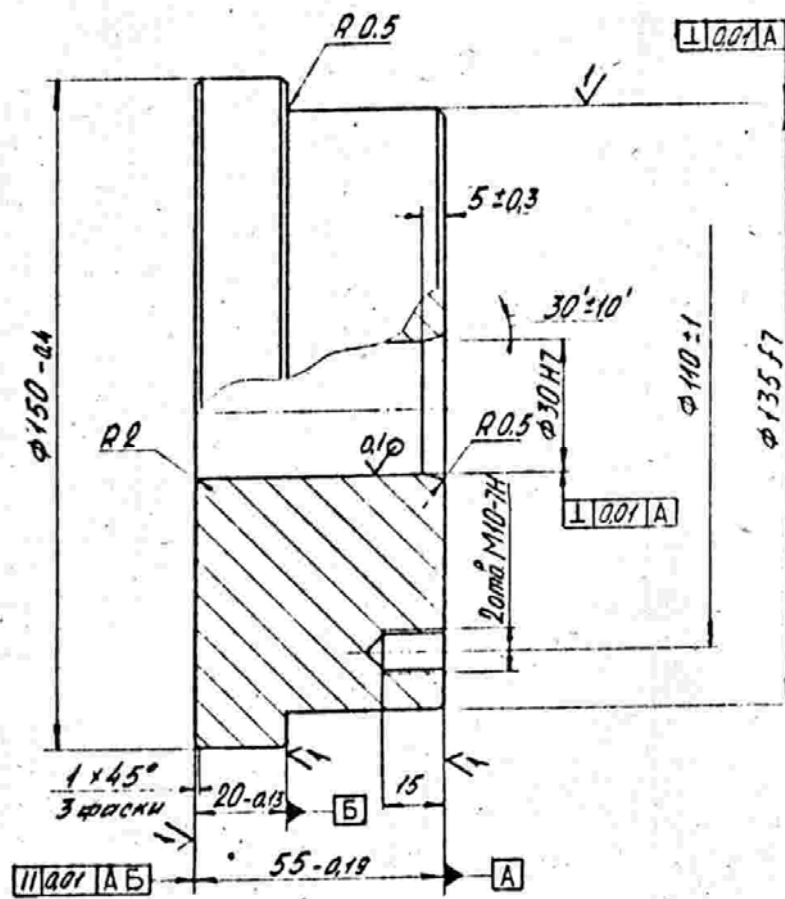


Рис. 12. Конструкция матрицы

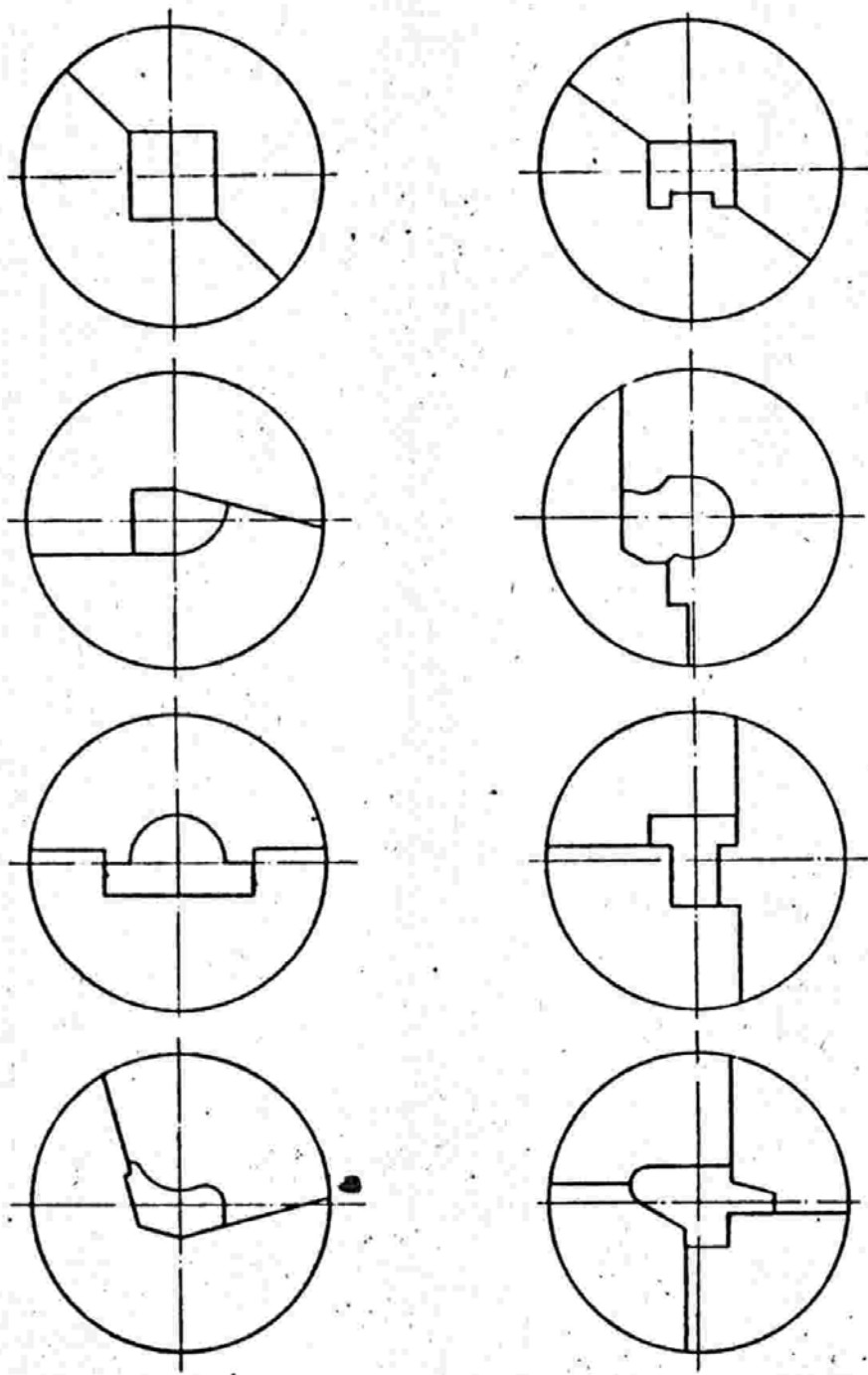


Рис. 13. Конструктивное исполнение разборных матриц



## ЛИТЕРАТУРА

1. Клячко, Л. И. Оборудование и оснастка для формования порошковых материалов / Л.И. Клячко, А.М. Уманский, В.Н. Бобров. – М.: Metallurgy, 1986. – 336 с.
2. Альтгаузен, А.П. Электротермическое оборудование / А.П. Альтгаузен. – М.: Энергия, 1980. – 416 с.
3. Финдайзен, Б. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы / Б. Финдайзен. – М.: Metallurgy, 1983. – 520 с.