

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет Технологии машиностроения
Кафедра Технологии формоизменения и художественная обработка материалов

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Методические указания
к лабораторным работам
(часть 1)

Ростов- на - Дону
ДГТУ
2022

УДК 621.983 044 (076.5)

Составители: А.С. Пасхалов, Е.А. Ефремова, И.А. Церна

В методических указаниях описаны цели, задачи и методики выполнения лабораторных работ по дисциплине «Технология и оборудование листовой штамповки». Приведены указания и требования к оформлению и защите выполненных лабораторных работ.

Методические указания предназначены главным образом для бакалавров направления 15.03.01 «Машиностроение» (ОПОП «Информационные технологии обработки металлов давлением»), а также магистрантов направления 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» (ОПОП «Технологии и машины обработки цветных металлов»).

УДК 621.983 044 (076.5)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор доктор техн. наук, профессор А.В. Вовченко

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Технологии
формообразования и художественная обработка материалов»
канд. техн. наук, доцент Г.В. Чумаченко

В печать ____ . ____ . 20 ____ г.
Формат 60×84/16. Объем ____ усл.п.л.
Тираж ____ экз. Заказ № ____.

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2022

Лабораторная работа № 1

1.1. Тема: оценка эффективности применения типовых методов испытания листового материала на штампуемость.

1.2. Цель работы: ознакомиться с типовыми методами испытания листового металла на штампуемость и оценить штампуемость листового металла, определить его способность к пластическому формоизменению в зависимости от схемы напряженно-деформированного состояния.

1.3. Материальное обеспечение:

1.3.1. Прибор Эриксона.

1.3.2. Штамп-прибор для испытания по Энгельгарду.

1.3.3. Мерительный инструмент: штангенциркуль, микрометр

1.3.4. Графитовая смазка, спирт ректификат, бязь.

1.3.5. Металл листовой.

ПОНЯТИЕ О ШТАМПУЕМОСТИ

Штампуемость (технологическая деформируемость) металла является сравнительной, которая отражает поведение листового металла при штамповке в производственных условиях, его способность пластически деформироваться по заданной схеме до заданных степеней деформации и приобретать требуемую форму в процессе технологической операции или перехода. Штампуемость – это комплексное понятие, которое определяется системой металл – конструкция детали – технологии штамповки – штампы – оборудование – подготовка производства.

Технологические испытания (пробы) применяются для определения предельной степени деформации металла в условиях, моделирующих различные операции холодной листовой штамповки. Испытания проводятся для конкретного металла в заданных условиях деформирования.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.1. Испытания по «Эриксену» на глубину формовки лунки

Условия испытаний регламентированы ГОСТ 10510-80. Испытывается материал толщиной от 0,2 мм до 2 мм на приборе Эриксона или на машине – приборе модели МТЛ-10 Г. Усилие прижима составляет 10 кН, заготовка – полоса шириной 90 мм, диаметр пуансона 10 и 20 мм. Мерой испытания является глубина лунки в момент локализации деформации и разрыва металла (спад усилия). Объектами исследования являются: высота выпучивания лунки; характер разрыва металла в полюсе, анизотропность металла; зернистость выпученной поверхности.

1.1.1. Методика проведения испытаний

1.1.1.а. Имеющиеся образцы измерить и данные занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1 -Результаты испытания по «Эриксену» на глубину формовки лунки

| № п/п | Марка мат-ла | Толщина заготовки, мм | Размеры заготовки, мм | Глубина лунки, мм | Характер разрушения | Оценка анизотропии |
|----------|-----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| | | | | | | |

1.1.1.б. Провести (в соответствии с ГОСТ 10510-80) испытания на глубину формования лунки на приборе Эриксона или МТЛ-10 Г. Для этого:

- обезжирить образец и зону прижима штамповой оснастки, установить заготовку между прижимным кольцом и матрицей (см. рис.1.1) и зажать фланец заготовки;

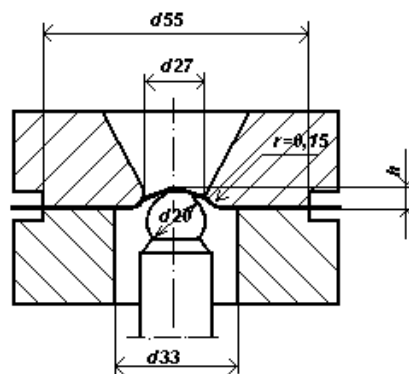


Рисунок 1.1 – Схема испытания по «Эриксену» на глубину формовки лунки.

- вытянуть сферическую лунку до момента образования трещины на испытуемой заготовке;
- измерить глубину вытянутой лунки и результаты занести в табл.1;
- выполнить то же, предварительно нанеся смазку на пуансон, результаты занести в табл.1.1;

1.1.1.в. В соответствии с ГОСТ 9045-93 (приложение 1, таблицы 1,2,3) сопоставить результаты испытания и записать вывод по подразделу 1.1.1. о качестве и пригодности испытанного металла к вытяжке.

1.2. Испытания на вытяжку цилиндрического колпачка с помощью штамп-прибора (испытания по Энгельгардту)

Испытания заключаются в вытяжке цилиндрического колпачка с помощью штамп-прибора (см. рис. 1.2.) при постоянном коэффициенте вытяжки 0,577 (диаметр пуансона $d_{п}=30...70$ мм) с радиусом закругления рабочей кромки 4 мм до возникновения максимального усилия вытяжки P_{max} , затем фланец заготовки жестко зажимается и фиксируется усилие $P_{отр.}$ отрыва дна.

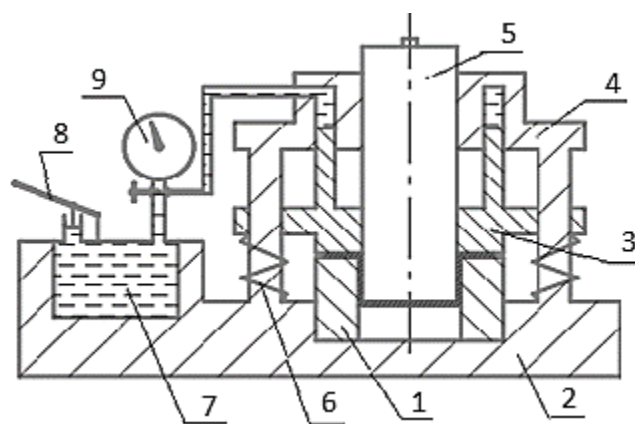


Рис.1.2 - Схема штамп прибора для испытаний по Энгельгардту: 1-матрица; 2-нижняя плита; 3-прижим; 4- верхняя плита; 5-пуансон; 6-пружина возврата; 7-полость для масла; 8-ручной насос; 9-манометр.

Критерием оценки штампуемости с помощью штамп-прибора является относительная разность усилий отрыва дна и вытяжки (см. рис. 1.3.), показатель Т:

$$T = \frac{P_{отр} - P_{maxp}}{P_{отр}} \times 100\%$$

Чем больше Т, тем лучше штампуемость металла.

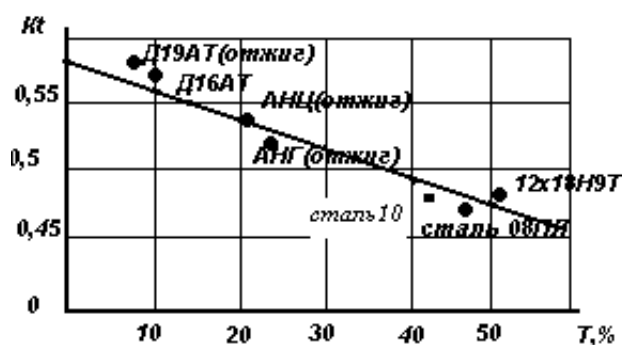


Рис. 1.3. – Связь показателя «Т» с предельным коэффициентом вытяжки

Дополнительным условием можно считать параметр:

$$N = \frac{P_{отр}}{P_{max}}$$

При N=1 происходит разрушение. Запас по усилиям может назначаться в зависимости от условий деформирования и свойств металла. Обычно нижний предел равен 20%, т.е. N>1,2 является достаточным для компенсации изменений свойств металла в пределах одной марки и условий штамповки.

1.2.1. Методика проведения испытаний:

1.2.1.а. Измерить имеющиеся образцы и данные занести в табл. 1.2.

Таблица 1 - Результаты испытания по «Энгельгардту»

| № п/п | Марка материала | Толщина заготовки, мм | Диаметр заготовки, мм | Макс. усилие вытяжки, Н | Усилие отрыва дна, Н |
|----------|--------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | | | | | |

1.2.1.б. Смазать заготовку и оснастку и уложить заготовку в штамп.

1.2.1.в. Гидравлическим насосом создать необходимое усилие прижима $2 \div 4 \text{ МПа}$ ($25 \div 40 \text{ кгс/см}^2$).

1.2.1.г. Вытянуть деталь на испытательной машине, при этом фиксировать усилие вытяжки P_v по ходу пуансона.

1.2.1.д. Зафиксировать момент возникновения максимального усилия, затем с помощью гидравлического насоса 8 (см. рис.1.2) довести усилие прижима до $15 \div 20 \text{ МПа}$ и процесс деформирования до момента отрыва дна ($P_{отр.}$)

1.2.1.е. Записать в табл. 1.2 усилие отрыва дна ($P_{отр.}$) и максимальное усилие вытяжки (P_v).

1.2.1.ж. Поменять условия испытания (заменив материал) и провести повторно испытания.

1.2.1.з. Рассчитать критерии штампуемости.

1.2.1.и. Записать вывод по подразделу 1.2.1. (о штампуемости металла).

1.3. Контрольные вопросы

- Что понимают под штампуемостью металла?
- Какие методы оценки штампуемости существуют?
- Суть метода испытаний металла по Эриксену.
- Критерии оценки штампуемости по Энгельгардту.
- Для чего используют диаграммы предельных деформаций?
- Что такое анизотропия металла?
- Как влияют на штампуемость металла величина зерна, химические элементы?
- Какие существуют виды технологических испытаний? В чем их суть?
- Как определить коэффициент нормальной анизотропии и показатель деформационного упрочнения?

Лабораторная работа № 2

2.1. Тема: исследование процесса вырубки, пробивки листового материала в штампах.

2.2. Цель работы: исследовать влияние технологических параметров процесса вырубки (пробивки) на сопротивляемость срезу, усилие вырубки и качество получаемого реза.

2.3. Материальное обеспечение:

- экспериментальный штамп для вырубки;
- мерительный инструмент;
- испытательная машина ИП500;
- заготовки, ветошь, смазка.

2.4. Порядок выполнения работы

2.4.1. По заданному чертежу детали (см. рис.2.1.) разработать эскиз штампа (см. рис. 2.2) с жестким съемником с указанием основных элементов штампа и материала для их изготовления.

2.4.3. Рассчитать исполнительные размеры инструмента с учетом заданной точности вырубаемой детали (использовать рекомендации, приведенные ниже).

2.4.4. Рассчитать теоретически сопротивление срезу и усилие вырубки в зависимости от S/d - относительной толщины заготовки (использовать рекомендации, приведенные ниже).

2.4.5. Установить штамп на пресс и провести работы, связанные с наладкой штампа.

2.4.6. Провести вырубку детали, последовательно меняя заготовки с различной толщиной, фиксируя при этом усилие вырубки.

2.4.7. Данные экспериментов и аналитических расчетов занести в табл. 2.1.

2.4.8. По данным таблицы 2.1. построить графики зависимостей $\sigma_{ср}=f(S/d)$, $P_{выр}=f(Z)$ и $P_{выр}=f(v)$.

2.4.9. Сделать выводы по работе.

Таблица 2.1 - Данные экспериментов и аналитических расчетов

| Марка материала | Толщина, S, мм | Относит. толщина детали, S/d | Скорость деформирования v, м/сек | Усилие деформирования, Н | | Сопротивление срезу, $\sigma_{ср}$, МПа | Качество поверхности среза |
|-----------------|----------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|--|----------------------------|
| | | | | Теор., $P_{теор}$ | Экспер., $P_{эксп}$ | | |
| | | | | | | | |

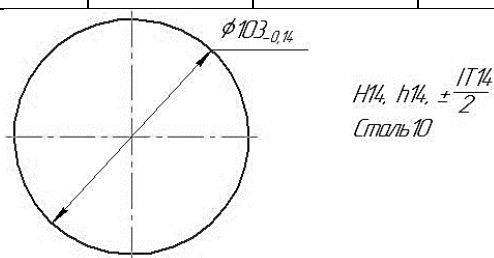


Рис.2.1 – Эскиз детали.

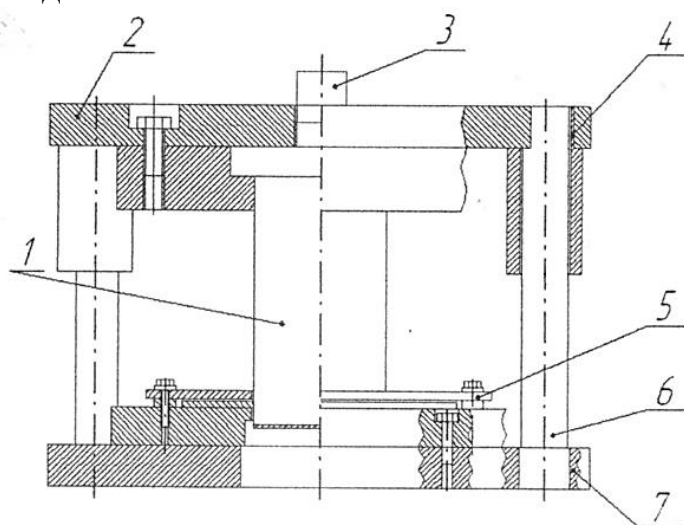


Рис.2.2 – Эскиз штампа: 1-пуансон; 2-плита верхняя; 3-хвостовик; 4-втулки; 5-съемник; 6-Колонки; 7-плита нижняя.

Для расчета исполнительных размеров инструмента можно использовать формулы /1,2/, приведенные ниже и данными из табл. 1 и 2 в приложении 2:

а) для вырубки

$$L_M = (L_H - \Pi_H)^{+\delta_M};$$

$$L_{\Pi} = (L_H - \Pi_H - z)_{-\delta_{\Pi}},$$

б) для пробивки

$$L_{\Pi} = (L_H + \Pi_H)_{-\delta_{\Pi}};$$

$$L_M = (L_H + \Pi_H + z)^{+\delta};$$

где L_H - номинальный размер штампуемого элемента;

Π_H - припуск на износ матрицы и пуансона;

δ_M, δ_{Π} - предельное отклонение размера матрицы или пуансона;

z - зазор между пуансоном и матрицей.

Теоретическое усилие P_T в разделительных операциях в штампах с параллельными режущими кромками пуансона и матрицы определяют по формуле:

$$P = L \times S \times \sigma_{ср} \times k,$$

где L - периметр контура вырубки, мм;

S - толщина штампуемого материала, мм;

$\sigma_{ср}$ - сопротивление срезу, МПа;

k - коэффициент, учитывающий притупление режущих кромок пуансона или матрицы, принимаем $k = 1,1 \div 1,15$.

Для теоретического определения величины сопротивления срезу ($\sigma_{ср}$) можно воспользоваться выражением /1, 3/:

$$\sigma_{ср} = (m \times \frac{S}{d} + 0,6) \times \sigma_B \times \frac{S}{S - h_n}$$

где h_n - величина пластической зоны среза;

m - коэффициент, (при $Z = 0,15 \times S$, принимаем $m = 1,2$);

σ_B - предел прочности материала, МПа (см. приложение 1, таблица 4).

Для определения относительной величины h_n/S можно воспользоваться данными рис. 2.1. или формулой /1, 3/: $h_n/S = 0,67 - 0,04 \times S - 0,0012 \times n$ (для стали 20); $h_n/S = 0,76 - 0,035 \times S - 0,0014 \times n$ (для стали 08КП)

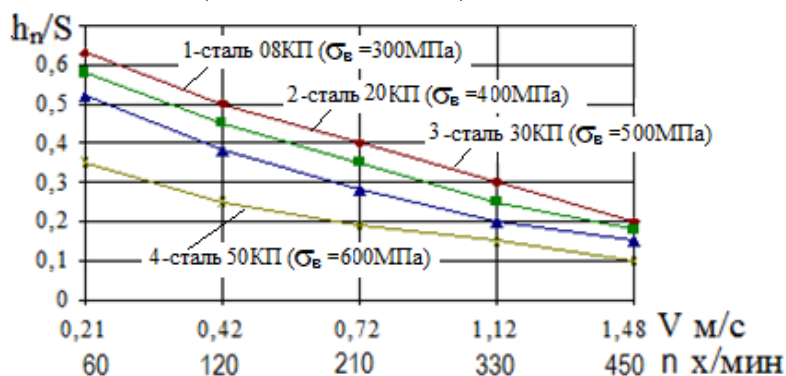


Рис. 2.1 - Зависимость h_n/S от числа ходов n (скорости деформации V): 1 - сталь 08КП ($\sigma_B = 300$ МПа); 2 - сталь 20 ($\sigma_B = 400$ МПа); 3 - сталь 30 ($\sigma_B = 500$ МПа); 4 - сталь 50 ($\sigma_B = 600$ МПа) /1,3/.

2.5. Контрольные вопросы

- 2.5.1. Что понимают под оптимальным зазором.
- 2.5.2. Какие основные технологические параметры определяют качественный рез при вырубке, пробивке в штампах.
- 2.5.3. Какие основные технологические параметры влияют на усилие вырубки.
- 2.5.4. Укажите способы уменьшения усилия вырубки.
- 2.5.5. Что понимают под условным и экспериментальным сопротивлением срезу.
- 2.5.6. Как изменяется величина наклепанной зоны с увеличением числа ходов пресса.
- 2.5.7. Назовите стадии процесса резания штампами и кратко охарактеризуйте их.
- 2.5.8. Назовите параметры, от которых зависит расчет исполнительных (рабочих) размеров инструмента.
- 2.5.9. Как влияет параметр S/d на сопротивление срезу материала?
- 2.5.10. Как влияет притупление режущих кромок на усилие вырубки?

Лабораторная работа № 3

3.1. Тема: исследование процесса гибки листового металла

3.2. Цель работы: ознакомиться и исследовать процесс одноугловой (*V-образной*) свободной гибки листового металла.

3.3. Материальное обеспечение:

- экспериментальный штамп для *V-образной гибки*;
- испытательная машина ИП500;
- мерительный инструмент: угломер, радиусомер, штангенциркуль;
- заготовки, ветошь, смазка.

3.4. Порядок выполнения работы.

3.4.1. Разработать эскиз штампа для *V-образной гибки* (см. рис. 3.1), установить штамп на универсальную испытательную машину, произвести работы, связанные с наладкой штампа.

3.4.2. Провести исследование влияния усилия гибки на величину угла пружинения, для этого:

- а) зафиксировать радиус гибки (r_n - радиус пуансона) 10 мм, угол гибки 90° ;
- б) уложить образец (заготовку) на зеркало матрицы;
- в) усилие гибки изменять от 20кН до 80кН с шагом 20 кН;
- г) после каждого шага нагружения измерять полученный угол гибки и результат заносить в табл. 3.1;

3.4.3. Провести исследование влияния угла гибки на величину угла пружинения и на величину деформации крайних волокон, при этом:

- а) установить инструмент с радиусом гибки 10 мм;
- б) изменять угол гибки от 60° до 120° с шагом 30° ;

в) при каждом угле гибки усилие нагружения 80 кН.

г) после каждого шага нагружения измерять полученный угол гибки и результат заносить в табл. 3.1.

3.4.4. Исследовать влияние радиуса гибки на величину угла пружинения и длину нейтрального слоя.

а) установить инструмент с углом гибки 90° ;

б) изменять радиус гибки с шагом 5 мм от 5 мм до 20 мм;

в) при каждом радиусе гибки усилие нагружения 80 кН.

г) после каждого шага нагружения измерять полученный угол гибки и результат заносить в табл. 3.1.

3.4.5. По результатам экспериментальных исследований и аналитических расчетов (см. таблицу) построить графики:

- изменения угла пружинения от усилия гибки;
- изменения угла пружинения от угла гибки;
- изменение угла пружинения от радиуса гибки;
- изменение величин деформации от угла гибки;
- изменение величин деформации от радиуса гибки;
- изменение длины нейтрального слоя от угла гибки;
- изменение длины нейтрального слоя от радиуса гибки.

3.4.6. Сделать выводы о влиянии на угол пружинения и величину деформации исследуемых параметров.

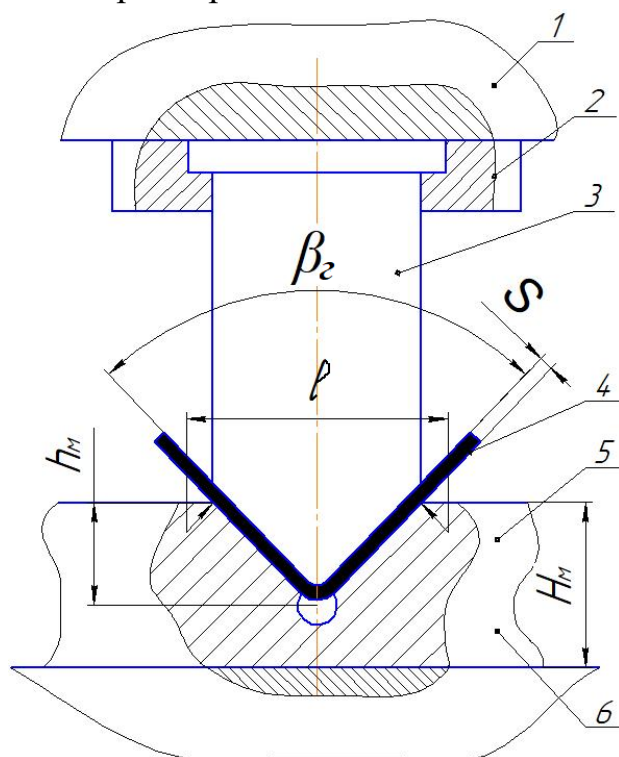


Рис. 3.1 - Схема открытого штампа для одноугловой V-образной гибки: 1- ползун; 2-пуансонодержатель; 3-пуансон; 4- образец; 5-матрица; 6-стол прессы.

Таблица 3.1 -Результаты экспериментальных и аналитических исследований

| № п/п. | Усилие гибки, кН | Радиус гибки, r_n , мм | Угол гибки β_c , град. | Угол изгиба детали, β_d , град. | Угол пружинения, | | E_p | Длина нейтрального слоя, l_p , мм |
|--------|------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------------------|
| | | | | | Экспери мет, $\Delta\beta_c$ | Расчет, $\Delta\beta_p$ | | |
| 1 | 20 | 10 | 90 | | | | | |
| 2 | 40 | 10 | | | | | | |
| 3 | 60 | 10 | | | | | | |
| 4 | 80 | 10 | | | | | | |
| 5 | 80 | 10 | 60 | | | | | |
| 6 | 80 | 10 | 90 | | | | | |
| 7 | 80 | 10 | 120 | | | | | |
| 8 | 80 | 5 | 90 | | | | | |
| 9 | 80 | 10 | | | | | | |
| 10 | 80 | 15 | | | | | | |
| 11 | 80 | 20 | | | | | | |

Углом пружинения ($\Delta\beta$) называют разницу между полученным углом изгиба в детали (β_d) и углом гибки (β_c – угол гибки пуансона или матрицы, см. рис.3.1) /2,3/:

$$\pm\Delta\beta = \beta_d - \beta_c$$

Величину деформации крайних волокон (E_p) для растянутого нагруженного слоя гибки «R» можно определить по формуле /1/:

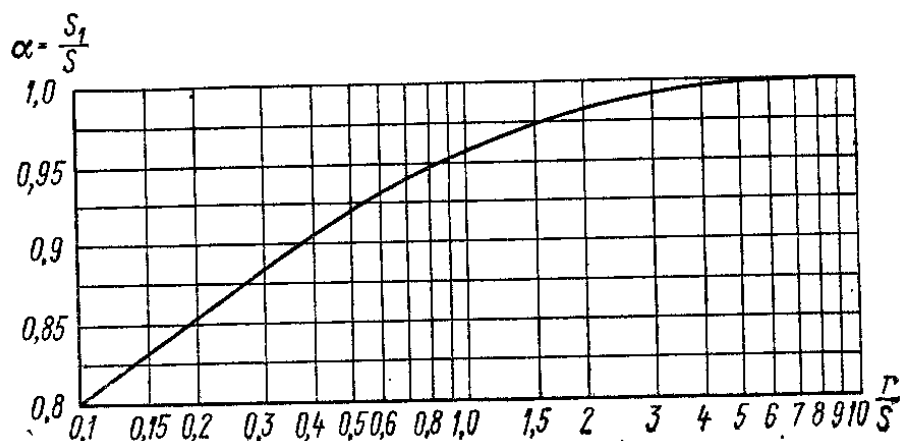
$$E_p = \frac{\frac{r_n+1}{\alpha S} - \frac{\alpha}{r_n+2}}{\frac{r_n+1}{\alpha S} - \frac{\alpha}{r_n+2}} - 1$$

где r_n – внутренний радиус гибки (радиус пуансона), мм;

α – коэффициент утонения

S – толщина заготовки, мм.

Величину коэффициента утонения можно определить по графику /1/:

Рис. 3.2 – Коэффициент утонения при гибке на угол 90° (сталь 10÷20) /1/

Длину нейтрального слоя в изогнутом участке определяем по формуле /1/:

$$l = 0,017 \times \beta_r \times (r + x \times S),$$

где β_r – требуемый угол гибки (см. рис.3.1), градусы;

S – толщина заготовки, мм;

x – коэффициент смещения нейтрального слоя (см. табл.3.2).

При $\beta_r = 90^\circ$:

$$l = 1,57 \times (r + x \times S),$$

Табл. 3.2 - Коэффициент смещения нейтрального слоя

| r/S | x | r/S | x | r/S | x | r/S | x |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| 0,05 | 0,27 | 0,50 | 0,38 | 1,20 | 0,43 | 3,0 | 0,47 |
| 0,1 | 0,30 | 0,60 | 0,39 | 1,5 | 0,44 | 4,0 | 0,47 |
| 0,15 | 0,32 | 0,70 | 0,40 | 1,8 | 0,45 | 5,0 | 0,48 |
| 0,25 | 0,35 | 0,80 | 0,41 | 2,0 | 0,45 | 7,0 | 0,49 |
| 0,40 | 0,37 | 1,00 | 0,42 | 2,5 | 0,46 | 10,0 | 0,50 |

Для аналитического определения угла пружинения ($\Delta\beta$) при свободной *V-образной* гибке на 90° можно воспользоваться приближенными удобными для практических расчетов формулами /1/:

$$\text{tg } \Delta\beta = 0,375 \times \frac{l}{xS} \times \frac{\sigma_T}{E},$$

где l – расстояние между опорами (губами) матрицы (см. рис.3.1);

S – толщина заготовки, мм;

x – коэффициент смещения нейтрального слоя (см. табл.3.2);

σ_T – предел текучести материала, МПа (см. табл.4 приложение 1);

E – модуль Юнга, МПа (см. табл.4 Приложение 1).

Для гибки на угол 60° и 120° угол пружинения можно определить по эмпирическим зависимостям /3,4/:

$$\Delta\varphi_{r\ 60} = 0,64(r_n/S) - 0,23 \text{ (для гибки на угол } 60^\circ);$$

$$\Delta\varphi_{r\ 120} = 0,37(r/S) - 0,58 \text{ (для гибки на угол } 120^\circ).$$

Радиус закругления пуансона r_n принимают равным требуемому радиусу закругления r штампуемой детали.

Радиус закругления матрицы равен:

$$r_m = (0,6 \dots 0,8) (r_n + S)$$

Радиус на ребре матрицы принимают /1,2/:

$$r'_m = (1 \div 2) \times S. \quad (9)$$

Расстояние между опорами (губами) матрицы (размер l) можно ориентировочно принять на основании данных, приведенных в источниках /1,2/, при условии, что длина полки детали больше 50мм:

$$l = (15 \div 20) \times S.$$

Либо геометрическим построением. Найденные значения l , r_m , r'_m сравниваются с экспериментальными и уточняются [1,2/2].

3.5. Контрольные вопросы.

- 3.5.1. Что понимают под углом пружинения.
- 3.5.2. Что понимают под положительным и отрицательным углом пружинения.
- 3.5.3. Какие технологические параметры влияют на угол пружинения и как?
- 3.5.4. Как учитывается угол пружинения при проектировании инструмента для гибки.
- 3.5.5. Что такое минимальный радиус изгиба.
- 3.5.6. Что понимают под окончательным изгибом и какими способами он достигается.
- 3.5.7. Для чего радиус матрицы делается отличным от радиуса пуансона или делается паз.
- 3.5.8. Укажите способы, уменьшающие угол пружинения при гибке.
- 3.5.9. Что понимают под нейтральной поверхностью деформаций?
- 3.5.10. Как изменяется сечение детали при изгибе на ребро?

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. - 6-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. - 520 с.: ил.
- 2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. Ред. Рудмана Л.И. М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил.
- 3. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов / М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.
- 4. Зубцов М.Е. Листовая штамповка: Учебник для вузов /. 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. - 432 с.: ил.

Таблица 1 - Глубина сферической лунки при испытании по Эриксену

| Марка стали | Глубина лунки при толщине материала, мм | | | | | | | | | |
|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| По ГОСТ 9045-93 | | | | | | | | | | |
| ВОСВ | 9,7 | 10,4 | 10,7 | 11,0 | 11,2 | 11,6 | 12,0 | 12,3 | 12,4 | 12,5 |
| ОСВ | 9,4 | 10,2 | 10,6 | 10,9 | 11,1 | 11,5 | 11,9 | 12,2 | 12,3 | 12,4 |
| СВ | 9,2 | 10,0 | 10,4 | 10,6 | 10,8 | 11,2 | 11,6 | 12,0 | 12,1 | 12,2 |
| ВГ | 9,0 | 9,7 | 10,0 | 10,3 | 10,5 | 11,0 | 11,5 | 11,9 | 12,0 | 12,1 |
| ГВ по ГОСТ 16523-70 | | | | | | | | | | |
| 70 | 8,4 | 9,2 | 9,5 | 9,9 | 10,1 | 10,6 | 11,2 | 11,7 | 11,6 | 11,9 |
| 08КП | 8,0 | 8,6 | 8,8 | 9,0 | 9,2 | - | - | - | - | - |
| 10КП | 8,0 | 8,9 | 9,3 | 9,6 | 9,9 | 10,2 | 11,0 | 11,4 | 11,6 | 11,8 |
| то же др. марок | | | | | | | | | | |
| НВ по ГОСТ 16523-70 | | | | | | | | | | |
| 08кп: | 8,0 | 8,9 | 9,3 | 9,6 | 9,9 | 10,4 | 11,0 | 11,5 | 11,7 | 11,8 |
| 10пс (15кп): | 7,6 | 8,0 | 8,4 | 8,6 | - | - | - | - | - | 8,2 |
| Ст 1кп: | 6,9 | 7,5 | 8,2 | 8,4 | 8,8 | 9,2 | 9,6 | 9,7 | 9,9 | 7,8 |
| Ст 1пс: | 6,9 | 7,5 | 8,2 | 8,4 | 8,8 | 9,2 | 9,6 | 9,7 | 9,9 | 7,8 |
| Ст 1сп | 6,9 | 7,5 | 8,2 | 8,4 | 8,8 | 9,2 | 9,6 | 9,7 | 9,9 | 7,8 |
| по ГОСТ 24244-80 | | | | | | | | | | |
| 08кп | 9,5 | 10,0 | 10,3 | 10,5 | 11,0 | 11,5 | 11,9 | 12,0 | 12,1 | 10,2 |
| 25ХГСА | 7,0 | 7,6 | 8,0 | 8,2 | - | - | - | - | - | - |
| 12Х2НВФА | 7,0 | 7,6 | 8,0 | 8,2 | - | - | - | - | - | 7,8 |
| 12Г2: | 6,8 | 7,5 | 8,3 | 8,5 | - | - | - | - | - | 8,0 |
| 16Г2: | 6,8 | 7,5 | 8,3 | 8,5 | - | - | - | - | - | 8,0 |
| 30ХГСА | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 7,7 | - | - | - | - | - | 7,6 |
| 03Х18Н12 | 9,6 | 10 | | | | | | | | |

Таблица 2 - Глубина сферической лунки при испытании по Эриксену цветных металлов и сплавов (состояние материала – мягкий)

| Материал | Глубина лунки при толщине материала | | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0,14-0,16 | 0,18-0,28 | 0,30-0,55 | 0,60-1,11 | 1,20-1,80 | 1,70-2,00 |
| Медная лента | 7,5 | 8,0 | 8,8 | 9,5 | 10,0 | - |
| Латунная лента | | | | | | |
| Л90 | 7,0 | 7-9,5 | 7-9,5 | - | - | - |
| Л80 | 8,0 | - | - | - | - | - |
| Л88 | 8,0 | 9,0 | 10,0 | 11,5 | 12,0 | 12,5 |
| Л63 | 7,5 | 8,0 | 9,5 | 10,0 | 10,5 | 11,0 |
| Бронзовая лента | | | | | | |
| БрБ2, | 8,0 | 8,0 | - | - | - | - |
| БрБНТ1,9 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 |

Таблица 3 - Глубина сферической лунки при испытаниях по Эриксену ленты по ГОСТ 503-81 из стали 08кп, 08пс, 10кп, 10пс

| Ширина ленты | Состояние материала | Глубина лунки при толщине материала, мм | | | | | |
|--------------|---------------------|---|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| | | 0,2-0,3 | 0,3-0,4 | 0,5-0,7 | 0,8-1,0 | 1,2-1,5 | 1,6-2,0 |
| 90 | ОМ | 7,7-8,1 | 8,3-8,9 | 9,0-9,4 | 9,6-10,1 | 10,5-11,0 | 11,2-11,7 |
| | М | 7,0-7,4 | 7,6-8, | 8,1-8,6 | 8,9-9,3 | 9,7-10,3 | 10,5-11,0 |
| 90-55 | ОМ | 5,3-5,6 | 5,7-6,1 | 6,3-6,8 | 7,0-7,4 | 7,8-8,5 | - |
| | М | 4,4-4,7 | 4,9-5,3 | 5,4-5,8 | 6,0-6,5 | 6,8-7,5 | - |

Таблица 4 - Механические свойства некоторых материалов

| Материал | Предел текучести материала, σ_T , МПа | Предел прочности материала, σ_B , МПа | модуль Юнга, Е, ГПа |
|-----------------|--|--|---------------------|
| Алюминий | 60 | 100 | 70 |
| Медь отожженная | 80 250 112 | | |
| Латунь Л68 | 120 320 120 | | |
| Сталь 08кп | 300 400 200 | | |
| Сталь 10 | 300 370 200 | | |
| Сталь 20 | 380 470 200 | | |
| Сталь 30 | 292 550 200 | | |
| Сталь 35 | 312 570 200 | | |
| Сталь 40 | 350 600 200 | | |
| Сталь 45 | 366 610 200 | | |
| Сталь 50 | 400 680 200 | | |
| Сталь 55 | 410 700 200 | | |
| Сталь 60 | 420 750 200 | | |
| Сталь Х18Н9Т | 450 650 210 | | |
| Дуралюмин | 120 450 75 | | |

Таблица 1 - Двусторонние нормальные зазоры между матрицей и пуансоном

| Толщина металла S, мм | $\sigma_{cp} \leq 200$ МПа | | 200 < σ_{cp} < 360 МПа | | 360 < σ_{cp} < 520 МПа | | $\sigma_{cp} > 520$ МПа | |
|--------------------------|----------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------|------------|
| | z | Δz | z | Δz | z | Δz | z | Δz |
| До 0,1 | 0,004 | - | 0,005 | - | 0,006 | - | 0,007 | - |
| Св. 0,1 до 0,2 | 0,008 | | 0,010 | + 0,010 | 0,012 | + 0,010 | 0,014 | + 0,010 |
| » 0,2 » 0,3 | 0,012 | + 0,010 | 0,015 | | 0,018 | | 0,021 | |
| » 0,3 » 0,4 | 0,016 | | 0,020 | | 0,024 | | 0,028 | |
| » 0,4 » 0,5 | 0,020 | | 0,025 | | 0,030 | | 0,035 | |
| » 0,5 » 0,6 | 0,024 | | 0,030 | + 0,020 | 0,036 | + 0,020 | 0,042 | + 0,2 |
| » 0,6 » 0,7 | 0,028 | | 0,035 | | 0,042 | | 0,049 | |
| » 0,7 » 0,8 | 0,032 | | 0,040 | | 0,048 | | 0,056 | |
| » 0,8 » 0,9 | 0,036 | + 0,020 | 0,045 | + 0,03 | 0,054 | + 0,030 | 0,063 | + 0,030 |
| » 0,9 » 1,0 | 0,040 | | 0,050 | | 0,060 | | 0,070 | |
| » 1,0 » 1,2 | 0,060 | | 0,070 | | 0,080 | | 0,100 | |
| » 1,2 » 1,5 | 0,080 | + 0,030 | 0,090 | + 0,050 | 0,110 | + 0,050 | 0,120 | + 0,050 |
| » 1,5 » 1,8 | 0,090 | | 0,110 | | 0,130 | | 0,140 | |
| » 1,8 » 2,0 | 0,100 | | 0,120 | | 0,140 | | 0,160 | |
| » 2,0 » 2,2 | 0,130 | + 0,050 | 0,160 | + 0,100 | 0,180 | + 0,100 | 0,200 | + 0,100 |
| » 2,2 » 2,5 | 0,150 | | 0,180 | | 0,200 | | 0,230 | |
| » 2,5 » 2,8 | 0,170 | + 0,050 | 0,200 | | 0,220 | | 0,250 | |
| » 2,8 » 3,0 | 0,180 | | 0,210 | | 0,240 | | 0,270 | |
| Св. 3,0 до 3,5 | 0,240 | | 0,280 | | 0,320 | | 0,350 | |
| » 3,5 » 4,0 | 0,280 | + 0,100 | 0,320 | + 0,100 | 0,360 | + 0,100 | 0,400 | + 0,100 |
| » 4,0 » 4,5 | 0,320 | | 0,360 | | 0,450 | | 0,540 | |
| » 4,5 » 5,0 | 0,350 | | 0,400 | | 0,500 | | 0,600 | |

Приложение 2 (продолжение)

Таблица 1 (продолжение)

| | | | | | | | | |
|----------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| » 2,5 » 2,8 | 0,170 | +0,050 | 0,200 | + 0,100 | 0,220 | + 0,100 | 0,250 | +0,100 |
| » 2,8 » 3,0 | 0,180 | | 0,210 | | 0,240 | | 0,270 | |
| Св. 3,0 до 3,5 | 0,240 | | 0,280 | | 0,320 | | 0,350 | |
| » 3,5 » 4,0 | 0,280 | +0,100 | 0,320 | + 0,100 | 0,360 | + 0,100 | 0,400 | + 0,100 |
| » 4,0 » 4,5 | 0,320 | | 0,360 | | 0,450 | | 0,540 | |
| » 4,5 » 5,0 | 0,350 | | 0,400 | | 0,500 | | 0,600 | |
| » 5,0 » 6,0 | 0,420 | + 0,100 | 0,500 | + 0,200 | 0,600 | + 0,200 | 0,700 | + 0,200 |
| » 6,0 » 7,0 | 0,490 | | 0,700 | | 0,900 | | 1,000 | |
| » 7,0 » 8,0 | 0,700 | | 0,800 | | 1,000 | | 1,100 | |
| » 8,0 » 9,0 | 0,900 | +0,200 | 1,100 | + 0,300 | 1,300 | + 0,300 | 1,400 | + 0,300 |
| » 9,0 » 10 | 1,000 | | 1,200 | | 1,400 | | 1,600 | |
| » 10 » 11 | 1,600 | | 1,600 | | 1,800 | | 2,000 | |
| » 11 » 12 | 1,700 | +0,300 | 1,700 | +0,300 | 1,900 | + 0,300 | 2,200 | + 0,300 |
| » 12 » 13 | 2,100 | | 2,100 | | 2,300 | | 2,600 | |
| » 13 » 14 | 2,300 | | 2,300 | | 2,500 | | 2,800 | |

Примечания: 1. Обозначения: z — наименьшее значение начального оптимального двустороннего зазора; Δz — предельное отклонение двустороннего зазора.

2. Примеры штампуемых материалов: при $\sigma_{ср} \leq 200$ МПа — мягкая медь, алюминий некоторых марок; при $200 < \sigma_{ср} < 360$ МПа — сталь марок 08Ю, 08КП, 08ПС, 12Х13, электротехнические стали, латунь, алюминиевые сплавы; при $360 < \sigma_{ср} < 520$ МПа — сталь марок 20, 30, Ст3ПС, Ст4КП, 12Г2, 42ГС, 20Х13, 40Х13, никелевые сплавы, бронза; при $\sigma_{ср} > 520$ МПа — сталь марок 40, Ст6ПС, 65Г, электротехнические стали, бронза, коррозионно-стойкие стали.

Приложение 2 (продолжение)

Таблица 2 Припуски на износ и предельные отклонения размеров матрицы и пуансона при их совместном изготовлении

| Размер штампую- емого элемента, мм | Поля допусков номинальных размеров штампуемого элемента | | | | | | | | | |
|--|--|---------|------------|--------------|----------|---------|------------|--------------|----------|---------|
| | H9; h9 | | | | H10; h10 | | | | H11; h11 | |
| | Δ | $P_{и}$ | δ_m | $\delta_{п}$ | Δ | $P_{и}$ | δ_m | $\delta_{п}$ | Δ | $P_{и}$ |
| Св. 1 до 3 | 0,025 | 0,025 | 0,008 | 0,005 | 0,040 | 0,040 | 0,011 | 0,008 | 0,060 | 0,060 |
| » 3 » 6 | 0,030 | 0,030 | 0,009 | 0,006 | 0,048 | 0,048 | 0,014 | 0,010 | 0,075 | 0,075 |
| » 6 » 10 | 0,036 | 0,036 | 0,011 | 0,008 | 0,058 | 0,058 | 0,017 | 0,012 | 0,090 | 0,090 |
| » 10 » 18 | 0,043 | 0,043 | 0,012 | 0,009 | 0,070 | 0,070 | 0,021 | 0,015 | 0,110 | 0,100 |
| » 18 » 30 | 0,052 | 0,052 | 0,016 | 0,012 | 0,084 | 0,084 | 0,025 | 0,019 | 0,130 | 0,120 |
| » 30 » 50 | 0,062 | 0,062 | 0,019 | 0,014 | 0,100 | 0,100 | 0,030 | 0,022 | 0,160 | 0,140 |
| » 50 » 80 | 0,074 | 0,074 | 0,022 | 0,017 | 0,120 | 0,100 | 0,030 | 0,022 | 0,190 | 0,170 |
| » 80 » 120 | 0,087 | 0,087 | 0,026 | 0,019 | 0,140 | 0,120 | 0,035 | 0,030 | 0,220 | 0,170 |
| » 120 » 180 | 0,100 | 0,100 | 0,030 | 0,022 | 0,160 | 0,140 | 0,035 | 0,035 | 0,250 | 0,200 |
| » 180 » 250 | 0,115 | 0,100 | 0,030 | 0,022 | 0,185 | 0,145 | 0,035 | 0,035 | 0,290 | 0,240 |
| » 250 » 315 | 0,130 | 0,120 | 0,035 | 0,030 | 0,210 | 0,170 | 0,035 | 0,035 | 0,320 | 0,250 |
| » 315 » 400 | 0,140 | 0,120 | 0,035 | 0,030 | 0,230 | 0,180 | 0,035 | 0,035 | 0,360 | 0,300 |
| » 400 » 500 | 0,153 | 0,140 | 0,035 | 0,030 | 0,250 | 0,200 | 0,045 | 0,045 | 0,400 | 0,300 |
| Размер штампую- емого элемента, мм | Поля допусков номинальных размеров штампуемого элемента | | | | | | | | | |
| | H12; h12 | | | | H13; h13 | | | | H13; h14 | |
| | Δ | $P_{и}$ | δ_m | $\delta_{п}$ | Δ | $P_{и}$ | δ_m | $\delta_{п}$ | Δ | $P_{и}$ |
| Св. 1 до 3 | 0,025 | 0,025 | 0,008 | 0,005 | 0,040 | 0,040 | 0,011 | 0,008 | 0,060 | 0,060 |
| » 3 » 6 | 0,030 | 0,030 | 0,009 | 0,006 | 0,048 | 0,048 | 0,014 | 0,010 | 0,075 | 0,075 |
| » 6 » 10 | 0,036 | 0,036 | 0,011 | 0,008 | 0,058 | 0,058 | 0,017 | 0,012 | 0,090 | 0,090 |
| » 10 » 18 | 0,043 | 0,043 | 0,012 | 0,009 | 0,070 | 0,070 | 0,021 | 0,015 | 0,110 | 0,100 |
| » 18 » 30 | 0,052 | 0,052 | 0,016 | 0,012 | 0,084 | 0,084 | 0,025 | 0,019 | 0,130 | 0,120 |
| » 30 » 50 | 0,062 | 0,062 | 0,019 | 0,014 | 0,100 | 0,100 | 0,030 | 0,022 | 0,160 | 0,140 |
| » 50 » 80 | 0,074 | 0,074 | 0,022 | 0,017 | 0,120 | 0,100 | 0,030 | 0,022 | 0,190 | 0,170 |
| » 80 » 120 | 0,087 | 0,087 | 0,026 | 0,019 | 0,140 | 0,120 | 0,035 | 0,030 | 0,220 | 0,170 |
| » 120 » 180 | 0,100 | 0,100 | 0,030 | 0,022 | 0,160 | 0,140 | 0,035 | 0,035 | 0,250 | 0,200 |
| » 180 » 250 | 0,115 | 0,100 | 0,030 | 0,022 | 0,185 | 0,145 | 0,035 | 0,035 | 0,290 | 0,240 |
| » 250 » 315 | 0,130 | 0,120 | 0,035 | 0,030 | 0,210 | 0,170 | 0,035 | 0,035 | 0,320 | 0,250 |
| » 315 » 400 | 0,140 | 0,120 | 0,035 | 0,030 | 0,230 | 0,180 | 0,035 | 0,035 | 0,360 | 0,300 |
| » 400 » 500 | 0,153 | 0,140 | 0,035 | 0,030 | 0,250 | 0,200 | 0,045 | 0,045 | 0,400 | 0,300 |

Примечание. Обозначения: Δ — предельное отклонение номинального размера штампуемого элемента; $P_{и}$ — припуск на износ пуансона (матрицы); δ_m и $\delta_{п}$ — предельные отклонения исполнительного размера соответственно матрицы и пуансона.