Б. П. ЗВОРОНО

РАСЧЕТ
и конструирование штампов для холодной штамповки

Машгиз
1949 г

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ДЕТАЛИ ШТАМПОВ

I. ВВЕДЕНИЕ

1. Действующие силы как основной фактор для расчета деталей штампов

Установление оптимальных размеров деталей штампа во многих случаях представляет исключительно трудную задачу. Многообразие форм и различие размеров штампуемых изделий влекут за собой соответствующее многообразие форм деталей штампов и различие размеров этих деталей. Поэтому личный опыт конструктора далеко не всегда может служить гарантией от ошибок, если выбор размеров производится на-глаз.

За исключением тех сравнительно немногих случаев штамповки, для которых форма и размеры деталей штампов найдены опытным путем в результате многолетней практики, формы и размеры деталей, близкие к оптимальным, конструктор может установить лишь расчетным путем.

Для расчета деталей штампов, как и для расчета любых других деталей, необходимо знать допускаемые напряжения и действующие силы.

Хотя при выборе допускаемых напряжений для деталей штампов нельзя всюду механически принимать те значения напряжений, которые имеют место в машиностроении, однако, очевидно, что накопленный в различных областях машиностроения богатейший опыт расчета деталей машин значительно упрощает задачу выбора допускаемых напряжений.

Решение вопросов, связанных с определением действующих сил, оказывается более сложным и сопряжено с необходимостью преодоления некоторых трудностей. Эти трудности усугубляются еще тем обстоятельством, что силы, действующие на детали вырезных и пробивных штампов, могут возникать по трем, принципиально различным причинам:

Первая причина — действие деформируемого или деформированного металла на режущие кромки рабочих деталей.

Вторая причина — действие рабочих деталей штампа на его нерабочие детали.

Третья причина — действие одних деталей на другие в результате особенностей сборки (затяжка винтов и пружин, прессовые посадки и т. п.).

Силы, которые вызываются первой причиной, т. е. силы реакции деформируемого металла или равные им силы, мы предлагаем назвать главными. К последним должны быть отнесены следующие силы:

P — сила, необходимая для преодоления сопротивления резанию (усилие штамповки).

N_N — сила, распирающая смежные режущие кромки, вызываемая действием силы P и действующая только одновременно с последней силой (направление силы N_N перпендикулярно направлению усилия штамповки).

N_q — сила, действующая на боковые стенки матрицы или пуансона в результате давления на эти стенки торцов отходов или изделий.

Q — сила выталкивания изделия или отхода из матрицы (или проталкивания сквозь матрицу).

T — сила снятия отходов или изделий с пуансонов.

Очевидно, что для расчета деталей штампов необходимо в первую очередь знать величины главных сил. Однако сведения, имеющиеся в литературе об этих силах, недостаточны для расчетов деталей штампов.

Поэтому первым шагом в расчете деталей штампов должно явиться определение главных сил. Последнее может быть сделано путем анализа процессов изменения величин сил при штамповке, сопровождаемого опытной проверкой теоретических результатов.

2. Резание скошенной режущей кромкой как общий случай резания металла в штампе

У обычных пуансонов и матриц режущие кромки представляют плоские кривые. У скошенных пуансонов и матриц, режущих по криволинейному контуру, эти кромки могут представлять пространственные кривые; если скосы образованы не плоскостями, а цилиндрическими или какими-либо другими поверхностями, то режущие кромки ни при каких условиях не могут быть уложены на плоскость.

Таким образом, пуансоны и матрицы с криволинейным режущим контуром, скошенные цилиндрическими или другими поверхностями, обладают более сложными режущими кромками — кромками, образованными пространственными кривыми, положение любой точки которых может быть определено при помощи трехосной системы координат. Не трудно притти к заключению, что резание такой кромкой и представляет более общий случай резания, из которого возможно получить все другие частные случаи. Например, если в уравнениях, совокупность которых представляет пространственную режущую кромку, положить $Z = 0$

(принимая, что направление оси Z совпадает с направлением движения пуансона), то получим уравнение плоской режущей кромки.

Понятно, что для анализа процесса изменения сил при штамповке целесообразно взять более общий случай резания, т. е. случай резания какой-либо скошенной режущей кромкой.

3. Особенности применения скошенных пуансонов и матриц и аналогия между их работой и работой ножей гильотинных ножниц

Известно, что усилие вырезки, пробивки или отрезки можно уменьшить, применяя скошенные матрицы, пуансоны или ножи. Получаемое благодаря скосам снижение усилий дает возможность штамповать изделия, требующие значительных усилий, на прессах небольшого тоннажа.

Применение скошенных режущих кромок нередко преследует цель создания более благоприятных условий работы прессам, даже если тоннаж их достаточен для штамповки того или иного изделия штампами с параллельными режущими кромками. Достигаемые при этом снижение усилий и плавность их изменения способствуют долговечности деталей прессов и штампов.

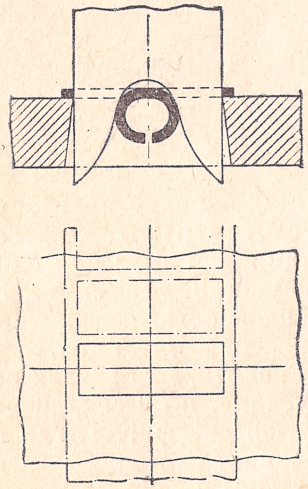
При помощи скошенных пуансонов в некоторых случаях возможно достичь не только уменьшения усилия, но и сокращения числа операций. Подобный пример показан на фиг. 1, где пуансон одновременно производит вырезание заготовки и изгибание ее.

При штамповке со скошенными режущими кромками всегда требуется увеличенный рабочий ход. Поэтому при выборе пресса для подобных работ недостаточно руководствоваться только одним условием, что максимальное усилие штамповки должно быть меньше тоннажа пресса или равно ему. Нужно, чтобы кривая усилий штамповки вписывалась в зону, ограниченную кривой усилий, допускаемых валом и другими деталями пресса. Пример такого вписывания, представляющий случай, когда максимальное усилие штамповки, будучи ниже номинального тоннажа пресса, все же вызовет перегрузку его деталей, показан на фиг. 2.

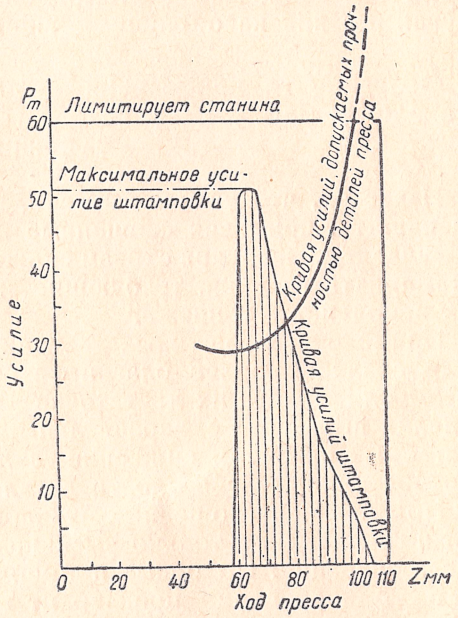
Поэтому исключительную важность приобретает установление зависимости изменения усилия от формы или характера скоса. Ибо лишь зная эту зависимость, можно правильно заранее построить кривую усилий.

Отмеченная особенность работы скошенных пуансонов и матриц—увеличенный рабочий ход (часто превышающий толщину штампуемого металла в несколько раз) — дает основание сделать заключение, что скошенные кромки режут металл не сразу, а постепенно, так, как это делают ножи гильотинных ножниц. Главное отличие обычно заключается в том, что истинный угол скоса есть величина переменная. Другое отличие заключается

в том, что при штамповке отрезаемый металл в процессе резания далеко не всегда отгибается в сторону, как отгибается отрезаемая на ножницах полоса. Однако последнее отличие не столь существенно. Подобные условия резания могут быть искусственно (для целей сравнения) созданы и на ножницах, и тогда между работой их ножей и работой скошенных пуансонов будет полная аналогия.



Фиг. 1. Применение скошенного пуансона для одновременного выполнения операций вырезки заготовки и загибки ее при производстве колец газового фильтра.



Фиг. 2. Случай возможной перегрузки деталей кривошипного пресса максимальным усилием штамповки, меньшим, чем номинальное усилие (тоннаж) пресса.

Таким образом, ответ, в первом его приближении, на вопрос об изменении усилия при штамповке со скошенными режущими кромками следует искать в тех зависимостях, которые уже известны для усилий при резании на гильотинных ножницах.

II. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ УСИЛИЙ РЕЗАНИЯ ПРЯМЫМИ СКОШЕННЫМИ НОЖАМИ

1. Вычисление усилия резания

Для подсчета усилия резания на гильотинных ножницах известен ряд формул (табл. 1). Для удобства рассмотрения этих формул примем для основных геометрических величин единые обозначения (фиг. 3) и нижеследующие названия:

α — задний угол;

β — угол заострения;

Таблица 1

Формулы для вычисления усилий резания прямыми скошенными ножами

№ формулы	Автор формулы	Выражение усилия резания P
1	А. И. Целиков [1]	$(0{,}12 \div 0{,}22)\,\frac{S^2}{\operatorname{tg}\varphi}\,\sigma$
2	Я. Н. Гаркави [2]	$\frac{\sigma}{2\sin^2\delta\sin 2\varphi}\,S^2$
3	М. Е. Зубцов [3]	$\frac{0{,}5\,S^2}{\operatorname{tg}\varphi}\,1{,}3\,\sigma$
4	Кодрон [4]	kS^2
5	Фишер [5]	$\frac{0{,}225\,S^2}{\operatorname{tg}\varphi}\,1{,}7\,\sigma$
6	Кенен [5]	$\frac{0{,}5\,S^2}{\operatorname{tg}\varphi}\,1{,}1\,\sigma_b$
7	ЕРММ [7]	$\frac{0{,}22\,S^2}{\operatorname{tg}\varphi}\,\sigma$
8	Флин и Мак-Артур	$0{,}257\,f\,\sigma\,\frac{S^2}{\operatorname{tg}\varphi}$
9	Hütte [9]	$S^2\,\sigma\,(\sigma : \sigma_{см})\operatorname{ctg}\delta\ \operatorname{tg}\varphi$

Примечание. В формуле 4: k — коэфициент, равный для мягкой стали при $\varphi = 10°$ приблизительно 50. В формуле 6: σ_b — предел прочности. В формуле 8: f — эмпирический коэфициент, зависящий от зазора и φ. В формуле 9 $\sigma_{см}$ — сопротивление смятию.

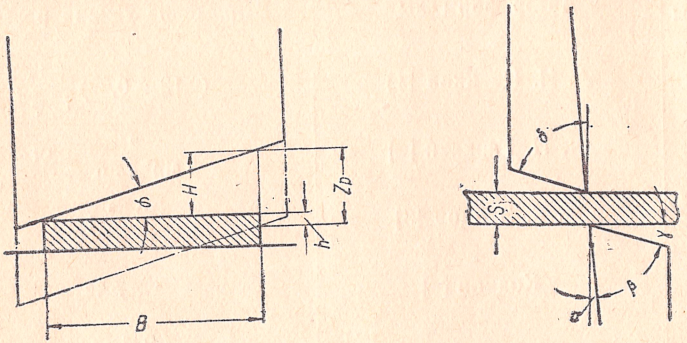
γ — передний угол;
δ — угол резания;
φ — угол скоса;
B — ширина листа или длина реза;
S — толщина разрезаемого листа;
σ — сопротивление сдвигу, приравниваемое к сопротивлению резанию при работе ножниц.

Значения остальных величин, входящих в формулы, приведены под табл. 1.

Различие существующих формул является причиной различия результатов расчета для одного и того же случая. Пример такого различия дает фиг. 4 для случая, когда $\delta = 90°$, $\sigma_b = 36$ *кг/мм*^{2}, $\sigma = 0{,}85\,\sigma_b$, $S = 1$ *мм*.

Обращает на себя внимание значительная разница результатов. Так, например, формула 1 дает результат втрое ниже, чем формула 3.

Из таблицы сразу видна полнейшая неприемлемость формулы Hütte. При $\delta = 90°$ усилие, по этой формуле, обращается в нуль, чего, в действительности, не бывает.



Фиг. 3. Геометрические элементы гильотинных ножей и величина рабочего хода верхнего ножа.
H — величина скоса; h — глубина проникновения ножа в металл до разделения.

2. Вычисление работы резания

Большинство авторов считает, что работа резания скошенными ножами в общем мало отличается от работы резания параллельными ножами; исключение представляет Кодрон. Последний для параллельных ножей дает:

$$W = {}^2/_3 BS\sigma h,$$

где h — глубина проникновения ножа в металл до точки окончательного отрыва (скалывания) отрезаемой части.

И для скошенных ножей

$$W = PB \sin\varphi = kS^2 B \sin\varphi.$$

В этой формуле величина $B \sin\varphi$ есть, как считает Кодрон, величина рабочего хода ножа. На самом деле, как видно из фиг. 3, полная величина рабочего хода будет:

$$Z_P = B \operatorname{tg}\varphi + h = H + h. \qquad (1)$$

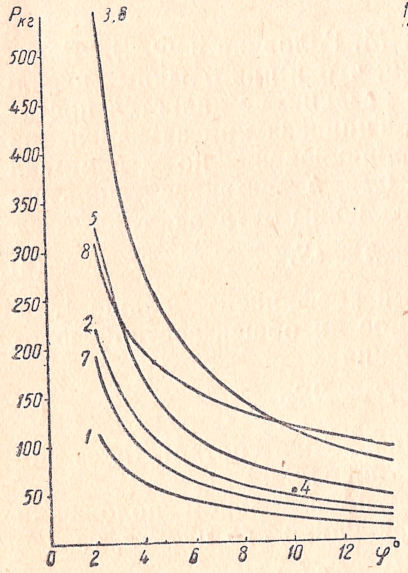
Очевидно, что, помножив усилие на величину рабочего хода ножа, мы должны получить выражение работы [1].

На фиг. 5 дано сопоставление величин работы, вычисленных по различным формулам, с работой моторов, вычисленной по паспортным данным ножниц (логарифмическая шкала).

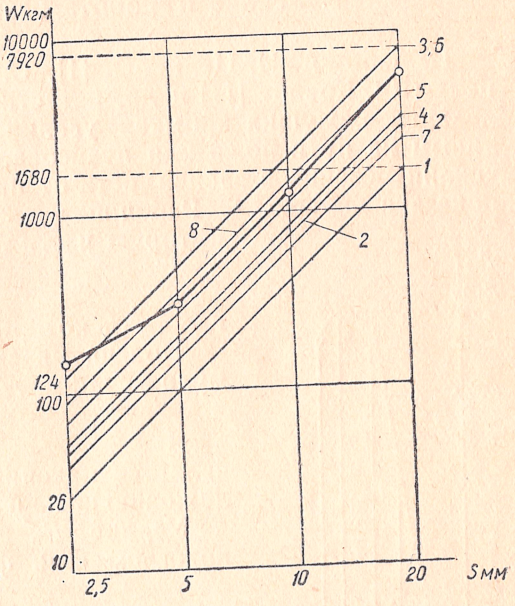
---

[1] Подробно об этом см. гл. III, § 4 и 5.

Хотя проведенное нами сравнение не может отличаться особой точностью, все же оно достаточно наглядно показывает резкое различие между результатами.



Фиг. 4. Кривые усилий резания прямыми скошенными ножами, вычисленные по различным формулам (сталь толщиной 1 *мм*).



Фиг. 5. Работа резания прямыми скошенными ножами, вычисленная по различным формулам и по паспортным данным (логарифмическая шкала).

3. Особенности существующих формул

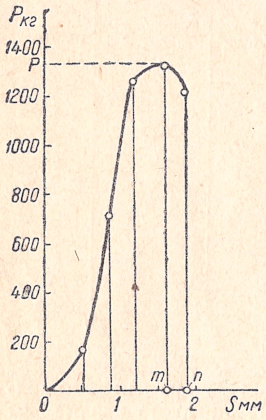
Значительное различие в величинах усилий и работы, вычисляемых по рассмотренным формулам, нередко вызывает у лиц, пользующихся ими, затруднения в оценке полученного результата. Это положение усугубляется отсутствием точных указаний, для каких материалов — тонких или толстых, вязких или твердых, предназначаются формулы, а также отсутствием сведений о том, чем руководствовался тот или иной автор при выборе некоторых коэфициентов.

Поэтому для вычисления усилий резания скошенной кромкой желательно применить такой способ, который, не уступая уже известным методам в точности вычислений, обладал бы большей наглядностью, способствующей уточнению различных коэфициентов.

III. АНАЛИЗ УСИЛИЙ И РАБОТЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СКОШЕННЫХ ПУАНСОНАХ ИЛИ МАТРИЦАХ

1. Усилие и работа резания как объемы

Из работ А. И. Целикова [1], С. М. Головина и Ф. З. Рванцева [10], Крэйна [11] и др. известно, что и при обычных параллельных режущих кромках усилие резания не является постоянным на пути ножа или пуансона. Типичная кривая изменения усилия резания в зависимости от проникновения ножа в металл показана на фиг. 6. Рабочий путь $0n = h$ составляет лишь некоторую часть толщины металла, т. е.



Фиг. 6. Типичная кривая, характеризующая изменение усилия резания при углублении ножа в металл.

$$h = \varepsilon S, \tag{2}$$

где ε — некоторый коэфициент меньше 1.

Подсчитываемое по общеизвестной формуле усилие резания

$$P = BS\sigma \tag{3}$$

является максимальным и соответствует положению ножа в точке m.

Усилие $P_п$ в произвольном положении ножа является функцией его пути z, т. е.

$$P_п = \varphi(z). \tag{4}$$

На основании имевших место в литературе высказываний различных авторов (Я. М. Гаркави, Кодрона и др.) можно предполагать, что усилие резания зависит также от зазора между лезвиями, формы режущих кромок, состояния режущих кромок, скорости резания и, возможно, еще от некоторых других факторов.

Очевидно, что рассматриваемый график усилий, каким бы способом он ни был записан, отражает и влияние последних четырех факторов в соответствии с теми условиями работы, которые имели место при записи. Поэтому такого рода график целесообразно положить в основу вычисления усилий резания.

Влияние отмеченных четырех факторов можно будет учесть постоянными коэфициентами f_1, f_2, f_3 и f_4.

Для простейшего случая резания прямыми параллельными ножами, при $\delta = 90°$, при острых режущих кромках, при постоянном зазоре, например 4%, и при какой-то постоянной скорости можно принять все коэфициенты равными 1, т. е.

$$f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = 1. \tag{5}$$

Тогда, выразив истинное усилие $P_п$ через максимальное, получим:

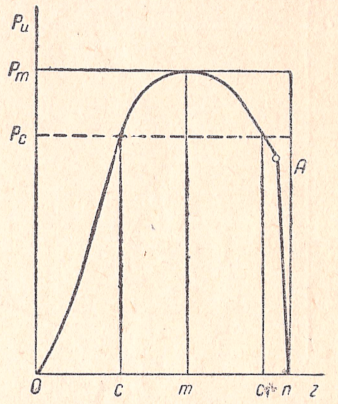
$$P_п = BS\sigma f(z), \tag{6}$$

где $f(z)$ — некоторая функция z.

Аналогично, истиное усилие для длины реза B, равной единице, будет:

$$P_u = S\sigma f(z). \tag{7}$$

Кривую усилий для единицы длины реза можно получить, разделив ординаты имеющейся кривой на длину реза B. Поскольку у новой кривой все ординаты будут в B раз меньше, то специального построения можно и не делать; на записанную кривую усилий можно смотреть как на кривую усилий для длины реза в единицу, но представленную в некотором другом масштабе.



Фиг. 7. Характерные точки для кривой действительных усилий.

Перейдем теперь к рассмотрению такой кривой истинных усилий, показанной на фиг. 7. Главным отличием ее от кривой, показанной на фиг. 6 и от аналогичных кривых, полученных при различных исследованиях на разрывных машинах, будет то, что эта кривая не обрывается в некоторой точке A, соответствующей моменту скалывания, а переходит в прямую (или кривую), идущую до оси абсцисс [1]. Подобное сделанное нами продолжение кривой усилий объясняется тем, что процесс окончания скалывания требует некоторого промежутка времени, за период которого рабочая плоскость пуансона переместится на какой-то отрезок пути [2].

Отметим две точки на этой кривой, которые представляют существенный интерес, это точки m и n. Когда пуансон дойдет до точки m, усилие, приходящееся на единицу длины реза P_u, достигает наибольшей постоянной величины P_m:

$$P_m = S\sigma. \tag{8}$$

Сопоставляя уравнение (8) с уравнением (7), заметим, что для точки m $f(z) = 1$. Аналогично получим, что для точки n $f(z) = 0$.

---

[1] Главное снижение кривой усилий до оси абсцисс получается при записи кривой осциллографом.

[2] В дальнейшем, на фиг. 9, 10 и др. этим отрезком пути будем пренебрегать.

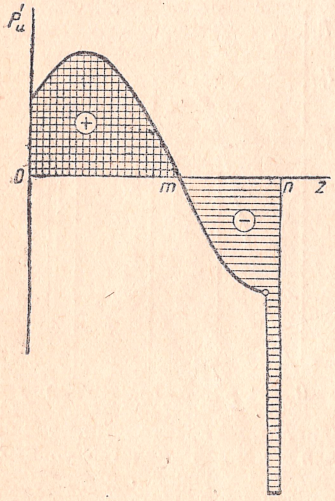
Площадь, ограниченная кривой P_u, представляет работу резания на единицу длины реза, т. е.

$$W_1 = \int_0^n P_u \, dz, \tag{9}$$

или

$$W_1 = P_c \, h, \tag{10}$$

где P_c — постоянная величина, представляющая среднее усилие по пути от нуля до n. Индекс c указывает некоторую определенную точку, соответствующую такому значению z, при котором $P_u = P_c$. Как видно из фиг. 7, таких точек может быть и две.



Фиг. 8. Кривая, представляющая приращение усилия по пути ножа.

Так как численное значение левой части уравнения (10) можно найти при помощи планиметрирования, то, следовательно, величина P_c может быть определена. Выражая среднее усилие через максимальное, получим:

$$P_c = \lambda P_m, \tag{11}$$

где λ — некоторый коэфициент меньше 1.

Подставляя полученный результат в уравнение (10), получим выражение работы для единицы длины реза:

$$W_1 = P_m h \lambda, \tag{12}$$

или, заменяя P_m его значением из уравнения (8), будем иметь:

$$W_1 = S\sigma h\lambda = \int_0^n P_u \, dz. \tag{13}$$

Коэфициент λ из уравнения (11) представляется как отношение среднего усилия к максимальному. Этот же коэфициент будет выражать отношение площадей прямоугольников $P_c h$ и $P_m h$ или отношение площади, ограниченной кривой P_u, к площади прямоугольника $P_m h$.

Продифференцируем теперь функцию $P_u = S\sigma f(z)$. После графического дифференцирования получим кривую P'_u, показанную на фиг. 8. Отметим некоторые особенности полученной кривой. Очевидно, ординаты кривой P_u будут представлять тангенс угла наклона первообразной P_u или приращение силы по пути. Следовательно, если условиться, что усилие штамповки $P_п$ будет измеряться килограммами, а путь миллиметрами, то размерность P'_u будет *кг/мм* на единицу длины реза.

Так как

$$\int_0^z P'_u\,dz = P_u, \tag{14}$$

то площадь, ограниченная кривой P'_u, будет представлять силу и иметь размерность *кг* на единицу длины реза.

Максимальное усилие резания на единицу длины реза будет

$$P_m = \int_0^m P'_u\,dz. \tag{15}$$

Наконец, отметим, что так как первообразная P_u возрастает от нуля до максимума и убывает опять до нуля, то

$$\int_0^n P'_u\,dz = 0. \tag{16}$$

Последнее уравнение показывает, что алгебраическая сумма площадей, ограниченных кривой P'_u, равна нулю. Это возможно лишь в случае, если

$$\int_0^n P'_u\,dz = \int_0^m P'_u\,dz + \int_m^n P'_u\,dz = 0, \tag{17}$$

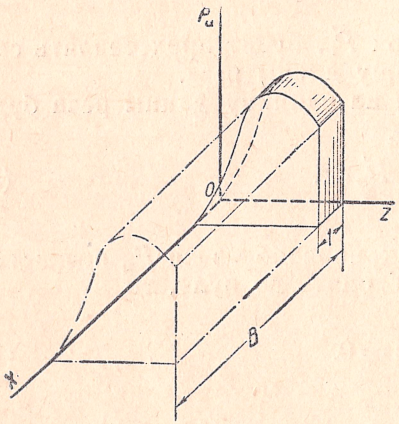
т. е. если площадь, отмеченная знаком „плюс", равна площади, отмеченной знаком „минус".

При анализе кривых P_u и P'_u мы приняли, что $\int_0^z P_u dz$ выражает работу на единицу длины реза. Следовательно, численный результат должен в действительности иметь размерность *кгмм/мм*. Аналогичным образом приняли, что $\int_0^z P'_u\,dz$ выражает усилие на единицу длины реза, а поэтому численный результат будет иметь размерность *кг/мм*.

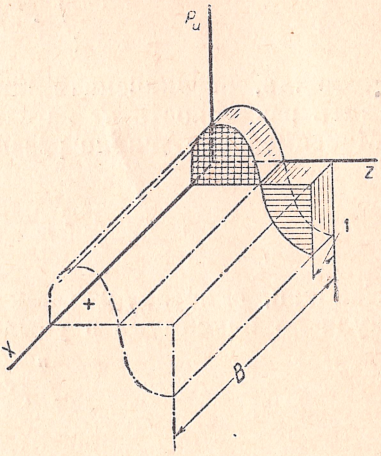
Следовательно, оба последние выражения необходимо представлять не как площади, а как цилиндрические тела, высотой равные единице (фиг. 9 и 10). Для того, чтобы представить всю работу резания, нужно отложить на оси x цилиндрическое тело, высотой (длиной) равное полной длине реза B (фиг. 9). Аналогично, для возможности суждения о величине действующего усилия нужно отложить на оси x и цилиндрические тела, образованные производной поверхностью (фиг. 10).

Условимся обозначать объем или часть объема первого тела, характеризующего работу резания, V_W и объем или часть объемов двух вторых тел, характеризующих усилие резания V_P.

Таким образом, для того чтобы определить усилие или работу в какой-то произвольной точке z, необходимо мысленно

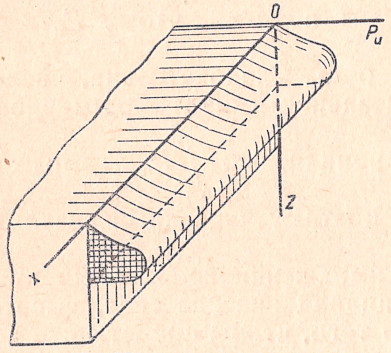


Фиг. 9. Цилиндрическое тело, объем которого представляет работу резания для единицы длины реза.

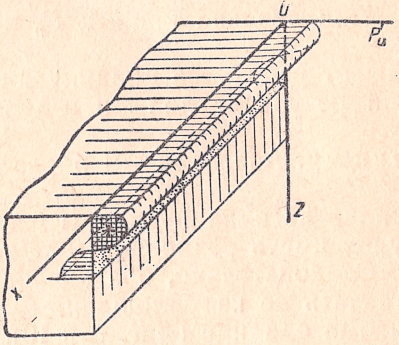


Фиг. 10. Цилиндрические тела, часть объема которых, будучи отсечена плоскостью, параллельной плоскости P'_uOx, может представлять действующее усилие для единицы длины реза.

провести плоскость, перпендикулярную плоскости P_uOz или P'_uOz и вычислить часть объема условного тела (или тел), отсеченного этой плоскостью.



Фиг. 11. Цилиндрическое тело, объем которого представляет затрачиваемую на разрезание листа или полосы работу.



Фиг. 12. Цилиндрические тела, часть которых, будучи отсечена режущей кромкой, может представлять испытываемое ножом усилие.

Если же повернуть оси координат P_uOz и P'_uOz на 90° так, чтобы плоскость xOz легла на торец разрезанного металла (фиг.11 и 12), то эта мысленно проводимая плоскость и будет совпадать

с рабочей плоскостью пуансона, отсекающего ту или иную часть условного тела.

Работа или усилие могут быть представлены объемами и при резании скошенным ножом, поскольку и при наличии скосов из любой точки, находящейся на углубившейся в металл режущей кромке, можно провести перпендикулярно поверхности среза ординату, которая будет характеризовать усилие или его приращение при заданном углублении этой точки в металл.

Вышеизложенные соображения позволяют сделать следующие заключения:

1. Работа, совершенная пуансоном на его пути от нуля до произвольной точки, равна объему V_W, отсекаемому поверхностью, проходящей через режущую кромку и перпендикулярной плоскости резания.

2. Усилие, испытываемое пуансоном в произвольный момент, равно объему V_P, отсекаемому поверхностью, проходящей через режущую кромку и перпендикулярной плоскости резания.

Помимо этого фиг. 11 наглядно подтверждает еще одно правило: весь объем V_W, представляя постоянную величину, не изменится от того, будет ли нож отсекать отдельные элементы условного тела скошенными или параллельными режущими кромками. Следовательно, полная величина работы резания, какими бы ножами резание ни производилось, остается неизменной [1].

Сделанные заключения действительны и для случая криволинейного резания. Если контур резания, т. е. контур вырезаемого изделия или пробиваемого отверстия, образован различными кривыми, например, как на фиг. 13, то, распрямив этот контур, длина которого в нашем конкретном случае будет

$$L = \pi(R + r) + 2(R - r) + 2b,$$

можно получить возможность наблюдения за процессом изменения усилия резания при перемещении режущих кромок.

2. Применение объема V_P для вычисления усилия резания прямыми скошенными ножами

Для вычисления усилия резания рассмотрим случай, когда нож углубился в металл на произвольную постоянную величину $a = Oc$ (фиг. 14). В соответствии со сделанными выводами усилие будет представлено объемом V_P, т. е.

$$P = V_P = \iiint_{V_P} dx dP'_u dz. \qquad (18)$$

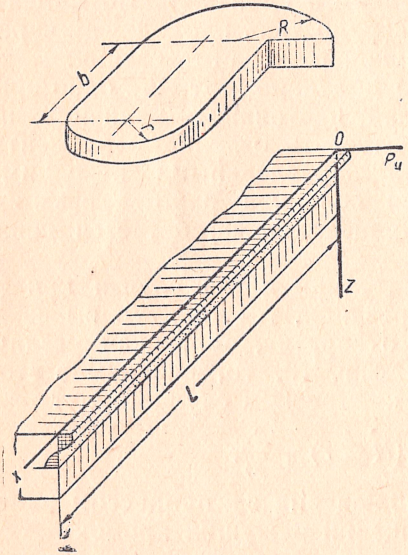
[1] Работой, затрачиваемой на изгиб металла, пока пренебрегаем.

Как видно из фиг. 14, x будет изменяться от плоскости zOP'_u, т. е. от нуля, до наклонной плоскости, проходящей через режущую кромку. Уравнение этой плоскости, проходящей через режущую кромку и перпендикулярной плоскости резания, будет:

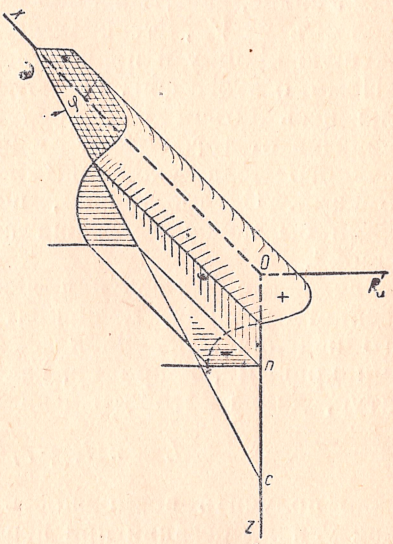
$$x = -\frac{z}{\operatorname{tg}\varphi} + \frac{a}{\operatorname{tg}\varphi}.$$

Величина P'_u будет изменяться от нуля до P'_u, а z — от нуля до n. Следовательно,

$$V_P = \int_0^n dz \int_0^{P'_u} dP'_u \int_0^{-\frac{z}{\operatorname{tg}\varphi}+\frac{a}{\operatorname{tg}\varphi}} dx = \int_0^n \left(-\frac{z}{\operatorname{tg}\varphi} + \frac{a}{\operatorname{tg}\varphi}\right) P'_u\, dz, \qquad (19)$$



Фиг. 13. Развертывание боковой поверхности изделия перед вычислением усилия резания.



Фиг. 14. Цилиндрические тела, алгебраическая сумма объемов которых представляет усилие резания прямым скошенным ножом.

или

$$V_P = -\frac{1}{\operatorname{tg}\varphi}\int_0^n zP'_u\, dz + \frac{a}{\operatorname{tg}\varphi}\int_0^n P'_u\, dz. \qquad (20)$$

Но согласно уравнению (16) второй член правой части уравнения (20) равен нулю.

Таким образом, остается

$$V_P = -\frac{1}{\operatorname{tg}\varphi}\int_0^n zP'_u\, dz. \qquad (21)$$

Интегрируя это выражение, получим:

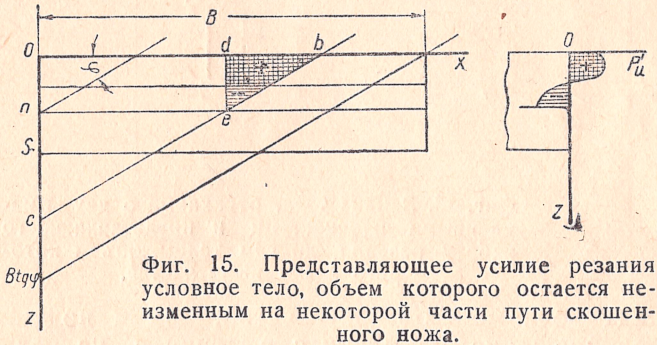
$$V_P = -\frac{1}{\operatorname{tg}\varphi}\left\{[zP_u]_0^n - \int_0^n P_u dz\right\}.$$

Член

$$[zP_u]_0^n$$

равен нулю, так как при $z = n$ усилие равно нулю, т. е. $P_u = 0$. Последний же интеграл согласно уравнениям (9) и (13) представляет работу резания на единицу длины реза, т. е.

$$\int_0^n P_u dz = \lambda h S \sigma.$$



Фиг. 15. Представляющее усилие резания условное тело, объем которого остается неизменным на некоторой части пути скошенного ножа.

Таким образом, формула для усилия резания прямыми скошенными ножами примет вид[1]:

$$P = V_P = \frac{\lambda h S}{\operatorname{tg}\varphi}\sigma. \qquad (22)$$

Как видно из полученной формулы, усилие не зависит от величины a, т. е. усилие на пути ножа остается постоянным. В этом не трудно убедиться из фиг. 15. В самом деле, так как площадь основания цилиндрического тела с положительным объемом равна площади основания цилиндрического тела с отрицательным объемом, то действующее на пути ножа усилие можно представить как объем другого условного тела *bed*. По мере опускания ножа объем этого тела (как разность объемов) остается неизменным, хотя само тело и будет перемещаться вправо.

Очевидно, что в начале резания, пока нож проходит путь от 0 до n, усилие не будет постоянным, а будет возрастать от

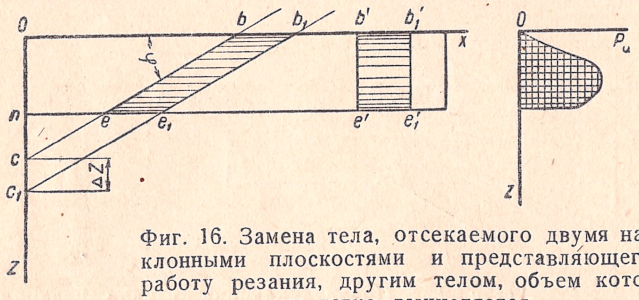
[1] Впервые этот же самый результат был получен автором из условия, что работа резания остается неизменной [12].

нуля до P. Аналогично можно сделать заключение, что в конце резания, когда нож будет проходить последнюю часть пути от $B\operatorname{tg}\varphi$ до $B\operatorname{tg}\varphi + h$ усилие будет падать от P до нуля.

3. Применение объема V_W для вычисления усилия резания прямыми скошенными ножами

Покажем, что величину усилия резания можно найти не только при помощи объема V_P, характеризующего усилие, но и при помощи объема V_W, характеризующего работу резания. Рассмотрим случай, когда нож углубился на произвольную величину $a = Oc$ в условное тело, представляющее работу резания (фиг. 16).

Согласно предшествующим выводам, работа резания будет расти, как и объем тела V_W, отсекаемый опускающимся ножом.



Фиг. 16. Замена тела, отсекаемого двумя наклонными плоскостями и представляющего работу резания, другим телом, объем которого легко вычисляется.

Имея в виду последнее обстоятельство, дадим ножу дополнительное перемещение из точки c в точку c_1 на величину Δz. При этом нож совершит работу

$$W = P\Delta z,$$

представленную элементом bb_1e_1e, отсекаемым двумя наклонными плоскостями. Но объем этого элемента равен объему цилиндрического тела с такой же высотой

$$bb_1 = b'b_1' = \frac{\Delta z}{\operatorname{tg}\varphi},$$

но имеющего основание, перпендикулярное его образующей. Тогда согласно уравнению 9 будем иметь:

$$P\Delta z = \frac{\Delta z}{\operatorname{tg}\varphi} \int_0^n P_u dz.$$

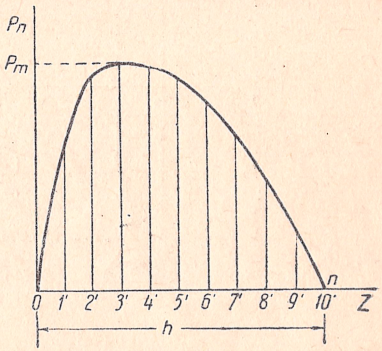
Заменяя последний интеграл его значением из уравнения (13), получим:

$$P = \frac{\lambda h S}{\operatorname{tg}\varphi}\,\sigma,$$

т. е. результат тот же, что и полученный ранее при помощи объема V_P.

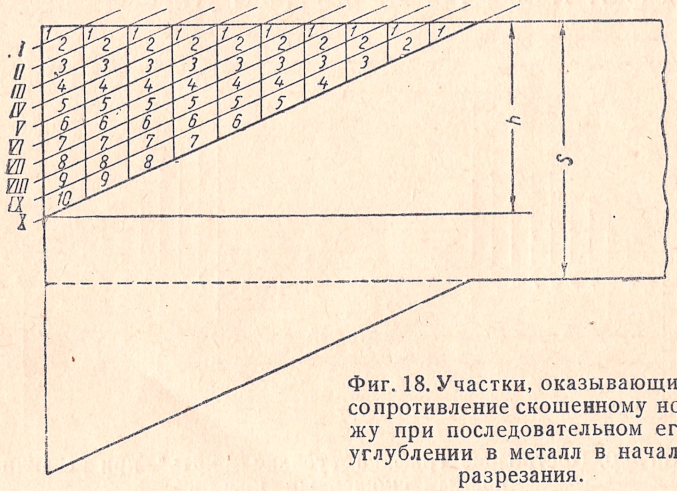
4. Вычисление усилия резания прямыми скошенными ножами при помощи графика „усилие — путь“

Пусть дана произвольной формы кривая, характеризующая изменение усилия при штамповке прямыми параллельными ножами (фиг. 17). Разделим ось абсцисс до точки n на ряд делений $1'$, $2'$, $3'$ и т. д., которые будут определять положение ножа в различные моменты резания. Изобразив теперь ряд положений ножа при начале резания до момента скалывания (фиг. 18) с теми же интервалами I, II, III и т. д., как на фиг. 17, разобьем вертикальными линиями наклонное лезвие ножа на ряд мелких участков: 1, 2, 3 и т. д. Очевидно, что поскольку сопротивление каждой элементарной площадки металла и число площадок изменяются с величиной углубления ножа, то усилие, передающееся на нож, будет зависеть как от числа площадок, так и от сопротивления каждой площадки.



Фиг. 17. Разделение пути ножа на отдельные участки для вычислений усилий при различных положениях ножа.

Для построения кривой усилия примем, что нагрузка на длине каждого элемента равномерная. Это предположение не

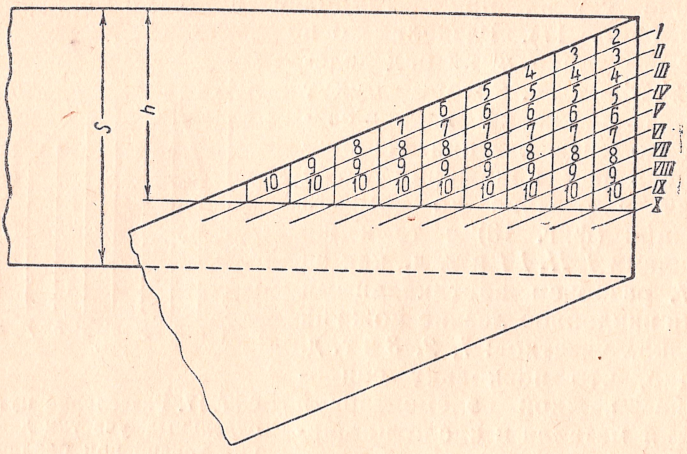


Фиг. 18. Участки, оказывающие сопротивление скошенному ножу при последовательном его углублении в металл в начале разрезания.

может повлиять на правильность результата, так как участки могут быть взяты сколько угодно малыми и тем самым всегда может быть обеспечена любая степень точности, которая практически выполнима для графика[1].

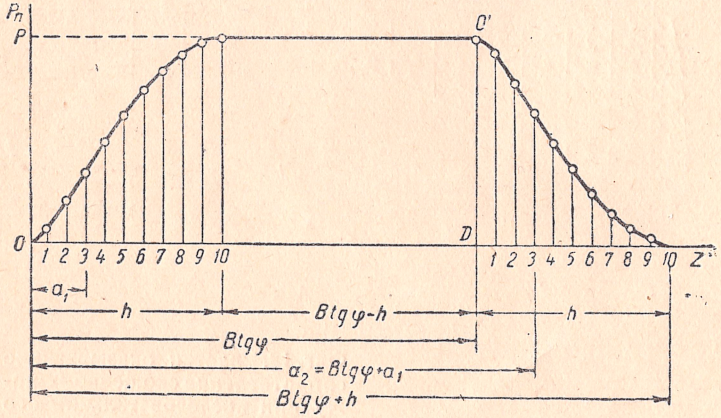
[1] Последствиями наклепа пренебрегаем.

Воспользовавшись теперь картиной последовательного углубления ножа в материал, можно построить график усилия для начала резания, приняв во внимание то обстоятельство, что



Фиг. 19. Участки, оказывающие сопротивление скошенному ножу при последовательном его углублении в металл в конце разрезания.

усилие, приходящееся на каждый участок длины лезвия, может быть выражено ординатой, пропорциональной ординате, имеющейся на фиг. 17 для той же величины углубления.



Фиг. 20. Построение графика „усилие — путь" при резании прямым скошенным ножом.

Для построения графика откладываем в некотором масштабе на оси абсцисс величину хода ножа (фиг. 20), которая согласно уравнению (1) равна $B\,tg\,\varphi + h$. На той же оси в начале и в конце хода откладываем величины h, разделенные на число делений соответственно числу положений ножа на фиг. 17, 18, 19.

Для каждого положения ножа в начале резания количество участков, оказывающих ему сопротивление, легко может быть подсчитано из фиг. 18.

Так, для положения *I* ножа оказывает сопротивление участок *1*, для положения *II* — *1* и *2*, для положения *III* — *1*, *2*, и *3* и т. д. Результаты этого подсчета сведем в табл. 2.

Затем, отмерив ординату *1'* на фиг. 17, откладываем ее в том же или в каком-либо ином масштабе на делении *1* графика фиг. 20.

На делении *2* графика фиг. 20 откладываем ординату соответственно сумме ординат *1'* и *2'* графика фиг. 17. На делении *3* — соответственно сумме ординат *1'*, *2'*, *3'* и т. д. до 10-го деления включительно. После этого кривая переходит в прямую, так как уже было указано, что в начале резания усилие возрастает лишь до того момента, пока нож не углубится на величину h.

Для построения кривой усилия в конце резания поступаем точно так же. Подсчитав участки ножа, испытывающие сопротивление в каждом его положении (фиг. 19), составим табл. 3.

Строя тем же порядком кривую усилия в конце резания, легко заметить, что ординаты ее убывают с каждым делением ножа на ту же величину, на которую возрастают ординаты за теми же номерами в начале резания.

Еще легче это сделать, сопоставив полученные таблицы.

Из табл. 2 и 3 видно, что сумма двух ординат одного и того же номера, взятых для кривых в начале и в конце разрезания, всегда равна величине P. Из вышеизложенного вытекает, что для произвольного положения ножа, при котором его режущая кромка углубилась в левый край полосы на величину a_1

Таблица 2

Участки, оказывающие сопротивление ножу при положении его в начале резания

Положение ножа в начале резания	№ участков ножа, испытывающих сопротивление
I	1
II	1, 2
III	1, 2, 3
IV	1, 2, 3,
V	1, 2, 3, 4, 5
VI	1, 2, 3, 4, 5, 6
VII	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
VIII	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
IX	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
X	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Таблица 3

Участки, оказывающие сопротивление ножу при положении его в конце резания

Положение ножа в конце резания	№ участков ножа, испытывающих сопротивление
I	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
II	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
III	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
IV	5, 6, 7, 8, 9, 10
V	6, 7, 8, 9, 10
VI	7, 8, 9, 10
VII	8, 9, 10
VIII	9, 10
IX	10
X	0

(при $a_1 < h$), и для такого положения ножа a_2, при котором его режущая кромка углубилась в правый край полосы на ту же величину a_1 (фиг. 20), т. е. когда

$$a_2 = B \operatorname{tg} \varphi + a_1,$$

сумма соответствующих усилий

$$P_{a_1} + P_{a_2} = P. \qquad (23)$$

Следовательно, кривая при падении усилия от $B \operatorname{tg} \varphi$ до $B \operatorname{tg} \varphi + h$ есть та же кривая, что и при возрастании усилия на пути от нуля до h, но только повернутая относительно OZ на 180°. Если кривую падения усилия вместе с площадью, ограниченною ею, повернуть на 180° и переместить так, чтобы точка O' легла в точку O, а точка D в точку P, то в результате такого сложения площадей получим прямоугольник со сторонами P и h.

А поскольку это так, то работа в начале резания $W_н$ и работа в конце резания $W_к$ в сумме дадут:

$$W_н + W_к = Ph. \qquad (24)$$

Таким образом, площадь, ограниченная всей кривой, т. е. вся работа, будет:

$$W = Ph + P(B \operatorname{tg} \varphi - h) = PB \operatorname{tg} \varphi = PH. \qquad (25)$$

Сопоставим теперь эту работу с равной ей работой, но вычисленной для случая резания параллельными ножами. На основании уравнения (13) работа резания при параллельных ножах для полосы шириной B будет:

$$W = BS\sigma h\lambda. \qquad (26)$$

Следовательно,

$$BS\sigma h\lambda = PB \operatorname{tg} \varphi,$$

откуда

$$P = \frac{\lambda h S}{\operatorname{tg} \varphi} \sigma.$$

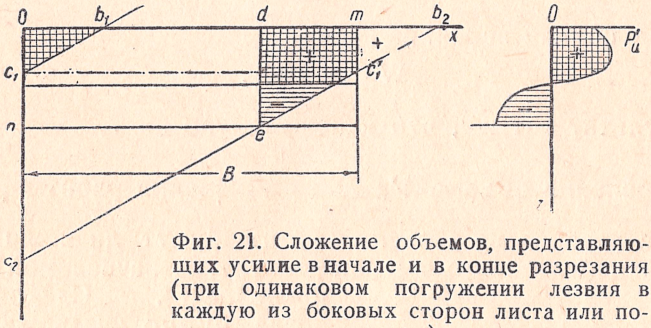
Результат тот же, что и по формуле (22). Это тождество результатов делается вполне понятным, если учесть, что примененный нами метод построения кривой усилий есть не что иное, как графическое интегрирование.

Покажем теперь, насколько проще будет получение уравнений (23), (24) и (25) при помощи объемов V_P и V_W.

Для установления зависимости между усилиями, действующими в начале разрезания и в конце, т. е. для подтверждения уравнения (23), обратимся к фиг. 21.

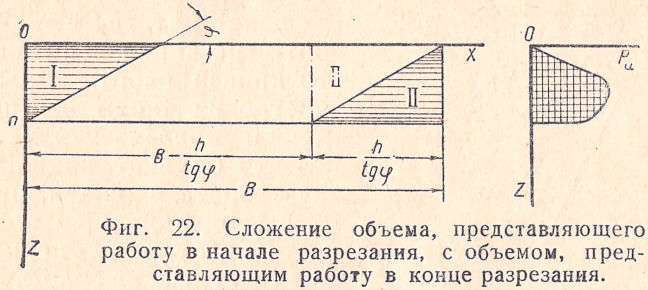
В случае, если нож углубился в левый край полосы на произвольную величину $a_1 = Oc_1$, усилие будет представлено объемом Oc_1b_1. Когда же нож пройдет такой путь $a_2 = Oc_2$, при котором лезвие ножа углубится в правый край на ту же вели-

чину a_1, то усилие будет представлено объемом $c_1'edm$. Сложим теперь эти два объема, для чего первое тело перенесем вправо (за край полосы). Из фиг. 21 видно, что сумма этих двух объемов будет представлять объем b_2ed, равный объему тела bed, показанного на фиг. 15. Следовательно, сумма усилий для точек c_1 и c_2 равна P, т. е. равна усилию, вычисляемому по формуле (22).



Фиг. 21. Сложение объемов, представляющих усилие в начале и в конце разрезания (при одинаковом погружении лезвия в каждую из боковых сторон листа или полосы).

Для получения уравнений (24) и (25) обратимся к фиг. 22. Как видно из этого рисунка, объем I, представляющий работу в начале разрезания, будучи сложен с объемом II, представляющим



Фиг. 22. Сложение объема, представляющего работу в начале разрезания, с объемом, представляющим работу в конце разрезания.

работу в конце разрезания, дополняет последнее условное тело таким образом, что получается новое цилиндрическое тело высотой $\frac{h}{\operatorname{tg}\varphi}$, т. е.

$$W_н + W_к = S\sigma h\lambda \frac{h}{\operatorname{tg}\varphi}.$$

Относя знаменатель правой части уравнения к первому члену этой части, не трудно заметить, что в данном случае на основании уравнения (22) можно написать:

$$W_н + W_к = Ph,$$

т. е. результат тот же, что и по формуле (24).

Работа резания на участке, на котором усилие P постоянно (фиг. 20), вычисленная при помощи объема V_W (фиг. 22), будет:

$$W-(W_н+W_к)=S_0h\lambda\left(B-\frac{h}{\operatorname{tg}\varphi}\right).$$

Или, вводя усилие P,

$$W-Ph=PB\operatorname{tg}\varphi-Ph.$$

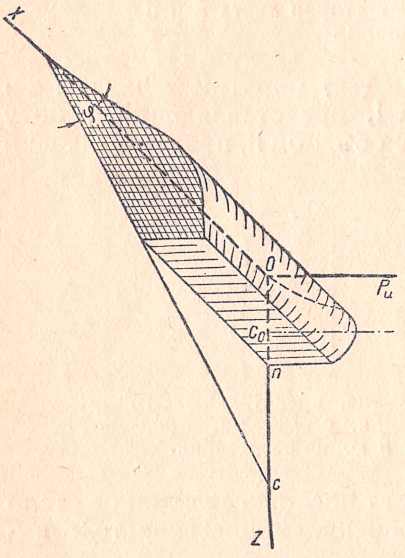
Откуда полная величина работы

$$W=PB\operatorname{tg}\varphi,$$

т. е. результат тот же, что и по формуле (25).

5. Применение объема V_W для вычисления работы резания

Работа резания не зависит от того, будут ли ножи скошенными или параллельными (если работой, затрачиваемой на изгиб, пренебречь). Следовательно, когда нужно знать лишь полную величину работы одного резания, то ее можно вычислять как для случая резания параллельными ножами.



Фиг. 23. Цилиндрическое тело, представляющее работу резания, совершенную прямым скошенным ножом на его пути от нуля до какого-то произвольного положения.

Если же почему-либо представляет интерес выражение работы резания как функция пути, то кривая работы может быть построена таким же порядком, как и кривая усилий. Только вместо ординат кривой $P_п$ следует брать площади, ограниченные этой кривой, и полученный результат отложить как ординату на графике „работа — путь".

Работа резания, рассматриваемая как объем V_W для случая, когда нож углубился в металл на произвольную величину a (фиг. 23), будет:

$$W=\iiint\limits_{V_W}dxdP_u\,dz. \qquad (27)$$

Производя вычисления объема V_W аналогично тому, как это делалось при вычислении объема V_p, получим выражение работы, совершенной на пути a от нуля до произвольной точки c:

$$W=\frac{\lambda\,hS_0}{\operatorname{tg}\varphi}(a-c_0), \qquad (28)$$

где c_0 — координата точки центра тяжести площади, ограниченной исходной кривой $P_и$.

Так как в правой части последнего уравнения дробь перед скобками есть согласно уравнению (22) усилие резания, то

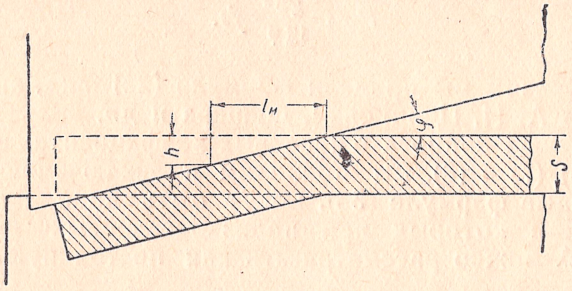
$$W = P(a - c_0). \tag{29}$$

6. Геометрический смысл отдельных величин в формуле для усилия резания прямыми скошенными ножами

Переписав формулу (22) в виде

$$P = \frac{h}{\operatorname{tg}\varphi} \cdot S \cdot \sigma \cdot \lambda,$$

нетрудно притти к заключению, что усилие при резании скошенными ножами выражается, по сути дела, аналогично тому, как это имеет место при параллельных ножах.



Фиг. 24. Величина мгновенного периметра резания $l_м$ при прямых скошенных ножах.

В самом деле, $\frac{h}{\operatorname{tg}\varphi}$ есть не что иное, как теоретическая длина одновременно срезаемого участка $l_м$ (фиг. 24), которую мы предлагаем назвать мгновенным периметром резания; S — толщина; σ — сопротивление резанию; λ — уже известный коэфициент. Только наличием последнего коэфициента и отличается, таким образом, формула (22) от формулы для усилия резания при параллельных ножах.

Следовательно, формуле (22) можно дать такой вид:

$$P = l_м S \sigma \lambda. \tag{30}$$

Заменим теперь в формуле (22) величину h, которая согласно уравнению 2 равна εS. Тогда

$$P = \frac{\varepsilon \lambda S^2 \sigma}{\operatorname{tg}\varphi}. \tag{31}$$

Для практических производственных расчетов в последнюю формуду необходимо ввести коэфициенты f_1, f_2, f_3, f_4, учитывающие влияние зазора, формы режущих кромок, состояния

режущих кромок и скорости резания. Помимо этих коэфициентов необходимо еще ввести коэфициент f_5, учитывающий усилие, затрачиваемое на отгибание отрезаемого металла, и коэфициент f_6, учитывающий допуски на толщину листа и непостоянство его механических свойств (в том числе и колебание значения σ).

Следовательно,

$$P = \frac{\varepsilon\lambda S^2\sigma}{\operatorname{tg}\varphi} f_1 f_2 f_3 f_4 f_5 f_6. \tag{32}$$

Полагая, что

$$\varepsilon\lambda = g, \tag{33}$$

где g — новый коэфициент, и

$$f_1 f_2 f_3 f_4 f_5 f_6 = f, \tag{34}$$

окончательно получим:

$$P = \frac{gS^2}{\operatorname{tg}\varphi} f\sigma. \tag{35}$$

Таким образом мы придали формуле (22) вид, аналогичный виду формул А. И. Целикова [1], Фишера и др.

Не предрешая вопроса о числовых коэфициентах в формулах (1) (3), (5), (6), (7) и (8), мы приходим к заключению, что формулы, подобные формуле (35), могут быть приемлемы лишь в тех пределах, в которых при производственных расчетах величину $g = \varepsilon\lambda$ можно рассматривать как постоянную.

7. Пределы применимости формул для усилия и работы резания прямыми скошенными ножами

При выводе формул для вычисления усилия и работы резания мы рассматривали случай, когда лезвие верхнего ножа углубилось в металл на величину $a > h$. Поэтому полученные формулы будут иметь смысл лишь в том случае, если при их применении соблюдается условие, принятое при выводе, а именно:

$$H > h \quad \text{или} \quad B\operatorname{tg}\varphi > h. \tag{36}$$

Последнее условие и является нижним пределом применимости формул.

Минимальный угол, при котором полученные формулы еще действительны,

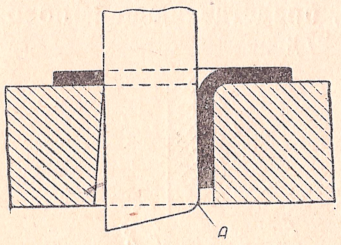
$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{h}{B}. \tag{37}$$

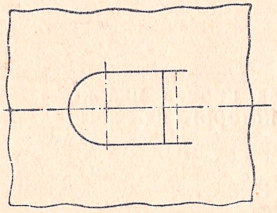
---

[1] В формуле А. И. Целикова коэфициенты g и f заменены одним числовым коэфициентом.

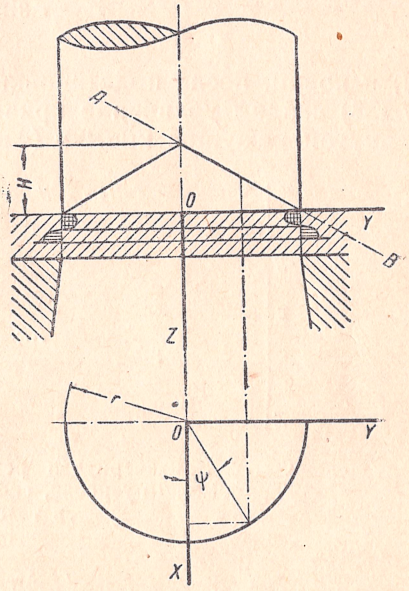
Кривая усилия и для этого случая еще может быть построена по тому же способу, как и кривая усилий на фиг. 20, но длина прямолинейного участка здесь будет равна нулю.

Что же касается верхнего предела, то теоретически формулы не теряют смысла даже при углах, близких к 90°. При углах, близких к 50—60°, резание еще возможно и такие углы имеют отдельные части пуансонов в штампах для одновременной надрезки и отгибки (точка A на фиг. 25). Однако силы, изгибающие металл в последних случаях, будут, повидимому, весьма велики и, быть может, будут значительно больше, чем усилие резания.





Фиг. 25. Пример применения для одновременной надрезки и отгибки скошенного пуансона, отдельные части режущей кромки которого имеют большой угол скоса.



Фиг. 26. Цилиндрический скошенный пуансон и его геометрические элементы перед развертыванием боковой поверхности

8. Применение объема V_p для вычисления усилия резания при цилиндрических скошенных пуансонах и матрицах

Пусть дан обычный цилиндрический пуансон, скошенный двумя плоскостями (фиг. 26). В соответствии со сделанными ранее заключениями боковую поверхность такого пуансона следует развернуть. Уравнение плоскости AB будет:

$$Z = \frac{H}{r} Y - H. \tag{38}$$

Но, как видно из фиг. 26,

$$Y = r \sin \psi. \tag{39}$$

После развертывания имеем:

$$X = r\psi,$$

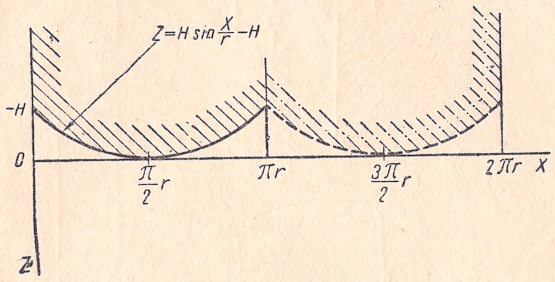
т. е.

$$\psi = \frac{X}{r}.$$

Подставляя значение ψ в формулу (39), получим:

$$Y = r \sin \frac{X}{r}.$$

И, наконец, после подстановки последнего результата в формулу (38) найдем уравнение кривой, представляющей половину развернутой режущей кромки (фиг. 27):



Фиг. 27. Развернутая режущая кромка цилиндрического пуансона, скосы которого сделаны „в тело".

$$Z = H \sin \frac{X}{r} - H. \tag{40}$$

После переноса начала координат (ось Z на величину $a = Oc$, т. е. на величину углубления пуансона в металл, и ось X — на величину $\frac{\pi r}{2}$, как показано на фиг. 28) уравнение кривой, представляющей развернутую режущую кромку, примет вид:

$$z = H \sin\left(\frac{x}{r} + \frac{\pi}{2}\right) - H + a, \tag{41}$$

откуда

$$x = r\left(-\frac{\pi}{2} + \arcsin\frac{z - a + H}{H}\right). \tag{42}$$

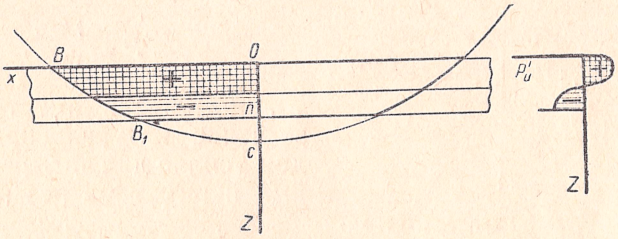
Последнее выражение есть уравнение криволинейной поверхности, проходящей через режущую кромку и отсекающей объем V_p (фиг. 28 и 29). Очевидно, полное усилие может быть представлено объемом четырех условных тел OnB_1B (фиг. 28).

Тогда усилие резания найдем как объем:

$$V_P = 4\int_0^n dz \int_0^{-P'_u} dP'_u \int_0^x dx.$$

Подставляя вместо верхнего предела последнего интеграла значение этого предела из уравнения (42) и интегрируя, будем иметь:

$$V_p = 4r\int_0^n -P'_u\left(-\frac{\pi}{2} + \arcsin\frac{z-a+H}{H}\right)dz. \qquad (43)$$



Фиг. 28. Одна из четвертей условного тела, представляющего усилие резания цилиндрическим скошенным пуансоном.

Производя вычисление объема V_P аналогично тому, как это делали при вычислении усилия резания прямыми скошенными ножами, после обычных преобразований получим:

$$V_P = P = \frac{4r\lambda hS\sigma}{H\sqrt{1-\left(\frac{z_q-a+H}{H}\right)^2}}. \qquad (44)$$

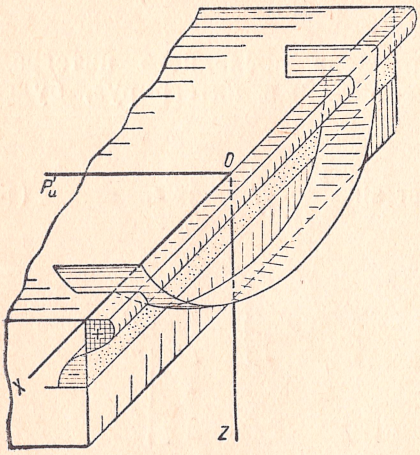
Найденный результат содержит отсутствующую в формуле для прямых скошенных ножей величину z_q. Покажем ее геометрический смысл.

Если через точку z_q провести плоскость, касательную к криволинейной поверхности, то объем V_P (как сумма объемов), отсекаемый этой плоскостью, будет равен объему, отсекаемому криволинейной поверхностью. Поясним это примером, для чего воспользуемся высказанными в главе I соображениями о том, что процесс резания скошенным цилиндрическим пуансоном можно условно рассматривать как резание по прямой ножами, у которых угол скоса φ есть величина переменная.

Выражение для угла φ найдем, диференцируя уравнение (40)

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{dZ}{dX} = \frac{H}{r}\cos\frac{X}{r}. \qquad (45)$$

Подставляя вместо X его значение из уравнения кривой развернутой режущей кромки для случая, когда кривая выходит из начала координат, как на фиг. 30, будем иметь:



Фиг. 29. Условные тела, отсекаемые развернутой режущей кромкой и представляющие половину усилия при штамповке цилиндрическим скошенным пуансоном.

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{H}{r}\cos\arcsin\frac{Z}{H},$$

или

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{H}{r}\sqrt{1-\left(\frac{Z}{H}\right)^2}. \qquad (46)$$

Поскольку согласно уравнению (22) усилие резания есть

$$P = \frac{\lambda h S \sigma}{\operatorname{tg}\varphi},$$

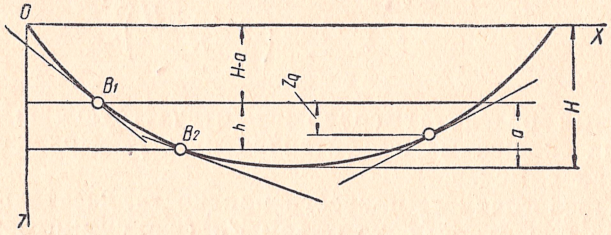
то, подставляя вместо $\operatorname{tg}\varphi$ его значение из уравнения (46) найдем усилие для четырех мгновенных периметров резания:

$$P = \frac{4r\lambda h S\sigma}{H\sqrt{1-\left(\frac{Z}{H}\right)^2}}. \qquad (47)$$

Для выбора значения Z обратимся к фиг. 30. Если принять

$$Z = H - a,$$

т. е. если касательную провести через точку B_1, то $\operatorname{tg}\varphi$ будет больше искомого. Если принять



Фиг. 30. Возможные положения касательных к развернутой режущей кромке углубившегося в металл цилиндрического скошенного пуансона.

$$Z = H - a + h,$$

т. е. если касательную провести через точку B_2, то $\operatorname{tg}\varphi$ будет меньше искомого. Проводя касательную к режущей кромке в зоне скалывания (участок шириной h) на расстоянии от верхней плоскости металла z_q, получим:

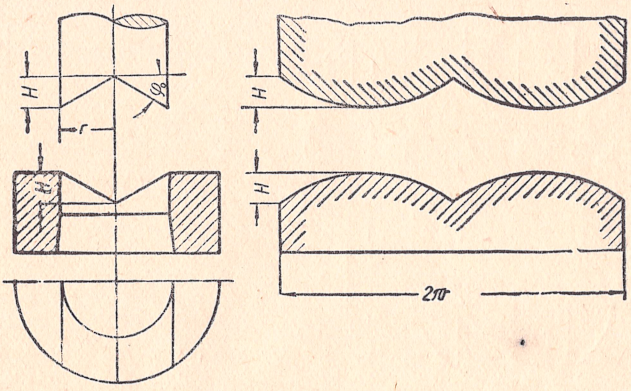
$$Z = H - a + z_q,$$

и подставляя последнее значение Z в уравнение (47) найдем усилие резания:

$$P = \frac{4r\lambda hS\sigma}{H\sqrt{1-\left(\frac{z_q - a + H}{H}\right)^2}},$$

т. е. результат тот же, что и по формуле (44).

Формула (44) очевидно будет применима не только для скошенного пуансона, но и для скошенной матрицы [1], если скосы сделаны „в тело" (фиг. 31). Эта применимость результатов легко объясняется тем, что развернутая режущая кромка у рассматриваемых пуансона и матрицы одинакова.



Фиг. 31. Развернутые режущие кромки пуансона и матрицы со скосами „в тело".

Подобного же вида будет и формула для усилия резания при скошенном пуансоне или при скошенной матрице, показанных на фиг. 32. Однако величина z_q в последнем случае будет иная, вследствие того, что развернутая режущая кромка имеет иной вид.

Понятно, что входящая в формулу (44) величина z_q будет различной не только для различных кривых P_u, но и для различных положений пуансона; ее значение будет также зависеть и от соотношений между диаметром пуансона, глубиной проникновения режущей кромки до окончания скалывания и высотой скосов. Эта величина может быть найдена лишь приближенно, например, путем графических построений.

Мы пришли к заключению, что для обычной стали ($\sigma = 30$—50 *кг/мм*^{2}) при производственных расчетах z_q может приниматься одинаковой для всех положений пуансона. При тех соотношениях, которые обычно имеют место между высотой скосов,

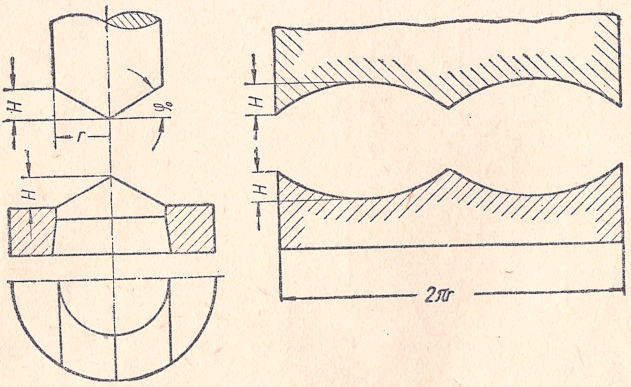
[1] Хотя на фиг. 31 показаны сразу и скошенный пуансон и скошенная матрица, на самом деле при штамповке одна из этих деталей должна быть, конечно, плоской.

диаметром пуансона и величиной h, погрешности вычисленных при таком допущении результатов в большинстве случаев не превысят 5—10%.

Найденная нами приближенно величина z_q для пуансонов и матриц, показанных на фиг. 31, составляет $0{,}8h$, и для пуансонов и матриц, показанных на фиг. 32, соответственно $0{,}2h$.

Таким образом, если скосы сделаны „в тело" (фиг. 31), усилие для произвольного положения пуансона может быть представлено формулой:

$$P = \frac{4r\lambda hS\sigma}{H\sqrt{1-\left(\frac{0{,}8h-a+H}{H}\right)^2}}, \qquad (48)$$



Фиг. 32. Развернутые режущие кромки пуансона и матрицы с внешними скосами.

и, если скосы сделаны наружными (фиг. 32), то

$$P = \frac{4r\lambda hS\sigma}{H\sqrt{1-\left(\frac{a-0{,}2h}{H}\right)^2}}. \qquad (49)$$

Кривая усилия, вычисленного по формуле (48), будет иметь вид, как на фиг. 33 слева (фиг. A); кривая усилия, вычисленного по формуле (49), будет представлена фиг. B.

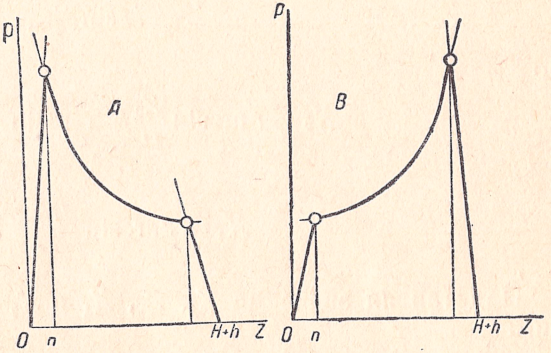
Кривую для начала резания, т. е. на пути от нуля до $\underline{On} = h$, и кривую для конца резания от H до $H+h$ для производственных расчетов можно заменить прямыми. Однако в случае необходимости кривые для начала и конца резания могут быть построены по тому же способу, который был показан для построения графика усилий при прямом скошенном ноже.

Как видно из фиг. 33, максимум усилия получается либо в начале резания, когда $a = h$, либо в конце, когда $a = H$. Поэтому для случаев, когда представляет интерес только наибольшая величина усилия, последнее может быть получено путем соответствующей замены величины a в формулах (48) и (49). Тогда

как для пуансонов и матриц, показанных на фиг. 31, так и для пуансонов и матриц, показанных на фиг. 32, максимальное усилие будет выражаться одной общей формулой:

$$P = \frac{4r\lambda hS\sigma}{H\sqrt{1-\left(\frac{H-0{,}2h}{H}\right)^2}}. \qquad (50)$$

Попутно отметим, что, хотя максимальное усилие как при наличии скосов „в тело", так и при наружных скосах получается одинаковым, желательно все же отдавать предпочтение последним, поскольку они дают максимум усилия в конце хода, когда вал пресса находится в наиболее благоприятных условиях работы.

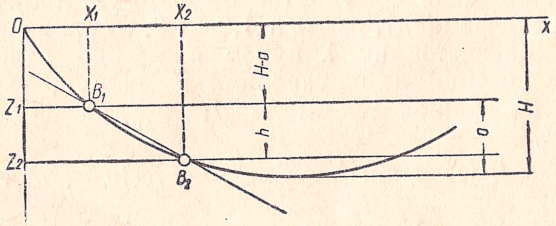


Фиг. 33. Теоретические кривые усилий при штамповке с цилиндрическими скошенными пуансонами или матрицами:
A — для скосов „в тело"; B — для наружных скосов.

Наконец, укажем, что полученные формулы применимы лишь для случаев, когда $h \leqslant a \leqslant H$.

9. Приближенное вычисление усилия резания при цилиндрических скошенных пуансонах или матрицах

Пренебрегая некоторыми погрешностями вычислений, при производственных расчетах допустимо наклонную плоскость



Фиг. 34. Проведение секущей через развернутую режущую кромку для приближенного определения мгновенного угла скоса.

провести через начало и конец мгновенной дуги резания, т. е. через точки B_1 и B_2 на фиг. 34.

Тогда

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Z_2 - Z_1}{X_2 - X_1}. \qquad (51)$$

Как видно из фиг. 34:

$$Z_2 = H - a + h \quad \text{и} \quad Z_1 = H - a.$$

Так как в соответствии с уравнением (40) уравнение показанной на фиг. 34 кривой будет

$$Z = H \sin \frac{X}{r},$$

то

$$X_2 = r \arcsin \frac{Z_2}{H} = r \arcsin \frac{H - a + h}{H}$$

и

$$X_1 = r \arcsin \frac{H - a}{H}.$$

Подставляя значения Z_1, Z_2, X_1 и X_2 в уравнение (51), получим:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{r\left(\arcsin \frac{H - a + h}{H} - \arcsin \frac{H - a}{H}\right)}. \tag{52}$$

Применяя теперь формулу (22), будем иметь:

$$P = \frac{4\lambda h S \sigma}{\operatorname{tg} \varphi} = 4r\lambda S\sigma \left(\arcsin \frac{H - a + h}{H} - \arcsin \frac{H - a}{H}\right).$$

Однако, проводя плоскость через точки B_1 и B_2 (фиг. 34), получаем угол скоса больший, чем если бы мы провели плоскость через точку z_q. Поэтому найденный результат будет меньше того, который получается по формуле (48). Если ввести поправочный коэфициент, равный 1,2—1,3, то произведение этого коэфициента на величину λ будет примерно равно единице. Тогда усилие резания для пуансонов и матриц, показанных на фиг. 31, будет выражено формулой [1]:

$$P = 4rS\sigma \left(\arcsin \frac{H - a + h}{H} - \arcsin \frac{H - a}{H}\right). \tag{53}$$

Теперь результат будет немного больше результата, полученного по формуле (48).

Аналогично, для пуансонов и матриц, показанных на фиг. 32, усилие будет:

$$P = 4rS\sigma \left(\arcsin \frac{a}{H} - \arcsin \frac{a - h}{H}\right). \tag{54}$$

---

[1] Аналогичную формулу, но иным путем, получил и М. Е. Зубцов [3]. Однако в приводимой им формуле вместо h стоит S.

Максимальное усилие как по формуле (53), так и по формуле (54) одинаково и равно

$$P = 4rS\sigma \arccos\frac{H-h}{H}. \qquad (55)$$

Разница лишь в том, что при пуансонах и матрицах, показанных на фиг. 31, максимум усилия получается в начале резания при $a = h$, а при пуансонах и матрицах, показанных на фиг. 32,— в конце при $a = H$.

Покажем геометрический смысл формулы (55), для чего обратимся к фиг. 35. Пуансон, показанный на этом рисунке, углубился в металл на величину h. В точках b резание уже закончено; в точках c — только начинается. Определим величину мгновенного периметра резания. Так как

$$\frac{H-h}{H} = \frac{Od}{r},$$

то

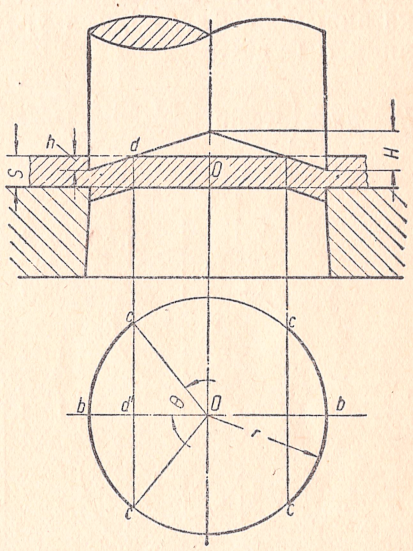
$$\cos\theta = \frac{Od'}{r} = \frac{H-h}{H}.$$

Следовательно,

$$\theta = \arccos\frac{H-h}{H},$$

а весь мгновенный периметр

$$l_м = 4r\arccos\frac{H-h}{H}. \qquad (56)$$



Фиг. 35. Построение для нахождения наибольшего мгновенного периметра резания цилиндрическим скошенным пуансоном.

Таким образом, формула (55), равно как и формулы (53) и (54), имеет такую же структуру, как и обычная формула для определения усилия резания параллельными ножами. В отличие от формулы (30) здесь отсутствует величина λ, т. е. усилие представляется произведением длины реза на толщину и на сопротивление срезу.

Для пуансонов и матриц, показанных на фиг. 36, усилие может быть вычислено аналогичным путем. Развертывая боковую поверхность пуансона так, как это уже делали ранее, найдем уравнение развернутой режущей кромки:

$$Z = \sqrt{R^2 - r^2\sin^2\frac{X}{r}}, \qquad (57)$$

откуда

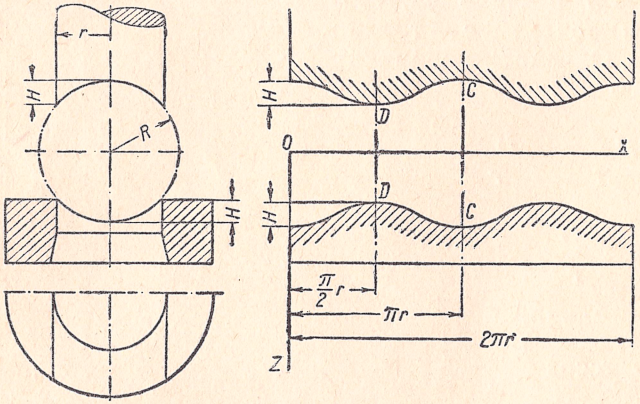
$$X = r\arcsin\frac{\sqrt{R^2-Z^2}}{r}. \qquad (58)$$

Проводя наклонную плоскость через начало и конец мгновенной дуги резания, т. е. через точки B_1 и B_2 (фиг. 34), получим:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{h}{r\left(\arcsin\frac{\sqrt{R^2-(R-H+a-h)^2}}{r} - \arcsin\frac{\sqrt{R^2-(R-H+a)^2}}{r}\right)}. \quad (59)$$

Тогда усилие резания для пуансонов и матриц, подобно показанным на фиг. 36, при углублении пуансона в металл на величину a будет:

$$P = 4rS\sigma\left(\arcsin\frac{\sqrt{R^2-(R-H+a-h)^2}}{r} - \arcsin\frac{\sqrt{R^2-(R-H+a)^2}}{r}\right). \quad (60)$$



Фиг. 36. Развернутые режущие кромки для пуансонов и матриц, имеющих скосы (выемки) по дуге окружности.

Теоретическая кривая усилия, вычисленного по этой формуле, показана на фиг. 37. Для начала резания при $a = h$ формула (60) примет вид:

$$P = 4rS\sigma \arccos\frac{\sqrt{R^2-(R-H+h)^2}}{r}, \quad (61)$$

и для конца резания при $a = H$

$$P = 4rS\sigma \arcsin\frac{\sqrt{R^2-(R-h)^2}}{r}. \quad (62)$$

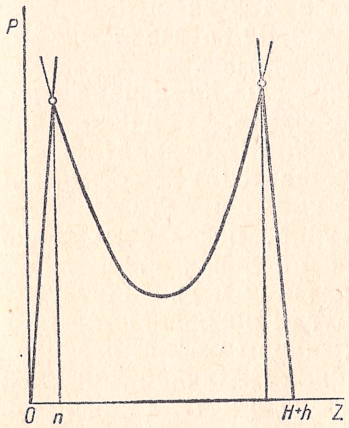
Продифференцировав дважды уравнение развернутой режущей кромки, при помощи известного аналитического выражения для радиуса кривизны ρ можно найти, что в точках c (фиг. 36) $\rho_1 = R$, а в точке D $\rho_2 = \sqrt{R^2 - r^2}$.

Поскольку в точке c радиус кривизны больше, чем в точке D, то больший мгновенный периметр резания будет вблизи точки c. Поэтому наибольшее усилие следует ожидать в конце хода.

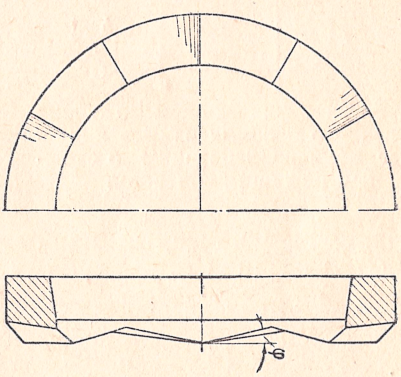
Для крупных (секционных или цельных) скошенных матриц, у которых скосы образуют несколько волн (фиг. 38), максимальное усилие резания может быть вычислено приближенно при помощи формулы (22), если, конечно, все скосы прямые. Если к тому же скосы и одинаковые, то усилие может быть вычислено по формуле.

$$P = 2n\frac{\lambda h S\sigma}{\operatorname{tg}\varphi}, \tag{63}$$

где n — число выступов или число впадин на матрице.



Фиг. 37. Теоретическая кривая усилий для пуансонов и матриц, режущие кромки которых образованы пересечением двух цилиндров.



Фиг. 38. Скошенная цилиндрическая матрица, имеющая шесть волн.

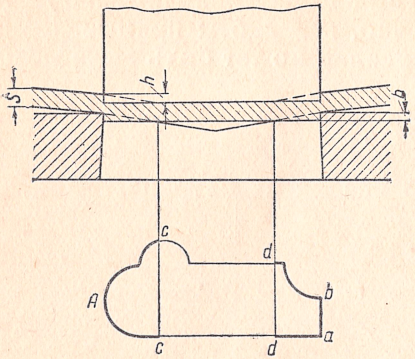
10. Приближенное вычисление усилия резания при скошенных пуансонах и матрицах с произвольным режущим контуром

В случае наличия режущих кромок сложного контура, например, как на фиг. 39, усилие резания может быть вычислено как сумма усилий для отдельных геометрических элементов. Так, в нашем случае для участков bd и cAc можно применить формулы (50) и (55), с учетом, конечно, того, что здесь резание производится лишь по частям окружности. Для прямолинейных скошенных участков усилие может быть определено по формуле (22). Для участков с параллельными режущими кромками усилие вычисляется, как обычно, и прибавляется к сумме усилий, действующих в данный момент.

Давая пуансону ряд последовательных перемещений и определяя для каждого его положения усилие, можно построить кривую усилий или ограничиться только отысканием максимума.

Если толщина материала и величина скосов значительны или если размеры режущего контура таковы, что допускают увели-

чение (в пределах нормального чертежного листа, конечно), то кривую усилия резания можно построить при помощи графического нахождения мгновенного периметра резания.

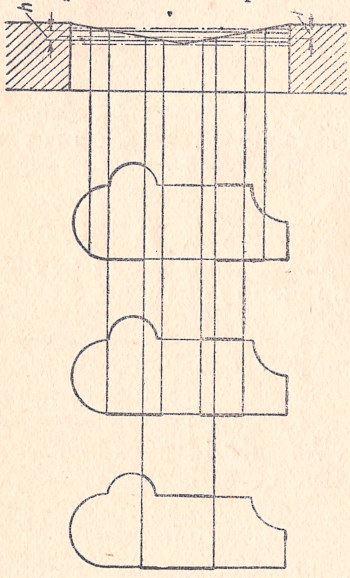


Фиг. 39. Графическое нахождение мгновенного периметра резания в случае скошенной матрицы со сложным режущим контуром.

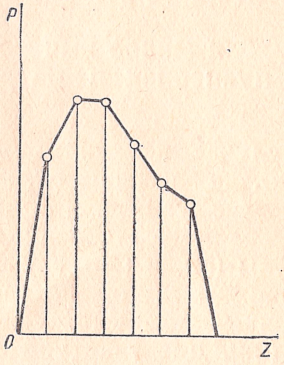
Один из моментов графического определения мгновенного периметра резания показан на фиг. 39. Здесь пуансон углубился в металл на величину h и при дальнейшем опускании пуансона в точке A и на прямолинейном участке ab резание не будет производиться. В точках c и d резание еще не начиналось. Таким образом, для данного случая мгновенный периметр резания представится как сумма длин двух криволинейных и ломаных контуров, показанных в плане жирными линиями.

Измерив мгновенный периметр резания и увеличив его для покрытия различных чертежных и других погрешностей на 25—30% найдем усилие резания при заданной величине погружения пуансона в металл как произведение периметра на толщину и на сопротивление резанию.

Примеры определения мгновенных периметров резания для



Фиг. 40. Примеры графического нахождения мгновенного периметра резания для различных положений пуансона.



Фиг. 41. Кривая усилий, построенная при помощи найденных графическим путем мгновенных периметров резания.

других положений пуансона показаны на фиг. 40. Кривая усилия, построенная для того же режущего контура, показана на фиг. 41.

При графических построениях нет надобности давать пуансону много различных положений. Нужно давать перемещения почаще лишь для таких мест, где возможно ожидать максимумы, и, наоборот, для прямолинейных участков можно давать лишь одно положение.

11. Особенности приводимых способов вычисления усилий резания

Приведенные способы вычисления усилий резания не учитывают влияния изгибающих сил, сил трения и некоторых геометрических элементов режущих кромок. Возможно также, что сопротивление резанию отдельных частиц металла при сдвиге их скошенной режущей кромкой будет несколько отличаться от сопротивления резанию при параллельных режущих кромках, так как в первом случае сдвигаемые частицы металла могут оказаться под воздействием других, соседних частиц, сдвинутых на иную величину.

Еще в начале этой главы было отмечено, что на усилие резания оказывают, повидимому, влияние величина зазора, скорость резания и другие факторы, которые мы учитывали коэфициентами f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 и f_6 [уравнения (5) и (35)]. Следовательно, для практического пользования полученными нами формулами в правую часть любой из них необходимо ввести еще шесть поправочных коэфициентов.

Очевидно, что правильный выбор этих коэфициентов можно сделать лишь после опытной проверки главных формул и тех положений, которые легли в основу полученных формул.

IV. АНАЛИЗ СИЛ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ДЕЙСТВИЕМ УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ

1. О существующих данных для вычисления величины отжимающей силы

Знание величины отжимающей (или распирающей) ножи силы, действующей нормально к поверхности среза, крайне важно для расчетов вырезных секционных штампов.

С. М. Головин и Ф. З. Рванцев [10] показали, что находящиеся в матрице изделия или отходы могут вызывать после окончания процесса среза силу, действующую нормально к боковым стенкам матрицы. Для вычисления этой силы выведена формула (применительно к круглым матрицам — фиг. 42):

$$N_q = Dh_1 q = \frac{h_1}{S\mu\pi} Q_1,$$

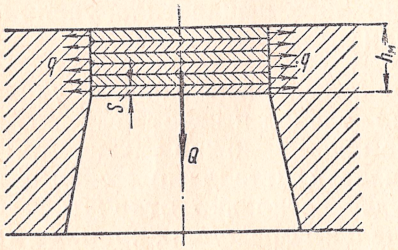
где D — диаметр рабочей части матрицы;

h_1 — высота цилиндрического пояска матрицы;

q — удельное давление, оказываемое торцом изделия или отхода на стенку матрицы;

μ — коэфициент трения торца изделия или отхода о стенку матрицы;

Q_1 — максимальное усилие, необходимое для проталкивания одного изделия или одного отхода через матрицу.



Фиг. 42, Распределение нормального давления в круглой матрице по С. М. Головину и Ф. З. Рванцеву.

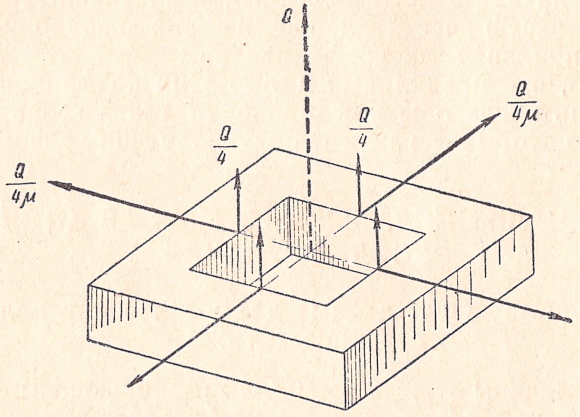
Для силы, распирающей прямолинейные секции, В. Я. Цейтлин [13] дает другое выражение:

$$N = \frac{Q_1 n}{\mu} = \frac{\eta P n}{\mu},$$

где n — количество деталей, застрявших в матрице;

η — коэфициент, представляющий отношение усилия проталкивания к усилию вырезки P.

Согласно последней формуле вся сила проталкивания Q_1 приложена только к одной стороне матрицы. Мы будем смотреть на силу проталкивания как на результат действия сил трения по всем сторонам матрицы (фиг. 43).



Фиг. 43. Распирающие силы, действующие на стенки квадратной матрицы при выталкивании изделия.

Для ножниц с параллельными ножами, принцип действия которых аналогичен принципу действия боковых ножей штампов, нам известна лишь одна формула — формула А. И. Целикова [1]. Последний получил ее при помощи изящного и простого метода теоретическим путем. Отжимающая сила, по А. И. Целикову (составляя приблизительно 40% усилия резания), выражается так:

$$N = P \operatorname{tg} \psi,$$

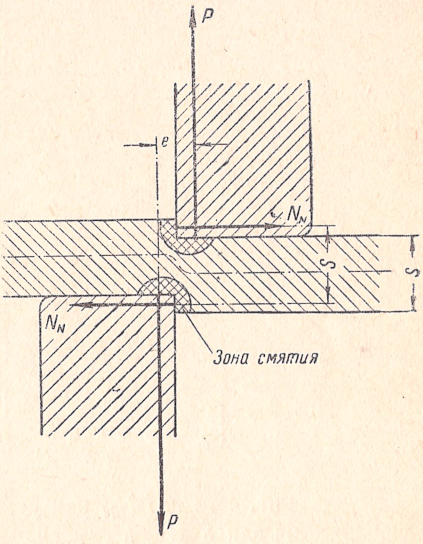
где ψ — угол поворота разрезаемого материала.

При работе совмещенных и других штампов с пружинными съемниками и прижимами угол поворота ψ практически равен нулю, но действие распирающей силы и в этом случае всегда проявляется.

2. Вычисление величины отжимающей силы

Два известных факта, а именно—стремление режущих кромок разойтись в разные стороны при резании прямыми параллельными ножами и застревание вырезанного изделия (или отхода) в матрице, позволяют сделать заключение, что сила, распирающая матрицу, может вызываться двумя причинами. Первая причина — нормальное давление деформируемого металла на боковые поверхности режущих частей; и вторая — давление торцов застрявших в матрице изделий или отходов на ее стенки.

Следовательно, на различных стадиях штамповки будут различны и распирающие силы. В процессе резания будет действовать сила N_N, вызываемая первой причиной, а после его окончания — сила N_q, вызываемая второй причиной. В случае, если в матрице застревает одно или несколько изделий, наибольшее значение распирающей матрицу силы будет равно сумме сил N_N и N_q.



Фиг. 44. Упрощенная схема действия сил при резании, показывающая возможность наличия силы N_N и в том случае, когда разрезаемый металл предохраняется от отгибания.

При теоретическом определении величины силы N_N не обязательно соблюдать условие, согласно которому разрезаемый металл в процессе резания повертывается. Метод, предложенный А. И. Целиковым, может быть применен и при распределении сил, показанном на фиг. 44. Вследствие пластичности разрезаемого металла нормальное давление на боковые стенки режущих частей должно возникнуть и в том случае, если разрезаемый металл (полоса, лист) предохраняется какими-либо устройствами от повертывания.

Для приближенных вычислений максимальной величины силы допускаем, что:

1. Точка приложения силы P отстоит от режущей кромки на расстоянии, равном одной трети ширины сминаемой под ножом площадки.

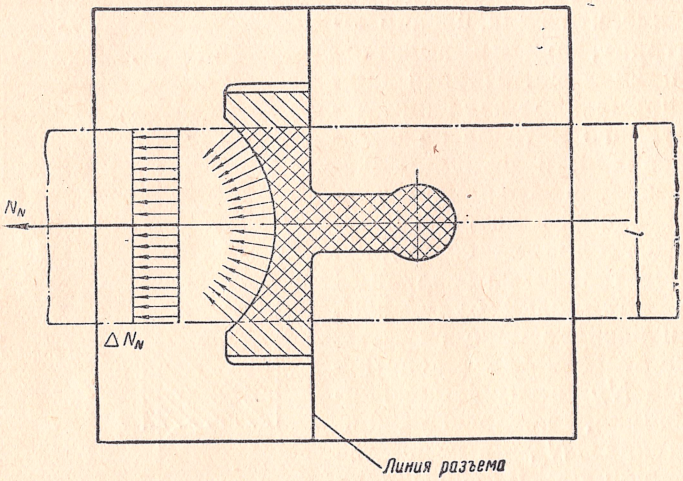
2. Расстояние между точками приложения сил N_N ко времени, когда эти силы достигают своего наибольшего значения, равно S.

3. Сила N_N достигает максимума одновременно с силой P.

При этих допущениях силу N_N нетрудно определить из равенства моментов, отмеченного А. И. Целиковым:

$$Pe = N_N S. \tag{64}$$

Из практики известно, что ширина сминаемой под ножом площадки для стали составляет 0,5—0,7 S. Приняв эту ширину равной 0,6 S, получим:



Фиг. 45. Сила N_N как сумма проекций элементарных сил на направление, перпендикулярное линии разъема секций.

$$P \cdot \frac{2}{3} \cdot 0{,}6\, S = N_N S, \tag{65}$$

откуда

$$N_N = 0{,}4\, P, \tag{66}$$

т. е. численный результат такой же, как и у А. И. Целикова.

Сделанный вывод позволяет определить величину распирающей силы и для резания по сложному контуру, например, для случая, показанного на фиг. 45. Очевидно, что распирающая сила N_N, направленная перпендикулярно линии разъема секций матрицы, будет равна произведению погонной нагрузки ΔN_N на проекцию режущего контура l. Следовательно, независимо от сложности режущего контура любой из секций, распирающая сила N_N будет такой же, как и при разрезании прямыми параллельными ножами полосы шириной l.

Вследствие того, что сила N_N действует одновременно с силой P, в процессе резания возникает еще и сила трения между

секцией и нижней плитой. Величина силы трения N_T, направленной противоположно силе N_N, будет:

$$N_T = P\mu_1, \tag{67}$$

где μ_1 — коэфициент трения между секцией матрицы и нижней плитой.

Таким образом, сила, которую испытывают фиксирующие секцию матрицы устройства (штифты, шпонки, выступы), будет равна разности сил N_N и N_T. И если периметр резания по сравнению с хордой l будет достаточно велик, то эта разность сил может оказаться равной нулю. Очевидно, что в таком случае от действия силы N_N секция не сдвинется с места даже и при отсутствии фиксирующих штифтов или шпонок.

При замкнутом режущем контуре действие силы N_q может быть уподоблено действию силы N_N. Для матриц произвольного контура соотношение между силой N_q и удельным давлением q найдем из равенства, аналогичного равенству, приводимому С. М. Головиным и Ф. З. Рванцевым для круглых матриц. Обозначив периметр резания через L, будем иметь:

$$Q_1 = LSq\mu, \tag{68}$$

откуда

$$q = \frac{Q_1}{LS\mu} = \frac{\eta P}{LS\mu}. \tag{69}$$

Так как

$$P = LS\sigma,$$

то, подставляя его значение в уравнение (69), получим:

$$q = \frac{\eta}{\mu}\sigma. \tag{70}$$

Следовательно, при $n = 1$

$$N_q = qlS = \frac{\eta}{\mu} lS\sigma. \tag{71}$$

Член $lS\sigma$ в правой части последнего уравнения представляет усилие, необходимое для резания полосы шириной l. Обозначив это усилие через P_l, найдем, что

$$N_q = P_l \frac{\eta}{\mu}, \tag{72}$$

т. е. сила N_q, как и сила N_N, прямо пропорциональна усилию, необходимому для разрезания полосы шириной, равной хорде секции.

3. Условия для определения максимальных величин сил трения

Сила Q_1, необходимая для проталкивания изделия или отхода сквозь матрицу и сила T, необходимая для снятия с пуансона изделия или отхода, действуют как силы трения между торцами срезанного металла и боковыми стенками рабочих частей штампа. Экспериментальное измерение сил Q_1 и T при помощи разрывной машины, проведенное М. О. Каганом (Орго-Металл, 1938 г.) при пробивке отверстий малого диаметра — до 19 *мм* и С. М. Головиным и Ф. З. Рванцевым — при вырезке более крупных изделий — 70 *мм*, показало, что величина этих сил может изменяться в довольно широких пределах.

С увеличением зазора сила Q_1 уменьшается и при зазоре, равном 25—30% толщины металла, падает до нуля; при обычных зазорах сила Q_1 составляет 5—10% усилия резания. Аналогичное влияние оказывает изменение зазора и на величину силы T. Если при обычных зазорах величина последней силы равна 2—4% усилия резания, то при увеличенных зазорах эта сила может и совсем отсутствовать.

Не трудно притти к заключению, что значения величин этих сил ограничены определенными пределами. Используя условия, вытекающие из таких пределов, возможно определить и максимальные значения сил Q_1 и T.

Установление максимального значения силы Q_1 (а следовательно, и силы N_q) может быть произведено из следующего условия. Удельное давление q на торцах тонких изделий не может превышать вполне определенной величины, при достижении которой происходит выпучивание изделий (см. главу VIII, § 1).

Максимальная величина силы T при снятии с пуансонов отходов, имеющих тонкие перемычки, может быть найдена из другого условия, а именно: сила бокового сжатия пуансона торцами отхода не может быть больше той силы, которую способны выдержать перемычки на разрыв (см. главу IX, пример 4).

4. О практическом применении формул для определения величин распирающей силы и сил трения

При выводе формулы для определения силы N_N были сделаны допущения, принять которые можно лишь после подтверждения их опытом. Опытное определение величины силы N_N представляет значительные трудности, вследствие которых эта сила так и оставалась неизмеренной. Однако теоретическое решение здесь невозможно без тех или иных допущений. Поэтому измерение величины силы N_N, несмотря на трудности, связанные с проведением соответствующих опытов, следует признать весьма желательным.

Определение опытным путем сил Q_1 и T не представляет трудностей. Дальнейшее уточнение уже известных значений этих сил потребует главным образом увеличения количества опытов.

Приближенные значения сил Q_1 и T известны, однако воспользоваться этими значениями для вычислений удельного давления q или силы N_q при помощи приведенных выше зависимостей затруднительно, так как неизвестен коэфициент трения μ.

Таким образом, для возможности практического применения теоретических формул нужно в первую очередь найти опытным путем значения величины силы N_N и коэфициента трения μ.

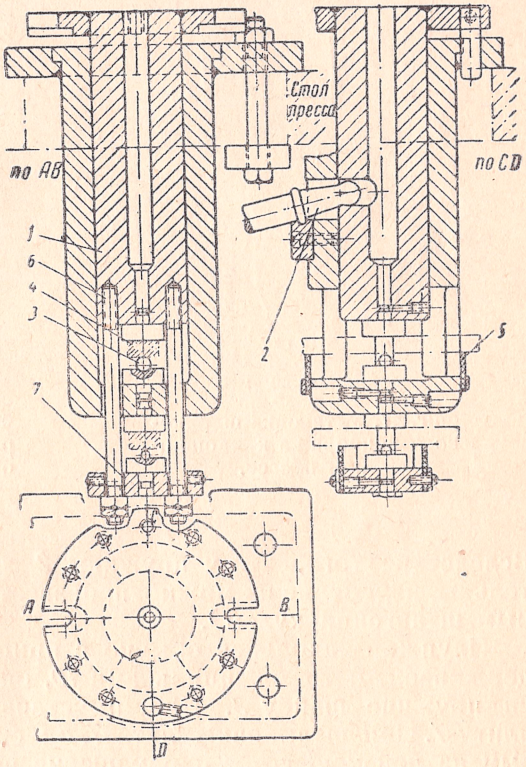
V. УПРОЩЕННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ УСИЛИЙ ШТАМПОВКИ

1. Приборы для измерения усилий штамповки

Для измерения усилий штамповки были изготовлены три прибора. Первый из них основан на измерении диаметра отпечатка шарика [1]. Устройство этого прибора (фиг. 46) следующее.

Осевший под действием собственного веса, а также и веса штампа плунжер *1* приподнимается отъемным рычагом *2*. Под плунжер поверх шарика *3* укладывается специальная пластинка *4* на резиновые подкладки *5*. Далее производится штамповка; развиваемое при штамповке усилие вызывает появление на пластинке *4* отпечатка. Сравнение диаметра отпечатка на пластинке с близким диаметром отпечатка, имеющимся на специальном эталоне, дает возможность определить величину действовавшего усилия.

Благодаря тому, что к плунжеру при помощи тяг *6* прикреплена планка *7*, несущая на особой опоре второй шарик,



Фиг. 46. Прибор для измерений усилий штамповки, основанный на получении отпечатка шарика.

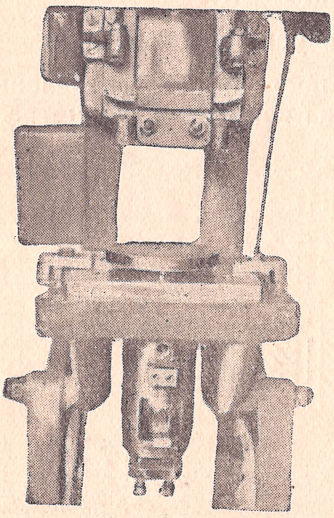
[1] Как указывает Н. Н. Давиденков [14], шарик для измерения усилий при динамических нагрузках впервые применил еще в 1910 г. Немилов. Со своей стороны отметим случаи более позднего применения шарика для этой же цели, описываемые В. Д. Кузнецовым [15] и Н. Г. Полторацким [16].

этот прибор дает возможность производить измерение усилия не только при ходе ползуна вниз, но и при ходе ползуна вверх.

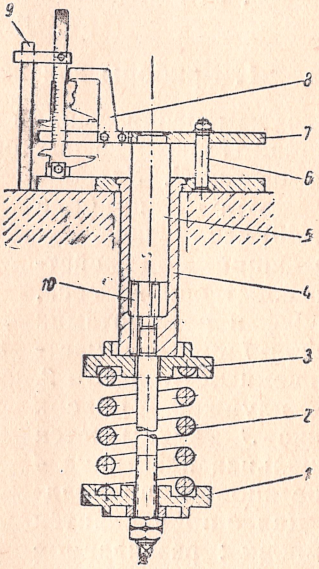
Наименьшее усилие, при котором прибор давал еще достаточно точные показания, составляло 800—1000 *кг*.

Установка этого прибора на кривошипном прессе показана на фиг. 47.

В отличие от первого прибора, второй прибор основан на измерении не пластических, а упругих деформаций (фиг. 48).



Фиг. 47. Установка шарикового прибора на кривошипном прессе.



Фиг. 48. Прибор для измерений усилий штамповки, основанный на замере деформации пружины.

Вследствие того, что у пружины *2* деформации весьма значительны, измерение их можно произвести достаточно точно обычным штангенциркулем [1].

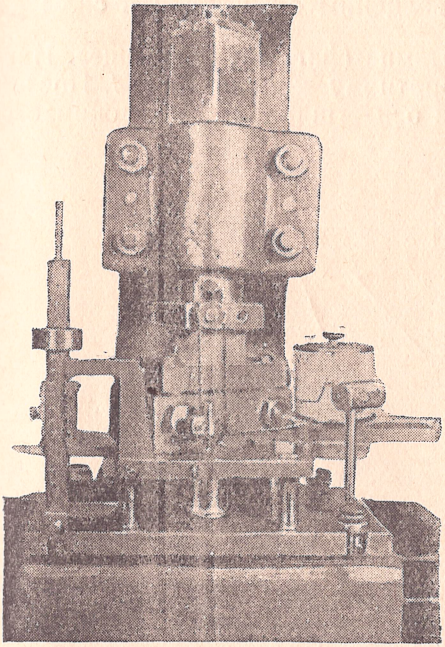
Плунжер находится обычно в приподнятом положении, поддерживаемый тремя шпильками *10*, опирающимися на лежащую на пружине шайбу *3*. Штамп устанавливается на подвижную плиту *7*. При штамповке плита *7*, опускаясь, вызывает укрепленным на ней крючком *8* перемещение подвижной губки штангенциркуля, показывающего величину сжатия пружины (или резины). Эта величина сжатия и является критерием для суждения о действовавшем усилии.

---

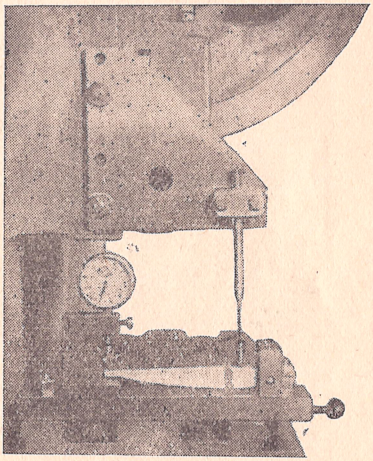
[1] Приборы, отличные от нашего, но основанные также на измерении деформации пружины, применяли Э. Рурман [17] и Ж. Шмид [18].

Прибор предназначен для измерения усилий до 3—5 m[1] на ручном винтовом прессе. При установке на механическом прессе прибор начинает давать сравнительно правильные показания при измерении усилий в 400—500 *кг* и выше; при меньших усилиях прибор дает заниженные результаты, что объясняется наличием инерционных сил у подвижных деталей.

При помощи особого механического устройства, прилаживаемого к этому прибору, для тех участков



Фиг. 49. Установка пружинного прибора с устройством для записи кривых усилий на ручном прессе.



Фиг. 50. Прибор для определения усилий штамповки путем измерения деформации станины пресса.

хода пуансона, на которых усилие плавно возрастает до какого-то максимума или даже остается по достижении этого максимума постоянным, соответствующую часть кривой усилий можно получить и путем непосредственной записи.

Установка на ручном прессе прибора с записывающим устройством показана на фиг. 49.

Принцип действия третьего прибора основан на фиксировании упругих деформаций станины пресса. В отличие от уже известных приборов[2], в этом приборе между перемещающимся концом рычага и головкой индикатора помещается подвижная

---

[1] Применение этого прибора возможно и для иной цели — для испытания листовых материалов [19].

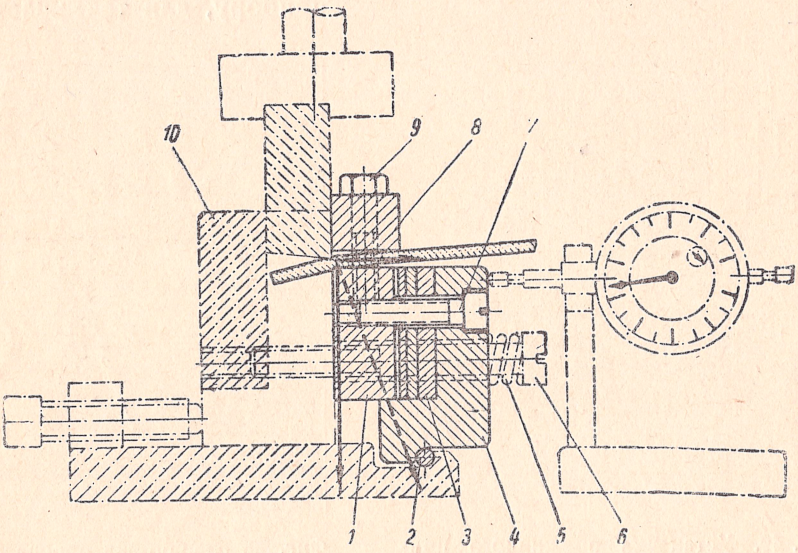
[2] На возможность измерения усилия при штамповке путем замера, индикатором с двумя стрелками, деформации станины указал впервые С. М. Головин [20]. Несколько иной способ описан Ф. Клапцовым [21].

шпилька; перемещение шпильки под действием сил инерции исключается благодаря специальному тормозу — пружине.

Установка этого прибора на кривошипном прессе КН-15 показана на фиг. 50.

2. Прибор для измерения величины отжимающей силы

Устройство этого прибора-штампа (фиг. 51) следующее. Нижний нож *1* прикреплен к поворотному кронштейну *4*. Последний свободно лежит на длинной оси — шпильке *2* и прижимается



Фиг. 51. Штамп с поворотным нижним ножом для определения величины отжимающей ножи силы.

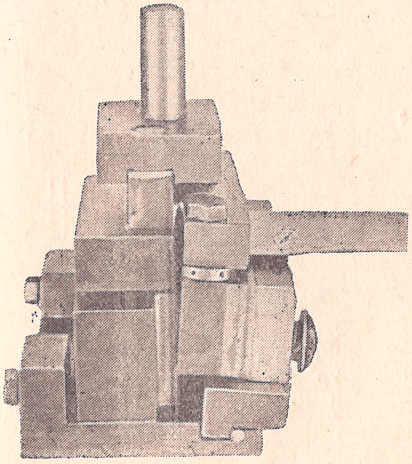
к противоотжиму *10* парой небольших пружин *5*. Если равнодействующая обеих сил — вертикальной и горизонтальной — проходит слева от оси вращения (точнее от круга трения, который весьма невелик), то нижний нож прижимается к противоотжиму и резание происходит, как обычно. Если равнодействующая пройдет справа, то вместо резания произойдет изгибание металла, так как нижний нож с кронштейном повернется вправо (на фиг. 51 все поворачивающиеся детали показаны сплошными линиями).

Меняя при помощи прокладок *3* расстояние от режущей кромки до оси вращения, т. е. меняя величину горизонтального плеча, можно найти ту границу, за которой нижний нож начинает отжиматься вправо. Зная направление обеих сил и соотношение плеч, нетрудно уже вычислить величину горизонтальной силы, как часть вертикальной.

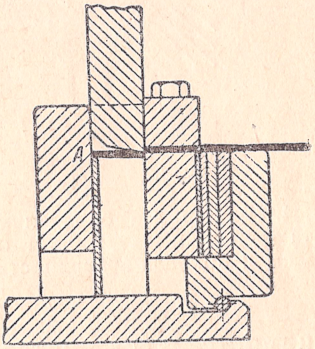
Показанный на фиг. 51 индикатор первоначально предназначался для измерения возможных незначительных отклонений

нижнего ножа в процессе резания. Однако действительное соотношение между отжимающей силой и усилием штамповки оказалось таким, что, если нижний нож отойдет хоть немного вправо, то он уже не возвращается в свое первоначальное положение. Благодаря этому стало возможным производить опыты и без индикатора. На фиг. 52 показан случай, когда верхний нож изогнул полосу и отжал нижний нож.

При применении этого прибора в том виде, как он показан на фиг. 51, отрезаемый конец полосы в процессе резания отгибается вниз. Однако, вставляя в противоотжим особую поддержку (фиг. 53), это явление можно устранить. Как видно из фиг. 53, при наличии под-



Фиг. 52. Штамп для определения величины отжимающей ножи силы с отжатым нижним ножом.



Фиг. 53. Применение поддержки для предохранения отрезаемого конца полосы от отгибания.

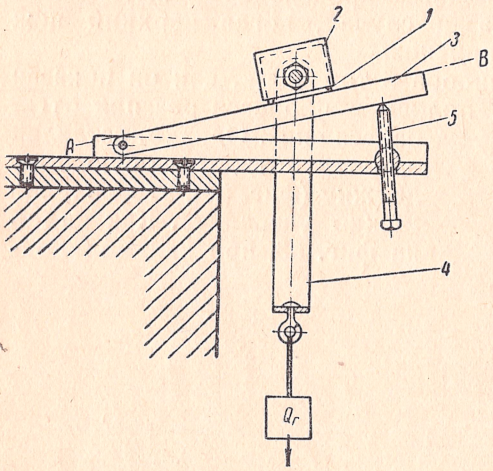
держки отрезаемый конец опускается книзу только у режущей кромки нижнего ножа, описывая дугу вокруг точки *A*.

3. Прибор для определения коэфициента трения μ

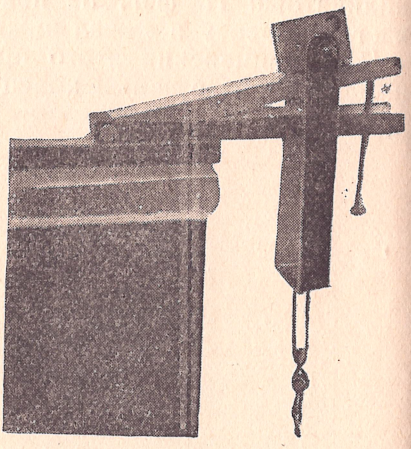
При помощи этого прибора (фиг. 54) коэфициент трения между торцом деформированного металла и боковой поверхностью ножа определялся как тангенс угла наклона плоскости *AB*. Работает этот прибор следующим образом. Отрезанная ножом часть полосы *1* зажимается между двумя пластинами *2*; для возможности получения при помощи сравнительно небольшого груза значительных удельных давлений на торце отрезанной части полосы в последней сделана выемка, благодаря которой уменьшается площадь соприкосновения торца металла с плоскостью *AB*, т. е. с деталью *3*. Прикладывая к серьге *4* различные грузы $Q_г$, можно вызвать и различные удельные давления.

Увеличение угла наклона детали *3* производится постепенным завинчиванием винта *5*. Когда угол между плоскостью *AB*

и горизонталью возрастает настолько, что его тангенс делается равным коэфициенту трения, зажатая пластинами *2* часть полосы начинает скользить вниз вместе с грузом $Q_г$ по плоскости *AB*. Как только часть полосы соскользнет вниз (обычно это сколь-



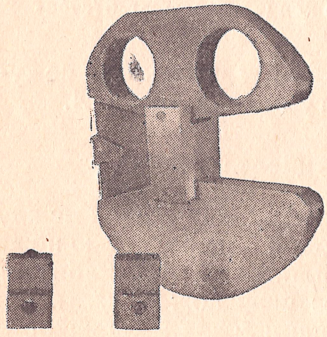
Фиг. 54. Прибор для определения коэфициента трения между торцом отрезанной полосы и боковой поверхностью ножа.



Фиг. 55. Определение коэфициента трения между торцом отрезанной полосы и боковой поверхностью ножа.

жение протекает стремительно), завинчивание винта прекращается. Затем необходимая для вычисления тангенса угла наклона высота подъема правого конца детали *3* определяется измерением обычной линейкой.

Пример пользования этим прибором показан на фиг. 55.



Фиг. 56. Маятник копра с укрепленным ножом для разрезания полосы; слева — ножи, укрепляемые на станине.

4. Устройство для измерения работы резания на маятниковом копре

Применявшееся для этой цели устройство показано на фиг. 56. Один из ножей, режущий двумя сторонами, укреплен на маятнике; два других ножа (показаны слева) укрепляются на станине копра. Неподвижные ножи имеют закругленные выступы, которые направляют подвижный нож. Зазор устанавливается при помощи щупов.

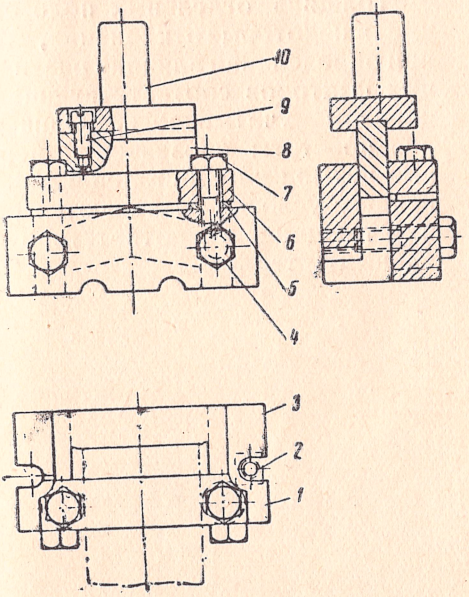
При снятии показаний увеличение веса маятника учитывалось соответствующим образом.

5. Штампы

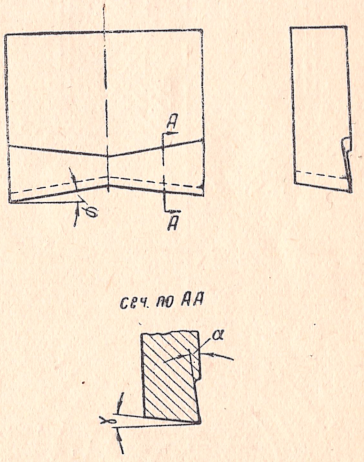
Для резания прямыми параллельными и прямыми скошенными ножами был изготовлен штамп, показанный на фиг. 57. Максимальная ширина полосы, разрезаемой на этом штампе 75 *мм*.

Наличие на верхнем ноже — детали *8* двух симметричных скосов давало возможность иметь всегда центральную нагрузку; в закладываемой в штамп полосе делался прорез для того, чтобы вершина скосов не участвовала в работе.

Изменение углов α и γ производилось путем перешлифовки запасных ножей (фиг. 58).



Фиг. 57. Штамп с прямым скошенным ножом для проведения опытов.



Фиг. 58. Прямой скошенный нож.

Лежащий на неподвижном ноже материал придерживался планкой *6* (фиг. 57). Положение последней регулировалось шайбами *5*, имеющими различную высоту. При необходимости шайбы совсем снимались и планка притягивалась болтами непосредственно к разрезаемому металлу.

Для резания круглыми скошенными пуансонами или матрицами был изготовлен штамп, показанный на фиг. 59. При помощи сменных втулок, вставляемых в направляющее кольцо, имелась возможность применить этот штамп для пуансонов (и матриц) различных диаметров — от 8 до 50 *мм*.

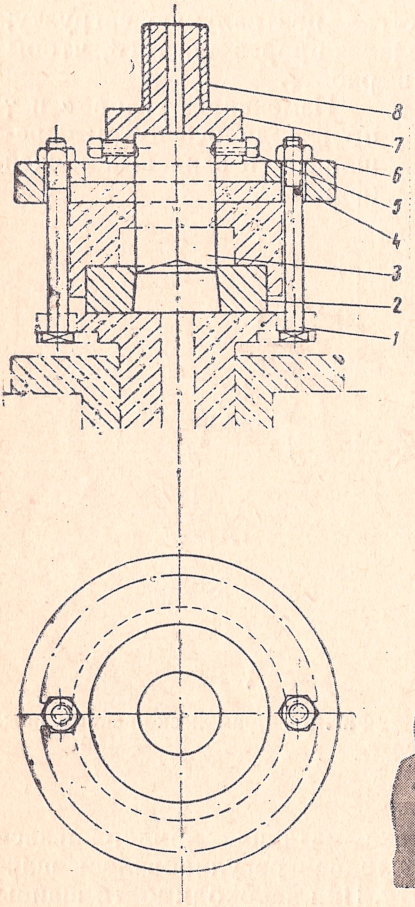
Помимо этих штампов были использованы предназначенные для производственных целей два штампа, показанных на фиг. 60. Зазор в этих двух штампах колебался от 0,02 до 0,12 *мм*.

6. Материалы для опытов

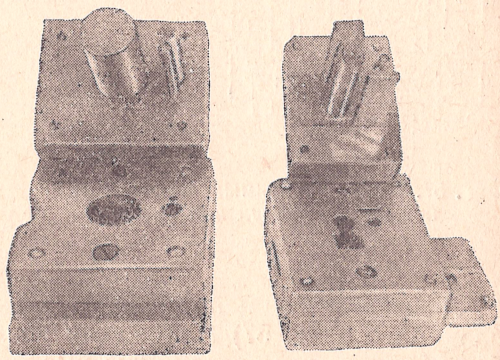
Материалами для опытов явились стали, приводимые в табл. 4. Все полосы были нарезаны таким образом, чтобы линия резания проходила поперек волокон проката. Испытания на разрыв производились вдоль волокон.

Химический состав этих сталей приведен в табл. 5.

Толщина отдельных полосок имела некоторые отклонения, что при определении влияния различных факторов соответствующим образом учитывалось. Однако для простоты обозначения первые четыре марки сталей в дальнейшем условно различаются по их толщине в соответствии с данными табл. 4.



Фиг. 59. Штамп со скошенным цилиндрическим пуансоном для проведения опытов.



Фиг. 60. Штампы, применявшиеся для выявления влияния формы и размеров режущего контура на сопротивление резанию.

7. Проведение опытов

Опыты производились на двух механических прессах — КН-10 и КН-15 отечественного производства. Помимо этих двух прессов для опытов, при которых измерялись сравнительно небольшие усилия, применялся ручной винтовой пресс; максимальное усилие, развиваемое им, 5 *т*.

Таблица 4

Характеристика сталей для опытов

Марка стали	Исходная форма	Толщина в *мм*	Предел прочности в *кг/мм²*	Удлинение в %	Величина зерна в *мм²*
25	Лента	1,07	43,2	18	0,027
08	Лист	2,02	29,5	31	0,004
20	Лист	3,05	38,5	23	0,012
15 кп	Лист	4,1	42,9	28	0,008
2	Прокат 12 × 80	1—8	35,3	22	0,085
5	Прокат 15 × 100	1—8	59,4	13	0,090

Таблица 5

Химический состав сталей для опытов

Марка стали	Содержание элементов в %						
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr
25	0,26	0,61	0,25	0,032	0,038	0,02	0,06
08	0,07	0,42	0,08	0,026	0,024	—	0,01
20	0,24	0,64	0,21	0,034	0,036	—	0,03
15кп	0,17	0,46	0,02	0,029	0,039	—	0,06
2	0,21	0,52	0,26	0,040	0,031	0,05	0,08
5	0,58	0,68	0,28	0,041	0,033	0,08	0,04

Для получения какого-либо численного результата проводились сразу пять опытов и общий, конечный результат находился как среднее арифметическое показаний приборов.

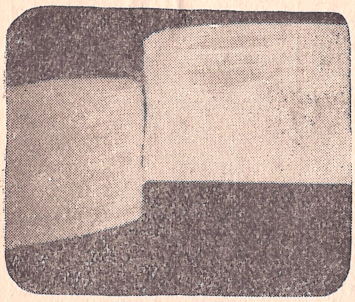
Опыты проводились в Штамповальной лаборатории Московского станкоинструментального института им. И. В. Сталина. Тарирование приборов, точные измерения, макрошлифы и т. п. делались в других лабораториях этого же института.

VI. ОПЫТЫ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА В ШТАМПАХ

1. Выявление глубины проникновения пуансона в металл h и коэфициента λ

Определение величины h производилось при помощи штампа, показанного на фиг. 57 (углы ножа φ, α и γ равны нулю; зазор 5%). Штамп устанавливался на ручной пресс, между столом и ползуном которого укреплялся индикатор. Глубина проникновения определялась показаниями последнего.

Опыты повторялись на механическом прессе. Путем регулировки длины шатуна добивались такого положения ползуна, при котором скалывание металла почти закончено (фиг. 61). Затем глубина проникновения измерялась при помощи лупы с делениями.



Фиг. 61. Типичная картина деформации разрезаемого металла при углублении ножа на величину, близкую к предельной (сталь 15кп толщиной 4 *мм*; зазор 4%).

Результаты опытов приведены в табл. 6.

При проведении опытов было попутно установлено, что ширина так называемого блестящего пояска вовсе не равна величине h. При обычных зазорах ширина блестящего пояска в 4—2 раза меньше h. Кроме того, было замечено, что величина h зависит от зазора, углов режущих, усилия прижима и т. п.

Для определения коэфициента λ было использовано записывающее устройство, показанное на фиг. 49. При помощи полученных кривых, наиболее типичные из которых приведены на фиг. 62, коэфициент λ был вычислен как уже известное отношение площадей.

Фиг. 62. Кривые усилий резания прямым параллельным ножом, полученные при помощи записывающего устройства пружинного прибора.

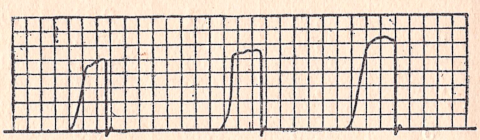


Таблица 6

Значение величин h и λ для различных сталей

Марка стали	Толщина S в *мм*	Величина h в *мм*	$\varepsilon = \frac{h}{S}$	λ	Примечание
25	1,07	0,65	0,62	~ 0,8	h определено только на ручном прессе
08	2,02	1,30	0,64		
20	3,05	1,55	0,51		
15кп	4,1	2,25	0,55		

2. Опыты изменения условий резания прямыми параллельными ножами

А. Опыты изменения длины реза B

Опыты начались с определения сопротивления резанию σ у полосы шириной 40 *мм*. Затем вместо одной полосы шириной 40 *мм* в штамп закладывалось две полосы шириной 20 *мм*, да-

лее — четыре полосы шириной 10 *мм* и т. д. Отношение длины реза B к толщине S доводилось для 4-*мм* стали до единицы.

На фиг. 63 показана подобная разрезанная ножом полоса, у которой узкие составляющие ее полоски удерживаются лишь тонкой пленкой, оставшейся после строжки.

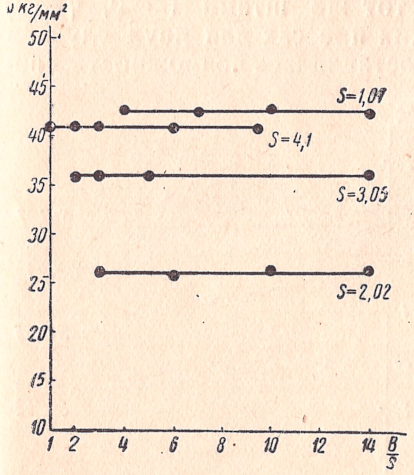


Фиг. 63. Отрезанные прямым параллельным ножом полоски, у которых отношение ширины к толщине равно единице (сталь 15кп толщиной 4 *мм*).

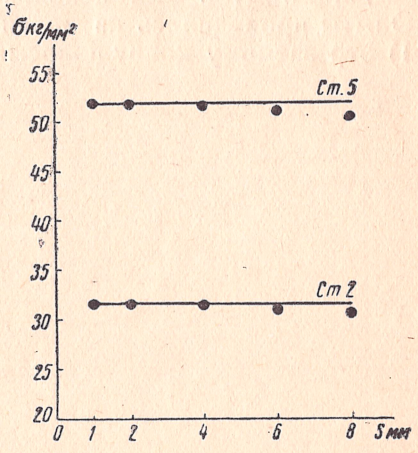
Результаты опытов приведены в виде графика (фиг. 64). Во всех случаях $\alpha=0$; $\gamma=0$; $\xi=5\%$.

Б. Опыты изменения толщины металла S

Опыты проводились аналогичным образом с тем же штампом ($\alpha=0$, $\gamma=0$, $\xi=5\%$). Поперечное сечение разрезаемого металла



Фиг. 64. Зависимость сопротивления резанию от отношения ширины полосы к ее толщине при прямых параллельных ножах.



Фиг. 65. Зависимость сопротивления резанию от толщины металла при прямых параллельных ножах.

по возможности оставлялось постоянным (75,150 и 300 *мм*^{2}), а толщина и ширина изменялись.

Так как получить полосы различной толщины с одинаковыми механическими свойствами не представлялось возможным, то такие полосы были изготовлены на строгальном станке из Ст. 2 и из Ст. 5.

Результаты опытов показаны в виде графика (фиг. 65).

В. Опыты изменения скорости опускания ползуна пресса

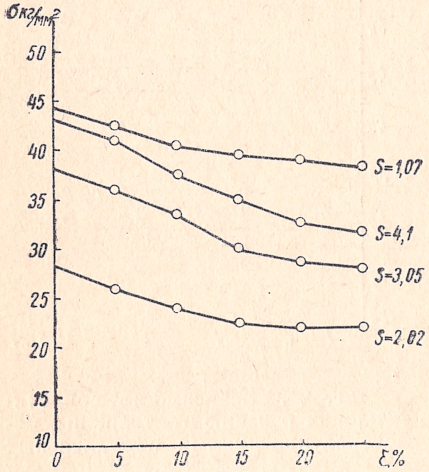
Цель опытов заключалась в нахождении поправочного коэфициента, учитывающего влияние на сопротивление резанию σ увеличения скорости инструмента при переходе от испытательного пресса к механическому.

Меняя положения ползуна, были получены на механических прессах различные (расчетные) скорости для начала резания — от 0,03 до 0,35 *м/сек*. Помимо этого были проведены опыты на ручном винтовом прессе. Практически заметного влияния скорости ползуна на усилие штамповки не обнаружено; отклонения отдельных результатов на 5—6% могли явиться и следствием несовершенства приборов.

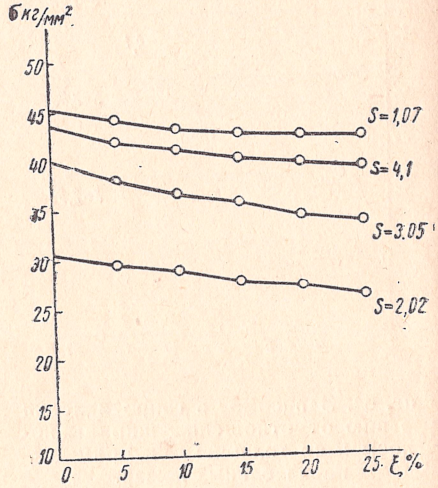
Указанные расчетные скорости следует рассматривать, однако, не как скорости резания, а как скорости, с которыми верхний нож приходит к разрезаемому металлу. Вследствие того, что детали пресса (вал, станина, шатун) деформировались при их нагрузке, а также вследствие наличия между этими деталями люфта фактическая скорость резания отличалась от расчетной.

Г. Опыты изменения зазора ξ

Для опытов был использован тот же штамп ($\alpha=0$, $\gamma=0$) Опыты проводились на механических прессах для двух случаев 1) отрезаемому концу полосы предоставлялась возможность сво-



Фиг. 66. Зависимость сопротивления резанию от зазора при прямых параллельных ножах (отрезаемый конец полосы отгибается свободно).

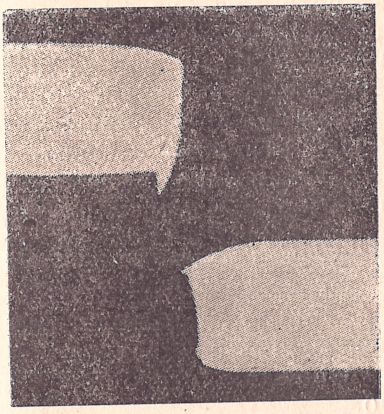


Фиг. 67. Зависимость сопротивления резанию от зазора при прямых параллельных ножах (отрезаемый конец полосы удерживается от отгибания).

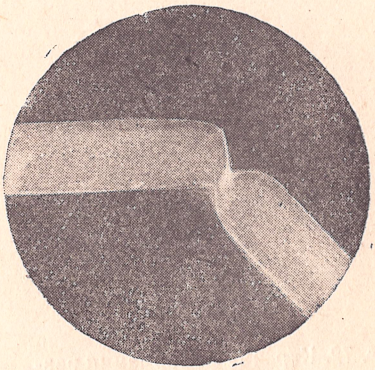
бодно отгибаться; 2) отрезаемый конец удерживался от отгибания особой поддержкой.

Результаты опытов для первого случая показаны на фиг. 66 а для второго — на фиг. 67.

На фиг. 68 показано для обоих концов разрезанной полосы изменение характера среза при большом зазоре. Фиг. 69 показывает увеличение рабочего пути h при чрезмерном зазоре.



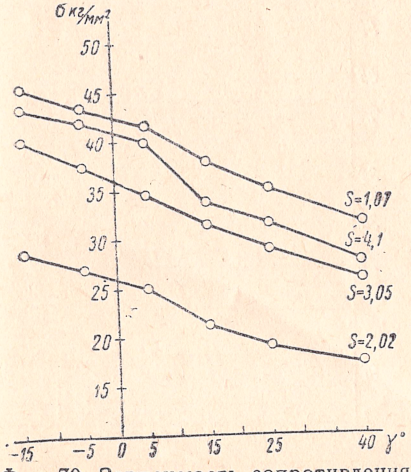
Фиг. 68. Характер среза при большом зазоре. Слева — конец полосы, остающийся на нижнем ноже, справа — отрезанный конец (сталь 15кп толщиной 4 *мм*, зазор 25%).



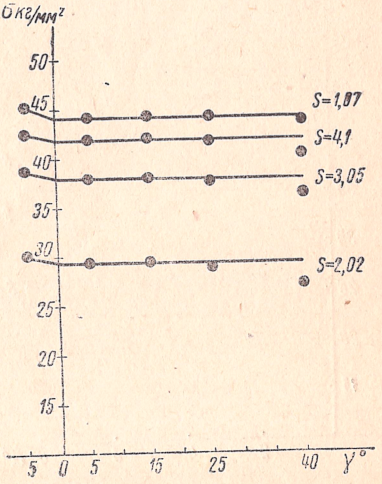
Фиг. 69. Пример увеличения глубины проникновения ножа в металл до разделения при чрезмерно большом зазоре (сталь 08 толщиной 2 *мм*, зазор 25%).

Д. Опыты изменения переднего угла γ

Угол γ верхнего ножа изменялся постепенным сошлифовыванием; у нижнего ножа угол γ оставался постоянным и равным

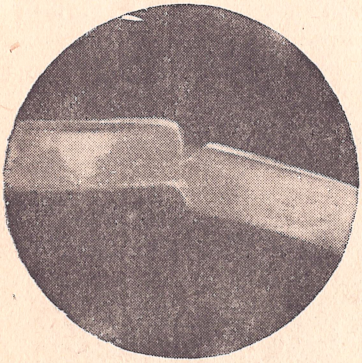


Фиг. 70. Зависимость сопротивления резанию от переднего угла верхнего ножа (отрезаемый конец полосы отгибается свободно).



Фиг. 71. Зависимость сопротивления резанию от переднего угла верхнего ножа (отрезаемый конец полосы удерживается от отгибания).

нулю ($\alpha = 0$, $\xi = 5\%$). Как и в предыдущем случае, опыты производились дважды: 1) для свободно отгибаемого при отрезке конца и 2) для поддерживаемого отрезаемого конца полосы. Результаты опытов для первого случая показаны на фиг. 70 и для второго — на фиг. 71.



Фиг. 72. Картина деформации разрезаемого металла при резании ножом с большим передним углом (отрезаемый конец полосы отгибается свободно; сталь 08 толщиной 2 *мм*).

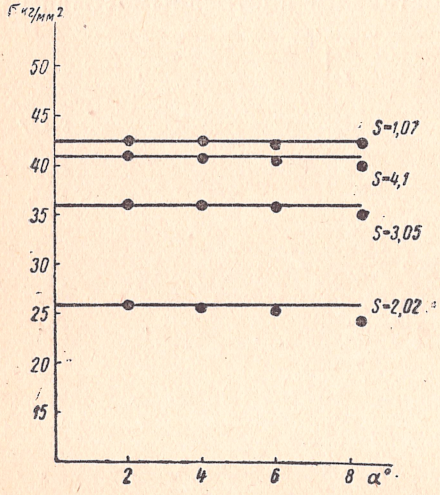
Практически заметного влияния угла γ нижнего ножа на сопротивление резанию σ при изменении γ от нуля до 8° не обнаружено.

На фиг. 72 показан случай почти полного углубления в металл ножа с большим углом γ.

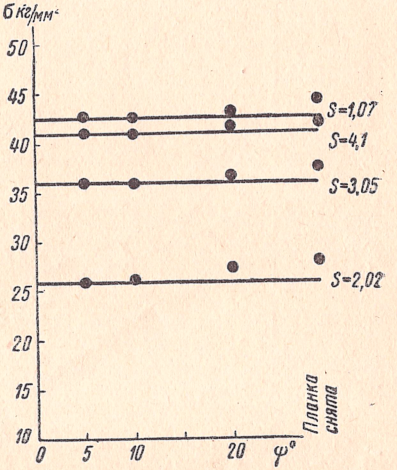
Е. Опыты изменения заднего угла α

При опытах ($\gamma = 0$, $\xi = 5\%$) изменение угла α у верхнего и у нижнего ножей производилось отдельно.

На фиг. 73 показана зависимость σ от угла α нижнего ножа для случая, когда отрезаемый материал отгибается свободно. Для случая, когда отрезаемый материал поддерживается, влияния на величину σ угла α как верхнего, так и нижнего ножей при изменении α от нуля до 8° обнаружено не было.



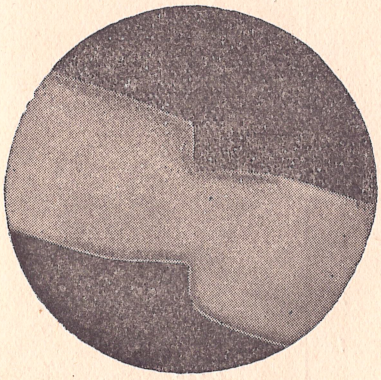
Фиг. 73. Зависимость сопротивления резанию от заднего угла нижнего ножа (отрезаемый материал отгибается свободно).



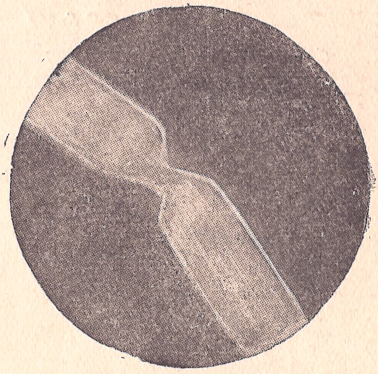
Фиг. 74. Зависимость сопротивления резанию от допускаемого угла поворота разрезаемой полосы.

Ж. Опыты изменения положения прижимной планки

Опыты производились на том же штампе ($\alpha = 0, \gamma = 0, \xi = 5\%$). Вначале шайбы под прижимной планкой вынимались и последняя притягивалась болтами к нижнему ножу, надежно удерживая разрезаемый металл. Затем опыты повторялись с шайбами различной высоты, обеспечивающими для лежащей на неподвижном ноже полосы желаемый угол поворота. Наконец, прижимная планка совсем снималась.



Фиг. 75. Характер смятия разрезаемого металла при резании с нормальным зазором без прижимной планки (сталь 15кп толщиной 4 *мм*, зазор 5%).



Фиг. 76. Пример резания без прижимной планки, показывающий, что при чрезмерно большом зазоре скалывание не наступает, даже если ножи перекрываются (сталь 08 толщиной 2 *мм*, зазор 30%).

Результаты опытов показаны на фиг. 74. Наибольшие отклонения отдельных показаний от данных на графике доходили до 12%.

На фиг. 75 показан пример смятия отрезаемого металла при работе штампа без прижимной планки при нормальном зазоре. Фиг. 76 показывает, что при чрезмерном зазоре без прижимной планки скалывание не происходит, даже если ножи перекрывают друг друга.

З. Опыты изменения радиуса притупления $r_з$

Оба ножа искусственно притуплялись. Результаты опытов показаны на фиг. 77. В показаниях наблюдался довольно значительный разброс цифр. Наибольшие отклонения отдельных результатов от среднего арифметического доходили до 32%.

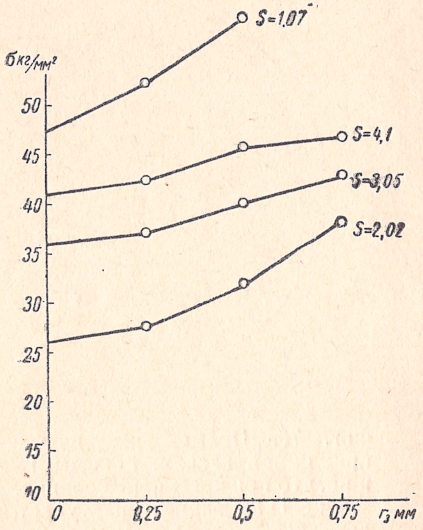
Во всех случаях $\alpha = 0, \gamma = 0, \xi = 5\%$.

3. Опыты изменения условий резания прямыми скошенными ножами

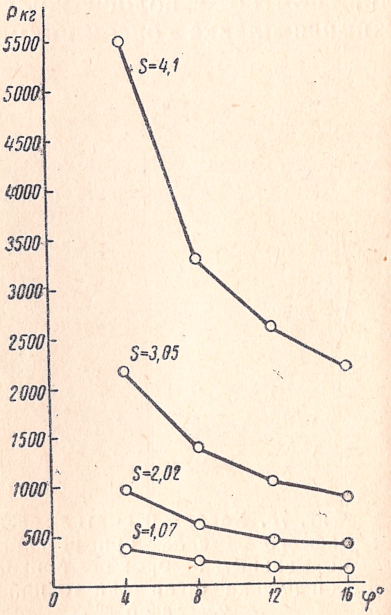
А. Опыты изменения угла скоса φ

Для опытов был применен нож, показанный на фиг. 58, и тот же штамп ($\alpha = 0$, $\gamma = 0$, $\xi = 5\%$). Угол φ изменялся перешлифовыванием.

Результаты опытов показаны на фиг. 78.

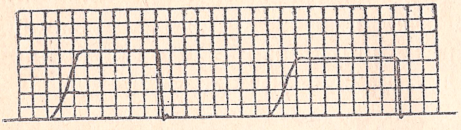


Фиг. 77. Зависимость сопротивления резанию от величины радиуса притупления ножей (отрезаемый конец полосы отгибается свободно).



Фиг. 78. Зависимость усилия резания от угла скоса верхнего ножа.

Некоторые кривые усилий, полученные при помощи записывающего устройства пружинного прибора, приведены на фиг. 79. Помимо подобного рода кривых, были получены и кривые, показывающие понижение усилия почти на всем протяжении хода ножа.



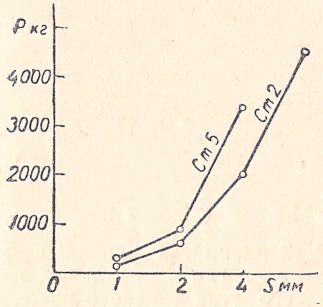
Фиг. 79. Кривые усилий при резании прямым скошенным ножом, полученные при помощи записывающего устройства пружинного прибора.

Б. Опыты изменения толщины S

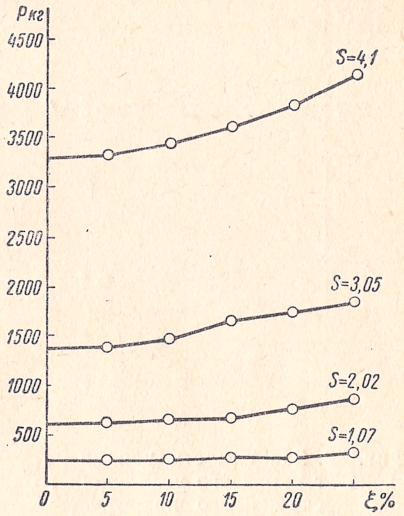
Опыты проводились одновременно с опытами резания параллельными ножами. Использовались те же материалы и тот же штамп ($\varphi = 8°$, $\alpha = 0$, $\gamma = 0$, $\xi = 5\%$). Результаты приведены в виде графика на фиг. 80.

В. Опыты изменения зазора ξ

Зазор изменялся при помощи прокладок и контролировался щупом. При опытах $\varphi = 8°$, $\alpha = 0$, $\gamma = 0$. Результаты опытов показаны на фиг. 81. Отклонения отдельных показаний приборов от среднего арифметического доходили до 12%.



Фиг. 80. Зависимость усилия резания прямым скошенным ножом от толщины разрезаемого металла.



Фиг. 81. Зависимость усилия резания прямым скошенным ножом от зазора.

Г. Опыты изменения переднего угла γ

Были проведены опыты отдельно для верхнего и для нижнего ножей ($\varphi = 8°$, $\alpha = 0$, $\xi = 5\%$). Влияние угла γ нижнего ножа на величину усилия при $\gamma = 8°$ незначительно. Напротив, влияние угла γ верхнего ножа легко заметно по показаниям приборов. На фиг. 82 показана зависимость усилия от угла верхнего ножа (у нижнего ножа $\gamma = 0$).

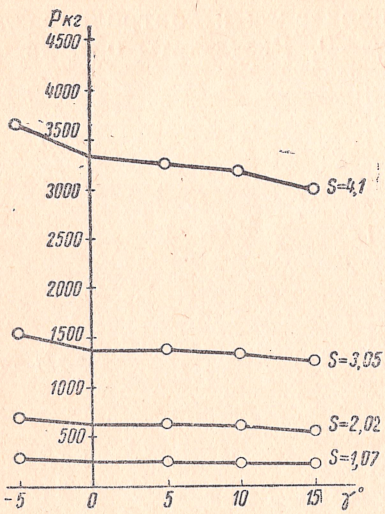
Д. Опыты изменения заднего угла α

Опыты проводились отдельно для верхнего и для нижнего ножей ($\varphi = 8°$, $\gamma = 0$, $\xi = 5\%$). Влияния угла α верхнего ножа на величину усилия при изменении α от нуля до 8° обнаружено не было. Зависимость усилия от угла α нижнего ножа показана на фиг. 83.

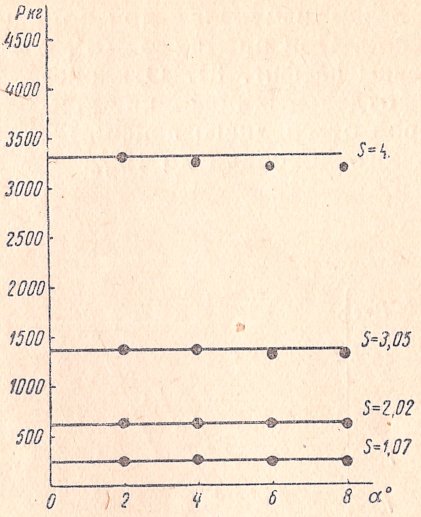
Е. Опыты изменения положения прижимной планки

Опыты проводились с тем же штампом ($\varphi = 8°$, $\alpha = 0$, $\gamma = 0$, $\xi = 5\%$) аналогично тому, как это имело место при опытах изменения положения прижимной планки у прямых параллельных ножей. Результаты опытов показаны на фиг. 84.

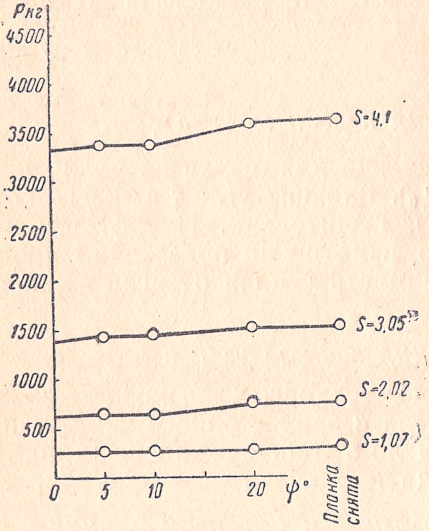
Наибольшие отклонения от среднего арифметического доходили до 15%.



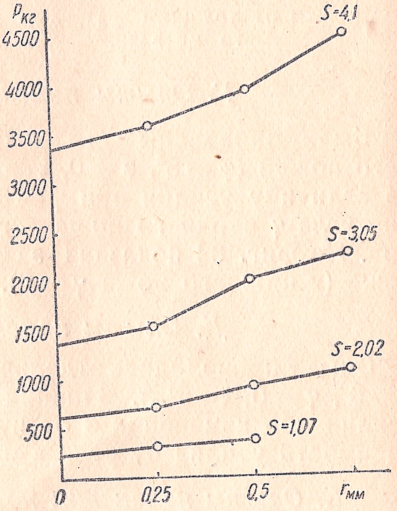
Фиг. 82. Зависимость усилия резания от переднего угла верхнего скошенного ножа.



Фиг. 83. Зависимость усилия резания прямыми скошенными ножами от заднего угла нижнего ножа.



Фиг. 84. Зависимость усилия резания прямыми скошенными ножами от допускаемого угла поворота разрезаемой полосы.



Фиг. 85. Зависимость усилия резания прямыми скошенными ножами от величины радиуса притупления.

Ж. Опыты изменения радиуса притупления r

Во всех случаях $\varphi=8°$, $\alpha=0$, $\gamma=0$, $\xi=5\%$. Как и в случае с параллельными ножами, оба ножа искусственно притуплялись. Результаты опытов показаны на фиг. 85. Наибольшие отклонения от среднего арифметического были здесь весьма значительны, доходя до 20%.

4. Опыты выявления величины отжимающей ножи силы

Опыты проводились при помощи прибора, показанного на фиг. 51. Применялись прямые параллельные и прямые скошенные ножи ($\varphi=8°$), причем в обоих случаях отрезаемому материалу была предоставлена возможность свободно отгибаться. Кроме того, при резании прямыми параллельными ножами определялось влияние зазора на величину силы N_N и в случае, когда отрезаемый материал предохранялся от изгиба особой поддержкой.

Во всех случаях материалом являлась сталь 0,8, сечением $2{,}02\times70$. Результаты опытов сведены в табл. 7, 8, 9, в которых сила N_N дана в процентах усилия резания.

Влияния угла γ нижнего ножа и угла α верхнего ножа на величину отжимающей силы при обычных условиях работы ($\xi=5\%$; $\psi=0°$) обнаружено не было. Поэтому в табл. 7 и 8 приведены данные, отображающие изменение силы N_N лишь в зависимости от угла γ верхнего ножа и угла α нижнего ножа.

Таблица 7

Значения отжимающей силы N_N в зависимости от различных факторов при резании прямыми параллельными ножами
(в процентах усилия резания)

$N_N=f(\xi)$	ξ %	0	10	20	Примечание
	N_N %	32	41	46	$\alpha=0$, $\gamma=0$
$N_N=f(\gamma)$	$\gamma°$	0	15	25	Примечание
	N_N %	36	31	27	$\alpha=0$, $\xi=5\%$
$N_N=f(\alpha)$	$\alpha°$	0	4	8	Примечание
	N_N %	36	33	30	$\gamma=0$, $\xi=5\%$
$N_N=f(r_з)$	$r_з$ *мм*	0	0,25	0,5	Примечание
	N_N %	36	49	72	$\alpha=0$, $\gamma=0$, $\xi=5\%$
$N_N=f(\psi)$	$\psi°$	0	10	20	Примечание
	N_N %	36	48	55	$\alpha=0$, $\gamma=0$, $\xi=5\%$

Таблица 8

Значения отжимающей силы N_N в зависимости от различных факторов при резании прямыми скошенными ножами

$N_N = f(\xi)$	ξ %	0	10	20	Примечание
	N_N %	39	48	52	$\alpha = 0$, $\gamma = 0$
$N_N = f(\gamma)$	$\gamma°$	0	5	15	Примечание
	N_N %	43	38	35	$\alpha = 0$, $\xi = 5$%
$N_N = f(\alpha)$	$\alpha°$	0	4	8	Примечание
	N_N %	43	43	38	$\gamma = 0$, $\xi = 5$%
$N_N = f(r_в)$	$r_в$ *мм*	0	0,25	0,5	Примечание
	N_N %	43	53	79	$\alpha = 0$, $\gamma = 0$, $\xi = 5$%
$N_N = f(\psi)$	$\psi°$	0	10	20	Примечание
	N_N %	43	61	67	$\alpha = 0$, $\gamma = 0$, $\xi = 5$%

Таблица 9

Значения отжимающей силы N_N в зависимости от зазора при резании прямыми параллельными ножами с поддержкой

(в процентах усилия резания)

ξ %	0	5	10	20	Примечание
N_N %	29	25	24	35	$\alpha = 0$, $\gamma = 0$

5. Опыты резания на маятниковом копре

Помимо определения работы резания при помощи записывающего устройства, показанного на фиг. 49, были проделаны опыты по определению величины работы резания на маятниковом копре. Работа определялась для случая резания параллельными ножами ($\gamma = 0$, $\alpha = 1°$, $\xi = 5$% на сторону).

Результаты опытов приведены в табл. 10.

Таблица 10

Значение величины работы резания в *кгмм/мм*

Оборудование	Толщина металла S в *мм*			
	1,07	2,02	3,05	4,1
Маятниковый копер	35	100	240	—
Ручной пресс	25	60	170	350

Скорость, с которой нож приходил к разрезаемому металлу была весьма значительной. При поднятии маятника на высоту 1,2 *м* расчетная скорость равнялась

$$v = \sqrt{2g \cdot 1{,}2},$$

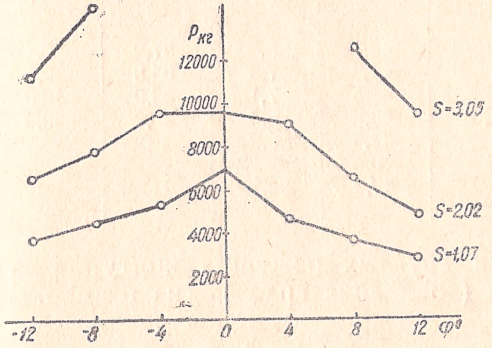
т. е. в 30—15 раз больше той, которая обычно имеет место при штамповке на прессах. Поверхность среза у образцов, разрезанных на копре, была исключительно чистой и блестящей.

Результаты, получаемые на ручном прессе, отличались сравнительным постоянством; отклонения отдельных результатов, полученных на копре, доходили до 17%.

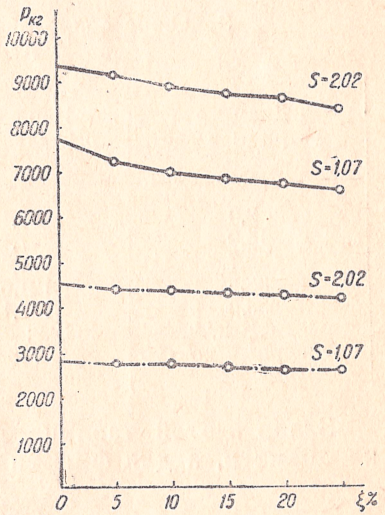
6. Опыты изменения условий резания при цилиндрических пуансонах и матрицах

Для опытов применялся штамп, показанный на фиг. 59. Угол скоса φ_0, будучи у круглых скошенных пуансонов равным максимальному значению угла γ, изменялся перешлифованием и его наибольшие значения составляли $\pm 12°$. Высота (глубина) скосов определялась выражением

$$H = r \operatorname{tg} \varphi°.$$



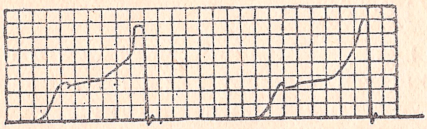
Фиг. 86. Зависимость максимального усилия резания при штамповке скошенными цилиндрическими пуансонами от угла скоса. Слева — для пуансонов с наружными скосами, справа — с внутренними.



Фиг. 87. Зависимость максимального усилия резания при штамповке с цилиндрическими матрицами и пуансонами от зазора. Жирные линии — для параллельных режущих кромок; пунктирные — для скошенных матриц.

На фиг. 86 показана зависимость изменения максимального усилия от угла скоса φ_0; слева — для пуансонов с наружными скосами, справа — с внутренними. Зазор при этом был равен 5% на сторону. Влияние последнего на максимальную величину усилия при скошенных матрицах показано пунктирными линиями на фиг. 87; жирными линиями там же показано влияние зазора на усилие при параллельных режущих кромках.

При замене скошенного пуансона скошенной матрицей (с такой же глубиной и формой скосов) большого различия в результатах не наблюдалось.



Фиг. 88. Кривые усилий резания цилиндрическим пуансоном с наружными скосами, полученные при помощи записывающего устройства пружинного прибора.

На фиг. 88 показаны кривые, полученные при помощи записывающего устройства.

7. Опыты изменения формы и размеров режущего контура

Для опытов были использованы штампы, показанные на фиг. 59 и 60. Результаты опытов приведены в табл. 11.

Таблица 11

Значение сопротивления резанию σ для различных режущих контуров

Диаметр матрицы в *мм*	Периметр резания в *мм*	$S = 1{,}07$ *мм*		$S = 3{,}05$ *мм*	
		σ *кг/мм²*	ξ %	σ *кг/мм²*	ξ в %
8,0	25,1	43,1	5,8	37,2	9,7
14,9	47,1	41,2	7,8	35,8	9,1
23,7	74,4	41,5	7,1	36,0	10,0
38,5	121,0	43,2	5,4	35,2	9,9
50,0	157,1	42,3	6,2	—	—
4,1; 27,2	12,9; 85,4	40,5	2—12	—	—
Фигурный контур	118	40,9	2—10	—	—

Зазор в этой таблице для круглых режущих контуров дан на диаметр, а для фигурных (последняя графа) — на размер.

8. Опыты определения сил трения Q_1 и T и коэфициента трения μ

А. Определение силы Q_1

Для опытов был использован штамп, показанный на фиг. 59; определялась величина силы Q_1 при резании с плоскими режущими кромками (диаметр пуансона 50 *мм*).

После вырезки на механическом прессе матрица с застрявшим в ней изделием поступала на ручной пресс, на котором был установлен прибор, основанный на измерении деформаций пружины (фиг. 48).

Материал — сталь толщиной 2,02 *мм*. Результаты опытов приведены в табл. 12. В последней приведено два значения

силы Q_1: значения над чертой — для случая, когда производилось выталкивание изделия в направлении, обратном движению пуансона; значения под чертой — для случая, когда изделие проталкивалось сквозь матрицу.

Таблица 12

Значение силы Q_1 в процентах усилия вырезки

ξ, %	0—1	5	10	15	20
Q_1	$\frac{10,2}{6,3}$	$\frac{6,4}{4,5}$	$\frac{5,2}{3,8}$	$\frac{4,5}{3,2}$	$\frac{2,5}{2,0}$

Б. Определение силы T

Определение силы T — силы снятия отходов с пуансонов — производилось аналогично определению силы Q_1. Были использованы тот же штамп, тот же материал и тот же прибор.

Выявлялось влияние ширины перемычки на величину силы T. Зазор во всех случаях был равен 10%. Результаты опытов приведены в табл. 13. Наибольшие отклонения отдельных результатов от среднего арифметического доходили до 16%.

Таблица 13

Значение силы T в процентах усилия вырезки

Ширина перемычки в *мм*	1	2	3	4	6	8	10
T	Разрыв перемычки	1,2	2,1	2,6	3,3	3,3	3,3

В. Определение коэфициента трения μ

Для определения коэфициента трения между торцом изделия (поверхностью среза) и боковой плоскостью ножа использовался прибор, показанный на фиг. 54. Материалом для опытов была сталь толщиной 1,07 и 2,02 *мм*. Выявлялось влияние удельного давления q, смазки и направления рисок от шлифовального круга (зернистость 36—60).

Найденные значения коэфициента трения для несмазанных поверхностей приведены в табл. 14. При тех удельных давлениях, которые приведены в этой таблице, смазка обычным машинным маслом не оказывала значительного влияния на коэфициент трения (уменьшение на 3—5%). Также не было обнаружено и значительного влияния направления рисок.

Таблица 14

Значение коэфициента трения μ для несмазанных поверхностей

Удельное давление q кг/мм²	1	5	10	15	20
Коэфициент трения μ	0,188	0,195	0,197	0,205	0,205

Для суждения о величине коэфициента трения μ_1, который возникает между шлифованными режущими частями (например, между секциями матрицы) и строганными плитами, было проделано несколько опытов с использованием этого же прибора. Для последней цели между зажимными планками зажимался не штампуемый металл, а брусок из чугуна или стали, обработанный на строгальном станке. Величина коэфициента трения μ_1 колебалась от 0,16 до 0,18.

VII. ИТОГИ ОПЫТОВ

1. О результатах, полученных для величин h и λ

Глубина проникновения режущей кромки в металл до момента разделения, т. е. величина h, изменяется с изменением зазора, углов, способа зажима, диаметров и т. п. Особенно значительное увеличение величины h наблюдается при чрезмерных зазорах. Однако при постоянстве условий резания колебание величины h сравнительно невелико, поэтому мы считаем допустимым при производственных расчетах величину h условно рассматривать как величину постоянную, зависящую лишь от свойств металла.

Опыты показали, что данные о величине h Крэйна и Флина и Мак-Артура для тонкой стали не применимы; эти данные оказываются заниженными. Результаты, близкие к нашим, дают лишь С. М. Головин и Ф. З. Рванцев, [10] и В. П. Романовский [22].

Помимо этого удалось установить, что распространенное мнение, будто бы ширина блестящего пояска равна величине h, является ошибочным.

Полученные данные для величины λ в общем мало отличаются от данных А. И. Целикова и Кодрона. Эта величина отличается сравнительным постоянством и, повидимому, для мягкой стали лежит в пределах 0,75—0,85.

2. Влияние различных факторов на сопротивление резанию прямыми параллельными ножами

Сделанное допущение, что при резании параллельными ножами усилие прямо пропорционально длине реза B и толщине листа S, в общем подтверждается опытными данными (фиг. 64 и 65).

Хотя с увеличением толщины наблюдается некоторое уменьшение σ, но это уменьшение незначительное, и при практических расчетах им можно пренебречь.

Одним из интересных фактов является то, что сопротивление резанию оказывается различным, в зависимости от того, поддерживается ли отрезаемый конец полосы или отгибается свободно.

Если отрезаемый конец полосы поддерживается, то сопротивление резанию получается во всех случаях выше, чем при свободном отгибании. При употреблении поддержки сопротивление резанию иногда оказывается даже выше, чем сопротивление разрыву, что видно из табл. 15.

Таблица 15

Сопротивление резанию σ при резании с поддержкой и без поддержки ($\xi = 5\%$)

Сопротивление металла в *кг/мм²*	Толщина S в *мм*			
	1,07	2,02	3,05	4,1
Резанию (с поддержкой)	44,3	29,5	38,1	42,0
Резанию (без поддержки)	40,5	26,0	36,0	40,1
Разрыву	43,2	29,5	38,5	42,9

Уменьшение сопротивления резанию при увеличении зазора наблюдается как при отрезании поддерживаемого конца полосы, так и при отрезании свободно отгибаемого конца.

Процесс резания поддерживаемого металла, повидимому, имеет существенное отличие от процесса резания при свободно отгибаемом конце. Это особенно заметно при сопоставлении кривых, показанных на фиг. 70 и 71. Если увеличение угла γ при свободно отгибаемом конце (фиг. 70) вызывает резкое уменьшение σ, то при поддерживаемом конце влияние положительного угла γ таково, что для производственных расчетов им можно пренебречь. Однако, если угол γ приобретает отрицательное значение, то в обоих случаях σ получает довольно значительное увеличение, которое целесообразно учитывать.

Влияние угла α на величину σ для свободно отгибаемого конца полосы, как видно из фиг. 73, незначительно; этим влиянием можно пренебречь. Для поддерживаемого металла такого влияния совсем не наблюдается.

Сравнительно небольшим оказывается и влияние прижима. Даже если прижимная планка совсем снята, увеличение σ составляет $4 - 10\%$ (фиг. 74).

Степень затупления ножей оказывает весьма существенное влияние на σ — увеличение до 50%. Здесь, повидимому, имеет значение не абсолютная величина радиуса затупления $r_з$, а отношения этого радиуса к толщине [1]: чем выше это отношение, тем больше σ.

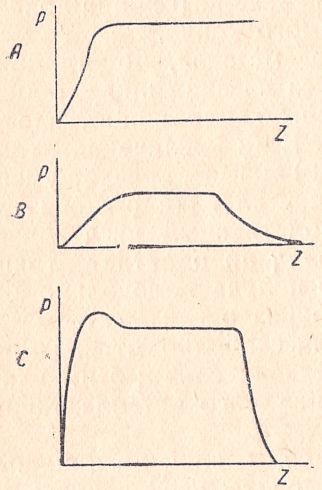
[1] Это отношение мы и рекомендуем назвать степенью затупления.

Поскольку та или иная степень затупления ножей в производственных условиях — явление неизбежное, то возможность увеличения δ в результате затупления должна быть учтена при производственных расчетах.

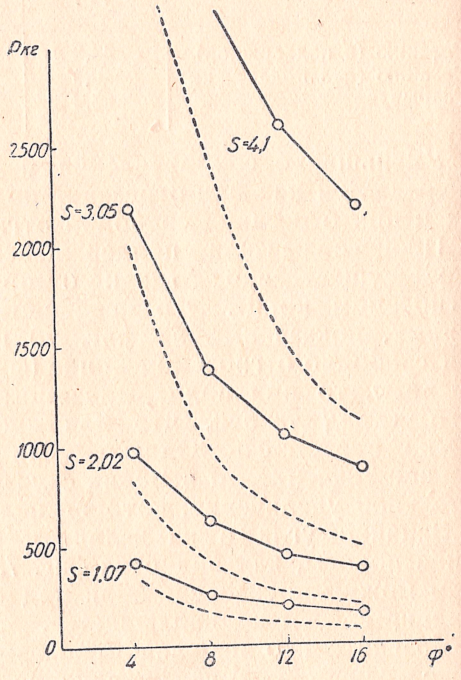
Что же касается влияния на σ скорости опускания ножа, то нашими приборами в пределах интересующих нас скоростей (до 0,35 *м/сек*) такого влияния обнаружено не было. Не исключено, однако, что вследствие наличия люфтов в узлах пресса, а также вследствие упругости его деталей, фактические скорости проникновения ножа в металл при разных опытах не имели большого различия.

3. Влияние различных факторов на величину усилия резания при прямых скошенных ножах

Характер нескольких полученных кривых соответствует сделанному предположению о наличии на некоторой части хода ножа постоянного усилия. Вследствие особенностей нашего записывающего устройства записать снижающуюся часть кривой не представлялось возможным. Таким образом, кривые на фиг. 79 не отображают действительной картины усилий при окончании резания.



Фиг. 89. Кривые усилий при резании прямыми скошенными ножами:
A — кривая, полученная при опытах; *B* — кривая Крэйна; *C* — кривая Кодрона.



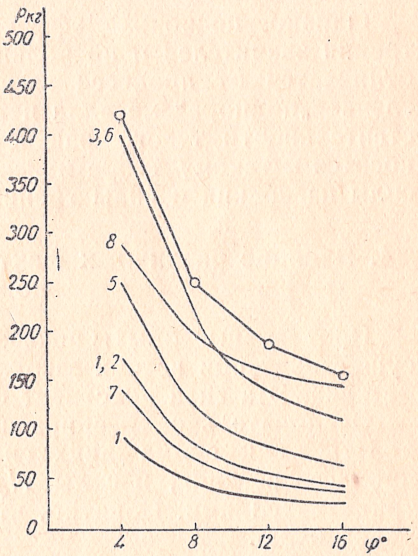
Фиг. 90. Сопоставление теоретических усилий с действительными при резании прямыми скошенными ножами.

На фиг. 89 сопоставлена полученная нами кривая (фиг. *A*) с кривой Крэйна и Кодрона (фиг. *B* и *C*).

Сравнивая опытные данные для величины усилия резания (фиг. 90) с теоретическими, вычисленными при помощи полученных формул, приходится притти к заключению о необходимости введения поправочного коэфициента. Теоретические кривые (показаны пунктирными линиями) идут всюду ниже кривых, построенных по опытным данным (показаны жирными линиями). При угле скоса $\varphi = 16°$ теоретическое усилие оказывается примерно вдвое ниже действительного.

Такое расхождение результатов можно объяснить, повидимому, наличием не учтенной нами изгибающей металл силы, а также наличием сил трения. Это заключение подтверждается еще тем обстоятельством, что у некоторых записанных кривых горизонтальный участок слабо выражен.

Независимо от того, являются ли главной причиной увеличения усилия (называемого нами усилием резания) силы, необходимые для изгибания металла, или трение между шероховатыми поверхностями срезов, сопровождаемое явлениями заклинивания, для полученных формул следует ввести поправочный коэфициент, учитывающий влияние угла скоса φ.



Фиг. 91. Сопоставление теоретических усилий резания прямым скошенным ножом, вычисленных по различным формулам, с действительными (показаны жирными линиями).

На фиг. 91 показан пример сопоставления усилий, вычисленных по различным формулам, с опытными данными ($S = 1{,}07$ *мм*). Большинство формул при больших углах скоса дают усилие значительно меньше действительного (жирная линия). Это является следствием того, что при выводе всех этих формул исходили лишь из условий одного резания и пренебрегали силами, изгибающими металл, и силами трения.

Что же касается других факторов, то за исключением радиуса затупления и, пожалуй, зазора влияние их таково, что при производственных расчетах ими можно пренебречь.

Влияние переднего угла γ верхнего ножа (при положительных значениях γ — фиг. 82 (и заднего угла α нижнего ножа — фиг. 83) незначительно. Угол γ нижнего ножа в пределах от нуля до 8° и угол α верхнего ножа в этих же пределах практически значимого влияния на усилие не оказывают.

Как показал Кодрон [23], ширина отрезаемой полосы влияет в некоторой мере на усилие. И хотя это влияние удалось наблюдать и нам, однако мы считаем возможным при производственных расчетах его не учитывать.

Кривую усилий не удалось записать до конца, а следовательно, не удалось проверить правильность теоретического равенства (24), согласно которому

$$W_н + W_к = Ph.$$

Однако, поскольку эффект действия изгибающих сил и сил трения значителен и поскольку процесс изгиба в начале резания отличается от процесса изгиба в конце резания (в последнем случае „подпора" металла нет), то следует ожидать, что в действительности такого равенства не будет. Это равенство относится к такому теоретическому процессу резания, в котором силы изгибания и силы трения отсутствуют.

4. Влияние различных факторов на величину отжимающей ножи силы

Проведенные опыты показали, что отжимающая ножи сила N_N существует при всяких зазорах и при всяких способах зажима металла. Эта сила действует одновременно с усилием резания.

Следовательно, распирающая матрицу сила должна определяться как сумма двух сил: силы N_N, действующей лишь в процессе резания, и силы N_q, вызываемой застрявшими в матрице изделиями. Понятно, что вторая сила иногда может быть равна нулю.

Полученные нами значения силы N_N в ряде случаев весьма близки к тому максимальному значению, которое вычислил для этой силы А. И. Целиков — 40%.

Сила N_N действует и при $\psi = 0$, когда разрезаемый металл достаточно плотно прижат к нижнему ножу. Поэтому можно признать допустимым для производственных расчетов пользование схемой сил, показанной на фиг. 44.

Как при параллельных, так и при скошенных ножах сила N_N с увеличением зазора растет. Так же способствует увеличению этой силы увеличение угла поворота полосы ψ и особенно — радиуса затупления $r_з$. Наоборот, с увеличением углов γ и α сила N_N уменьшается. Уменьшение этой силы наблюдается и при наличии поддержки для отрезаемого конца полосы.

5. Возможное влияние скорости ножа на работу резания

Как видно из табл. 10, работа резания на 1 *мм* длины реза, измеренная на маятниковом копре оказывается всюду больше работы, измеренной на ручном прессе.

В условиях опытов не было полной аналогии. На ручном прессе отрезаемый металл отгибался свободно; лежащая на

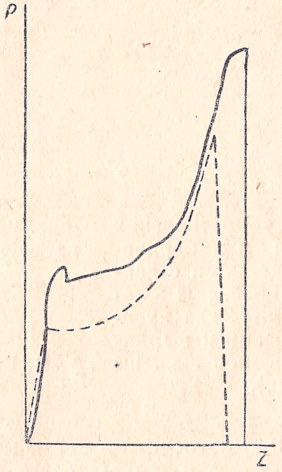
неподвижном ноже полоса придерживалась планкой. На копре, наоборот, отрезаемый металл, вследствие того, что он перерезался в двух местах, предохранялся от отгибания, но зато лежащие на неподвижных ножах концы полосы не удерживались от поворота. Однако следует признать, что хотя условия опытов на копре способствовали увеличению работы, все же столь большую разницу в результатах трудно объяснить только различием способов прижима металла.

Если учесть, что при работе на механических прессах действительная скорость в начале проникновения ножа в металл почти всегда близка к нулю вследствие наличия у деталей пресса люфтов и упругих деформаций, то различие изменения скоростей резания в обоих случаях делается особенно заметным. На копре в отличие от пресса скорость при начале проникновения ножа в металл исключительно высока, что, возможно, и является причиной увеличения усилия, а, следовательно, и работы.

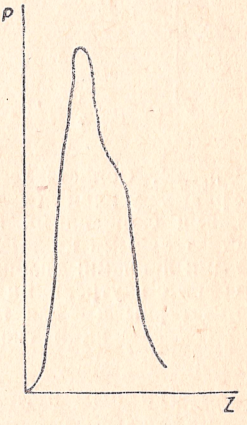
6. Влияние формы скосов и зазора на усилие при цилиндрических скошенных пуансонах и матрицах

Характер записанных кривых усилий при скошенных пуансонах (фиг. 88) в общем соответствует характеру теоретических кривых (фиг. 33). На фиг. 92 дан пример сопоставления теоретической и действительной кривой усилий (показана жирной линией) для пуансона с внешними скосами. Для пуансонов, у которых скосы сделаны „в тело", форма теоретической кривой подтверждается опытами М. О. Кагана (Орга-Металл, 1938 г).

Кривая усилий, полученная М. О. Каганом на прессе Амслер, показана на фиг. 93.



Фиг. 92. Сопоставление теоретической кривой усилий резания цилиндрическим пуансоном с внешними скосами с действительной кривой (показана жирной линией).

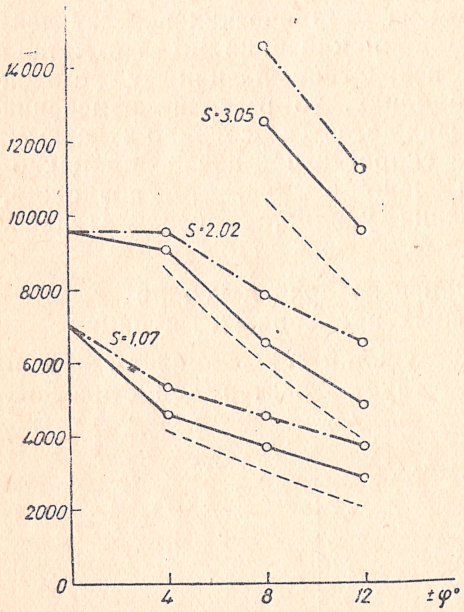


Фиг. 93. Кривая усилия резания цилиндрическим пуансоном со скосами „в тело", полученная на прессе Амслер (по М. О. Кагану).

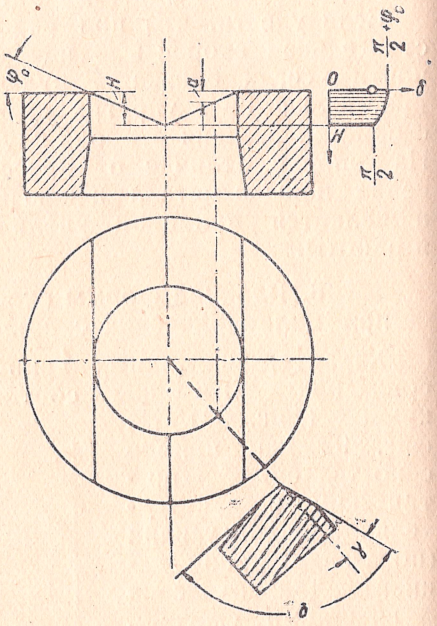
О том, какие получаются расхождения между результатами, вычисленными по нашим формулам, и опытными данными можно судить по фиг. 94. На последней результаты опытов показаны жирными линиями: сплошными — для положительного угла γ

и штрихпунктирными — для отрицательного. Теоретические кривые показаны тонкими пунктирными линиями. По оси абсцисс отложен угол скоса φ_0.

Как видно из графика, при отрицательных углах γ усилие получается на 20—70% выше теоретического; при положительных значениях γ теоретические результаты приближаются к действительным.



Фиг. 94. Сопоставление теоретических кривых усилий резания цилиндрическими скошенными пуансонами с действительными кривыми (показаны жирными линиями: сплошными — для пуансонов с внутренними скосами и штрихпунктирными — для пуансонов с внешними скосами).



Фиг. 95. Скошенная матрица с отрицательным передним углом по всему режущему контуру.

Наблюдаемое увеличение усилия при отрицательных значениях γ находит объяснение в уже отмеченном нами аналогичном явлении увеличения усилия при резании прямыми параллельными и скошенными ножами с отрицательным углом γ, т. е. с тупым углом δ.

Из фиг. 95 нетрудно видеть, что в случае, если у матрицы скосы сделаны „в тело", то угол δ тупой по всему ее периметру и наибольшая величина угла γ равна углу скоса φ_0. Для произвольного случая, когда пуансон углубился в матрицу на величину a, действительный угол резания δ будет:

$$\delta = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg}\frac{H - a}{r}.$$

Точно так же будет тупым угол δ у пуансонов с наружными скосами; у пуансонов со скосами „в тело“ и у матриц с наружными скосами угол δ будет всегда острым.

Очевидно, что наличие по всему периметру пуансона или матрицы отрицательного угла γ, вызывающего увеличение усилия должно быть учтено соответствующим поправочным коэфициентом. Точно так же должно быть учтено и дополнительное усилие, необходимое для изгибания материала.

Результаты наших опытов расходятся с результатами опытов М. Е. Зубцова [24], который отметил, что наименьшее усилие имеет место при зазоре 6—13%. Уменьшение усилия мы наблюдали при увеличении зазора вплоть до 25% и даже до 40%.

Наши результаты подтверждаются выводами М. О. Кагана, производившего опыты с пуансонами круглого, квадратного и треугольного сечения.

7. Влияние формы и размеров режущего контура на сопротивление резанию при параллельных режущих кромках

Как видно из табл. 11, сопротивление резанию σ при изменении очертаний режущих частей изменяется сравнительно незначительно. Хотя для части опытов были использованы штампы, предназначенные для производственных целей, с большим колебанием зазора, все же разница между наибольшим и наименьшим значениями σ оказалось небольшой. Это дает основание сделать заключение, что при производственных расчетах учитывать специальным поправочным коэфициентом влияние формы режущего контура нет необходимости.

8. Влияние некоторых факторов на силы трения Q_1 и T и на коэфициент трения μ

Немногочисленность опытов по определению силы Q_1, вытекающая из приведенных в главе IV соображений, не дает оснований сделать обобщающие заключения о закономерности изменения этих сил.

Опыты подтвердили уже известное из работы С. М. Головина и Ф. З. Рванцева положение, что величина этой силы с увеличением зазора падает. Существенным фактом является различие между силой выталкивания и силой проталкивания (табл. 12).

Одна из причин превышения силы выталкивания над силой проталкивания заключается, повидимому, в том, что изделие во время его нахождения в матрице в большинстве случаев не бывает плоским; у изделий, диаметр которых в несколько раз больше толщины, середина выпучена. Происходящее при выталкивании распрямление выпучившейся части вызывает увеличение удельного давления на торцах изделия, а следовательно, и увеличение силы Q_1. Однако при больших зазорах описываемое явление не имеет места.

Заслуживает интереса и тот, до сего времени не обративший на себя внимания, факт, что сила снятия отходов с круглых пуансонов зависит от ширины перемычки (табл. 13). При тонких перемычках сила T резко уменьшается. Последнее обстоятельство заставляет притти к заключению, что существующие методы теоретического вычисления этой силы как части усилия резания не являются достаточно надежными.

Величина коэфициента трения μ, составляя в среднем 0,2, мало зависит от наличия или отсутствия смазки и от направления шлифовальных рисок на боковых поверхностях режущих частей.

9. Выводы, вытекающие из опытов

1. Глубина проникновения пуансона в металл h зависит от условий резания.

При производственных подсчетах усилий резания мягкой стали, пренебрегая некоторыми погрешностями вычислений, допустимо величину h условно рассматривать, как величину, зависящую лишь от толщины листа или полосы и марки стали.

Для этой же цели допустимо рассматривать как величину постоянную и коэфициент λ; среднее значение λ для обычных сталей 0,8.

2. Процесс резания прямыми параллельными ножами листового металла, который предохраняется от изгиба, имеет некоторое отличие от процесса резания металла, отгибающегося свободно. В первом случае сопротивление резанию σ выше на 5—20%.

3. Увеличение скорости движения пуансона, имеющее место при переходе от ручного пресса к механическому, делающему 100—140 ходов в минуту, заметного влияния на сопротивление резанию не оказывает.

4. При резании прямыми параллельными ножами уменьшению сопротивления резанию σ способствуют увеличение зазора, угла γ верхнего ножа и угла α нижнего ножа. Наоборот, увеличение σ наблюдается при отрицательных значениях γ и особенно при увеличении радиуса затупления r_3 до 50%.

При удерживании металла от изгиба угол α как верхнего, так и нижнего ножа заметного влияния на σ не оказывает.

5. При резании прямыми скошенными ножами на усилие влияют те же факторы, что и при параллельных ножах. Однако влияние зазора здесь оказывается противоположным. С увеличением зазора наблюдается увеличение усилия.

Силы, изгибающие металл, и силы трения возрастают с увеличением угла скоса, вследствие чего наблюдается возрастание общего усилия. Последнее превышает теоретическое, необходимое только для одного резания, на 30—80%.

6. Отжимающая ножи сила N_N, составляя в среднем 35—45% усилия штамповки, возникает одновременно с этим усилием и наблюдается при всяких способах зажима полосы. Увеличению

силы N_N способствует увеличение зазора, угла поворота полосы и особенно радиуса затупления. Наоборот, уменьшение этой силы наблюдается при увеличении углов α и γ, а также при удерживании отрезаемого металла от изгиба.

7. При штамповке скошенными цилиндрическими пуансонами, как и при штамповке прямыми скошенными ножами, весьма заметное влияние на общее усилие оказывают силы, изгибающие металл, и силы трения. Сравнительно большое увеличение общего усилия наблюдается при отрицательных значениях γ — на 10—40%.

Увеличение зазора вызывает незначительное уменьшение усилия. Задний угол α матриц на величину усилия влияния не оказывает.

8. Силы трения Q_1 и T могут изменяться в довольно широких пределах. Сила Q_1 при выталкивании может отличаться от силы при проталкивании; в первом случае она может быть больше на 15—30%. Сила снятия отходов T с круглых пуансонов зависит от ширины паремычек; при уменьшении ширины перемычек сила T уменьшается.

9. Коэфициент трения между торцом разрезаемой полосы (поверхностью среза) и боковой поверхностью ножа в среднем равен 0,2. Этот коэфициент мало зависит от наличия или отсутствия смазки, а также и от направления рисок, остающихся после шлифовки.

10. Поправочные коэфициенты к формулам

В главе III было принято, что влияние на сопротивление резанию ряда факторов, а именно — зазора, формы режущих кромок, состояния режущих кромок и скорости резания будет учтено соответствующими коэфициентами f_1, f_2, f_3 и f_4. Помимо этого была признана необходимость наличия еще двух коэфициентов: f_5, учитывающего усилие изгибания листа, и f_6, учитывающего допуски на толщину листа и непостоянство его механических свойств.

Учитывая, что в производственных условиях не исключено некоторое увеличение зазора и что это при резании прямыми скошенными ножами вызывает увеличение усилия, для таких ножей коэфициент f_1 должен быть принят больше 1. В соответствии с кривыми, показанными на фиг. 81, можно принять $f_1 = 1{,}05$. Этот же коэфициент для цилиндрических скошенных пуансонов и матриц, у которых увеличение зазора не вызывает увеличения усилия, может быть принят равным 1.

Для коэфициента f_2, учитывающего влияние отрицательного угла γ, на основании анализа кривых, показанных на фиг. 70, 71 и 82, мы предлагаем эмпирическую зависимость

$$f_2 = 1 + 0{,}03\gamma, \qquad (74)$$

где γ — передний угол в градусах (со знаком „плюс").

Для резания прямыми параллельными ножами, когда отрезаемый конец отгибается свободно и когда угол γ положительный, этот же коэфициент может быть принят

$$f_2 = 1 - 0{,}01\gamma. \tag{75}$$

Поскольку при затупившихся режущих кромках усилие резко возрастает (фиг. 77 и 85), то, считаясь с возможностью такого затупления ножей в производственных условиях, коэфициент f_3 можно принять равным 1,1.

Коэфициент f_4, учитывающий влияние скорости, для обычных прессов, делающих до 120—140 ходов в минуту, может быть принят равным 1.

Силы изгибания и силы трения зависят от углов φ и φ_0 (фиг. 91 и 94); влияние совокупного действия этих сил значительно.

Для учитывания этого влияния мы предлагаем сравнительно простую зависимость, которая в то же время обеспечивает приближение теоретических результатов к опытным данным, а именно

$$f_5 = 1 + 0{,}05\varphi, \tag{76}$$

где φ — угол скоса в градусах.

Наконец, коэфициент f_6, учитывающий допуски на толщину листа и непостоянство его механических свойств, может быть принят равным

$$f_6 = 1{,}1.$$

Таким образом, общий поправочный коэфициент будет:

$$f = 1{,}27\,(1 + 0{,}03\gamma)\,(1 + 0{,}05\varphi).$$

При $\gamma = 0$ формула (22) примет вид:

$$P = 1{,}27\,(1 + 0{,}05\varphi)\,\frac{\lambda hS}{\operatorname{tg}\varphi}\,\sigma. \tag{77}$$

Так как величина λ отличается сравнительным постоянством, то, подставляя в предыдущую формулу среднее численное значение этой величины 0,8, получим произведение числовых коэфициентов весьма близким к единице — 1,016. Тогда формула для усилия резания при прямых скошенных ножах ($\gamma = 0$) с учетом всех поправочных коэфициентов будет:

$$P = (1 + 0{,}05\varphi)\,\frac{hS}{\operatorname{tg}\varphi}\,\sigma. \tag{78}$$

Для цилиндрических скошенных пуансонов и матриц допустимо принять

$$f_2 = 1 + 0{,}02\gamma;\ f_5 = 1 + 0{,}02\varphi_0.$$

Тогда, если угол γ положительный, формула 50 примет вид:

$$P = (1 + 0{,}02\varphi_0)\frac{4rhS\sigma}{H\sqrt{1 - \left(\frac{H - 0{,}2h}{H}\right)^2}}. \qquad (79)$$

Так как наибольшее значение угла γ равно φ_0, то при режущих кромках с отрицательным углом γ

$$P = (1 + 0{,}02\varphi_0)^2\frac{4rhS\sigma}{H\sqrt{1 - \left(\frac{H - 0{,}2h}{H}\right)^2}}. \qquad (80)$$

Подобные же поправочные коэфициенты следует ввести и в другие формулы как для определения усилия, так и работы[1].

Необходимо особо отметить, что приводимые поправочные коэфициенты действительны лишь для сравнительно тонких материалов — до 4 *мм*. При резании более толстых материалов эти коэфициенты не будут соответствовать своему назначению; точно так же эти коэфициенты не будут приемлемы и при штамповке твердых хрупких сталей.

11. Обзор формул для вычисления усилия резания прямыми скошенными ножами

Большая часть формул, приведенных в главе II, получена путем вычисления площади металла, оказывающей сопротивление резанию.

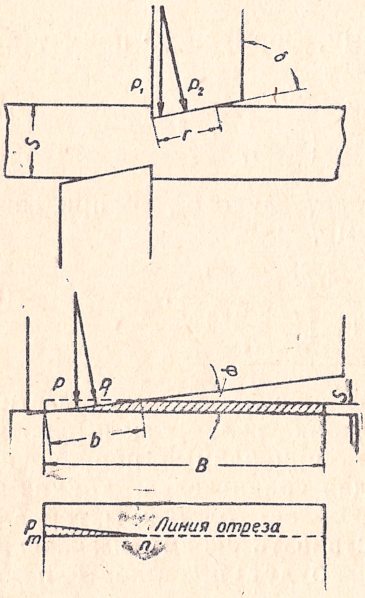
Различие в принятом числовом значении h наряду с различием некоторых коэфициентов запаса и является одной из главных причин расхождений результатов, вычисляемых по указанным формулам. Причиной различия результатов явились также и особенности выводов формул; большинство выводов отличается оригинальностью и остроумными решениями.

К такого рода выводам можно отнести вывод, предложенный Я. Н. Гаркави [2, 25]. Причину принципиального отличия его формулы от остальных формул мы усматриваем в том, что при ее выводе учтены не все силы, действующие на нож (фиг. 96). Небезынтересно отметить, что если допустить, что среднее удельное давление на нижней плоскости ножа равно среднему

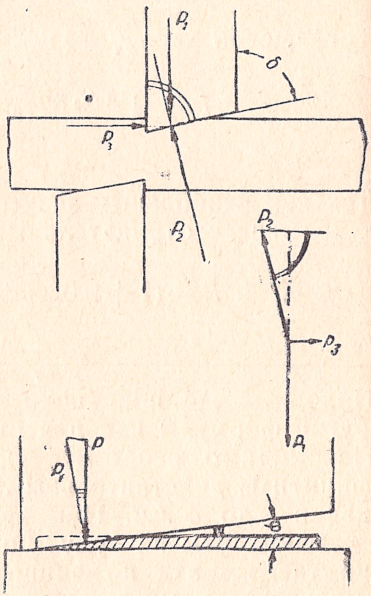
[1] Общая сводка формул с поправочными коэфициентами для практических расчетов приводится в главе VIII. Там же приводятся рекомендуемые для производственных расчетов значения σ и h.

удельному давлению на боковой плоскости, т. е. если принять, как на фиг. 97 (на этой фигуре показаны не все силы),

$$P_3 = P_2 \cos\delta$$



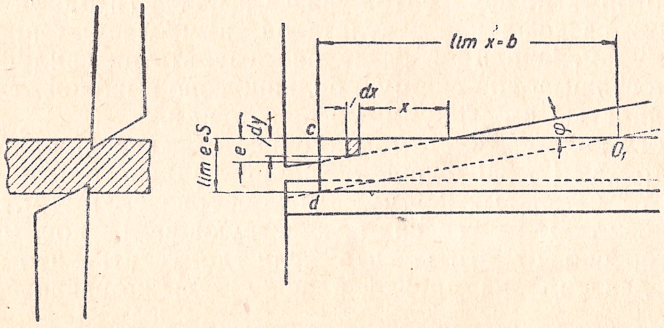
Фиг. 96. Разложение сил, действующих при резании скошенными ножами по Я. Н. Гаркави.



Фиг. 97. Один из вариантов разложения сил, действующих при резании скошенными ножами.

и применить метод Я. Н. Гаркави, имея в виду при этом, что $h < S$ и что усилие резания не удваивается при образовании второй площадки, то можно получить:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{hS\sigma}{\operatorname{tg}\varphi}.$$



Фиг. 98. Элементарная площадка, выделенная на площади, оказывающей сопротивление верхнему скошенному ножу по М. Е. Зубцову.

Вывод, предложенный М. Е. Зубцовым, по нашему мнению, несколько усложнен. Если рассматривать σ как величину постоянную, то такой же результат, как и у М. Е. Зубцова, можно получить, вычисляя площадь прямоугольного треугольника cdO_1 (фиг. 98).

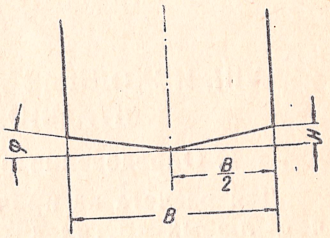
Безукоризненный вывод дан А. И. Целиковым.

В формуле Флина и Мак-Артура влияние зазора, по нашему мнению, преувеличено.

Несколько необычной на первый взгляд выглядит формула Крэйна. Последний для прямых скошенных ножей, подобно показанным на фиг. 99, дает

$$P = \frac{S\varepsilon P_{max}}{H},$$

где P_{max} — усилие при параллельных режущих кромках.



Фиг. 99. Прямой скошенный пуансон, приводимый Крэйном.

Если учесть, что $H = 0{,}5\, B \operatorname{tg}\varphi$ и что $P_{max} = BS\sigma$, то формуле Крэйна можно придать обычный вид:

$$P = \frac{n\varepsilon S^2\sigma}{\operatorname{tg}\varphi},$$

где n — число скошенных кромок, участвующих в резании; для случая, когда пуансон режет одной лицевой стороной, $n = 2$ и когда лицевой и задней $n = 4$.

Формула Крэйна, как и некоторые другие формулы, не учитывает того, что силы изгибания и силы трения значительны.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ШТАМПОВ

VIII. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ И ДЛЯ ВЫБОРА ПРЕССА

1. Определение величин главных действующих сил

Для расчета на прочность деталей штампов, как и для расчета любых других деталей, необходимо предварительно определить (или заранее знать) величины действующих сил, направление последних и очередность действия, а также и располагать данными о прочностных свойствах материала этих деталей.

Силы, которые испытывают детали штампа в результате давления деформируемого (или деформированного) металла, мы называем главными силами. Такими силами будут:

P — сила, необходимая для преодоления сопротивления резанию (усилие штамповки);

N_N — сила, распирающая смежные режущие кромки в процессе резания;

Q — сила выталкивания изделия или отхода из матрицы (или проталкивания сквозь матрицу);

N_q — сила, действующая на боковые стенки матрицы или пуансона в результате давления на эти стенки торцов отходов или изделий;

T — сила снятия отходов или изделий с пуансонов.

Ниже приводятся правила, инструкции и соображения, которыми можно руководствоваться при определении величин главных действующих сил.

А. Определение усилия резания P и работы резания W

Определение величины силы P одинаково важно как для расчета деталей штампов, так и для выбора пресса. Результаты такого определения могут быть использованы для обеих целей. Поэтому в настоящем параграфе приводятся и указания по выбору пресса.

При резании по прямой, по прямоугольнику или по кругу усилие штамповки может быть вычислено по формулам, приводимым в табл. 16, 17 и 18. В этих таблицах помимо формул[1]

[1] Некоторые наши формулы без поправочных коэфициентов уже получили распространение (В. Г. Шальнев, Механические прессы, стр. 26—40, Машгиз, 1946).

Формулы для вычисления усилия и работы резания при штамповке прямыми ножами

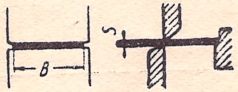
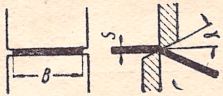
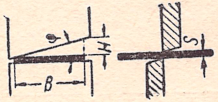
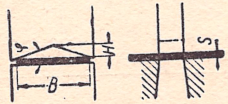
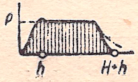
№ по пор.	Эскиз режущих частей	Характер кривой усилий	Наибольшее усилие P	Величина работы W
1			$P = 1{,}25\,BS\sigma$	$W = BS\sigma h$
2			$P = 1{,}25\,(1-0{,}01\gamma)\,BS\sigma$	$W = (1-0{,}01\,\gamma)\,BS\sigma h$
3			$P=(1+0{,}05\,\varphi)\,\frac{hS\sigma}{\operatorname{tg}\varphi}$	$W = (1+0{,}05\,\varphi)\,BS\sigma h$
4			$P = 4\,(1+0{,}05\,\varphi)\,\frac{hS\sigma}{\operatorname{tg}\varphi}$	$W = 2\,(1+0{,}05\,\varphi)\,BS\sigma h$
5				

Таблица 17

Формулы для вычисления усилия и работы резания при штамповке с прямоугольными пуансонами или матрицами

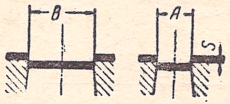
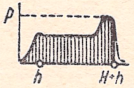
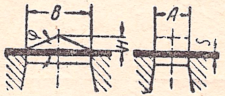
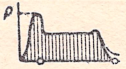
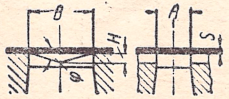
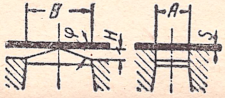
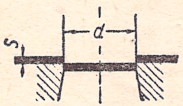
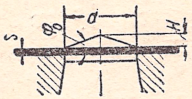
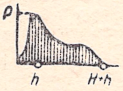
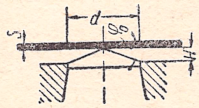
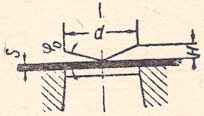
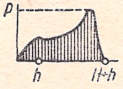
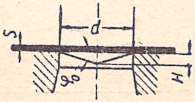
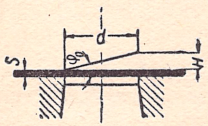
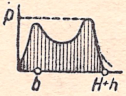
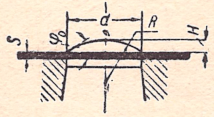
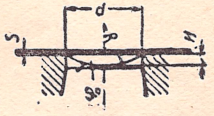
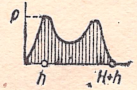
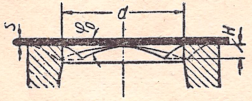
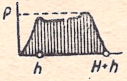
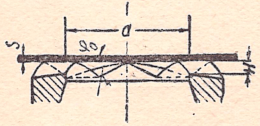
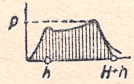
№ по пор.	Эскиз режущих частей	Характер кривой усилий	Наибольшее усилие P	Величина работы W
1			$P = 2{,}5\ (A + B)\ S\sigma$	$W = 2\ (A+B)\ S\sigma h$
2			$P = 2{,}5S\sigma \left[(1+0{,}03\ \varphi)\ A+ +1{,}6\ (1+0{,}05\ \varphi)\ \frac{h}{\operatorname{tg}\varphi}\right]$	$W = 2S\sigma h\ [(1+0{,}03\ \varphi)\ A+ +(1+0{,}05\ \varphi)\ B]$
3			$P = 2{,}5S\sigma \left[A+1{,}6\ (1+0\ 05\ \varphi) \times \times \frac{h}{\operatorname{tg}\varphi}\right]$	$W = 2S\sigma h\ [A+(1+0{,}05\ \varphi)\ B]$
4				
5				

Таблица 18

Формулы для вычисления усилия и работы резания при штамповке с цилиндрическими пуансонами или матрицами

№ по пор.	Эскиз режущих частей	Характер кривой усилий	Наибольшее усилие P	Величина работы W
1			$P = 1{,}25\,\pi dS\sigma$	$W = \pi\, dS\sigma h$
2			$P = 2{,}4\,(1+0{,}02\,\varphi_0)\,dS\sigma \arccos\dfrac{H-h}{H}$ или $P = 2\,(1+0{,}02\,\varphi_0)\dfrac{dS\sigma h}{H\sqrt{1-\left(\dfrac{H-0{,}2h}{H}\right)^2}}$	$W = (1+0{,}02\,\varphi_0) \times \pi\, dS\sigma h$
3				
4			$P = 2{,}4\,(1+0{,}02\,\varphi_0)^2\,dS\sigma \arccos\dfrac{H-h}{H}$ или $P = 2\,(1+0{,}02\,\varphi_0)^2\dfrac{dS\sigma h}{H\sqrt{1-\left(\dfrac{H-0{,}2h}{H}\right)^2}}$	$W = (1+0{,}02\,\varphi_0)^2\,\pi dS\sigma h$
5				

Продолжение табл. 18

№ по пор.	Эскиз режущих частей	Характер кривой усилий	Наибольшее усилие P	Величина работы W
6			$P = 1{,}2(1+0{,}02\varphi_0)^2 dS_\sigma \arccos \frac{H-2h}{H}$	$W = (1+0{,}02\varphi_0)^2 \pi dS_\sigma h$
7			$P = 2{,}4(1+0{,}02\varphi_0) dS_\sigma \times$ $\times \arcsin \frac{\sqrt{R^2-(R-h)^2}}{0{,}5d}$	$W = (1+0{,}02\varphi_0)\pi dS_\sigma h$
8			$P = 2{,}4(1+0{,}02\varphi_0)^2 dS_\sigma \times$ $\times \arcsin \frac{\sqrt{R^2-(R-h)^2}}{0{,}5d}$	$W = (1+0{,}02\varphi_0)^2 \pi dS_\sigma h$
9			$P = 5(1+0{,}02\varphi_0)^2 dS_\sigma \arcsin \frac{0{,}7h}{H}$	$W = (1+0{,}08\varphi_0)\pi dS_\sigma h$
10			$P = 2{,}4n(1+0{,}05\varphi_0)\frac{hS_\sigma}{\operatorname{tg}\varphi_0}$ где n — число выступов больше 4	$W = (1+0{,}05n\varphi_0)\pi dS_\sigma h$

для усилия штамповки приведены и формулы для определения работы штамповки W; знание последней величины необходимо для выбора пресса.

Если конфигурация изделия не соответствует тем конфигурациям, которые приведены в таблицах, то при резании параллельными режущими кромками сила P может быть вычислена по общеизвестной формуле:

$$P = 1{,}25\, LS\sigma, \tag{81}$$

где 1,25 — коэфициент, учитывающий возможность колебания толщины и сопротивления резанию;

L — периметр резания;

S — толщина штампуемого материала;

σ — сопротивление резанию при штамповке.

В случае, если по этой же причине окажется невозможным воспользоваться таблицами при употреблении скошенных режущих кромок, то сила P может быть определена путем графического нахождения мгновенного периметра резания или путем вычисления ее как суммы сил для отдельных простых элементов режущего контура (см. главу III, § 10, а также пример 1, гл. IX).

Общие правила применения скошенных пуансонов или матриц и указания для выбора пресса

1. Скошенные пуансоны или матрицы целесообразно применять в тех случаях, когда:

а) расчетное усилие при параллельных режущих кромках выше, чем номинальное усилие (тоннаж) предназначенного для штамповки пресса;

б) желательно избежать при работе толчков и обеспечить для деталей пресса плавное возрастание и уменьшение нагрузки;

в) преследуется цель сокращения числа гибочных операций.

2. Для того чтобы при штамповке изделие всегда получалось плоским, а изгибался отход, необходимо:

а) при вырезке делать скосы у матрицы, оставляя пуансон плоским;

б) при пробивке делать скосы у пуансона, оставляя матрицу плоской [1].

3. В случае, если преследуется цель уменьшения усилия, высоту скосов H следует делать несколько больше, чем глубина проникновения пуансона в металл до момента скалывания h. При небольшой высоте скосов, когда $H \leqslant h$, эффект действия скосов мало заметен.

4. Для обеспечения прессу наиболее благоприятных условий работы желательно отдавать предпочтение таким скосам, при

[1] Эти два правила применения скосов в отечественной литературе были впервые четко сформулированы А. П. Гавриленко [26] полвека назад.

которых наибольшее усилие получается в конце резания (см., например, графы 2 и 5 табл. 17).

5. Поскольку усилие, которое могут выдержать детали пресса, обычно уменьшается с увеличением рабочего пути ползуна (а при скосах рабочий путь всегда увеличенный), то при выборе пресса во избежание его перегрузки нельзя ограничиваться только сопоставлением наибольшего усилия штамповки с тоннажем пресса. Сопоставление усилий необходимо произвести для всего рабочего пути ползуна, что легче всего сделать вписыванием теоретической кривой усилий штамповки (или ее максимумов) в график допускаемых прессом усилий.

6. Так как работа резания никакими скосами не может быть уменьшена, то для проверки возможности выполнения заданной операции на намеченном прессе, помимо сопоставления усилий, необходимо сопоставить работу штамповки с эффективной энергией пресса. Последняя во избежание перегрузки мотора не должна быть ниже расчетной величины работы [1].

Указания к пользованию табличными формулами для вычисления усилий и работы резания

1. Сопротивление резанию σ рекомендуется принимать по табл. 19. Если марка штампуемого материала в таблице не при-

Таблица 19

Рекомендуемые для расчета значения величин σ и h для материалов толщиной до 4 *мм*

Наименование материала	Отожженный			Нагартованный		
	σ кг/мм²	$S<2$	$S>2$	σ кг/мм²	$S<2$	$S>2$
		h %	h %		h %	h %
Сталь декапированная	27	60		35	50	
Сталь 0,8; 0,8 кп	27	60	55	35	50	
Сталь 10 кп; 15 кп	30	55	50	40	50	50
Сталь 20; 2; 1	35	55	50	45	50	50
Сталь 25; 3	40	50	50	50	50	45
Сталь 30; 4	45	50	50	55	50	45
Сталь 35; 5	50	50	45	60	45	45
Сталь 40; 45; 50	55	45	45	70	45	40
Латунь Л62; Л68	20	65		33	50	
Алюминий А1; А2	8	70		13	55	
Медь М1; М2	18	65		28	50	
Цинк Ц2; Ц3	10	50		14	45	
Дюралюминий Д16; Д17				30	45	
Свинец С2; С4	2,5	80	65			

[1] Вопросы выбора мотора пресса, равно как и ряд других вопросов, связанных с расчетом деталей пресса на прочность, на научной основе впервые были разрешены М. Сторожевым при участии В. Копылова [27].

ведена, то сопротивление резанию может быть принято равным пределу прочности.

Глубину проникновения пуансона в металл до разделения h для материалов толщиной до 4 *мм* можно принимать по этой же таблице.

2. Величина h должна быть подставлена в формулу в единицах длины (не в процентах). В стоящих впереди поправочных коэфициентах, как, например, $1+0{,}05\varphi$ или $1-0{,}01\gamma$, углы φ и γ следует брать в градусах.

3. Формулы дают наибольшее усилие и полную величину работы. В отдельных случаях незначительное повышение усилий (табл. 16, эскизы в графах 4 и 5), а также и увеличение работы вследствие наличия сил трения при проталкивании (кривые показаны штрихпунктиром), компенсируется числовыми коэфициентами.

В табл. 18 в графах 2—3 и 4—5 для вычисления усилия приводится по две формулы. Нижние формулы, имеющие в знаменателе радикал, дают более точные результаты; верхние дают немного большие результаты — с некоторым „запасом".

5. Числовые коэфициенты формул учитывают поправку (коэфициент запаса) на возможность небольшого затупления режущих кромок, изменения зазора, влияния сил трения и т. п.

6. Все формулы для скошенных пуансонов или матриц действительны лишь для тех случаев, когда высота скосов H несколько больше глубины проникновения пуансона в металл до его разделения h.

Пределы применения отдельных формул будут следующие.

Для формул в табл. 16 и 17:

$$H \geqslant h(1+0{,}04\varphi) \text{ при } \varphi < 16^\circ \text{ и } B > A.$$

Для формул 2—3 в табл. 18:

$$1{,}04\frac{\pi}{2} \geqslant (1+0{,}2\varphi_0)\arccos\frac{H-h}{H} \text{ при } \varphi_0 \leqslant 12^\circ \text{ и } \frac{d}{S} \geqslant 12\text{—}15.$$

Для формул 4—5 этой же таблицы:

$$1{,}04\frac{\pi}{2} \geqslant (1+0{,}02\varphi_0)^2 \arccos\frac{H-h}{H}$$

при тех же значениях остальных факторов.

Для формулы 6:

$$1{,}04\frac{\pi}{2} \geqslant (1+0{,}02\varphi_0)^2 \arccos\frac{H-2h}{H} \text{ и т. д.}$$

Б. Вычисление величины силы N_N, распирающей смежные режущие кромки в процессе резания

Сила N_N при резании прямыми параллельными ножами для производственных расчетов может быть принята равной 40% усилия резания, а при прямых скошенных ($\varphi = 8\text{—}10^\circ$) равной 45%.

При резании параллельными кромками по замкнутому контуру сила N_N, приходящаяся на прямолинейный участок режущей кромки, будет, повидимому, близка к той, которую удалось наблюдать нам при резании с поддержкой. Поэтому на основании данных табл. 9 эту силу мы рекомендуем принимать равной 30% усилия, приходящегося на прямолинейную секцию. Для режущих кромок сложного контура действие силы N_N может быть уподоблено действию соответствующей величины гидростатического давления (см. главу IX, пример 2).

Силу N_N при прямых параллельных кромках допустимо рассматривать как силу, изменяющуюся по тому же закону, по которому изменяется усилие штамповки. Поэтому при таких кромках на соотношение между силами P и N_N можно смотреть, как на величину постоянную.

В то же время следует иметь в виду то обстоятельство, что и при замкнутом режущем контуре и цельных (не составных) пуансонах и матрицах алгебраическая сумма проекций всех сил N_N на какое-либо направление может быть и не равна нулю. В отдельных случаях эта сумма может составлять 5—10% усилия резания, приходящегося на проекцию части режущего контура на направление, перпендикулярное направлению искомой силы N_N (см. пример 6).

Наконец, необходимо учитывать, что на режущую секцию, подверженную действию силы N_N, действует также и сила трения N_T между секцией и плитой. Величина силы N_T, направленной всегда противоположно силе N_N, определяется равенством

$$N_T = P_м \mu_1, \qquad (82)$$

где $P_м$ — усилие резания, приходящееся на секцию;

μ_1 — коэфициент трения между секцией и плитой.

Коэфициент μ_1 на основании наших опытных данных мы рекомендуем принимать равным 0,15.

В. Вычисление величины силы Q, необходимой для выталкивания изделия или отхода из матрицы

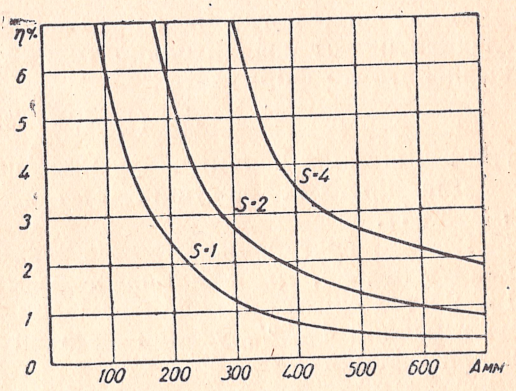
Эту силу, необходимую для выталкивания изделий или отходов из матрицы или для проталкивания сквозь матрицу, при малых размерах режущих частей можно принимать равной 6—8% усилия резания, а при больших определять по графику, показанному на фиг. 100.

Ординаты кривых на этом графике представляют силу Q_1, т. е. силу, необходимую для выталкивания одного изделия, в процентах усилия вырезки при параллельных режущих кромках (даже в случае применения матрицы со скошенными режущими кромками). По оси абсцисс отложена сторона изделия — квадрата — A *мм*. Этот же график допустимо использовать и для прямоугольных, а также и круглых изделий. В последних

случаях за величину A должна быть принята или наименьшая сторона изделия, или его диаметр [1].

Ординаты кривых фиг. 100 получены теоретическим путем из условий выпучивания (см. главу IV § 3) с учетом данных практики.

Если изделие при удалении его из матрицы пружинным выталкивателем по всей поверхности зажато между плоскостью выталкивателя и плоскостью пуансона, то при достаточно жестких пружинах выпучивание, влекущее за собой понижение удельного давления на торцах изделия, может не произойти [2]. В последнем случае силу Q_1 следует принимать равной 6—8% усилия вырезки.



Фиг. 100.

Силу Q можно принимать прямо пропорциональной количеству застрявших в матрице изделий или отходов, т. е.

$$Q = nQ_1 = n\eta P, \qquad (83)$$

где n — количество изделий или отходов, застрявших в матрице;

Q_1 — сила выталкивания одного изделия или отхода;

η — коэфициент, представляющий отношение силы Q_1 к силе P.

В случае работы на провал при толщине штампуемого материала до 1 *мм* можно принимать $n=4$—6, при толщине 2 *мм*— $n=1$—2 и при толщине 4 *мм* и более $n=1$.

Г. Вычисление величины силы N_q, действующей на боковые стенки матриц и пуансонов

Величина удельного давления q на торце застрявшего в матрице изделия или отхода может определяться равенствами:

$$q = \frac{Q_1}{LS\mu} = \frac{\eta P}{LS\mu} = \frac{1{,}25\,\eta\,\sigma}{\mu}, \qquad (84)$$

где μ — коэфициент трения между изделием или отходом и стенкой матрицы; этот коэфициент на основании наших опытных данных мы рекомендуем принимать равным 0,2.

Значения величины η могут быть взяты, как и в предыдущем случае, из графика, показанного на фиг. 100.

---

[1] Ошибка при этом будет сделана в сторону увеличения силы Q_1.

[2] Для уменьшения силы Q_1, а также и для уменьшения распирающей матрицу силы N_q рекомендуется в торце пуансона делать выемку, обеспечивающую вырезанному изделию возможность выпучиваться.

Величина силы N_q может определяться равенствами:

$$N_q = nqlS = 1{,}25n\frac{\eta_\sigma}{\mu}lS = P_l\eta\frac{n}{\mu}, \qquad (85)$$

где l — длина хорды режущей части секции (см. пример 3).

P_l — усилие, необходимое для разрезания полосы шириной l.

Сила N_q может действовать как в процессе резания, так и после его окончания.

Д. Вычисление величины силы T, необходимой для снятия отходов или изделий с пуансонов

В случаях, когда при простой конфигурации отходов последние имеют сравнительно тонкие перемычки, силу T можно вычислять по формуле:

$$T = (1 \div 1{,}2)\,tS\sigma, \qquad (86)$$

где t — ширина перемычки у края полосы [1].

Для круглых режущих частей формула применима, если $d \geqslant 5 \div 7t$.

Если конфигурация отходов такова, что эту формулу применить нельзя, то при малых размерах режущих частей (до 15—20 толщин штампуемого материала) силу T следует принимать равной 4—5% усилия резания параллельными кромками, а при больших — 2—3%.

2. Выбор допускаемых напряжений

Большинство деталей штампов испытывает периодически изменяющуюся нагрузку одного знака. Руководствуясь этим положением, можно пользоваться теми допускаемыми напряжениями, которые рекомендуются в машиностроении. Однако при пользовании указанными напряжениями неизбежны случаи получения завышенных расчетных размеров.

Поверочные расчеты деталей штампов показывают, что в действительности в этих деталях наряду с весьма низкими напряжениями имеют место и напряжения выше обычных.

Ниже приводится таблица рекомендуемых допускаемых напряжений, составленная на основе анализа поверочных расчетов деталей работающих штампов. В ней для каждого вида напряжений даны два значения. Первого, меньшего значения, рекомендуется не превышать при расчете обычных конструкций; второе значение допустимо применять в исключительных случаях, когда необходимо максимально сократить габариты или вес детали. Цифры в графе 6 относятся к пуансонам и матрицам с размерами, близкими к предельным. Для других деталей, размеры которых не связаны с размерами режущего контура и поэтому легко могут быть увеличены, эти цифры следует уменьшать на 30—50%.

[1] См. § 3 главы IV и пример 4 главы IX.

Таблица 20

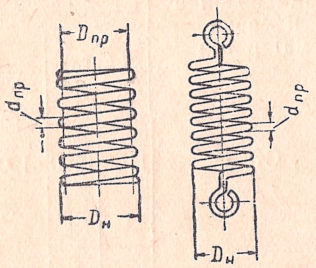
Наибольшие допускаемые напряжения в деталях штампов

№ по гор.	Наименование деталей штампов	Наименование и марка материала	Допускаемые напряжения в *кг/см²*							
			растяжение		сжатие		изгиб		срез	
1	Съемники, плиты, матрицедержатели, винты, буферные стержни, пуансонодержатели, тяги	Ст. 2, Ст. 3	1100	1500	1200	1600	1300	1600	1000	1400
2	Матрицедержатели консольные, тяги, толкатели, фиксаторы, упоры, крестовины, поперечины	Ст. 5, Ст.	1300	1600	1400	1700	1700	1800	1200	1500
3	Плиты верхние и нижние, кронштейны	Стальное литье 15-4024 25-4522			1100	1500	1200	1500	900	1200
4	Плиты верхние и нижние, кронштейны	Чугун СЧ 18-36 СЧ 21-40			900	1400	350	450	250	350
5	Штифты, мелкие пуансоны непредельных размеров, ловители, клинья простой формы	Сталь У7А при твердости по R_C 52—56			5500	8000	3600	5000		
6	Режущие части простых конфигураций: пуансоны, матрицы, ножи, секции матриц, вставки	Сталь У8А; Х12М; ШХ15 при твердости по R_C 58—62	2500		10000	16000	3000	5000		
7	Клинья фигурные, упоры, движки, ловители, фиксаторы	Ст. 5, Ст. 7 при твердости по R_C 42—48			3000	4000	2000	2800		
8	Прокладки под пуансоны (цементированные)	Ст. 20 при твердости по Шору 86—92			2500	3000				
9	Пружины плоские и спиральные	Ст. 65Г при твердости по R_C 38—45					5000	8000		

3. Вспомогательные данные для расчета деталей штампов

Таблица 21

ПРУЖИНЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ
Допустимые нагрузки и деформации



Наружный диаметр пружины $D_н$	Диаметр проволоки $d_{пр}$ в *мм*											
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8
	$\frac{P_{пр}}{f_{пр}}$ = допустимая нагрузка в *кг* / сжатие или удлинение одного витка пружины											
10	2,2 / 1,7	7,7 / 1,0	19 / 0,48	40 / 0,44	75 / 0,35							
12	1,7 / 2,5	6,2 / 1,5	15 / 1,1	31 / 0,75	59 / 0,56	100 / 0,44						
15	1,4 / 4,1	4,9 / 2,6	12 / 1,7	24 / 1,3	44 / 1,0	72 / 0,80	112 / 0,65	170 / 0,51				
20	1,0 / 7,5	3,5 / 4,7	8,5 / 3,4	17 / 2,6	31 / 2,0	51 / 1,6	77 / 1,3	115 / 1,1	160 / 0,94	300 / 0,69		
25		2,8 / 7,8	6,6 / 5,5	12,5 / 4,4	24 / 3,4	39 / 2,7	57 / 2,3	85 / 2,0	120 / 1,7	225 / 1,4	370 / 0,98	
30			5,5 / 8,2	10,6 / 6,2	19,4 / 5,0	32 / 4,1	47 / 3,5	67 / 3,1	97 / 2,6	175 / 2,0	285 / 1,6	
35			4,6 / 11,2	9,4 / 8,7	16,2 / 7,2	26 / 6,0	40 / 5,1	56 / 4,4	81 / 3,7	194 / 2,9	235 / 2,4	370 / 1,9
40				8,1 / 11,9	14,4 / 9,6	23 / 8,0	34 / 6,9	50 / 5,9	70 / 5,1	125 / 4,1	200 / 3,3	310 / 2,2
45					12,5 / 12,2	20 / 10,2	30 / 8,7	44 / 7,9	61 / 6,7	110 / 5,3	175 / 4,4	270 / 3,6
50						18 / 13,0	27 / 11,2	39 / 9,7	54 / 8,5	96 / 6,7	155 / 5,6	240 / 4,6

Таблица составлена по формулам: $P_{пр} = \frac{\pi d_{пр}^3 [\tau_{кр}]}{8D_{пр}}$ и $f_{пр} = \frac{8D_{пр}^3 P_{пр}}{d_{пр}^4 G}$,

причем принято $[\tau_{кр}] = 5000$ *кг/см²* и $G = 750\,0\,0$ *кг/см²*.

Таблица 22

Допускаемые нагрузки на винты в *кг*

Номинальный диаметр винта в *мм*	Сечение в *см²*	Допускаемое напряжение на разрыв в *кг/см²*		Номинальный диаметр винта в *мм*	Сечение в *см²*	Допускаемое напряжение на разрыв в *кг/см²*	
		600	800			600	800
6	0,17	100	135	16	1,37	825	1100
8	0,31	185	245	20	2,15	1290	1715
10	0,49	295	395	22	2,70	1620	2160
12	0,72	430	570	24	3,10	1850	2470
14	0,99	605	790				

Примечание. В действительности при указанных нагрузках напряжения могут быть выше принятых (и близки к напряжениям, приводимым в табл. 20 для стали 2—3) за счет затяжки винтов. Если винты испытывают напряжения преимущественно от затяжки, то допускаемая нагрузка может быть взята вдвое больше, чем указано в таблице.

IX. ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ РАСЧЕТ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ НА ПРОЧНОСТЬ

1. Примеры на определение величин главных действующих сил

Пример 1. Определить максимальное усилие для разрезки прямоугольной коробки и затрачиваемую работу, а также построить график „усилие — путь".

Схема разрезки показана в графе 8 табл. 23. Материал — сталь толщиной 3 *мм*; $\sigma = 32$ *кг/мм²*. Ширина ножа 8 *мм*; остальные размеры по фиг. 101.

Для выяснения особенностей отдельных этапов разрезки применяем графические построения.

На сечении коробки (фиг. 101, *А*) наносим такие положения ножа, в промежутках между которыми усилие остается постоянным или изменяется незначительно. Определяем по масштабу перемещения ножа от исходного положения *I* до последующих положений *III* и *IV*; эти перемещения будут 12 и 37 *мм*. Перемещению ножа в положение *II* будет соответствовать участок пути, равный h — глубине проникновения режущей кромки до окончания скалывания. По табл. 19 величину h выбираем равной 1,5 *мм*.

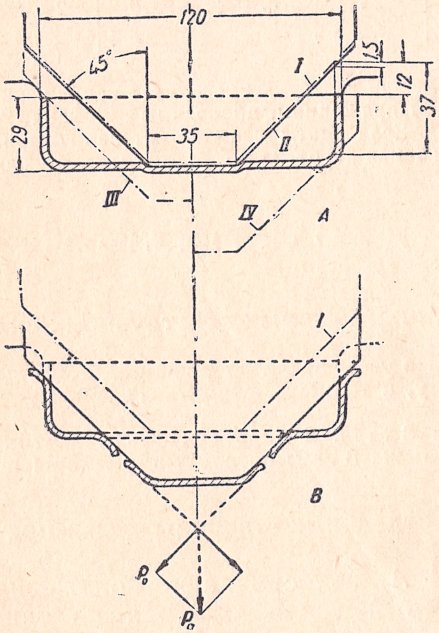
Очевидно, что на участке пути *I — II* нож будет резать дно коробки только своей плоской частью. В дальнейшем на участке пути *II — III* резание дна коробки будет производиться только скошенными сторонами ножа. Наконец, на участке пути *III — IV* скошенные стороны ножа помимо дна будут резать и боковые стенки коробки, как это видно из фиг. 101. Последняя фигура показывает еще, что кроме сил резания на участке *III — IV*, а также и на участке *II — III* нож будет испытывать дополнительно и действие силы P_g в результате растягивания отхода.

Вычисляем усилие и работу резания для каждого участка пути. Так как ширина отхода мала и его сопротивление изгибанию незначительно, то для вычисления усилия резания скошенными кромками можно применить табличные формулы, хотя угол скоса ножа и более 16°.

На участке пути *I — II* по формулам графы 1 табл. 16 получим:

$$P_I = 2 \cdot 1{,}25\, BS\sigma = 2 \cdot 1{,}25 \cdot 35 \cdot 3 \cdot 32 = 8400 \text{ кг};$$

$$W_I = 2\, BS\sigma h = 2 \cdot 35 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 1{,}5 \approx 10\,000 \text{ кгмм} = 10 \text{ кгм}.$$



Фиг. 101.

На участке пути *II — III* величину дополнительно возникающей силы P_g определяем из условия, что в растягиваемом вдоль скошенной режущей кромки отходе могут возникнуть напряжения, равные пределу прочности или, приблизительно σ.

$$P_g = \frac{2P_0}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot 8S\sigma}{\sqrt{2}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 32}{\sqrt{2}} \approx 1100 \text{ кг}.$$

Используя формулу из графы 5 табл. 16, получим:

$$P_{II} = 4(1 + 0{,}05\varphi)\frac{hS\sigma}{\operatorname{tg}\varphi} + P_g =$$

$$= 4\,(1 + 0{,}05 \cdot 45)\,\frac{1{,}5 \cdot 3 \cdot 32}{1} +$$

$$+ 1100 \approx 1900 + 1100 \approx 3000 \text{ кг};$$

$$W_{II} = P_{II} \cdot (12 - 1{,}5) = 3000 \cdot 10{,}5 \approx 31500 \text{ кгмм} \approx 31{,}5 \text{ кгм}.$$

При переходе ножа на участок *III — IV* сопротивление увеличивается. К силе P_{II} прибавляется усилие, необходимое для разрезки боковых стенок коробки режущей кромкой, скошенной под углом 45°. Но такое усилие, равное 1900 *кг*, нами уже вычислено при определении величины силы P_{II}. Следовательно:

$$P_{III} = P_{II} + 1900 = 3000 + 1900 = 4900 \text{ кг};$$

$$W_{III} = P_{III} \cdot (37 - 12) = 122\,500 \text{ кгмм} = 122{,}5 \text{ кгм}.$$

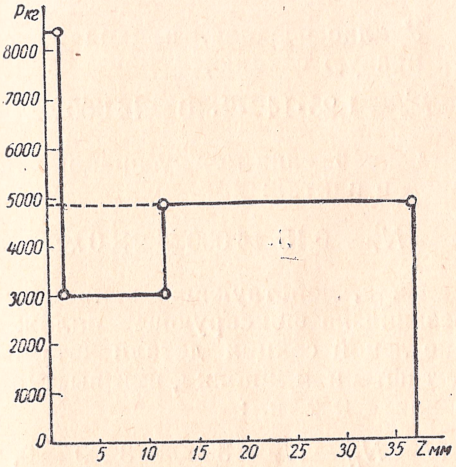
Далее строим график „усилие — путь“ (фиг. 102). Из графика, а также из хода вычислений, видно, что максимальное усилие при разрезке равно 8400 *кг*. Работа, затрачиваемая на разрезку

(представлена на графике площадью, ограниченной жирными линиями), будет равна:

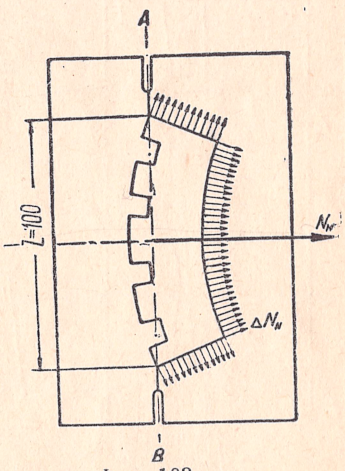
$$W = W_{\text{I}} + W_{\text{II}} + W_{\text{III}} = 10 + 31{,}5 + 122{,}5 = 164 \text{ кгм}.$$

Пример 2. Определить силы N_N, распирающие в процессе резания секции матрицы, показанной на фиг. 103, предполагая, что при штамповке изделие сразу проталкивается сквозь матрицу. Периметр режущего контура левой секции 200 *мм*; правой — 140 *мм*. Материал сталь толщиной 2 *мм*; $\sigma = 40$ *кг/мм*^{2}.

Очевидно, что распирающая сила N_N, направленная перпендикулярно линии разъема AB, будет представлять сумму проекций элементарных сил ΔN_N, каждая из которых действует подобно гидростатическому давлению нормально к стенкам матрицы. Следовательно, независимо от сложности режущего кон-



Фиг. 102.



Фиг. 103.

тура любой из секций распирающая сила N_N будет такой же, как и при разрезании прямыми параллельными ножами полосы шириной l, т. е. шириной 100 *мм*.

В соответствии с § 1 главы VIII величина этой силы будет:

$$N_N = 0{,}3P_l,$$

где P_l — усилие резания для длины реза, равной l.

После замены P_l его значением получим:

$$N_N = 0{,}3 \cdot 1{,}25\, lS\sigma = 0{,}3 \cdot 1{,}25 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 40 = 3000 \text{ кг}.$$

Вследствие того, что сила N_N действует одновременно с усилием резания, возникает еще и сила трения между секцией и нижней плитой. Величина силы трения N_T, направленной противоположно силе N_N, будет:

$$N_T = P_м \mu_1,$$

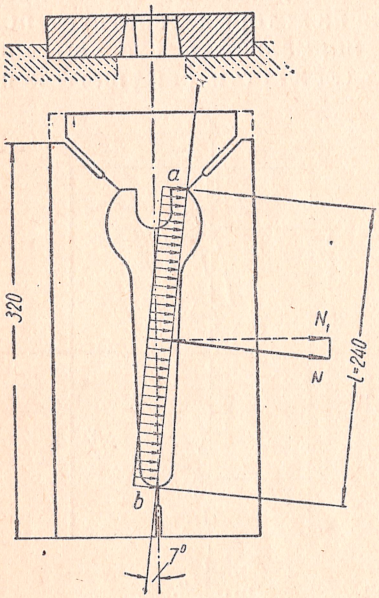
где $P_м$ — максимальное усилие резания, испытываемое той или иной секцией;

μ_1 — коэфициент трения между секцией и нижней плитой, равный 0,15.

В действительности сила трения между секцией и нижней плитой может быть несколько больше благодаря усилию, получающемуся от затяжки винтов. Однако вследствие того, что при работе штампа не исключена возможность ослабления затяжки винтов, силу трения, вызываемую затяжкой, учитывать не будем.

Усилие резания, приходящееся на левую секцию,

$$P_м = 1{,}25LS\sigma = 1{,}25 \cdot 200 \cdot 2 \cdot 40 = 20\,000 \ кг.$$



Фиг. 104.

Сила трения между левой секцией и плитой

$$N_T = P_м \mu_1 = 0{,}15 \cdot 20\,000 = 3000 \ кг.$$

Усилие резания, приходящееся на правую секцию,

$$P^1_м = 1{,}25 \cdot 140 \cdot 2 \cdot 40 = 14\,000 \ кг.$$

Сила трения между правой секцией и плитой:

$$N^1_T = 0{,}15 \cdot 14\,000 = 2100 \ кг.$$

Сила, действующая в процессе резания на фиксирующее положение левой секции детали штампа (штифты или шпонки, или выступы в плите и т. п.):

$$N = N_N - N_T = 3000 - 3000 = 0,$$

т. е. левая секция будет удерживаться на месте силой трения.

Сила, с которой правая секция давит в процессе резания на фиксирующие ее детали

$$N = 3000 - 2100 = 900 \ кг.$$

Пример 3. Определить максимальную силу, с которой при штамповке гаечного ключа правая секция врезной матрицы может давить на выступ плиты, предполагая, что в матрице застревает одно изделие. Материал сталь толщиной 5 *мм*; $\sigma = 60$ *кг/мм*^{2}. Периметр резания секции 256 *мм*; остальные размеры — по фиг. 104.

На различных стадиях штамповки силы, распирающие секции, будут различны. Поэтому для нахождения максимальной силы отыскиваем величины распирающих сил для трех стадий штамповки: вырезки, проталкивания и покоя.

Сила, стремящаяся в процессе резания сместить правую секцию в направлении, перпендикулярном линии *ab*, будет:

$$N = N_N - N_T + N_q,$$

где N_N — сила, действующая только одновременно с усилием резания;

N_T — сила трения между секцией и нижней плитой;

N_q — сила, возникающая в результате давления на секцию торца, застрявшего в матрице изделия, и действующая как в процессе резания, так и после его окончания.

Вычисляем величины этих сил. Величина первой силы будет:

$$N_N = 0{,}3P_l = 0{,}3 \cdot 1{,}25 \cdot 240 \cdot 5 \cdot 60 = 27\,000 \text{ кг}.$$

Так как усилие резания, приходящееся на секцию,

$$P_м = 1{,}25 \cdot 256 \cdot 5 \cdot 60 = 96\,000 \text{ кг},$$

то при коэфициенте трения $\mu_1 = 0{,}15$

$$N_T = \mu_1 P_м = 0{,}15 \cdot 96\,000 = 14\,400 \text{ кг}.$$

Действие силы N_q может быть уподоблено действию гидростатического давления. Приняв согласно § 1 главы VIII отношение η между силой проталкивания Q_1 и силой P, необходимой для вырезки всего ключа, равным 0,06, из равенства

$$Q_1 = LSq\mu,$$

где L — периметр режущего контура всей матрицы;

q — удельное давление, оказываемое торцом изделия на стенку матрицы;

μ — коэфициент трения между торцом изделия и стенкой матрицы, равный 0,2,

найдем:

$$q = \frac{Q_1}{LS\mu} = \frac{\eta P}{LS\mu} = \frac{\eta \cdot 1{,}25\sigma}{\mu}.$$

Следовательно, сила, с которой торец изделия давит на матрицу [1],

$$N_q = qlS = 1{,}25lS\sigma\frac{\eta}{\mu}$$

или

$$N_q = 1{,}25 \cdot 240 \cdot 5 \cdot 60\,\frac{0{,}06}{0{,}2} = 27\,000 \text{ кг}.$$

Сила N, действующая перпендикулярно линии ab в процессе резания,

$$N = N_N - N_T + N_q = 27\,000 - 14\,400 + 27\,000 = 39\,600 \text{ кг}.$$

По окончании процесса резания начнется стадия проталкивания изделий. При одном постоянно находящемся в матрице изделии в первый момент проталкивания секция матрицы будет испытывать давление от торцов двух изделий (второе изделие

---

[1] При отношении между силой проталкивания и усилием вырезки, равным 0,06, и при коэфициенте трения 0,2, сила N_N равна силе N_q (при одном застрявшем изделии!)

входит в матрицу в процессе резания). Следовательно, для этой стадии [1]

$$N = 2 \cdot N_q = 2 \cdot 27\,000 = 54\,000 \ кг.$$

Когда проталкивание закончится, в матрице вновь будет находиться только одно изделие и на секцию будет действовать сила

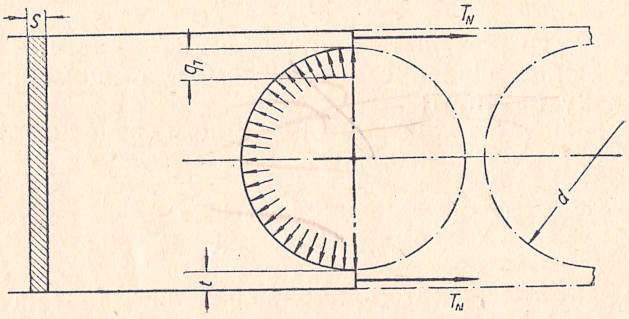
$$N = N_q = 27\,000 \ кг.$$

Таким образом, наибольшее боковое усилие секция будет испытывать при проталкивании изделий. Наибольшая сила N_1, действующая перпендикулярно выступу плиты,

$$N_1 = N \cos 7^\circ = 54\,000 \cdot 0{,}99 \approx 53\,500 \ кг.$$

Пример 4. Найти максимальное значение силы, которая может возникнуть при снятии с пуансона полосы после вырезки диска и квадрата. Материал сталь толщиной 5 *мм*; $\sigma = 40$ *кг/мм*^{2}. Ширина перемычки 6 *мм*.

Силы, действующие на полосу после вырезки диска, показаны на фиг. 105. Очевидно, что, отбросив правую часть полосы, к перемычкам левой части необходимо приложить силы T_N. Ве-



Фиг. 105.

личина каждой из этих сил не может быть больше той силы, при которой перемычка резко удлиняется. Следовательно, между этими силами и удельным давлением q_T, действующим на поверхность среза, будет иметь место соотношение:

$$q_T dS = 2T_N = 2tS\sigma_s,$$

где σ_s — предел текучести штампуемого металла, принимаемый равным 0,75 σ_b или 0,75σ.

Максимальное значение удельного давления на поверхность среза проштампованной полосы

$$q_T = \frac{2t\sigma_s}{d} = \frac{1{,}5t\sigma}{d}.$$

[1] Если высота цилиндрического пояска матрицы меньше, чем сумма двух толщин штампуемого материала, и если задние углы у секций велики, то такого увеличения распирающей силы может и не быть.

Сила, необходимая для снятия полосы с круглого пуансона,

$$T = q_T \pi d S\mu = 1{,}5\pi t \sigma_s S\mu,$$

или

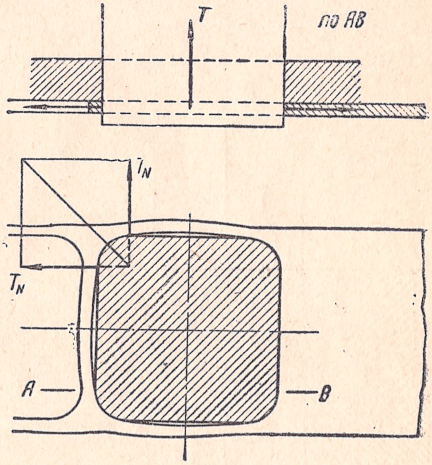
$$T = 1{,}5 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}2 t S\sigma = 0{,}94 t S\sigma \approx t S\sigma,$$

и после подстановки числовых значений получим:

$$T = 6 \cdot 5 \cdot 40 = 1200 \text{ кг}.$$

Предполагая, что после вырезки квадрата удельное давление q_T будет попрежнему равномерным как по длине, так и по толщине перемычки, силу трения T_1 на квадратном пуансоне найдем из соотношения:

$$\frac{T}{T_1} = \frac{\pi}{4},$$



Фиг. 106.

откуда

$$T_1 = \frac{4}{\pi} T = 0{,}94 \frac{4}{\pi} t S\sigma = 1{,}2 t S\sigma.$$

Численное значение силы для снятия с пуансона полосы после вырезки квадрата

$$T_1 = 1{,}2 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 40 = 1440 \text{ кг}.$$

Равномерного распределения давление q_T по длине перемычки в действительности может и не быть. Длинные тонкие перемычки искривляются, как это показано на фиг. 106. Такое искривление имеет место и в случае, если вершины углов изделия закруглены. Поэтому проверим, какова будет величина силы T_1 при условии, что действие пуансона на перемычки производится лишь в отдельных точках силами T_N. Так как по четырем углам квадрата таких сил будет 8, то

$$T_1 = 8 \cdot 0{,}75 t S\sigma\mu = 1{,}2 t S\sigma.$$

Результат тот же, что и полученный ранее. Этот же результат получится и в том случае, если предположить, что удельное давление q_T действует не по всей толщине штампуемого металла, а лишь на некоторой ее части.

2. Примеры на расчет пуансонов

Пример 5. Найти наименьшие диаметры отверстий, которые можно пробить в стали $\sigma = 40$ *кг/мм*^{2} и в красной меди $\sigma = 20$ *кг/мм*^{2}, исходя из условия прочности пуансона на сжатие.

Наибольшее усилие пробивки очевидно не может быть больше того усилия, которое способна выдержать рабочая часть пуан-

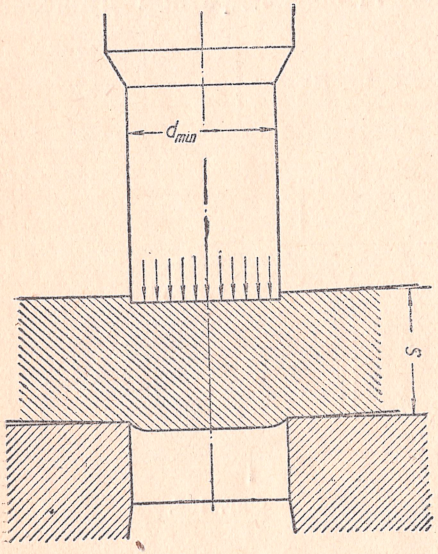
сона на сжатие. В крайнем случае эти усилия должны быть равны. Следовательно,

$$\pi d_{\min} S\sigma = \frac{\pi d_{\min}^2}{4} [\sigma_n],$$

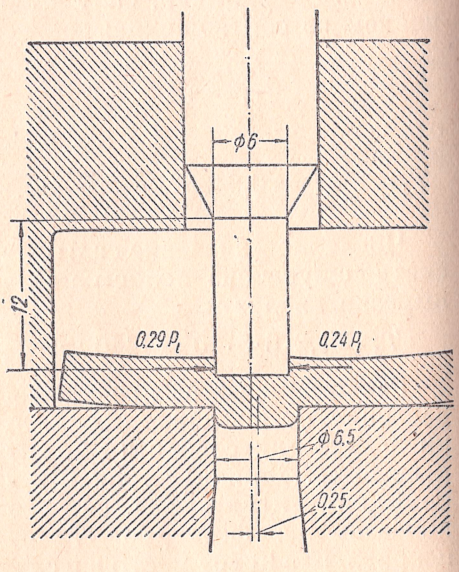
где $d_{\min}$ — наименьший диаметр рабочей части пуансона (фиг. 107);
$[\sigma_n]$ — допускаемое напряжение на сжатие для пуансона.

Из последнего уравнения

$$d_{\min} = \frac{4S\sigma}{[\sigma_n]}.$$



Фиг. 107.



Фиг. 108.

Так как согласно табл. 20 $[\sigma_n] = 16\,000$ *кг/см*^{2}, то для стали

$$d_{\min} = \frac{4 \cdot 40 \cdot 100S}{16\,000} = S$$

и для красной меди

$$d_{\min} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 100S}{16\,000} = 0{,}5S.$$

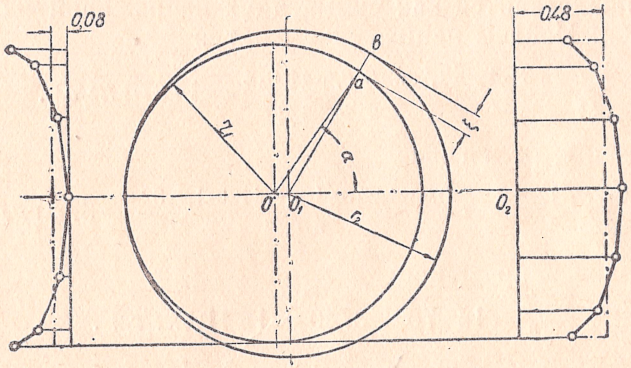
Помимо сжатия пуансон обычно подвержен и изгибу (см. пример 6). Вследствие того, что эффект действия изгибающих сил для тонких пуансонов особенно значителен, то в действительности для красной меди $d_{\min}$ несколько больше — $0{,}6 \div 0{,}7S$.

Пример 6. Найти напряжения в круглом пробивном пуансоне в случае, если вследствие неправильной сборки штампа ось пуансона будет смещена относительно оси матрицы на половину зазора. Материал сталь толщиной 4 *мм*; $\sigma = 44$ *кг/мм*^{2}. Размеры пуансона и матрицы по фиг. 108.

Вследствие того, что зазор слева и справа различен (фиг. 108), сумма сил N_N не будет равна нулю. Для установления численного значения разности этих сил найдем сначала средние зазоры по отношению к диаметральной плоскости пуансона, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа.

Зазор (на сторону) ξ для какой-то произвольной точки a (фиг. 109), положение которой на режущем контуре пуансона определяется углом α, представится отрезком ab. Обозначив OO_1 через e, из фиг. 109 найдем:

$$O_1a = \sqrt{r_1^2 + e^2 - 2r_1 e\cos\alpha}.$$



Фиг. 109.

Выражение для зазора примет вид:

$$\xi = r_2 - O_1a = r_2 - \sqrt{r_1^2 + e^2 - 2r_1 e\cos\alpha}$$

или

$$\xi = 3{,}25 - \sqrt{3^2 + 0{,}25^2 - 2\cdot 3\cdot 0{,}25\cos\alpha}.$$

Подставляя теперь в последнюю формулу различные значения угла α, можно вычислить зазор для любой точки режущего контура. Дадим углу α следующие значения: 0°; 30°; 60°; 90°, 120°; 150° и 180°. Зазор (на сторону) для этих значений α будет: 0,5; 0,47; 0,37; 0,25; 0,12; 0,03 и 0 *мм*.

Вычисление средних зазоров произведем графически. Справа проводим вертикальную линию, длина которой равна диаметру пуансона. На ней, ведя отсчет от точки O_2, откладываем отрезки, длина которых соответствует значениям $r_1 \sin\alpha$. Из концов этих отрезков в горизонтальном направлении откладываем в увеличенном масштабе вычисленные значения зазоров; изменение зазора представлено жирной ломаной линией. Вычислив площадь, ограниченную этой линией, и разделив вычисленную площадь на величину диаметра, найдем средний зазор справа от диаметральной плоскости пуансона. Как видно из фиг. 109, средний зазор справа равен 0,42 *мм*, т. е. 10,5% толщины штампуемого металла.

Проделав то же самое и для левой части, найдем, что средний зазор слева равен 0,08 *мм*, т. е. 2%.

Имея значения средних зазоров, действия сил N_N в нашем случае с некоторым приближением можно уподобить действию этих же сил при резании двухсторонним прямым параллельным ножом с теми же зазорами. Руководствуясь табл. 9, принимаем, что при зазоре 2% $N_N = 0{,}29P_l$, а при зазоре 10,5% $N_N = 0{,}24P_l$. Тогда искомая разность сил N_N составит $0{,}05P_l$, т. е 5% усилия, необходимого для того, чтобы перерезать полосу шириной, равной диаметру пуансона.

Максимальное напряжение σ_n, которое будет испытывать пуансон, представится как сумма двух напряжений — от сжатия и от изгиба. Найдем напряжение сжатия

$$\sigma_c = \frac{P \cdot 4}{\pi d^2} = \frac{1{,}25\pi 0{,}6 \cdot 0{,}4 \cdot 4400 \cdot 4}{\pi \cdot 0{,}6^2} = 14\,670 \text{ кг/см}.$$

Напряжения от изгиба

$$\sigma_u = \frac{0{,}05 \cdot P_l \cdot 1{,}2 \cdot 32}{\pi d^3} = \frac{0{,}05 \cdot 1{,}25 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}4 \cdot 4400 \cdot 1{,}2 \cdot 32}{\pi \cdot 0{,}6^3} = 3740 \text{ кг/см}^2.$$

Суммарное напряжение

$$\sigma_n = 14\,670 + 3740 = 18\,410 \text{ кг/см}^2.$$

Это напряжение выше наибольшего допускаемого напряжения, приводимого для подобных случаев в табл. 20. Пуансон может сломаться.

Пример 7. Найти наименьший диаметр универсального пробивного пуансона вблизи его посадочной части, если ось пуансона смещена относительно оси матрицы на половину зазора (неточность изготовления штампа), съемник направляющим устройством не служит, усилие пробивки — наибольшее. Диаметр режущей части пуансона 12 *мм*; остальные его размеры — по графе 5 табл. 56.

Максимальное допускаемое напряжение сжатия для пуансона по табл. 20 составляет 16 000 *кг/см*^{2}. Наибольшее усилие, которое способна выдержать режущая часть пуансона,

$$P = \frac{\pi d^2}{4}[\sigma_n] = \frac{\pi \cdot 1{,}2^2 \cdot 16\,000}{4} \approx 18\,000 \text{ кг}.$$

При наибольшем усилии толщина пробиваемого металла стали будет равна диаметру пуансона, т. е. 12 *мм* (см. пример 5). Приняв зазор равным 14% толщины пробиваемой стали, найдем смещение оси пуансона относительно оси матрицы:

$$e = \frac{14 \cdot 1{,}2}{100 \cdot 2} \approx 0{,}085 \text{ см}.$$

Допускаем, что при штамповке под действием сил N_N произойдет упругая деформация пуансона и пуансонодержателя и режущая часть пуансона сместится вправо так, что ее ось будет

совпадать с осью матрицы[1] (фиг. 110). Тогда изгибающий момент будет равен:

$$M_u = P \cdot e = 18\,000 \cdot 0{,}085 = 1530 \ кгсм.$$

Пуансон вблизи его посадочной части будет испытывать и сжатие и изгиб[2]. Очевидно, что суммарные сжимающие напряжения не должны превышать 16 000 $кг/см^2$. Следовательно,

$$16\,000 = \frac{P \cdot 4}{\pi d_1^2} + \frac{M_u \cdot 32}{\pi d_1^3}$$

или

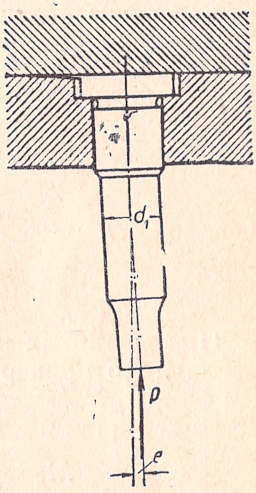
$$16\,000 = \frac{18\,000 \cdot 4}{\pi d_1^2} + \frac{1530 \cdot 32}{\pi d_1^3},$$

откуда $d_1 \approx 1{,}5$ *см*.

Пример 8. **Определить, какова будет максимальная толщина материала для пуансона № 4 по табл. 56, если головка пуансона упирается непосредственно в чугунную плиту (без прокладки). Диаметр режущей части 10 *мм*; диаметр головки 20 *мм*. Материал сталь $\sigma = 40$ $кг/мм^2$.**

Усилие пробивки очевидно не может быть больше того максимального усилия, которое допустимо для части плиты, находящейся под головкой пуансона. Следовательно, максимальное усилие

$$P = \frac{\pi D^2}{4} [\sigma_u],$$



Фиг. 110.

где D — диаметр головки пуансона;

$[\sigma_u]$ — наибольшее допускаемое напряжение сжатия для чугуна, принимаемое нами из табл. 20 равным 1400 $кг/см^2$.

Так как наибольшее усилие пробивки

$$P = 1{,}25\pi dS\sigma$$

равно максимальному усилию под головкой пуансона, то

$$1{,}25\pi dS\sigma = \frac{\pi D^2}{4} [\sigma_u],$$

откуда наибольшая толщина стали, пробиваемой этим пуансоном

$$S = \frac{D^2 [\sigma_u]}{4 \cdot 1{,}25 d\sigma} = \frac{2^2 \cdot 1400}{4 \cdot 1{,}25 \cdot 1 \cdot 4000} = 0{,}28 \ см \approx 3 \ мм.$$

---

[1] По мере перемещения режущей части пуансона вправо разность сил N_N будет уменьшаться, а внутренние силы в пуансоне, препятствующие перемещению, будут возрастать. Поэтому действительное перемещение режущей части будет меньше половины зазора.

[2] Вести расчет пуансонов на продольный изгиб по формулам Эйлера, как это делает Ж. Олер [28], мы не рекомендуем по следующим причинам: 1) помимо силы, вызывающей продольный изгиб, имеют место и силы, вызывающие поперечный изгиб, 2) отношение длины свободной части пуансона к его радиусу инерции, как правило, ниже тех отношений, которые являются пределом применимости этих формул.

3. Примеры на расчет матриц

Пример 9. **Определить, какие напряжения возникнут в месте сварки прямолинейной секции матрицы, показанной на фиг. 111, при вырезке изделия, толщиной 2 *мм*. Размеры изделия 600 × 600 *мм*; материал сталь $\sigma = 32$ *кг/мм*^{2}; после вырезки изделие выталкивается наружу.**

В процессе резания на матрицу действуют силы P_l и N_N. Прикладывая в точке A две силы, направленные в противоположные стороны и равные силе P_l, получим, что приваренная часть секции подвержена изгибу от алгебраической суммы двух моментов и сжатию от силы P_l.

Изгибающий момент как алгебраическая сумма двух моментов

$$M_u = P_l \cdot 1{,}25 - N_N \cdot 5{,}5 \ кгсм.$$

Так как $N_N = 0{,}3\ P_l$, то

$$M_u = P_l \cdot 1{,}25 - 0{,}3P_l \cdot 5{,}5 = -0{,}4\ P_l \ кгсм.$$

При принятых нами знаках для моментов знак минус показывает, что приваренная часть секции стремится повернуться вправо.

Подставляя вместо P_l его значение, будем иметь:

$$M_u = 0{,}4 \cdot 1{,}25\ L \cdot 0{,}2 \cdot 3200 = 320L \ кгсм,$$

где L — длина секции.

Напряжения от изгиба в месте сварки (фиг. 111, *I*):

$$\sigma_1 = \frac{M_u}{W_u} = \frac{320L \cdot 6}{L \cdot 2{,}5^2} = 307 \ кг/см^2$$

и напряжения сжатия (фиг. 111, *II*):

$$\sigma_2 = \frac{P_l}{2{,}5L} = \frac{1{,}25L \cdot 0{,}2 \cdot 3200}{2{,}5L} = 320 \ кг/см^2.$$

Максимальное напряжение сжатия в приваренной части секции (фиг. 111, *III*):

$$\sigma = 307 + 320 = 627 \ кг/см^2.$$

Помимо этого напряжения, возникающего в процессе резания, возможны еще и напряжения при других стадиях штамповки, а именно: при проталкивании изделия вниз, при остановке ползуна в его нижней мертвой точке и при выталкивании изделия вверх. Очевидно, что наибольшее из возможных при этих трех стадиях напряжений будет напряжение при стадии выталкивания, когда секция подвержена растяжению от действия силы Q_1 и изгибу от двух моментов (фиг. 112).

Приняв согласно графику (фиг. 100) усилие выталкивания равным $1^0/_0$ усилия вырезки, по формуле (85) найдем:

$$N_q = P_l \eta \frac{n}{\mu} = 1{,}25 L S \sigma \eta \frac{n}{\mu}$$

или

$$N_q = 1{,}25 \cdot 0{,}2 \cdot 3200 \frac{0{,}01}{0{,}2} L = 40L \ кг.$$

Сила, растягивающая секцию,

$$Q_1 = N_q \mu = 40L \cdot 0{,}2 = 8L \ кг.$$

Суммарный изгибающий момент при выталкивании

$$M_u = Q_1 \cdot 1{,}25 + N_q \cdot 5{,}5$$

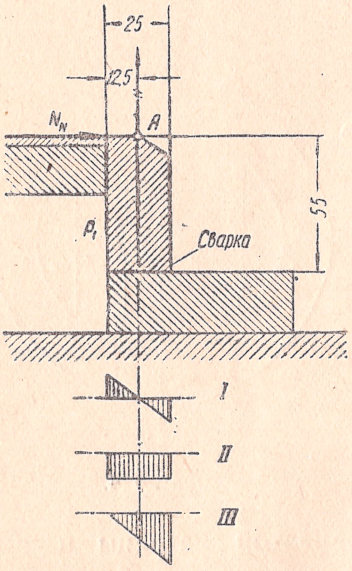
или

$$M_u = 8L \cdot 1{,}25 + 40L \cdot 5{,}5 = 230\,L \ кгсм$$

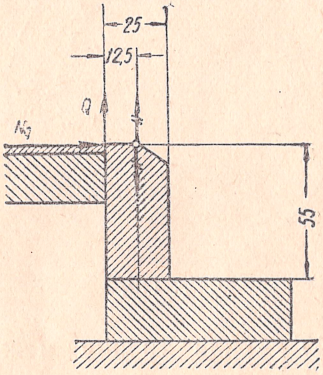
и, наконец, суммарное напряжение при выталкивании

$$\sigma_з = \frac{M_u}{W_u} + \frac{Q_1}{2{,}5L} =$$

$$= \frac{230L \cdot 6}{L \cdot 2{,}5^2} + \frac{8L}{2{,}5L} \approx 220 \ кг/см^2.$$



Фиг. 111.



Фиг. 112.

Результат меньше полученного ранее. Следовательно, напряжение, имеющее место при вырезке 627 $кг/см^2$, для данного случая штамповки будет максимальным.[1]

Пример 10. **Найти размеры вырезной матрицы, предназначенной для вырезки диска диаметром $D = 250$ *мм* и толщиной 2 *мм*. Материал диска — сталь $\sigma = 40$ $кг/мм^2$.**

Ширина матрицы равна высоте; матрица имеет цилиндрический поясок высотой 6 *мм* и 4 отверстия под винты (фиг. 113).

[1] Касательные напряжения не учитываем.

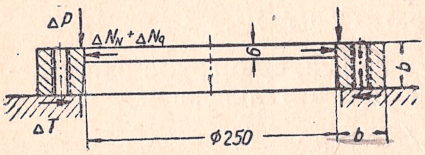
Под действием нормального давления, возникающего при штамповке, круглая матрица примет форму, показанную на фиг. 113. В местах, ослабленных отверстиями, кривизна станет больше первоначальной; матрица будет подвержена изгибу и растяжению подобно кольцу, нагруженному четырьмя силами (фиг. 114). Поэтому за расчетную схему приложения сил принимаем схему, показанную на фиг. 114.

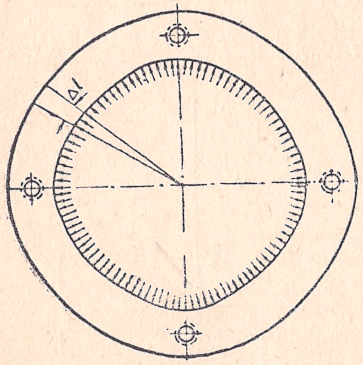
Сила N может быть представлена как сумма проекций элементарных сил ΔN на выбранные направления. Элементарная сила ΔN, приходящаяся на участок периметра матрицы Δl (фиг. 113), будет:

$$\Delta N = \Delta N_N + \Delta N_q - \Delta T,$$

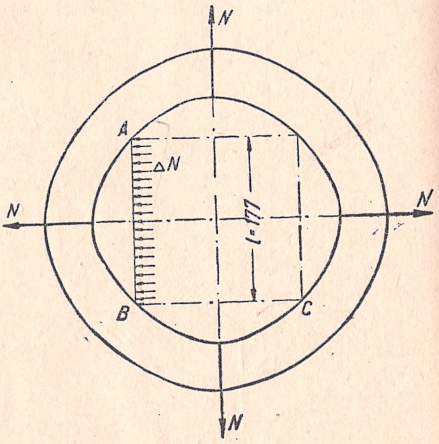
где ΔN_N — элементарная сила, вызываемая действием усилия резания;

ΔN_q — сила, вызываемая давлением на стенки матрицы торцов, застрявших в ней изделий;





Фиг. 113.



Фиг. 114.

ΔT — сила трения между элементом матрицы и нижней плитой.

Спроектировав элементарные силы на направление действия силы N (фиг. 114), получим:

$$N = \Delta N \cdot \underline{AB} = \Delta N l$$

или

$$N = N_N + N_q - T.$$

Выражая силы в правой части уравнения через силу P_l, т. е. через усилие резания на длине l, будем иметь:

$$N = 0{,}3P_l + P_l \eta \frac{n}{\mu} - 0{,}15P_l = P_l\left(0{,}15 + \eta \frac{n}{\mu}\right).$$

Количество изделий, застревающих в матрице, при высоте цилиндрического пояска 6 *мм* не может превышать 3; поэтому принимаем $n=3$. Величину η находим по графику, показанному на фиг. 100; для нашего случая $\eta = 0{,}035$. Тогда

$$N = 1{,}25 \cdot 177 \cdot 2 \cdot 40 \left(0{,}15 + 0{,}035 \frac{3}{0{,}2}\right) \approx 12\,000 \text{ кг}.$$

Для кольца, показанного на фиг. 114, наибольшая величина изгибающего момента будет в точках приложения сил; эта величина известна [29]:

$$M = 0{,}14N \frac{D+b}{2}.$$

Напряжение изгиба может быть представлено выражением:

$$\sigma_1 = \frac{M}{W} k_1 k_2,$$

где W — момент сопротивления прямого бруса;

k_1 — коэфициент, учитывающий влияние кривизны бруса на напряжение;

k_2 — коэфициент, учитывающий влияние внецентренного действия силы N (по отношению к сечению).

Для колец, подобных матрицам с диаметрами режущих частей 120—360 *мм*, коэфициент k_1 [29] может быть принят 1,4—1,1. Коэфициент k_2 мы рекомендуем принимать равным 1,4—1,2. Приняв средние значения коэфициентов k_1 и k_2, найдем выражение для напряжения изгиба:

$$\sigma_1 = \frac{0{,}14N \cdot 0{,}5(D+b) \cdot 6}{b^3} 1{,}25 \cdot 1{,}3$$

или

$$\sigma_1 = \frac{0{,}14 \cdot 12\,000 \cdot 0{,}5\,(12{,}5+b) \cdot 6}{b^3} 1{,}25 \cdot 1{,}3 = \frac{8400\,(12{,}5+b)}{b^3}.$$

Помимо изгиба матрица подвержена и растяжению. Напряжение от растяжения

$$\sigma_2 = \frac{N}{2b^2} = \frac{12\,000}{2b^2}.$$

Допуская, что на внешней стороне матрицы напряжения от изгиба могут достигнуть такого же значения, как и на внутренней, найдем выражение суммарного напряжения:

$$\sigma_н = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{8400\,(12{,}5+b)}{b^3} + \frac{12\,000}{2b^2}.$$

Приняв согласно табл. 20 допускаемое напряжение равным 3000 *кг/см*^{2}, после подстановки и преобразования получим:

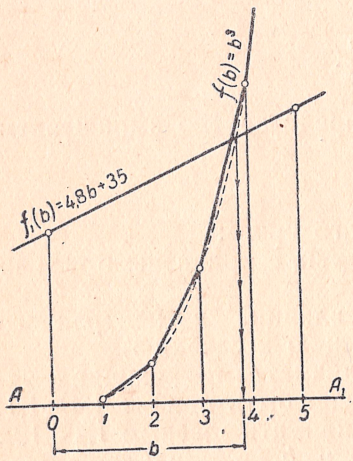
$$b^3 = 4{,}8b + 35.$$

Решая последнее уравнение графически (фиг. 115), найдем:

$$b \approx 3{,}8 \text{ см}.$$

Учитывая ослабление сечения отверстиями, округляем найденный результат до 4 *см*.

Ниже приводится общеизвестный в математике порядок построений. Из произвольной точки проводим прямую AA_1 (фиг. 115). На ней в масштабе откладываем значения b: 1, 2, 3 и т. д. Затем, задаваясь значением b, подставляем эти значения в какую-либо часть подлежащего решению уравнения, например, в левую $f(b) = b^3$. Полученные величины откладываем в том же или меньшем масштабе над линией AA_1, как ординаты; последние соединяем прямыми или кривой (при построении на миллиметровой бумаге достаточно отметить циркулем точки). Далее поступаем аналогично с правой частью $f_1(b) = 4{,}8b + 35$, имея в виду при этом, что правая часть решаемого уравнения представляет уравнение прямой; поэтому достаточно задаться двумя значениями b.



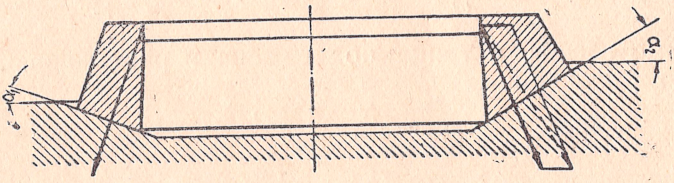
Фиг. 115.

Опуская перпендикуляр из точки пересечения прямой $f(b)$ с кривой $f_1(b)$ на линию AA_1, находим значение b.

Пример 11. **Подобрать для поперечного сечения круглой матрицы такую форму, чтобы напряжения от растягивающих матрицу усилий были минимальными.**

Форму, наиболее близкую к искомой, будет иметь матрица, показанная на фиг. 116. Матрица из неупругого материала, лежащая на плите из такого же материала, будет испытывать только напряжения сжатия, если равнодействующая всех сил направлена перпендикулярно опорной поверхности плиты[1].

Очевидно, что в последнем случае опорная поверхность плиты должна представлять боковую поверхность конуса. Если усилиями, вызываемыми застрявшими в матрице изделиями можно пренебречь (сечение слева), то угол между образующей конуса и плоскостью плиты равен:



Фиг. 116.

$$\alpha_1 = \operatorname{arc\,tg} 0{,}3 \approx 17°.$$

[1] В следствие того, что как матрица, так и плита упруги, а также и вследствие разновременности действия усилия резания и силы проталкивания, избавиться полностью от растягивающих напряжений невозможно.

Для случаев, когда силы N_q значительны, этот угол должен быть увеличен (сечение справа). Величина угла α_2 может быть найдена аналитически по формуле:

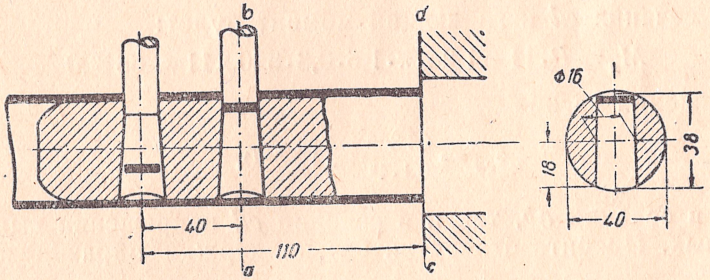
$$\alpha_2 = \operatorname{arc\,tg} \frac{N_N + N_q}{P}$$

или при помощи графических построений, как показано в правой части фиг. 116.

Пример 12. Решить — возможна ли пробивка двух отверстий в трубе на консольной оправке, если последняя при пробивке ничем не поддерживается. Пуансоны действуют разновременно; толщина стенок трубы 3 *мм*; материал сталь $\sigma = 32$ *кг/мм*^{2}. Размеры трубы и оправки-матрицы — по фиг. 117.

Как видно из фиг. 117, наиболее опасными сечениями будут сечения *ab* или *cd*. Изгибающий момент в сечении *ab*

$$M_u = P \cdot 4.$$



Фиг. 117.

Усилие пробивки P может быть вычислено, как обычно, поскольку оправка, представляющая скошенную матрицу, имеет небольшую высоту скосов (около половины толщины материала). Тогда

$$M_u = 1{,}25 \cdot \pi \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}3 \cdot 3200 \cdot 4 \approx 24\,100 \ \ кгсм.$$

Для нахождения момента сопротивления этого сечения найдем сначала его момент инерции. Фигуру, получающуюся от пересечения стенок матрицы с поперечным сечением оправки, т. е. с кругом, принимаем за прямоугольник со сторонами 16 и 38 *мм*. Тогда момент инерции будет:

$$I = 0{,}05 \cdot 4^4 - \frac{1{,}6 \cdot 38^3}{12} \approx 5{,}5 \ см^4.$$

Так как расстояние до наиболее удаленного волокна в сечении *ab* равно 18 *мм*, то момент сопротивления

$$W_u = \frac{5{,}5}{1{,}8} = 3{,}05 \ см^3$$

и напряжения изгиба от действия силы P

$$\sigma_p = \frac{M_u}{W_u} = \frac{24\,100}{3{,}05} \approx 8000 \ кг/см^2.$$

К последним напряжениям необходимо прибавить напряжения, возникающие в результате давления на стенки матрицы торцов отходов. Предполагаем, что в матрице застревает только один отход на расстоянии 15 *мм* от нейтрального слоя. Приняв силу проталкивания отхода равной 6% усилия пробивки, по формуле (85) найдем:

$$N_q = P_l \eta \frac{n}{\mu} = 1{,}25 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}3 \cdot 3200 \cdot 0{,}06 \frac{1}{0{,}2} = 575 \text{ кг}.$$

Напряжения изгиба и растяжения от действия этой силы

$$\sigma_q = \frac{575 \cdot 1{,}5}{3{,}05} + \frac{575}{\frac{\pi 4^2}{4} - 1{,}6 \cdot 3{,}8} = 370 \text{ кг}.$$

Суммарное напряжение в сечении ab:

$$\sigma_{ab} = 8000 + 370 = 8370 \text{ кг/см}^2.$$

Для сечения cd изгибающий момент будет:

$$M_u = P \cdot 11 = 1{,}25 \cdot \pi \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}3 \cdot 3200 \cdot 11 \approx 66\,300$$

и напряжения изгиба

$$\sigma_{cd} = \frac{66\,300}{0{,}1 \cdot 4^3} \approx 10\,300.$$

Как в сечении ab, так и в сечении cd напряжения выше допускаемых. Пробить отверстия без поддержки оправки нельзя!

4. Примеры на расчет винтов и штифтов

Пример 13. **Найти размеры и количество винтов для прямолинейной секции матрицы, показанной на фиг. 118. Длина секции — 250 *мм*. Размеры изделия 500 × 500; толщина — 2 *мм*; материал сталь $\sigma = 32$ *кг/мм*^{2}. В матрице может застревать не больше двух изделий.**

В различные моменты штамповки величины и направления действующих на секцию сил будут различны. Поэтому для нахождения размеров винтов необходимо предварительно установить на каких стадиях штамповки нагрузка на винты будет максимальной.

Рассматривая стальную закаленную секцию как неупругое тело, а чугунную плиту под ней — как упругое, нетрудно сделать заключение, что при первом ударе пуансона о металл, когда в матрице нет еще ни одного изделия (фиг. 118, *I*), равнодействующая сил P и N_N пересечет плоскость плиты на расстоянии от режущей кромки $42 \cdot 0{,}3 \approx 13$ *мм*.

Так как закон распределения напряжений в плите в этом случае допустимо принять линейным, то ширина участка плиты l_1 должна составить $^2/_3$ ширины площадки, на которой возникнут напряжения сжатия. Следовательно,

$$l_1 = (13 - 6) \cdot 2 = 14 \text{ мм}.$$

Очевидно, что хотя режущая кромка секции и находится на весу, даже и не закрепленная винтами, секция не опрокинется, если напряжения сжатия на краю плиты не превысят допускаемых. Максимальное напряжение сжатия на краю провального отверстия плиты найдем из равенства:

$$P = 0{,}5\,\sigma_ч\,(1{,}3 - 0{,}6 + 1{,}4)\,25 = 26{,}25\,\sigma_ч\,.$$

Одновременно

$$P = 1{,}25 \cdot 25 \cdot 0{,}2 \cdot 3200 = 26{,}25\,\sigma_ч\,,$$

откуда искомое напряжение

$$\sigma_ч = \frac{P}{26{,}25} = \frac{20\,000}{26{,}25} \approx 760\ кг/см^2.$$

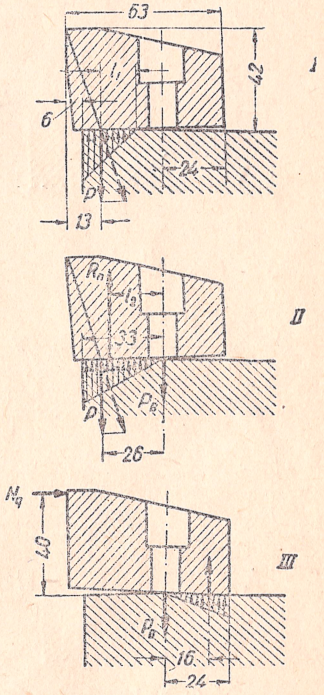
Это напряжение ниже допускаемого. Следовательно, рассматриваемая секция в процессе резания не опрокинется, хотя ее правая часть несколько приподнимется [1].

За нормальное условие работы винтов принимаем такое, при котором между секцией и плитой на линии оси винтов, образоваться не может. Как видно из фиг. 118, *II*, винты не будут испытывать в процессе резания дополнительных просвет растягивающих усилий, если напряжения сжатия будут распространяться от края провального отверстия плиты до оси винтов [2].

Силу P_B, которую должны развить затянутые винты для обеспечения вышеуказанного условия, найдем из равенства моментов:

$$P \cdot 2{,}6 = R_П l_2,$$

где $R_П$ — реакция плиты.



Фиг. 118.

Так как распределение напряжений происходит по закону прямой, то

$$l_2 = \frac{2}{3} \cdot 3{,}3 = 2{,}2\ см.$$

Подставляя значение l_2 в предыдущее равенство и заменив силу $R_П$ численно равной ей суммой сил P и P_B, получим:

$$P \cdot 2{,}6 = P \cdot 2{,}2 + P_B \cdot 2{,}2,$$

---

[1] При всех положениях секции, показанных на фиг. 118 и 119, предполагается, что секция удерживается от смещения вправо штифтами.

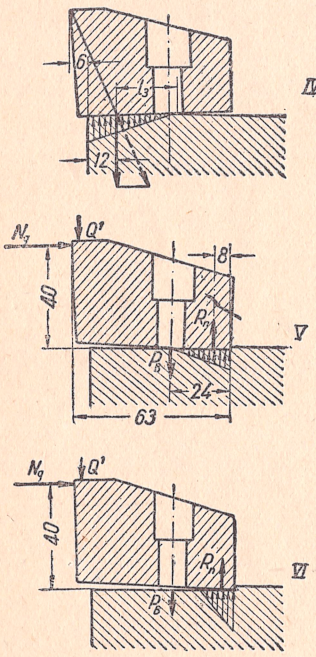
[2] Точнее — до наиболее удаленного от режущей кромки волокна винта. Для упрощения расчета этой неточностью пренебрегаем.

откуда усилие на винты для случая, предусмотренного фиг. 118, *II*

$$P_B = \frac{0{,}4 \cdot P}{2{,}2} = \frac{0{,}4 \cdot 20\,000}{2{,}2} \approx 3600 \text{ кг}.$$

После того как процесс резания закончится, в матрице застрянет одно изделие, торцы которого будут давить на стенки матрицы (фиг. 118, *III*). Приняв согласно графику $\eta = 1{,}2\%$ (фиг. 100), найдем силу, с которой будет давить торец застрявшего изделия на секцию:

$$N_q = P_l \frac{\eta}{\mu} = \frac{20\,000 \cdot 0{,}012}{0{,}2} = 1200 \text{ кг}.$$



Фиг. 119.

Усилие на винты определится из равенства моментов:

$$N_q \cdot 4 = P_B \cdot 1{,}6,$$

откуда усилие на винты для стадии покоя с одним застрявшим изделием

$$P_B = \frac{N_q \cdot 4}{1{,}6} = \frac{1200 \cdot 4}{1{,}6} = 3000 \text{ кг}.$$

Опуская промежуточные стадии вырезки с одним застрявшим в матрице изделием, переходим сразу к случаю, когда в матрице находится два изделия (фиг. 119, *IV*). В этом случае равнодействующая пройдет под углом к вертикали:

$$\alpha_1 = \operatorname{arc\,tg} \frac{N_q + N_N}{P},$$

или

$$\alpha_1 = \operatorname{arc\,tg} \frac{2 \cdot 1200 + 0{,}3 \cdot 20\,000}{20\,000} = \operatorname{arc\,tg}\, 0{,}42$$

и пересечет плоскость плиты на расстоянии от режущей кромки $42 \cdot 0{,}42 \approx 18$ *мм*.

Справа от точки приложения равнодействующей ширина сжимаемой площади

$$l_3 = 2\,(1{,}8 - 0{,}6) = 2{,}4 \text{ см}.$$

Так как опорная плоскость матрицы в точке прохождения оси винтов испытывает напряжения сжатия, т. е. прижимается к плите, то, следовательно, при штамповке с условиями, оговоренными для фиг. 119, *IV*, винты не будут испытывать никаких нагрузок.

Следующей стадией после окончания процесса резания явится проталкивание застрявших в матрице изделий (фиг. 119, *V*). При

двух постоянно находящихся в матрице изделиях в первоначальный момент будет совершаться проталкивание трех изделий (третье изделие входит в матрицу в процессе резания).

Распирающая секцию сила от давления торцов трех изделий

$$N_q = 3 \cdot 1200 = 3600 \text{ кг},$$

и сила проталкивания, приходящаяся на секцию,

$$Q' = N_q \mu = 3600 \cdot 0{,}2 = 720 \text{ кг}.$$

Усилие на винты найдем из суммы моментов, взятых относительно точки приложения силы R_n:

$$Q' \cdot 5{,}5 - N_q \cdot 4 + P_B \cdot 1{,}6 = 0$$

или

$$720 \cdot 5{,}5 - 3600 \cdot 4 + P_B \cdot 1{,}6 = 0,$$

откуда усилие на винты для случая, предусмотренного фиг. 119, *V*

$$P_B = \frac{3600 \cdot 4 - 720 \cdot 5{,}5}{1{,}6} \approx 6500 \text{ кг}.$$

Наконец, когда проталкивание закончится, в матрице вновь будут находиться два изделия. Распределение сил будет таким же, как и на фиг. 118, *III*. Распирающая секцию сила в этом случае

$$N_q = 2 \cdot 1200 = 2400 \text{ кг}.$$

Из равенства моментов

$$N_q \cdot 4 = P_B \cdot 1{,}6$$

найдем усилие на винты:

$$P_B = \frac{N_q \cdot 4}{1{,}6} = \frac{2400 \cdot 4}{1{,}6} = 6000 \text{ кг}.$$

За расчетное усилие для винтов принимаем наибольшее усилие — 6500 *кг*, имеющее место при проталкивании трех изделий[1] (фиг. 119, *V*). Приняв количество винтов — 3, получим нагрузку на один винт 2170 *кг*. Такую нагрузку согласно табл. 22 могут выдержать винты диаметром 16 *мм*.

Полученный результат останется приемлемым и в том случае, если по каким-либо причинам затяжка винтов прекратится (фиг. 119, *VI*). В последнем случае реакция плиты сместится вправо, и нагрузка на винты уменьшится на величину усилия затяжки.

---

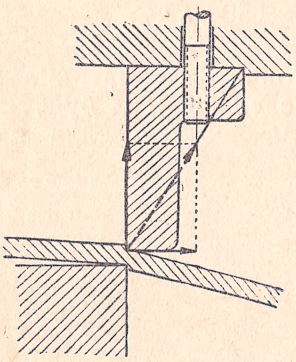
[1] В зависимости от величин и направлений действующих сил, а также и от положения оси винтов, максимальная нагрузка может иметь место и при какой-либо другой стадии штамповки. Для описываемой стадии (фиг. V) нагрузка на винты может быть уменьшена, если ось винтов сместить влево.

Пример 14. **Найти такое соотношение между высотой ножа и шириной его полки, чтобы при штамповке винты не воспринимали растягивающих усилий от действия распирающей силы.**

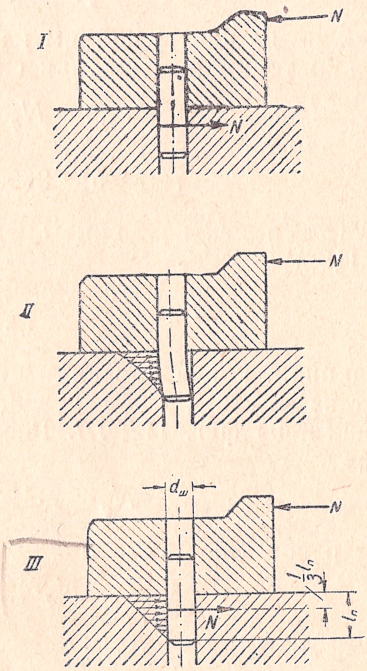
Как видно из фиг. 120, в процессе резания винты не будут воспринимать растягивающих усилий, если нож не будет испытывать стремления опрокинуться вправо. Рассматривая нож и плиту, как неупругие тела, не трудно сделать заключение, что опрокидывания не произойдет, если равнодействующая не выйдет за пределы полки.

Так как величина распирающей силы согласно § 1 главы *VIII* для подобных случаев составляет 40% усилия резания, то и искомая минимальная ширина полки ножа должна быть равна 40% его высоты.

Последнее решение было бы правильным, если бы нож и плита, на которую он опирается, были изготовлены из абсолютно неупругого материала. Для реальных же условий ширину полки следует взять вдвое большей, т. е. равной 0,8 высоты ножа, для того чтобы равнодействующая проходила по середине полки.



Фиг. 120.



Фиг. 121.

Пример 15. **Найти выражение для максимальной силы, которую могут выдержать штифты, предохраняющие секцию матрицы от смещения, а также и для длины запрессованной в плиту части штифтов при действии этой силы. Материал штифтов сталь — У7А; твердость штифтов $Rc=52\div56$. Материал плиты — чугун СЧ 18—36.**

Сидящий в секции матрицы штифт (фиг. 121) при некотором предельном значении силы N изогнется[1], как показано на фиг. 121, *II*.

[1] Вследствие того, что твердость штифтов намного выше твердости плиты, срез штифтов здесь не может иметь место. Поэтому проверку прочности штифтов на срез можно и не производить.

Допуская, что перепад напряжений будет происходить по закону прямой (фиг. 121, *III*), найдем выражение для силы N, производящей изгиб одного штифта,

$$N = \frac{[\sigma_ч]\, d_ш\, l_п}{2},$$

где $[\sigma_ч]$ — допускаемое напряжение для чугуна на сжатие;
$d_ш$ — диаметр штифта.

Изгибающий момент от действия силы N

$$M_и = N\frac{l_п}{3} = \frac{[\sigma_ч]}{6}\, d_ш\, l_п^2 .$$

Момент внешних сил должен уравновеситься моментом внутренних сил штифта. Поэтому

$$\frac{[\sigma_ч]}{6}\, d_ш\, l^2 = [\sigma_ш]\, W,$$

где $[\sigma_ш]$ — допускаемое напряжение на изгиб для штифта;
W — момент сопротивления штифта.

Подставляя в последнее равенство вместо W его значение, получим:

$$\frac{[\sigma_ч]}{6}\, d_ш\, l_п = [\sigma_ш] \cdot 0{,}1 d_ш^3,$$

откуда выражение для длины запрессованной части штифта

$$l \approx 0{,}77\, d_ш \sqrt{\frac{[\sigma_ш]}{[\sigma_ч]}}.$$

Приняв согласно табл. 20 допускаемое напряжение на изгиб для штифта равным 3600 *кг/см²* и допускаемое напряжение на сжатие для плиты равным 900 *кг/см²*, найдем длину запрессованной части штифта:

$$l \approx 0{,}77 d_ш \sqrt{\frac{3600}{900}} \approx 1{,}5 d_ш.$$

Таким образом, длину запрессованной части штифта нет необходимости делать больше, чем 1,5 его диаметра, а длину всего штифта — больше 3 диаметров, если, конечно, большая длина не вызвана условиями сборки штампа.

Максимальное усилие, которое способен выдержать один штифт

$$N = \frac{[\sigma_ч]}{2}\, d_ш l_П \approx 0{,}4\, [\sigma_ч]\, d_ш^2 \sqrt{\frac{[\sigma_ш]}{[\sigma_ч]}}$$

и, в частном случае, при чугунной плите

$$N = \frac{900}{2}\, d_ш \cdot 1{,}5 d_ш = 675 d_ш^2 \ кг,$$

где $d_ш$ — диаметр штифта в сантиметрах.

Пример 16. Найти максимальную толщину штампуемого материала, допустимую для секций, подобных показанной на фиг. 112. Секции удерживаются на чугунной плите двумя штифтами диаметром 16 *мм*; длина секций — 250 и 125 *мм*. Размеры изделия 700×700; материал сталь $\sigma = 40\ кг/мм^2$. После каждого хода пресса изделие выталкивается наружу.

Так как в момент удара пуансона о штампуемый металл в матрице нет ни одного изделия, то в процессе резания штифты будут испытывать нагрузку только от силы N_N. Противодействовать смещению матрицы помимо штифтов будет также сила трения между матрицей и плитой. Поэтому

$$2 \cdot 675 d_ш^2 = 3450 = N_N - N_1$$

или

$$2 \cdot 675 d_ш^2 = 0{,}3 P_l - \mu_1 P_l.$$

Подставляя вместо коэфициента трения μ_1 его значение 0,15, получим:

$$2 \cdot 675 d_ш^2 = 0{,}3 P_l - 0{,}15 P_l = 0{,}15 P_l.$$

Сила P_l в данном случае равна усилию резания, приходящемуся на секцию. Следовательно,

$$2 \cdot 675 d_ш^2 = 0{,}15 \cdot 1{,}25 \cdot 25 \cdot S \cdot 4000,$$

откуда наибольшая толщина штампуемого материала для секции длиной 250 *мм*

$$S = \frac{2 \cdot 675 \cdot 1{,}6^2}{0{,}15 \cdot 1{,}25 \cdot 25 \cdot 4000} \approx 0{,}18\ см \approx 1{,}8\ мм.$$

Проверяем теперь, какова будет нагрузка на штифты от действия силы N_q при выталкивании изделия из матрицы. Приняв согласно графику (фиг. 100) $\eta = 0{,}75\%$, по формуле (85) найдем

$$N_q = P_l \frac{\eta}{\mu} = 1{,}25 \cdot 25 \cdot 0{,}18 \cdot 4000 \cdot \frac{0{,}0075}{0{,}2} \approx 830\ кг,$$

что намного меньше, чем $2 \cdot 675 d_ш^2$. Следовательно, нагрузка на штифты при выталкивании будет меньше допускаемой.

Найдем теперь максимальную толщину штампуемого материала для секции длиной 125 *мм*. Так как

$$2 \cdot 675 d_ш^2 = 0{,}15 P_l,$$

то для прямой секции допускаемая нагрузка на штифты прямо пропорциональна ее длине, т. е. для второй секции, которая вдвое короче первой, максимальная толщина штампуемого материала при тех же размерах штифтов будет вдвое больше — 3,6 *мм*.

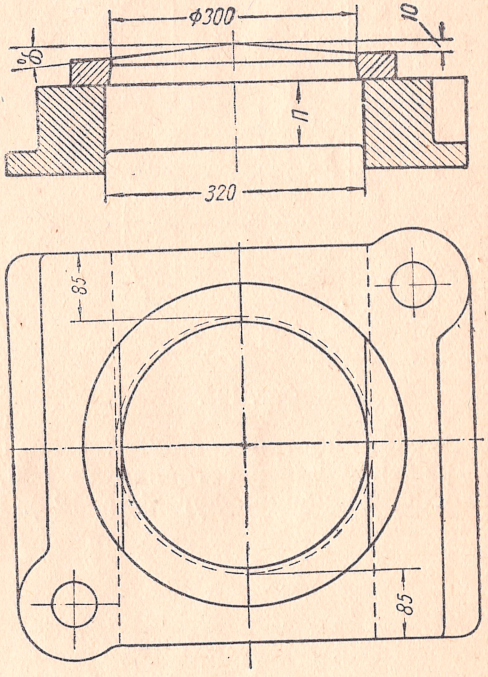
Проверяем для короткой секции нагрузку на штифты от действия силы N_q при материале толщиной 3,6 *мм*. Найдя из графика, что $\eta \approx 1{,}75\%$, получим:

$$N_q = 1{,}25 \cdot 12{,}5 \cdot 0{,}36 \cdot 4000 \frac{0{,}0175}{0{,}2} \approx 1970 \text{ кг}.$$

Как и для длинной секции, нагрузка ниже допускаемой. Поэтому найденный нами результат — 3,6 *мм* (при размерах изделия 700×700) не нуждается в поправках [1].

5. Примеры на расчет плит

Пример 17. **Найти толщину *П* находящейся навесу части плиты, несущей скошенную матрицу для вырезки диска. Материал диска — латунь толщиной 4 *мм*; $\sigma = 31$ *кг/мм*^{2}. Материал плиты — стальное литье. Размеры плиты и матрицы — по фиг. 122.**



Фиг. 122.

В процессе вырезки периметры резания в виде дуг окружности будут перемещаться вправо и влево от оси, проходящей через вершины скосов (фиг. 122). Вследствие этого величина изгибающего момента не будет одинаковой для всех положений пуансона. Для отыскания максимального изгибающего момента найдем предварительно усилия резания при четырех различных положениях пуансона. Дадим пуансону углубиться в металл на величину $a_I = h$ в начале резания, на величину $a_{IV} = H$—в конце, а также и на промежуточные величины $a_{II} = 5$ и $a_{III} = 7{,}5$ *мм*.

Мгновенные периметры резания найдем из формулы (54). Для произвольного положения пуансона a длина одной дуги резания

$$l_a = r\left(\arcsin\frac{a}{H} - \arcsin\frac{a-h}{H}\right).$$

---

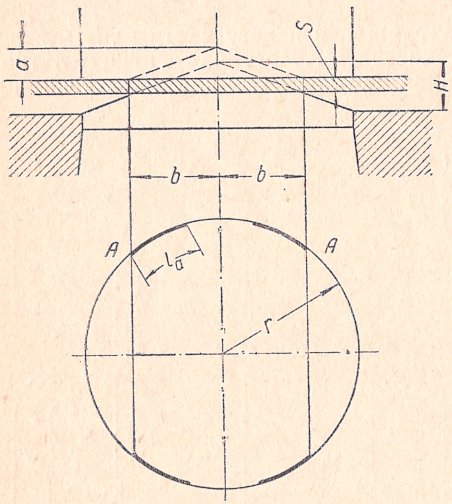
[1] В случаях, когда размеры изделий невелики, а также в случаях, когда в матрице застревает несколько изделий, максимальная нагрузка может получиться не от действия силы N_N, а от действия силы N_q или от совместного действия этих сил (см. пример 3).

Руководствуясь табл. 19, принимаем $h = 2{,}5$ *мм*; подставляя в последнюю формулу значения a_1 и h, будем иметь:

$$l_a = 150\left(\arcsin\frac{2{,}5}{10} - \arcsin\frac{2{,}5-2{,}5}{10}\right) = 38 \text{ мм}.$$

Аналогично найдем: $l_{II} = 40$ *мм*, $l_{III} = 52$ *мм* и $l_{IV} = 107$ *мм*.

Усилие резания для четырех выбранных положений пуансона получим, умножив периметры резания на толщину металла и на сопротивление резанию, а также и на поправочный коэфициент, предусмотренный для подобного рода скошенных матриц в формулах табл. 18. Следовательно:



Фиг. 123.

$$P = 1{,}2 \cdot 4\,(1 + 0{,}02\varphi_0) S \sigma l_a.$$

Так как

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg}\frac{10}{150} = 3{,}76°,$$

то для положения I усилие резания

$$P_I = 1{,}2 \cdot 4\,(1 + 0{,}02 \cdot 3{,}76)\,4 \cdot 31 \cdot 38 \approx 24\,500 \text{ кг}.$$

Таким же путем получим $P_{II} = 25\,800$ *кг*, $P_{III} = 33\,500$ *кг* и $P_{IV} = 69\,000$ *кг*

Точки приложения этих сил отыщем при помощи графических построений. Для этой цели предварительно найдем выражение для расстояния от оси, проходящей через вершины скосов, до концов дуг (фиг. 123). Из фиг. 123 имеем:

$$\frac{a}{b} = \frac{H}{r},$$

откуда

$$b = \frac{ar}{H}.$$

Для положения I:

$$b_I = \frac{2{,}5 \cdot 150}{10} = 37{,}5 \text{ мм}.$$

Для положений II, III и IV эта величина будет соответственно равна 75, 112 и 150 *мм*. Отложив теперь периметры резания по дуге окружности от точек A к оси, проходящей через вершины скосов, расположение дуг резания в различные моменты вырезки представим четырьмя фигурами, показанными на фиг. 124.

Для положения *I* точка приложения силы P_I будет находиться на самой оси. Для положений *II* и *III* точку приложения сил определяем измерением расстояния от этой оси до середины дуг; для положения *IV* — измерением расстояния до центров тяжести дуг. Как видно из фиг. 124, искомые расстояния будут — 0; 57; 94 и 138 *мм*.

Рассматривая плиту как балку, свободно лежащую на двух опорах, вычисляем для различных положений пуансона изгибающие моменты и строим их эпюры (фиг. 125). Изгибающий момент для положения *I*:

$$M_I = \frac{P_I}{2} \cdot 16 = \frac{24\,500}{2} \cdot 16 = 196\,000 \ кгсм.$$

Для положений *II*, *III*, *IV*:

$$M_{II} = \frac{P_{II}}{2} \cdot 10{,}3 = \frac{25\,800}{2} \cdot 10{,}3 \approx 132\,900 \ кгсм;$$

$$M_{III} = \frac{P_{III}}{2} \cdot 6{,}6 = \frac{33\,500}{2} \cdot 6{,}6 = 110\,500 \ кгсм;$$

$$M_{IV} = \frac{P_{IV}}{2} \cdot 2{,}2 = \frac{69\,000}{2} \cdot 2{,}2 = 75\,900 \ кгсм.$$

Таким образом, наибольший изгибающий момент будет при положении *I*, хотя усилие при этом положении наименьшее.

Допускаемое напряжение на изгиб для стального литья примем равным 1400 $кг/см^2$; возможность повышения напряжения вследствие внецентренного действия силы P_I (по отношению к опасным сечениям) учтем коэфициентом k, который мы рекомендуем принимать для подобных плит равным 1,2.

Тогда, считая, что в процессе вырезки все усилие резания воспринимается только одной плитой (без участия матрицы), найдем необходимый момент сопротивления:

$$W_n = \frac{M_I}{[\sigma_n]} k = \frac{196\,000}{1400} \cdot 1{,}2 = 168 \ см^3.$$

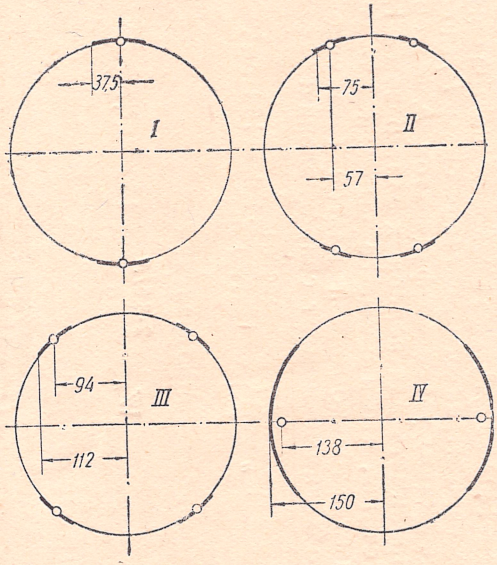
Так как момент сопротивления

$$W_n = \frac{2 \cdot 8{,}5П^2}{6} = 168 \ см^3,$$

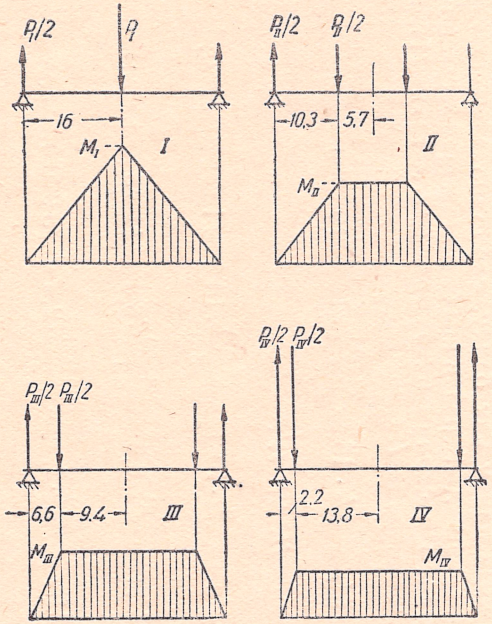
то искомая толщина плиты

$$П = \sqrt{\frac{168 \cdot 6}{2 \cdot 8{,}5}} = 7{,}7 \ см.$$

Пример 18. **Найти наименьшую толщину стальной плиты штампа для штамповки шайбы с размерами, показанными на фиг. 126; материал шайбы — сталь $\sigma = 27 \ кг/мм^2$, толщина 1 *мм*. Диаметр отверстия в столе — 350 *мм*; плита опирается по всему периметру.**



Фиг. 124.



Фиг. 125.

Рассматриваем плиту штампа, как тонкую плиту, свободно лежащую на опоре и нагруженную равномерно по периметру отверстия. Выражение для максимального напряжения в этом случае будет [30]:

$$\sigma_{max} = \frac{3P}{2\pi m \Pi^2}\left[\frac{2R^2(m+1)}{R^2-r^2}\ln\frac{R}{r}+(m-1)\right],$$

где P — полная нагрузка в *кг*;
m — величина, обратная коэфициенту Пуассона;
Π, R и r — размеры по фиг. 126.

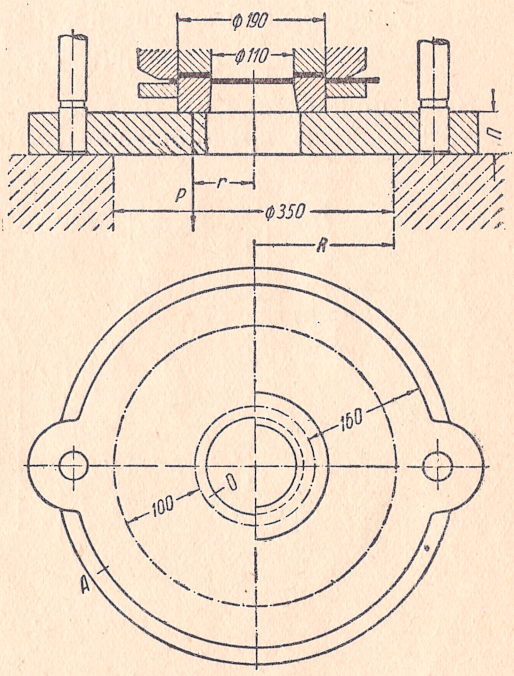
Так как для стали $m \approx 3$, то

$$\sigma_{max} = \frac{0{,}16P}{\Pi^2}\left[\frac{18{,}4R^2}{R^2-r^2}\lg\frac{R}{r}+2\right].$$

Усилие вырезки и пробивки будет:

$$P = 1{,}25\cdot\pi(190+110)\,1\cdot 27 \approx 33\,000 \text{ кг}.$$

Приняв по табл. 20 $\sigma_{max} = 1400$ *кг/см*^{2} и определив из фиг. 126, что $R = 17{,}5$ и $r = 7{,}5$ *см*, найдем толщину стальной[1] плиты штампа:



Фиг. 126.

$$\Pi = \sqrt{\frac{0{,}16\cdot 33\,000}{1400}\left[\frac{18{,}4\cdot 17{,}5^2}{17{,}5^2-7{,}5^2}\lg\frac{17{,}5}{7{,}5}+2\right]} = 6{,}2 \text{ см}.$$

Этот результат найден из условия, что в сечении AO плита имеет размер $R - r = 100$ *мм*. Поскольку в этом сечении плита имеет больший размер — 160 *мм*, то найденную толщину плиты допустимо уменьшить на 10 — 12%, т. е. до 55 *мм*.

Пример 19. **Определить, какие напряжения возникнут в чугунном кронштейне-плите при пробивке отверстия в стенке сепаратора роликоподшипника. Усилие пробивки 7000 *кг*. Оправка, посаженная в кронштейн, изготовлена из стали и термически обработана. Размеры кронштейна и оправки по фиг. 127.**

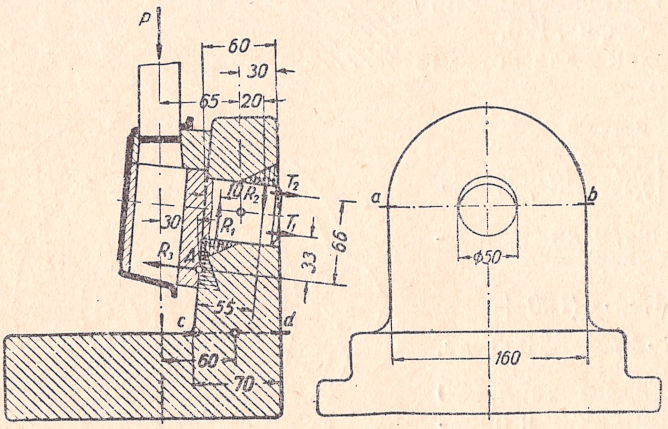
---

[1] Для чугунных плит штампов этот способ расчета неприменим. Для стальных плит штампов допустимо пользоваться результатами вычислений, если, $\Pi \leqslant 1{,}8 \div 2R$.

Очевидно, что наиболее опасными сечениями будут сечения *ab* или *cd*. Для определения напряжений в сечении *ab* определяем раньше действующие в этом сечении силы. При этом рассматриваем оправку, имеющую модуль упругости в 2 раза больше модуля упругости кронштейна, как неупругое тело, а кронштейн — как упругое. Прикладывая к оправке силу P, вызовем реакции кронштейна R_1, R_2 и R_3. Помимо этих реакций на оправку будут действовать еще силы трения T_1 и T_2, препятствующие ее повороту влево, причем

$$T_1 = R_1\mu_1; \quad T_2 = R_2\mu_1.$$

Точки приложения реакций R_1, R_2 и R_3 определяем по чертежу, исходя из предположения, что закон распределения на-



Фиг. 127.

пряжений будет линейный; при таком допущении эти точки будут находиться на линиях, проходящих через центры тяжести треугольников напряжений. Аналогично, по чертежу определяем и точки приложения сил T_1 и T_2, учитывая при этом, что искомые точки должны находиться на прямых, проходящих через центры тяжести контуров, на которых сосредоточены элементарные силы трения. Так как в данном случае элементарные силы трения сосредоточены по цилиндрической поверхности хвоста оправки, то расстояния от точек приложения сил T_1 и T_2 до оси хвоста должны равняться $\sim{}^2/_3$ радиуса хвоста.

Определив таким путем расстояния от точки приложения реакции R_3, т. е. от точки A, до линий действия сил, возьмем сумму моментов относительно этой точки:

$$P \cdot 3 + R_1 \cdot 1 - R_2 \cdot 5{,}5 - T_2 \cdot 6{,}6 - T_1 \cdot 3{,}3 = 0.$$

Так как

$$T_1 = R_1 \cdot 0{,}15 \text{ и } T_2 = R_2 \cdot 0{,}15,$$

то после замены сил T_1 и T_2 их значением

$$P \cdot 3 + R_1 \cdot 0{,}5 - R_2 \cdot 6{,}5 = 0.$$

Из суммы проекций всех сил на вертикальную ось получим [1]

$$R_1 = P + R_2$$

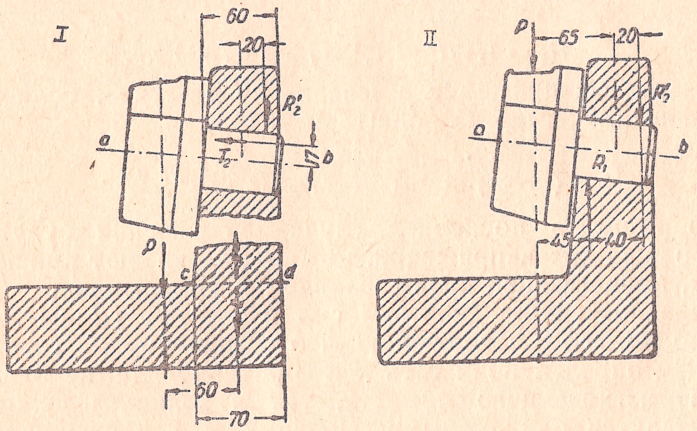
и после подстановки значения силы R_1 в предыдущее уравнение будем иметь:

$$P \cdot 3{,}5 - R_2 \cdot 6 = 0,$$

откуда

$$R_2 = 0{,}58P = 0{,}58 \cdot 7000 \approx 4000 \text{ кг}.$$

Как видно из фиг. 128, *I*, верхняя часть кронштейна будет испытывать изгиб от действия сил R_2' и T_2', численно равных



Фиг. 128.

силам R_2 и T_2, но направленных в противоположную сторону, а также и растяжение от силы R_2'. Изгибающий момент в сечении ab

$$M_u = R_2' \cdot 2 + T_2' \cdot 1{,}7,$$

или

$$M_u' = 4000 \cdot 2 + 4000 \cdot 0{,}15 \cdot 1{,}7 \approx 9000 \text{ кгсм}$$

и суммарное напряжение в сечении ab

$$\sigma_1 = \frac{9000 \cdot 6}{(16-5) \cdot 6^2} + \frac{4000}{(16-5) \cdot 6} = 196 \text{ кг/см}^2.$$

В сечении cd кронштейн будет испытывать изгиб от действия силы P и сжатие от действия этой же силы (фиг. 128, *I*). Изгибающий момент, создаваемый силой P,

$$M_u = P \cdot 6 = 7000 \cdot 6 = 42\,000 \text{ кгсм},$$

---

[1] По малости угла наклона оправки проекции сил R_1 и R_2 на вертикальную ось принимаем равными самим силам.

и суммарное напряжение в сечении cd

$$\sigma_2 = \frac{42\,000 \cdot 6}{16 \cdot 7^2} + \frac{7000}{16 \cdot 7} = 391 \ кг/см^2.$$

Следовательно, при таком распределении сил, которое имеет место на фиг. 127, наибольшие напряжения будут в сечении cd.

Определим теперь, каковы будут напряжения в этих же сечениях в случае, если по каким-либо причинам фланец оправки не будет прилегать к кронштейну (фиг. 128, *II*). Очевидно, что в этом случае реакция R_3 возникнуть не может; следовательно, не могут возникнуть и силы трения T_1 и T_2. Поэтому реакция R_2 должна возрасти.

Взяв сумму моментов относительно точки приложения силы R_1, получим:

$$P \cdot 4{,}5 = R_2 \cdot 4 = 0,$$

откуда

$$R_2 = 1{,}12P = 1{,}12 \cdot 7000 \approx 7800 \ кг.$$

Суммарное напряжение в сечении ab в случае, если фланец оправки не прилегает к кронштейну,

$$\sigma_3 = \frac{7800 \cdot 2 \cdot 6}{(16-5) \cdot 6^2} + \frac{7800}{(16-5) \cdot 6} = 354 \ кг/см^2.$$

Таким образом, в последнем случае напряжения будут почти вдвое больше тех напряжений, которые возникают при нагрузке оправки, прилегающей своим фланцем к кронштейну.

Анализируя схему действия сил в сечении cd (фиг. 128, *I*), нетрудно притти к заключению, что независимо от того, будет ли фланец оправки прилегать к кронштейну или не будет, как величина изгибающего момента, так и величина сжимающей силы останутся одинаковыми. Поэтому и напряжения в этом сечении останутся прежними.

Наконец, определим величину напряжений смятия под хвостом оправки. Максимальные напряжения смятия в случае, если фланец оправки прилегает к кронштейну

$$\sigma_{см} = \frac{2\,(7000 + 4000)}{5 \cdot 3} \approx 1500 \ кг/см^2$$

и если не прилегает

$$\sigma_{см} = \frac{2\,(7000 + 7800)}{5 \cdot 3} \approx 2000 \ кг/см^2,$$

что выше допускаемых напряжений. Возможно смятие кронштейна.[1]

[1] Следует иметь в виду, что вследствие упругих свойств оправки фланец последней может притти в соприкосновение с кронштейном раньше, чем наступит смятие. Однако, если в результате небрежной сборки штампа между фланцем оправки и кронштейном окажется значительный просвет, то не исключено смятие кронштейна.

Поэтому у подобных штампов целесообразно производить затяжку хвоста гайкой.

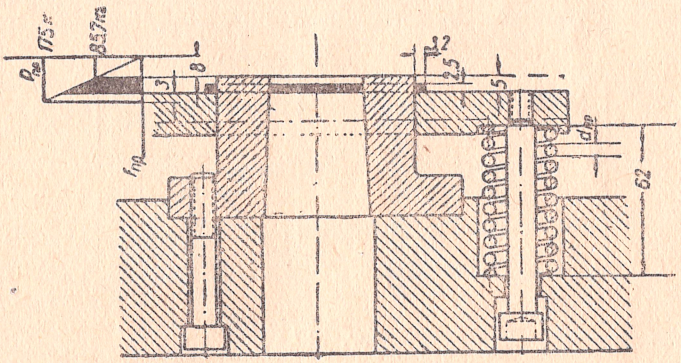
6. Пример на расчет пружины

Пример 20. Найти размеры пружин и количество последних для съемника совмещенного штампа, предназначенного для вырезки шайбы. Материал шайбы — сталь $\sigma = 35$ *кг/мм*². Размеры перемычек и наибольшая допускаемая высота пружин в сжатом состоянии — по фиг. 129.

Усилие снятия отходов найдем по формуле (86):

$$T = tS\sigma = 3{,}2 \cdot 2{,}5 \cdot 35 = 280 \text{ кг}.$$

Количество пружин принимаем обычным для подобных штампов, т. е. равным 4. Тогда усилие, приходящееся на каждую пружину $280 : 4 = 70$ *кг*. Очевидно, что усилие, которое пружина должна развить в результате ее предварительного сжа-



Фиг. 129

тия, должно быть больше 70 *кг*; если это усилие будет меньше 70 *кг*, то съемник не снимет отходов с пуансон-матрицы.

На основании последних соображений приходим к выводу, что и вычисляемое по общеизвестной формуле максимальное усилие пружины (см. табл. 21)

$$P_{пр} = \frac{\pi d_{пр}^3 [\tau_{кр}]}{8 D_{пр}}$$

должно быть больше 70 *кг*.

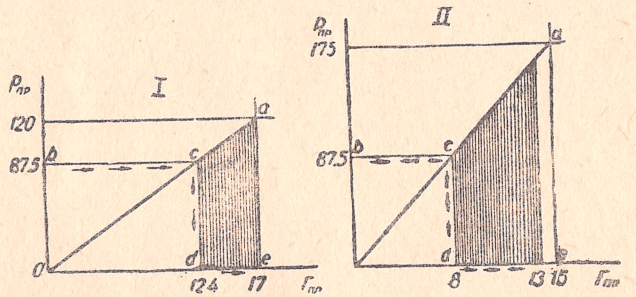
Приняв ход съемника с учетом возможных перешлифовок пуансон-матрицы равным 5 *мм* и предусмотрев некоторый „запас сжатия" 2 *мм* на случай неточной регулировки шатуна пресса, сжатие пружины после предварительной затяжки получим равным 7 *мм*. В связи с этим делаем еще один вывод — сумма полных прогибов всех витков пружины должна быть не менее 7 *мм*.

Так как высота пружины в сжатом состоянии лимитирована размерами деталей штампа и не может быть более 62 *мм*, то третий вывод, который надлежит сделать, — количество витков не может быть больше $62 : d_{пр}$. На самом деле количество работающих витков должно быть несколько меньше, вследствие

того, что крайние витки должны быть заправлены и между витками должны быть некоторые просветы.

При неизвестной величине предварительного сжатия условий, которые вытекают из сделанных нами выводов, недостаточно для точного решения задачи. Поэтому производим приближенное решение методом подбора, руководствуясь этими выводами.

Чтобы иметь гарантию от случайных застреваний на пуансон-матрице отхода, принимаем, что пружина при ее предварительном сжатии должна развить усилие на 25% больше, чем это необходимо для преодоления сил трения, т. е. $70 \cdot 1{,}25 = 87{,}5$ *кг*. По табл. 21 выбираем подходящих размеров пружину, которая способна развить усилие больше 87,5 *кг*. Останавливаемся на пружине с наружным диаметром 25 *мм* и диаметром прово-



Фиг. 130.

локи 5 *мм*. Такая пружина при полном ее сжатии развивает усилие 120 *кг*, а каждый виток ее при этом дает осадку 1,7 *мм*.

Количеством работающих витков $n_{пр}$ задаемся, имея в виду, что $n_{пр} \cdot d_{пр} < 62$. Принимаем $n_{пр} = 10$. Тогда полное сжатие всей пружины $1{,}7 \cdot 10 = 17$ *мм*.

Далее строим график работы пружины (фиг. 130, *I*). Проведя оси координат, откладываем в соответствующих масштабах по оси абсцисс полное сжатие пружины (точка *e*), а по оси ординат — максимальное усилие 120 *кг*. Из полученных точек перпендикулярно осям, на которых эти точки лежат, проводим линии до пересечения их в точке *a*. В точку *a* из начала координат проводим прямую. Эта прямая *Oa* и будет представлять зависимость усилия пружины от ее сжатия.

Затем откладываем на оси ординат усилие, развиваемое пружиной при ее предварительном сжатии (точка *b*). Из точки *b* проводим линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с наклонной прямой (точка *c*); из точки *c* проводим линию, параллельную оси ординат, до пересечения с осью абсцисс (точка *d*). Очевидно, что полученный отрезок *Od* представляет в выбранном масштабе величину предварительного сжатия. Эту величину определяем измерением масштабной линейкой или из пропорции:

$$\frac{120}{17} = \frac{87{,}5}{Od},$$

откуда

$$\underline{Od} = \frac{17 \cdot 87{,}5}{120} = 12{,}4 \text{ мм}.$$

Отрезок de представляет ту величину осадки, которую еще возможно получить после предварительного сжатия пружины

$$\underline{de} = 17 - 12{,}4 = 4{,}6 \text{ мм}.$$

Так как для работы штампа необходимо иметь большее сжатие — 7 *мм*, получить которое от выбранной пружины невозможно, то сделанный нами выбор следует признать неудачным.

Выбираем другую пружину с наружным диаметром 30 *мм* и толщиной проволоки 6 *мм*. Эта пружина при сжатии витка на 2 *мм* развивает усилие 175 *кг*. Количество работающих витков принимаем равным 8. Тогда полное сжатие всей пружины $2 \cdot 8 = 16$ *мм*.

Строим график (фиг. 130, *II*) так же, как это делали для первой пружины. Величина предварительного сжатия второй пружины

$$\underline{Od} = \frac{16 \cdot 87{,}5}{175} = 8 \text{ мм}$$

возможная осадка после предварительного сжатия

$$\underline{de} = 16 - 8 = 8 \text{ мм},$$

что на 1 *мм* больше, чем требуется.

Поскольку в данном случае получается увеличение запаса сжатия до 3 *мм*, т. е. достигается более благоприятное условие для работы пружины, то выбор двух ее наиболее важных размеров — наружного диаметра и диаметра проволоки — считаем законченным.

Определяем теперь остальные размеры пружины. Высоту пружины в свободном состоянии найдем из фиг. 129, в левой части которой построен тот же график, что и на фиг. 130, *II*. Эта высота

$$H_{пр} = 62 + 5 + 8 = 75 \text{ мм}.$$

Приняв количество неработающих витков равным 1, определяем шаг пружины в свободном состоянии:

$$t_{пр} = \frac{H_{пр} - d_{пр}}{n_{пр}} = \frac{75 - 6}{8} = 8{,}62 \text{ мм}.$$

Сжатие одного витка при опускании съемника на 7 *мм*, т. е. при сжатии пружины 15 *мм*

$$f_{пр} = \frac{2 \cdot 15}{16} = 1{,}87 \text{ мм}$$

и просвет между витками при этом же положении съемника

$$t_{пр} - d_{пр} - f_{пр} = 8{,}62 - 6 - 1{,}87 = 0{,}75 \text{ мм}.$$

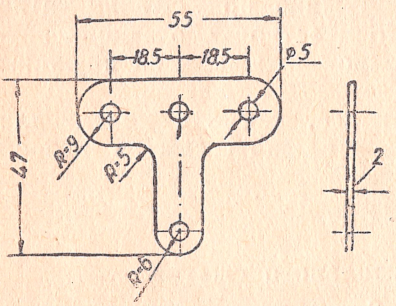
X. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОБИВНЫХ И ВЫРЕЗНЫХ ШТАМПОВ

(Правила, указания и вспомогательные данные для проектирования штампов)

1. Соображения о выборе типа и конструкции штампа [1]

При выборе типов и конструкций штампов необходимо стремиться к достижению наименьшей стоимости штампованного изделия при одновременном удволетворении всех предъявляемых к нему требований.

Снижения стоимости изделия далеко не всегда можно достигнуть, применяя наиболее производительные штампы; при небольших выпусках изделий стоимость каждого из них в первую очередь будет зависеть от стоимости примененных штампов, а не от производительности последних. При весьма малых выпусках, измеряемых сотнями штук изделий (а иногда и тысячами), штамповка может быть целесообразна лишь при условии применения универсальных штампов (например, пробивных с перестанавливаемыми пуансонами, вырезных — резиновых и др.) или дешевых специальных („вафельных", упрощенных, пластинчатых).



Фиг. 131.

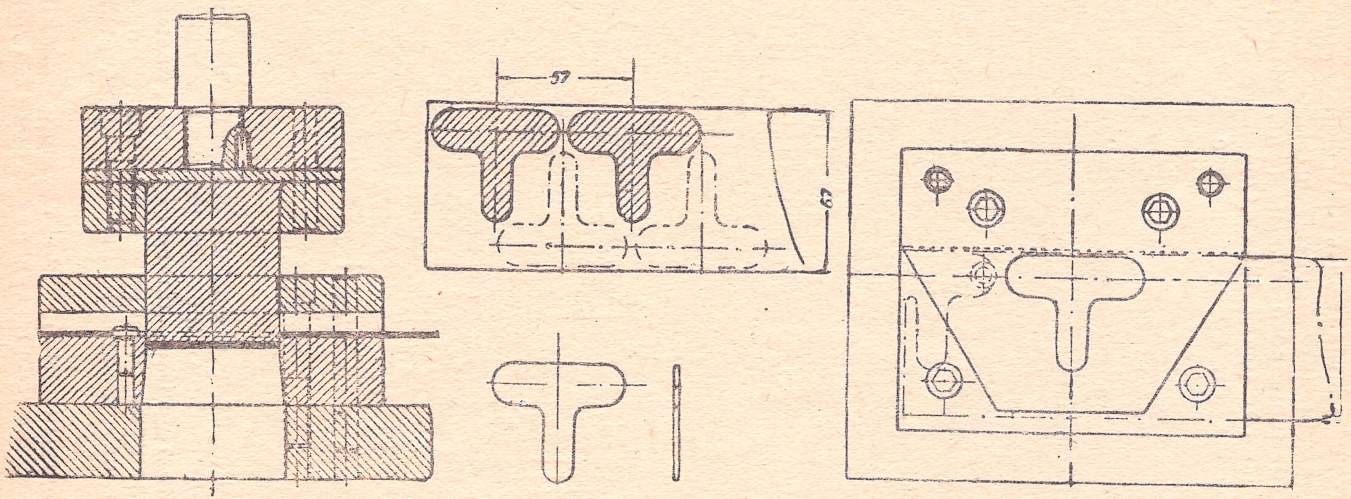
Для выпусков, измеряемых тысячами или десятками тысяч, применение штамповки, как правило, обеспечивает получение стоимости изделия более низкой, чем стоимость при ручном (слесарном или другом) его изготовлении даже и в тех случаях, когда выбранная из ряда возможных вариантов конструкция штампа не является самой рациональной. Последнее обстоятельство, однако, вовсе не умаляет значимости правильного выбора типов и конструкций штампов.

Трудность правильного выбора вытекает из необходимости учета большого числа различных факторов, которые могут оказывать на конструкцию существенное влияние. Главные из этих факторов следующие: конфигурация изделия, его точность и габариты, форма исходного материала (лист, лента, отходы), характер располагаемого оборудования, оснащенность инструментального цеха и, как уже указывалось, количество производимых изделий.

Влияние последнего фактора в большинстве случаев является решающим. Это легко видеть из приводимого ниже примера сопоставления стоимости одного и того же изделия (фиг. 131),

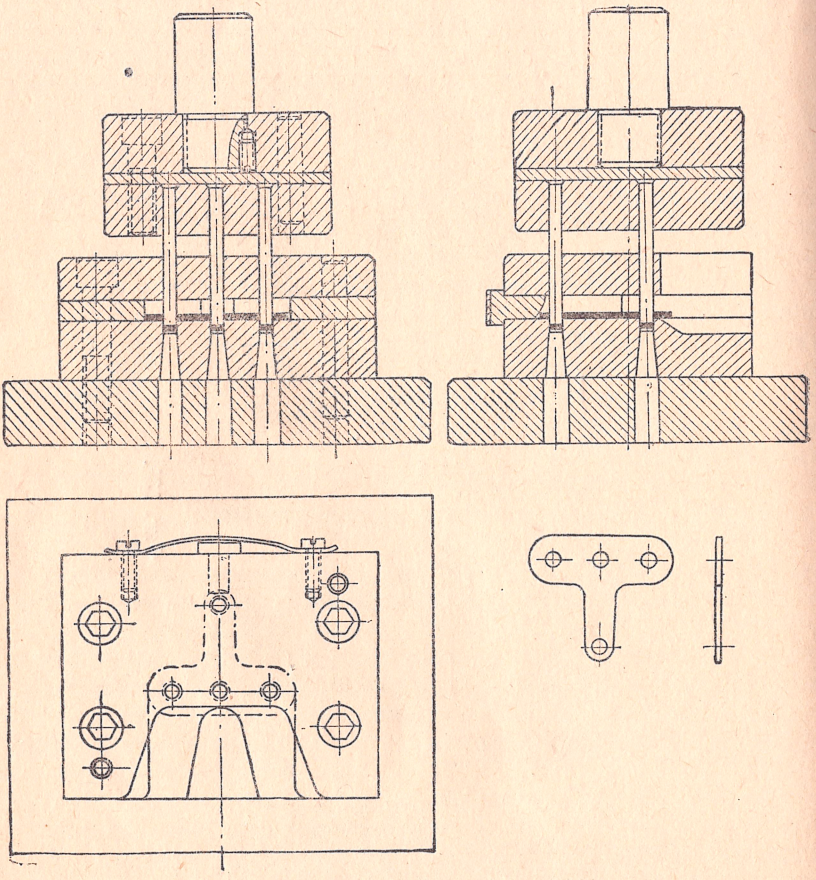
---

[1] Приводятся соображения о выборе конструкций штампов под углом зрения экономической целесообразности их применения. Подробно о самих конструкциях — см. „Альбом штампов холодной штамповки" [31].



Фиг. 132.

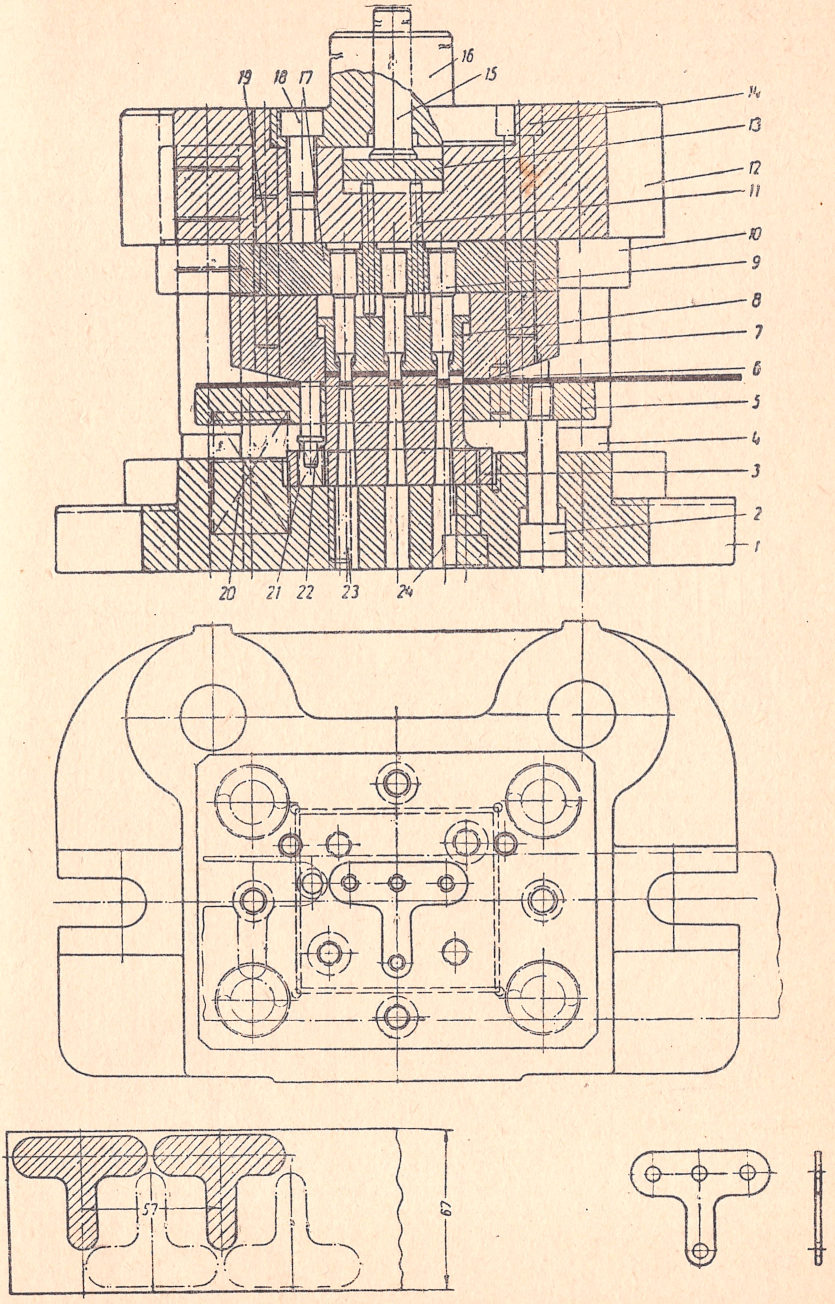
изготовляемого при помощи различных штампов. Показанное на фиг. 131 изделие—деталь электрического прибора можно изготовить при помощи двух простых штампов (фиг. 132 и 133) или при помощи совмещенного штампа (фиг. 134), или последовательного двурядного (фиг. 135). Очевидно, что наиболее производительный штамп, но и наиболее дорогой, — последо-



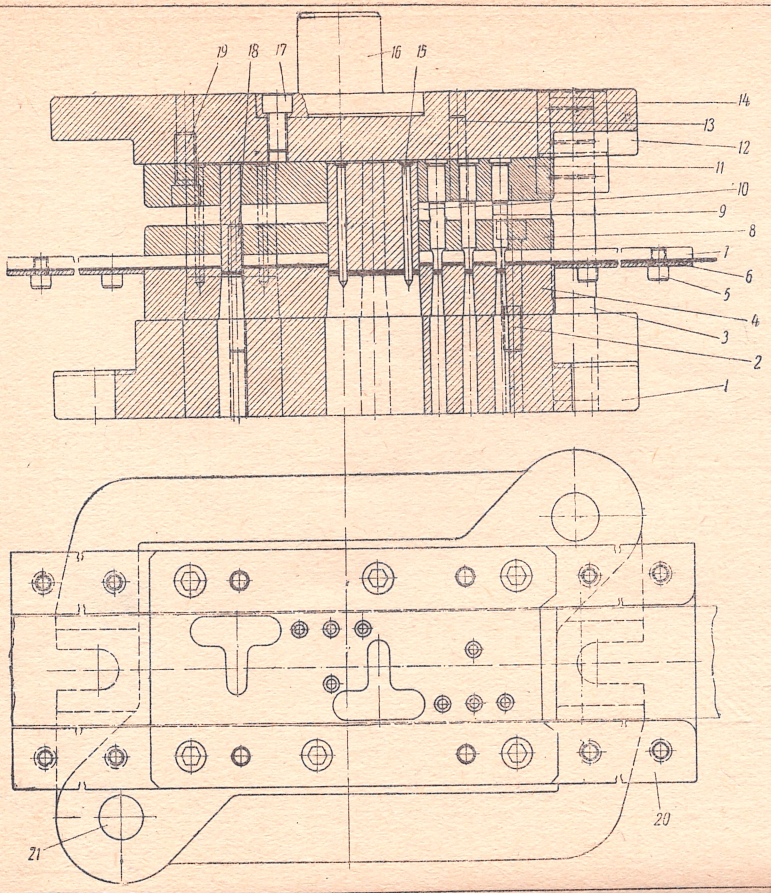
Фиг. 133.

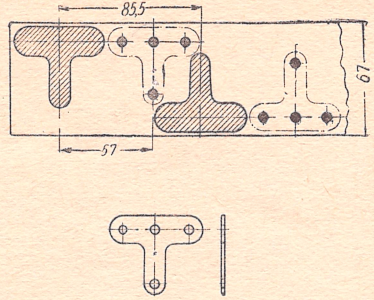
вательный двурядный целесообразно применить при большом выпуске, совмещенный—при среднем выпуске и два простых — при малом. Однако термины „большой“ или „малый“ выпуски часто являются слишком общими и не всегда можно сделать правильный выбор конструкций, руководствуясь этими определениями.

Наиболее правильный выбор конструкций штампов может быть сделан лишь путем сопоставления кривых стоимости изделия.

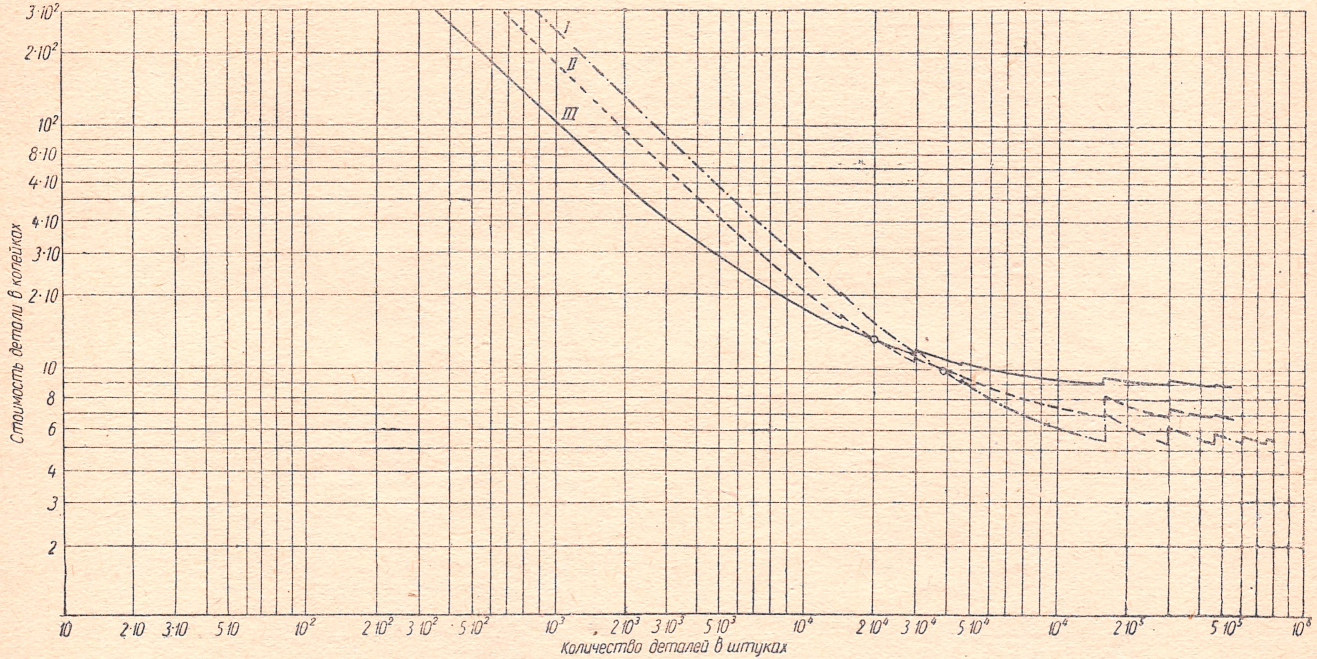


Фиг. 134.

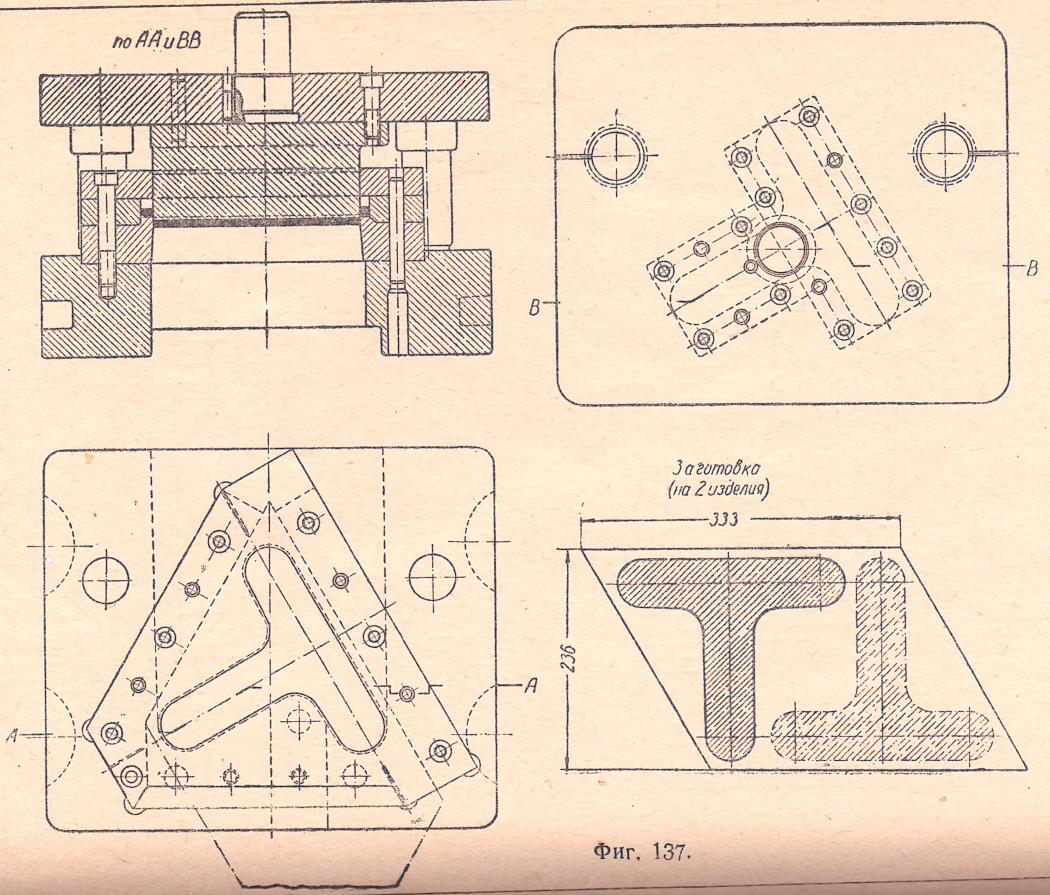




Фиг. 135


3·10²
2·10²
10²
8·10
4·10
4·10
3·10
2·10
10
8
6
4
3
2
I
II
III
Стоимость детали в копейках
10
2·10
3·10
5·10
10²
2·10²
3·10²
5·10²
10³
2·10³
3·10³
5·10³
10⁴
2·10⁴
3·10⁴
5·10⁴
10⁵
2·10⁵
5·10⁵
10⁶
Количество деталей в штуках

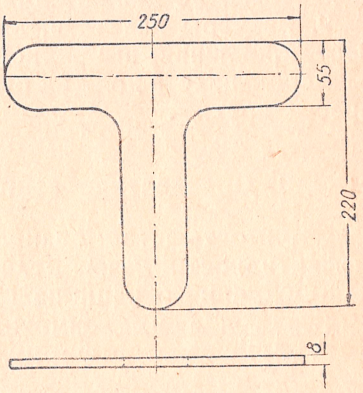
Фиг. 136.



Фиг. 137.

Для построения этих кривых необходимо предварительно составить технологические маршруты с указанием количества рабочих, норм выработки, стоимостей штампов и количества наладок, а затем уже, задаваясь выпуском, вычислить стоимость изделия при заданном выпуске. Построив кривые стоимостей, не трудно будет найти границы экономически целесообразного применения того или иного варианта.

График, построенный применительно к нашему примеру и отображающий для каждого из трех вариантов изготовления изменение стоимости изделия в зависимости от выпуска (логарифмическая шкала), показан на фиг. 136. Как видно из графика, штамповка двумя простыми штампами (кривая III) является наиболее рациональной лишь при выпуске до 20 000. При выпуске от 20 000 до 40 000 наименьшая стоимость обеспечивается совмещенным штампом (кривая *II*), а при выпуске больше 40 000 — двухрядным последовательным (кривая I).



Фиг. 138.

Пример, иллюстрирующий влияние габаритов изделия на конструкцию штампа, можно получить путем сравнения предыдущих конструкций с конструкцией, показанной на фиг. 137. Получаемое при помощи последнего штампа изделие—деталь сельскохозяйственной машины (фиг. 138) имеет форму, сходную с формой приводимого ранее изделия. Все же, несмотря на сходство форм изделий, конструкция последнего штампа существенно отличается от предыдущих конструкций.

Сравнительно большая толщина и большие габариты детали сельскохозяйственной машины вызвали необходимость подогрева штампуемого металла для уменьшения усилия вырезки и, как следствие, необходимость производить штамповку из отдельных заготовок. Кроме того, из-за больших габаритов изделия матрицу пришлось выполнить секционной, в нижней плите сделать „выгреб“ и предусмотреть ряд других, специфичных для такого штампа конструктивных элементов.

2. Общие правила проектирования штампов

Конечной целью проектирования штампа является получение изделий, которые при наименьшей их стоимости удовлетворяли бы всем предъявляемым к ним требованиям. При достижении этой цели необходимо не упускать из вида следующее:

1. Точность размеров изделий, получаемых при помощи штампа, должна быть в пределах заданных допусков.

2. Сложность и стоимость конструкции должны находиться в соответствии с количеством производимых изделий.

3. Для конструкции штампа должны быть наиболее широко применены стандартные и нормализованные детали; количество специальных деталей должно быть минимальным.

4. Режущие элементы должны быть расположены так, чтобы равнодействующая всех усилий, возникающих при штамповке, проходила по возможности через ось ползуна или вблизи этой оси.

5. Отходы по возможности должны быть минимальными.

6. Штамп должен быть безопасным в работе.

7. Штамп должен быть удобным в эксплоатации, а вес его должен быть минимальным (не в ущерб прочности).

8. Сборка и разборка штампа при ремонте и смена отдельных частей не должны быть затруднительными.

9. Размеры пакета штампа должны быть увязаны с размерами мест крепления выбранного или заданного пресса. При увязке размеров пакета должна быть учтена возможность замены одного пресса другим.

3. Определение стоимости штампованного изделия

Стоимость штампованного изделия, определяемая для оценки эффективности разработанных технологических процессов или для суждения о рациональности конструкций штампов, выбранных из ряда их возможных вариантов, приближенно может быть вычислена по формуле:

$$C = C_{мат} + C_{раб} + C_{нак} + \frac{C_{шт}}{n_{изд}},$$

где $C_{мат}$ — стоимость материала, расходуемого на одно изделие, за вычетом стоимости отходов;

$C_{раб}$ — производственная заработная плата на штамповку одного изделия;

$C_{нак}$ — накладные расходы на сумму заработной платы;

$C_{шт}$ — полная стоимость штампов;

$n_{изд}$ — количество изделий, подлежащих изготовлению запроектированными штампами.

Определение первых трех слагаемых не требует пояснений. Для определения четвертого слагаемого — стоимости штампов, необходимо найти раньше число потребных комплектов штампов, что можно сделать лишь определив $n_{изд}$.

При разовом заказе $n_{изд}$ и является тем количеством изделий, которое предусмотрено заказом. Следовательно, разделив $n_{изд}$ на стойкость штампов, т. е. на то число изделий, которое возможно получить каждым из запроектированных штампов до полного его износа, и найдем число потребных комплектов штампов для той или иной операции. Сложив затем стоимость всех комплектов штампов для всех операций, получим искомую стоимость $C_{шт}$.

Для вырезных, последовательных и других штампов, не имеющих ослабленных режущих кромок или тонких пуансонов, при производственных расчетах можно принимать следующие стойкости (в тысячах штук для изделий из мягкой стали): при толщине штампуемого материала до 2 *мм* — 150—200; при толщине 3—5 *мм* — 100—120 и при толщине 6—12 *мм* — 70—80. Стойкость пуансонов, диаметр которых близок по своему значению к толщине материала, 2—5.

Если производство имеет стабильный характер и если годовой выпуск выше, чем стойкость штампов, то приведенный способ определения числа комплектов штампов остается в силе, причем в данном случае за $n_{изд}$ следует принимать стойкость штампов. Если же годовой выпуск во много раз ниже стойкости штампов, то за величину $n_{изд}$ следует взять то количество изделий, которое надлежит изготовить проектируемыми штампами в ближайший период времени, но не больше, чем за три года (брать больший срок аммортизации штампов допустимо лишь в тех случаях, когда есть уверенность, что штампуемое изделие не подвергнется модернизации и не будет снято с производства).

При мелкосерийном производстве, в особенности, когда величина партии мала, время на установку штампов может оказаться весьма значительным по сравнению со временем на штамповку и даже превышать время на штамповку; последнее обстоятельство должно быть принято во внимание при вычислении стоимости изделия.

При вычислении сравнительных стоимостей изделий нормы времени на штамповку изделий и на установку штампов можно брать из табл. 32 и 33.

4. Определение координат точки приложения равнодействующей сил резания

Аналитический метод

Общие выражения для координат точки приложения равнодействующей будут:

$$X_c = \frac{\Sigma L_p x_p}{\Sigma L_p} \text{ и } Y = \frac{\Sigma L_p y_p}{\Sigma L_p},$$

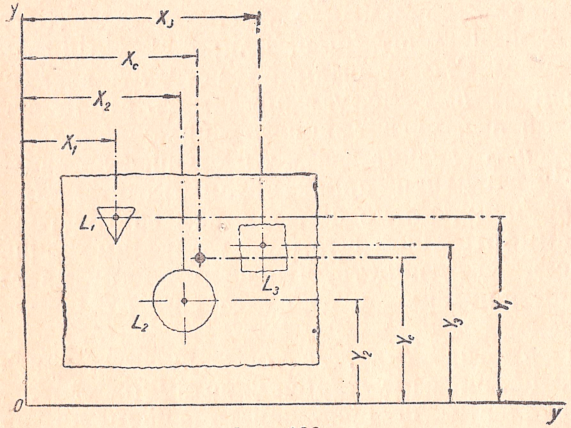
где $\Sigma L_p x_p$, $\Sigma L_p y_p$ — сумма произведений периметров режущих контуров, положение центров тяжести которых известно, на соответствующие координаты центров тяжести линий [1];

[1] При определении координат равнодействующей иногда вместо центра тяжести линии ошибочно берут центр тяжести площади. Подобная ошибка встречается, например, у Э. Качмарека [37].

x_p, y_p — координаты центров тяжести отдельных периметров или участков режущих контуров;

$\sum L_p$ — сумма всех периметров резания.

При определении координат равнодействующей по вышеуказанным формулам рекомендуется придерживаться порядка, приводимого ниже для конкретного случая (фиг. 139). Порядок этот следующий:



Фиг. 139.

1. Вычерчивается эскиз матрицы с размерами между центрами тяжести элементов режущего контура.

2. Приводятся на произвольном расстоянии от матрицы оси координат x и y и определяются по эскизу координаты x_1, x_2, x_3 и y_1, y_2, y_3.

3. Вычисляются периметры резания каждого элемента L_1, L_2, L_3.

4. Определяются координаты равнодействующей по формулам:

$$X_c = \frac{L_1x_1 + L_2x_2 + L_3x_3}{L_1 + L_2 + L_3}; \quad Y_c = \frac{L_1y_1 + L_2y_2 + L_3y_3}{L_1 + L_2 + L_3}.$$

Графический метод

Для определения координат равнодействующей графическим методом рекомендуется следующий порядок построений:

1. Вычерчивается в масштабе матрица (фиг. 140).

2. Из центров тяжести отдельных режущих контуров проводятся вертикальные линии *1*, *2*, *3*.

3. Вычисляются периметры отдельных режущих контуров L_1, L_2, L_3 и откладываются в каком-либо масштабе на вертикали из произвольной точки.

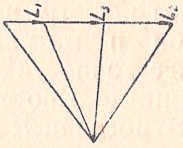
4. Из произвольной точки O — полюса проводятся прямые к концам отрезков L_1, L_2, L_3. Эти прямые нумеруются так: линия, разделяющая отрезок L_1 от отрезка L_2 — *1—2*; линия между отрезками L_2 и L_3 — *2—3*. Крайние наклонные прямые получают номера первого и последнего отрезков (аналогично поступают и в случае, если матрица имеет не три, как в нашем примере, а больше режущих контуров).

5. Из произвольной точки B, лежащей на вертикальной прямой *1*, проводится параллельно линии *1—2* прямая до точки

пересечения ее с вертикалью *2*. Из точки пересечения линий *1—2* и *2* проводится прямая, параллельная линии *2—3*, до пересечения с линией *3* — точка *C*.

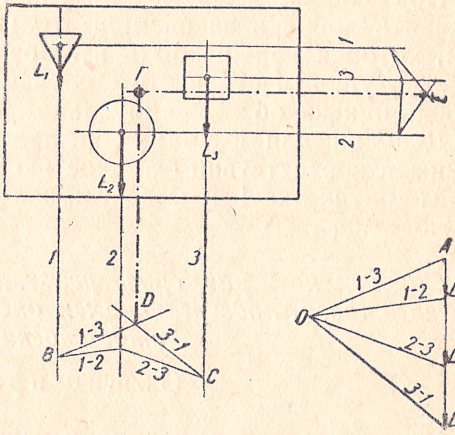
6. Из точки *B* проводится прямая, параллельная линии *1—3*, а из точки *C* — параллельная *3—1* до пересечения в точке *D*. Из последней точки проводится снизу вверх вертикаль, на которой и лежит центр тяжести всех режущих контуров.

7. Векторы L_1, L_2 и L_3 повертываются на 90° и производится построение, аналогичное только что полученному. Из точки *E* проводится линия, перпендикулярная линии, проведенной ранее из точки *D*. На пересечении последних двух линий (точка *F*) и будет находиться центр тяжести всех режущих контуров.



5. Определение номинальных размеров и допусков для режущих частей пуансонов и матриц

А. Определение размеров круглых режущих частей при вырезке и пробивке



Фиг. 140.

За номинальные размеры матриц и пуансонов при вырезке можно принимать размеры, полученные по формулам[1]:

$$D_{мн} = D_{мн} \quad \text{и}$$
$$d_{пн} = D_{\min} - \xi,$$

где $D_{мн}$ — номинальный размер матрицы;
$D_{\min}$ — наименьший размер вырезаемого изделия;
$d_{пн}$ — номинальный размер пуансона;
ξ — зазор,
и при пробивке

$$D_{мн} = D_{\max} + \xi \quad \text{и} \quad d_{пн} = D_{\max},$$

где $D_{\max}$ — наибольший размер пробиваемого отверстия.

Для круглых пуансонов и матриц допуски на номинальные размеры в зависимости от точности изделий и методов изгото-

[1] Подобные выражения для номинальных размеров режущих частей приведены В. Т. Мещериным [33]. Им же приводятся опытные данные об отклонении размеров при вырезке [34].

вления режущих частей могут быть проставлены по системе отверстия[1] по 2-му, 3-му или 4-му классу точности. Для номинального размера матрицы отклонение может быть A, A_3 или A_4, и для пуансона — C, C_3 или C_4.

Во избежание чрезмерного увеличения зазора вследствие возможных отклонений размеров режущих частей диаметры последних не должны превышать значений, указанных в табл. 27.

Пуансоны и матрицы, диаметры которых больше приводимых в последней графе (4-й класс точности), должны быть изготовлены по 2-му или по 3-му классу точности. Если диаметры пуансонов и матриц больше приводимых в первой графе (2-й класс точности), то при указанной толщине материала изготовление должно производиться путем индивидуальной пригонки. В последнем случае на чертеже должна быть сделана соответствующая пометка.

При сложной форме режущих частей целесообразно проставлять допуски на размеры только одной части, а именно на той, которая должна быть изготовлена первой; на чертеже второй режущей части в этом случае должна быть соответствующая приписка об индивидуальной пригонке.

Допуски для фасонных режущих частей должны быть выбраны в соответствии с точностью изделия. Практически выполнимы допуски по 4-му классу и, как исключение, — по 3-му классу точности.

Б. Определение размеров режущих частей для штамповки заготовок, подвергающихся операциям гибки, вытяжки, отбортовки и пр.

Общие правила

При определении размеров режущих частей для штамповки деталей, являющихся заготовками при последующих операциях гибки, или вытяжки, или отбортовки, необходимо учитывать, что:

1) при гибке нейтральная линия не всегда проходит по середине толщины материала; при отношении радиуса закругления гибочного пуансона к толщине материала меньше 5 нейтральная линия проходит ближе к внутренней поверхности закругления детали;

2) при вытяжке цилиндрических деталей, высота которых больше 10—15% их диаметра, стенки деталей получаются неровными, с наплывами металла; для возможности получения

---

[1] Существующую систему допусков впервые применили для размеров режущих частей Н. Н. Личадеев и А. К. Коровин [40]. Метод использования системы допусков, разработанной этими авторами, отличается от описываемого [15].

ровных и точных по размерам торцов стенок следует предусматривать соответствующий припуск на обрезку;

3) при вытяжке прямоугольных пустотелых деталей, высота которых больше 3—4 радиусов закруглений в углах, неизбежны наплывы металла по углам; как и в предыдущем случае, нужно предусматривать припуск на обрезку; при построении угловых частей контуров заготовок для подобных деталей следует придерживаться правила: площади, убавляемые от отгибаемых элементов, равны площадям, прибавляемым к вытягиваемому элементу [36];

4) при отбортовке процесс деформации металла коренным образом отличается от процесса деформации при вытяжке; диаметр предварительно пробиваемого отверстия здесь следует определять исходя не из условий вытяжки, а из условий гибки [37];

5) при неглубокой формовке, мелкой фасонной вытяжке и пр. теоретические методы определения размеров заготовки не могут обеспечить требуемой точности; в таких случаях нередко бывает целесообразно применить заготовку в виде прямоугольника или квадрата, отрезанную от листа на ножницах, с применением в дальнейшем (после формообразования) операции обрезки.

6. Оформление чертежей штампов

Оформление чертежей штампов должно производиться по соответствующим стандартам ГОСТ, за исключением оформления ряда специфичных условностей чертежей штампов, не предусмотренного этими стандартами и выполняемого согласно приводимым ниже указаниям.

Для общего вида, в качестве основного, рекомендуется формат а1; однако допустимы форматы а0, а2 и др. Детали штампов вычерчиваются на листах формата а1, с обеспечением возможности разрезания этих листов на меньшие форматы.

Штамп средней сложности должен вычерчиваться в трех проекциях: главный вид, вид сверху и вид снизу. За главный вид принимается вид на ту сторону штампа, которая обращена к обслуживающему штамп рабочему; за вид сверху — вид только на нижнюю часть штампа, а за вид снизу — только на верхнюю.

В зависимости от сложности штампа количество проекций или разрезов может быть увеличено или уменьшено с тем, однако, условием, чтобы была обеспечена ясность принципа работы штампа и назначения его отдельных частей.

На одной из проекций штампа показывается получаемое в штампе изделие, а на другой — полоса или заготовка для последнего. Для вырезных и дыропробивных штампов, главный вид которых дан в разрезе, показываются разрезанными также и застрявшее в матрице изделие, отходы и лежащая на матрице

полоса, лента или заготовка. Попавшие в разрез изделия, полоса и отходы заливаются тушью. При малой толщине штампуемого металла допустимо отступление от масштаба в сторону увеличения толщины, чтобы последняя не сливалась с контурными линиями штампа.

В плане (вид сверху) заготовки, изделия или полоса показываются штрихпунктиром.

Независимо от изделия, показываемого без размеров на различных проекциях штампа, на свободном месте чертежа (желательно в правом верхнем углу) вычерчивается получаемое в штампе изделие. Последнее должно иметь все размеры и допуски, необходимые для его приемки после штамповки показанным на этом же чертеже штампом. Кроме этого, для вырезных и совмещенных штампов вычерчивается исходный материал (полоса, лента, лист) со всеми необходимыми размерами (ширина, толщина, шаг). Для последовательных штампов показывается еще и очередность работы пуансонов путем соответствующей штриховки отверстий в полосе или ленте.

Рядом с чертежом изделия делаются надписи о потребном усилии для штамповки.

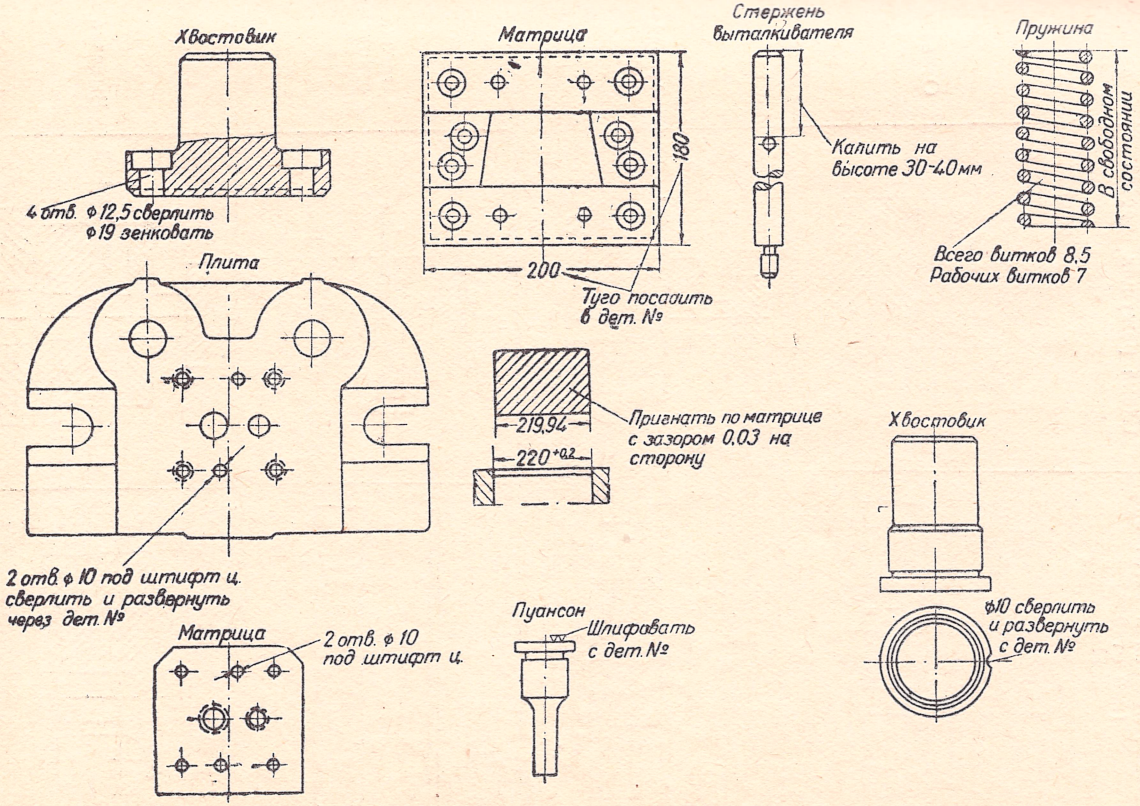
При повторных операциях, например, при многократной пробивке, изделие вычерчивается, как и в предыдущем случае. Если почему-либо показать заготовку на какой-либо проекции неудобно, то заготовка должна быть показана штрихпунктиром на чертеже изделия. При сложных изделиях, чертеж которых может сделаться менее ясным от такого рода дополнений, желательно иметь чертеж заготовки отдельно, рядом с чертежом изделия.

В тех случаях, когда получаемая в вырезном или пробивном штампе деталь подвергается в дальнейшем операциям вытяжки или гибки и когда те или иные размеры этой детали следует уточнить или установить опытным путем, на ее чертеже к таким размерам должна быть сделана приписка: „Проверить опытным путем".

На свободном месте чертежа (желательно рядом со спецификацией) вычерчивается постоянных размеров табличка, содержащая будущее клеймо штампа. В это клеймо необходимо включить: номер изделия, номер чертежа штампа, номер пресса, ход пресса (в случае, если ход переменный) и номер настольной плиты.

Если работа на каком-либо штампе требует специальных инструментов или приспособлений, то необходимо на видном месте сделать соответствующую надпись, например: „Работать с пинцетом" или „Работать с пусковым устройством, требующим занятия обеих рук" и т. п.

Надписи на детальных чертежах, касающиеся обработки, закалки и сборки деталей штампов, делаются в соответствии с приводимыми ниже примерами (фиг. 141).


Хвостовик
4 отв. ф 12,5 сверлить
ф 19 зенковать
Матрица
180
200
Тугo посадить
в дет. №
Стержень
выталкивателя
Калить на
высоте 30-40мм
Пружина
В свободном
состоянии
Всего витков 8,5
Рабочих витков 7
Плита
2 отв. ф 10 под штифт ц.
сверлить и развернуть
через дет. №
219,94
220 +0,2
Пригнать по матрице
с зазором 0,03 на
сторону
Хвостовик
ф10 сверлить
и развернуть
с дет. №
Матрица
2 отв. ф 10
под штифт ц.
Пуансон
Шлифовать
с дет. №

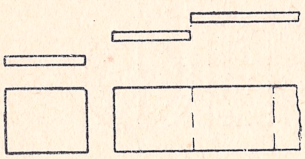
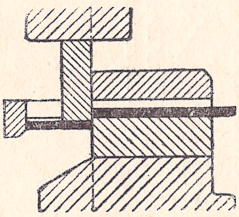
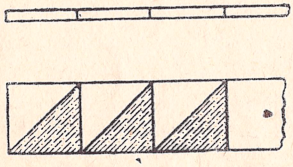
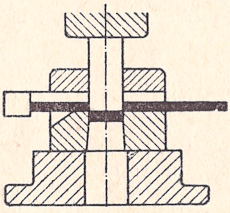
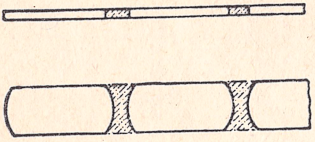
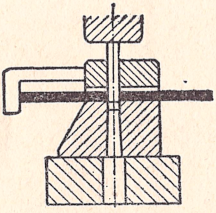
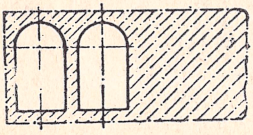
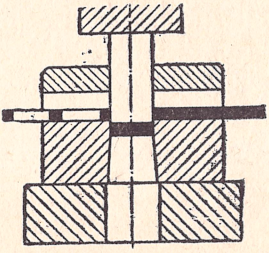
Фиг. 141.

7. Вспомогательные данные для конструирования штампов

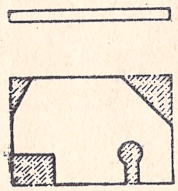
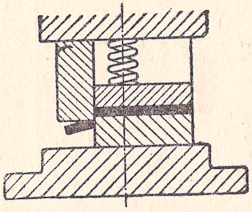
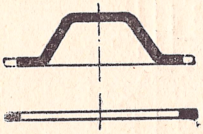
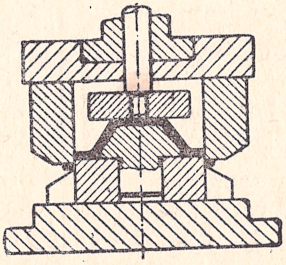
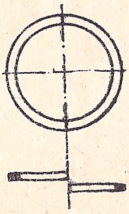
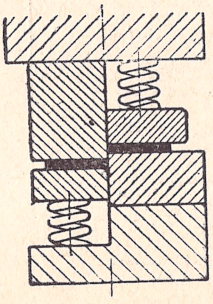
Таблица 23

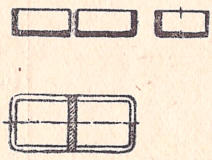
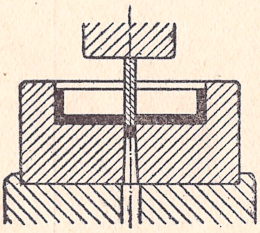
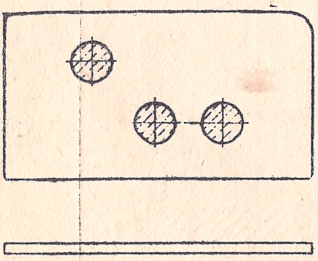
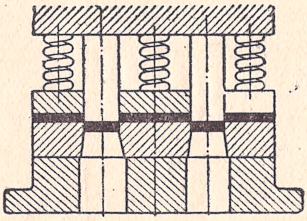
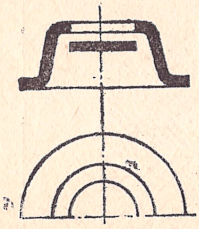
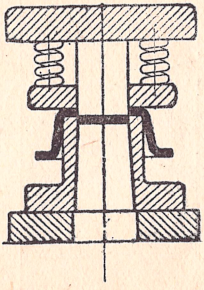
Терминология штамповочных операций

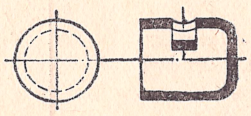
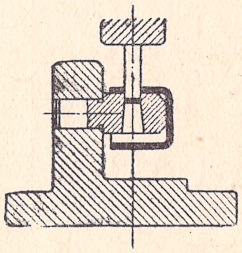
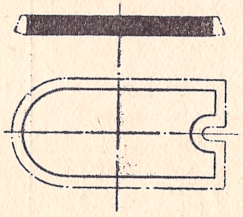
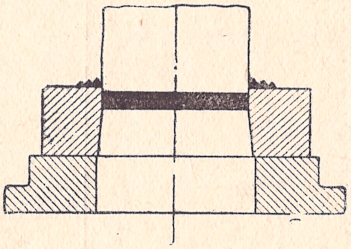
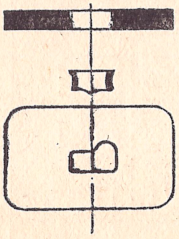
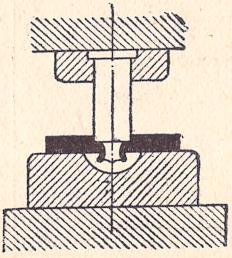
Операции резания [1]

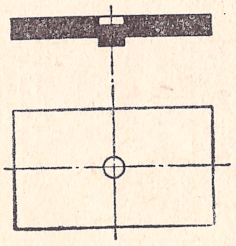
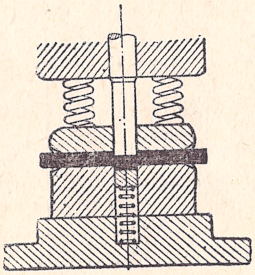
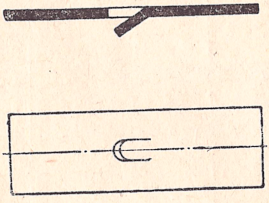
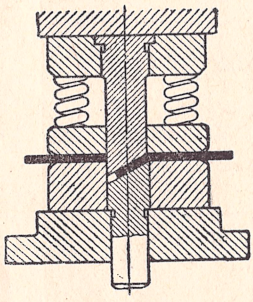
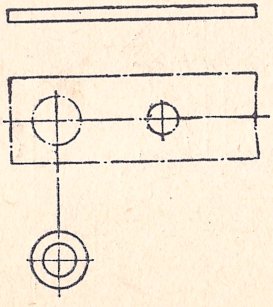
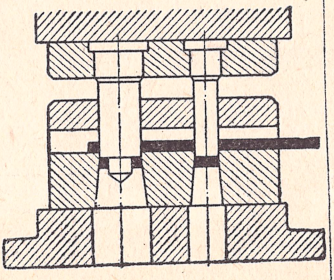
№ поп.	Эскиз изделия и заготовки (или отхода)	Схема режущих частей	Наименование операции
1			Отрезка
2			Отрезка
3			Отрезка (с отходом)
4			Вырезка

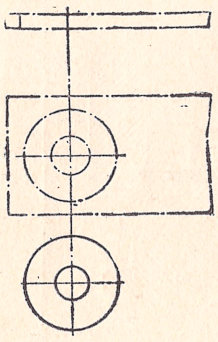
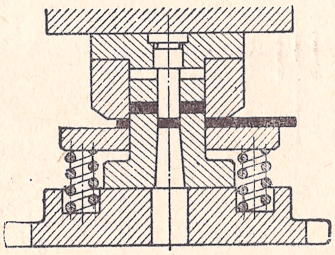
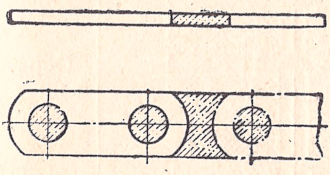
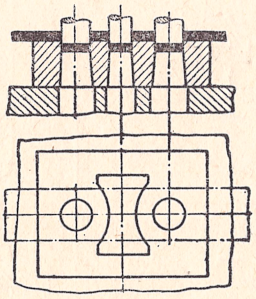
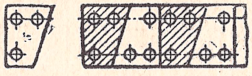
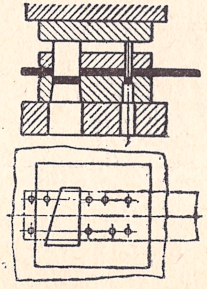
[1] Термин „резание" для операций штамповки впервые применил один из создателей теории обработки металлов давлением — А. П. Гавриленко [31]

№ по пор.	Эскиз изделия и заготовки (или отхода)	Схема режущих частей	Наименование операции
5			Обрезка (частичная)
6			Обрезка
7			Разрезка

№ по пор.	Эскиз изделия и заготовки (или отхода)	Схема режущих частей	Наименование операции
8			Разрезка (отходом)
9			Пробивка
10			Пробивка

№ по пор.	Эскиз изделия и заготовки (или отхода)	Схема режущих частей	Наименование операции
11			Пробивка
12			Зачистка (внешняя)
13			Зачистка (внутренняя)

№ по пор.	Эскиз изделия и заготовки (или отхода)	Схема режущих частей	Наименование операции
14			Выдавка выступа
15			Надрезка
16			Вырезка и пробивка

№ по пор	Эскиз изделия и заготовки (или отхода)	Схема режущих частей	Наименование операции
17			Вырезка и пробивка
18			Отрезка и пробивка
19			Отрезка и пробивка

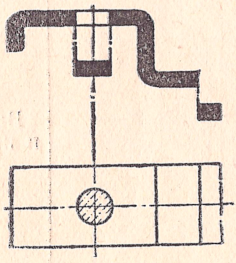
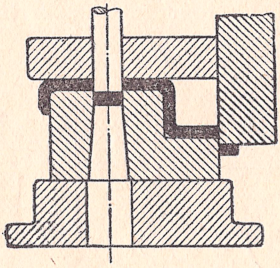
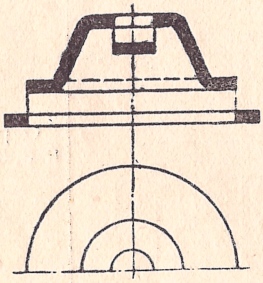
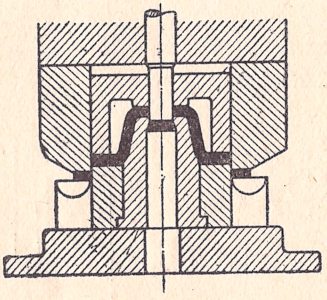
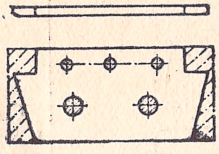
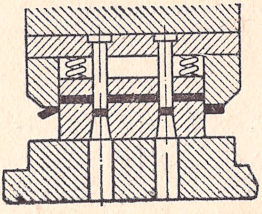
№ по пор.	Эскиз изделия и заготовки (или отхода)	Схема режущих частей	Наименование операции
20			Обрезка и пробивка
21			Обрезка и пробивка
22			Обрезка (частичная) и пробивка

Таблица 24

ТЕРМИНОЛОГИЯ И МАТЕРИАЛЫ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ

Типовая спецификация совмещенного штампа (фиг. 134)

№	Наименование детали	Количество	Материал	№ ОСТ или № нормали	Твердость
1	Плита нижняя № 4, $H = 45$	1	Чугун СЧ 18-36	ОСТ/НКТП 7223/472	
2	Винт № 2; $L = 42$	4	Сталь 30	Табл. 65	R_C 40—45
3	Пуансон-матрица	1	Сталь У8А		R_C 58—62
4	Колонка направляющая № 8, $l = 40$	2	Сталь 2	ОСТ/НКТП 7240/489	По Шору 75—80
5	Съемник	1	Сталь 3		
6	Упор (штифт цилиндр.) 8×20	2	Сталь У7А	ОСТ 2072	R_C 54—58
7	Матрица	1	Сталь У8А		R_C 58—62
8	Выталкиватель	1	Сталь 5		R_C 38—45
9	Пуансон № 1 типа I 5×55	4	Сталь У8А	Табл. 56	R_C 58—60
10	Втулка направляющая № 2, $L = 60$	2	Сталь 2	ОСТ/НКТП 7239/488	По Шору 65—70
11	Выталкивающий штифт	3	Сталь У7А		R_C 52—56
12	Плита верхняя № 4, $H = 60$	1	Чугун СЧ 18-36	ОСТ/НКТП 7224/473	
13	Звездочка	1	Сталь 5		R_C 38—45
14	Винт № 9×90	4	Сталь 30	ОСТ 40188	R_C 40—45
15	Толкач	1	Сталь 5		R_C 38—45
16	Хвостовик № 4 типа IV; $L = 60$	1	Сталь 5	Табл. 54	
17	Пуансонодержатель	1	Сталь 5		
18	Винт № 9×48 (конец отрезать)	6	Сталь 30	ОСТ 40188	R_C 40—45
19	Штифт цилиндрический 10×60	2	Сталь У7А	ОСТ 2072	R_C 54—58
20	Пружина ∅ 30×6; 8 витков	4	Сталь 65Г	Табл. 21	R_C 38—45
21	Пружина ∅ 10×1; 15 витков	1	Сталь 65Г	Табл. 21	R_C 38—45
22	Упор	1	Сталь У7А		R_C 54—58
23	Штифт цилиндрический 8×40	2	Сталь У7А	ОСТ 2072	R_C 54—58
24	Винт № 8×48	2	Сталь 30	ОСТ 40188	R_C 40—45

Примечание. Твердости пуансонов и матриц даны для их режущих частей; твердости винтов — для их головок.

Таблица 23

Типовая спецификация последовательного штампа (фиг. 135)

№	Наименование детали	Количество	Материал	№ ОСТ или № нормали	Твердость
1	Плита нижняя № 4, $H = 60$	1	Чугун СЧ 18-36	ОСТ/НКТП 7237/486	
2	Винт № 9×82	6	Сталь 30	ОСТ 40188	R_C 40—45
3	Колонка направляющая № 9, $l = 50$	1	Сталь 2	ОСТ/НКТП 7240/489	По Шору 75—80
4	Матрица	1	Сталь Х12М		R_C 58—60
5	Винт № 4×35 (конец отрезать)	8	Сталь 30	ОСТ 40188	R_C 40—45
6	Поддержка	2	Сталь 2		
7	Планка направляющая (правая)	1	Сталь 3		
8	Съемник (направляющая плита)	1	Сталь 5		
9	Пуансон № 1 типа I 5×65	8	Сталь У8А	Табл. 56	R_C 58—60
10	Пуансон (вырезной)	2	Сталь У8А		R_C 58—60
11	Пуансонодержатель	1	Сталь 5		
12	Плита верхняя № 4, $H = 40$	1	Чугун СЧ 18-36	ОСТ/НКТП 7238/487	
13	Штифт цилиндрический 10×50	4	Сталь У7А	ОСТ 2072	R_C 54—58
14	Втулка направляющая № 3, $L = 65$	1	Сталь 2	ОСТ/НКТП 7239/488	По Шору 65—70
15	Ловитель	4	Сталь У7А		R_C 54—58
16	Хвостовик № 4 типа IV, $L = 60$	1	Сталь 5		
17	Винт № 9×48 (конец отрезать)	6	Сталь 30	ОСТ 40188	R_C40—45
18	Штифт цилиндрический 10×75	2	Сталь У7А	ОСТ 2072	R_C 54—58
19	Винт № 9×48	6	Сталь 30	ОСТ 40188	R_C 40—45
20	Планка направляющая (левая)	1	Сталь 3		
21	Колонка направляющая № 12, $l = 40$	1	Сталь 2	ОСТ/НКТП 7240/489	По Шору 75—80

Примечание. Твердости пуансонов и матрицы даны для их режущих частей; твердости винтов — для их головок.

Таблица 26

Зазоры при вырезке и пробивке (в % толщины) для стали[1]

Толщина металла в *мм*	Для точных работ		Для обычных работ	
	$\sigma < 40$ *кг/мм²*	$\sigma > 40$ *кг/мм²*	$\sigma < 40$ *кг/мм²*	$\sigma > 40$ *кг/мм²*
До 05	5	6	8	10
0,5 — 1	6	7	9	11
1 — 2	7	8	10	12
2 — 4	8	9	11	13
4 — 6	9	10	12	14
6 — 8	10	11	13	15
8 — 10	11	12	14	16
10 — 12	12	13	15	17
12 — 15	13	14	16	18

Примечания. 1. Под зазором подразумевается разность между размерами матрицы и соответствующими размерами пуансона.

2. При вырезке режущему контуру матрицы присваиваются размеры изделия; размеры пуансона должны быть на величину зазора меньше. При пробивке — наоборот, размеры отверстия изделия присваиваются режущему контуру пуансона, а размеры матрицы берутся на величину зазора больше.

3. При диаметре пробивного пуансона $d = 1{,}5 \div 2S$ табличные данные рекомендуется увеличить на 20%, при диаметре $d = 1 \div 1{,}4S$ — на 40%.

4. Для цветных металлов можно пользоваться данными, приводимыми в первой и второй колонках.

Таблица 27

Наибольшие диаметры режущих частей, которые возможно изготовить по допускам без чрезмерного увеличения зазора[2].

Класс точности изготовления	Толщина материала (сталь) в *мм*											
	0,5	0,8	1,0	1,5	2	3	4	5	6	8	10	12
2	18	50	80	260	500							
3		6	18	30	65	260	500					
4					3	10	50	80	120	260	360	500

Примечание. Табличные данные составлены из расчета, что для малых толщин (0,5—0,8 *мм*) допустимо увеличение зазора на 100—80% против номинального, а для больших толщин — на 40—50%. Поэтому для весьма точных работ, когда такое увеличение зазора недопустимо, максимальные диаметры или класс точности должны быть соответствующим образом изменены; в особых случаях должна быть предусмотрена индивидуальная пригонка.

---

[1] Зазоры в этой таблице больше тех зазоров, которые приводят К. Ф. Неймайер [38], А. П. Знаменский [39] и др.

[2] При составлении этой таблицы учтены результаты проведенных нами опытов, показавшие возможность получения чистой поверхности среза при зазорах больше общепринятых. Такая возможность отмечалась и ранее С. М. Головиным и Ф. З. Рванцевым [10], а также и В. Т. Мещериным [34].

Таблица 28

Точность изделий, получаемых вырезкой и пробивкой[1]
(Классы точности круглых штампованных изделий)

Класс точности режущих частей	Толщина материала (сталь) в *мм*											
	0,5	0,8	1,0	1,5	2	3	4	5	6	8	10	12
2	3	3	4	5	5							
3		4	5	5	7	7	7					
4				7	7	7	7	7	8	8	8	8

Примечания. 1. Классы точности относятся к изделиям или к отверстиям, диаметры которых приведены в табл. 27.

Отклонение внешнего диаметра изделия от номинального диаметра вырезной матрицы будет со знаком „плюс" — A_3, A_4, A_5, A_7, A_8; отклонение диаметра отверстия от номинального диаметра пробивного пуансона — со знаком „минус" — C_3, C_4, C_5, C_7, C_8.

2. За размер изделия принят размер его уширенной части; за размер отверстия — размер суженной части.

Таблица 29

Минимальная ширина перемычек

Материал	Толщина материала S в *мм*	Минимальная ширина перемычек при длине их				
		до 30 *мм*	от 30 до 60 *мм*	от 60 до 100 *мм*	от 100 до 160 *мм*	от 160 до 250 *мм*
Сталь 0,1—0,4% С Латунь Алюминий Красная медь	0,2—0,4	1 *мм*	1,5 *мм*	2,2 *мм*	3 *мм*	3,5 *мм*
	0,4—0,6	1 *мм*	1,5 *мм*	2 *мм*	2,5 *мм*	3 *мм*
	0,6—1,0	1 *мм*	1,2 *мм*	1,8 *мм*	2,2 *мм*	2,6 *мм*
	1,0—1,5	1 *мм*	1,5 *мм*	2 *мм*	2,5 *мм*	3 *мм*
	1,5—2,5	S	1,2 S	1,4 S	1,6 S	2 S
	2,5—5	0,9 S	S	1,1 S	1,2 S	1,5 S
	5—12	0,8 S	0,9 S	S	1,1 S	1,3 S
Сталь 0,5—0,8% С Цинк Дюралюминий Бронза фосфористая	0,2—0,4	1,5 *мм*	2 *мм*	2,5 *мм*	3,5 *мм*	4 *мм*
	0,4—0,6	1,5 *мм*	2 *мм*	2,5 *мм*	3,2 *мм*	3,5 *мм*
	0,6—1,0	1,4 *мм*	1,8 *мм*	2,2 *мм*	2,8 *мм*	3,2 *мм*
	1,0—1,5	1,8 *мм*	2,2 *мм*	2,8 *мм*	3,2 *мм*	3,5 *мм*
	1,5—2,5	1,4 S	1,6 S	1,8 S	2 S	2,2 S
	2,5—5	1,2 S	1,3 S	1,5 S	1,6 S	1,8 S
	5—12	1,1 S	1,1 S	1,3 S	1,4 S	1,6 S

Примечание. Цифры даны для перемычек внутри полосы. Для перемычек у краев полосы табличные данные рекомендуется увеличить на 25—30%.

[1] Данные таблицы уточнены с учетом результатов опытов и работы Г. М. Клеймана [40].

Таблица 30

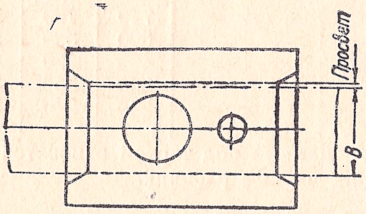
Минимальные допуски (±) на ширину полос длиной до 2 *м*, нарезанных из листа на гильотинных ножницах[1]

Толщина листа в *мм*	Ширина отрезаемой полосы в *мм*			
	25	50	100	200
До 0,5	0,3	0,3	0,4	0,5
1	0,4	0,4	0,5	0,6
2	0,5	0,5	0,6	0,7
3	0,6	0,6	0,7	0,7
4	—	0,8	0,8	1,0
5	—	—	1,0	1,3
6	—	—	1,3	1,5

Примечание. В тех случаях, когда от полосы не требуется особой точности, например, при штамповке с перемычками, рекомендуется применять допуски на 30 — 50 % больше приводимых в таблице.

Таблица 31

Просвет между направляющими планками и полосой



Толщина полосы *S* в *мм*	Ширина полосы в *мм*							
	30	40	50	75	100	125	150	200
До 0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,5
1	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,5	1,5
2	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,5	2
3	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5	2
4	0,8	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5	2	2,5
6	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5	2	2,5	2,5
8	1,0	1,0	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5
10	1	1	1,5	1,5	2	2	2,5	3

Примечание. Расстояние между направляющими планками определяется как сумма наибольшей ширины полосы (т. е. ширины с учетом ее отклонений) и просвета, приводимого в таблице. Полученный результат допустимо округлить в сторону увеличения.

Для сложных последовательных штампов, имеющих длинные направляющие планки, табличные данные рекомендуется увеличить в 1,5 — 2 раза, в зависимости от конструкции штампа.

[1] Таблица составлена с учетом данных Г. М. Клеймана.

Таблица 32

Ориентировочная производительность при штамповке
(по О. В. Воронецкому [41])

Число ходов ползуна пресса в мин.	Часовая производительность пресса в шт. при площади деталей в $м^2$								
	до 0,1			0,11—0,25		0,26—0,5		свыше 0,5	
	на провал	удалить деталь	удалить деталь и отходы	удалить деталь	удалить деталь и отходы	удалить деталь	удалить отходы	удалить деталь	удалить деталь и отходы
130	1440	990	925	815	745	—	—	—	—
100	1375	955	900	790	725	570	490	435	355
75	1280	910	860	760	700	555	475	425	350
60	1215	875	830	735	680	545	470	420	345
45	1145	840	795	710	655	530	455	410	350
35	1030	735	745	670	620	505	440	395	330
30	925	720	690	625	580	480	420	455	370
25	855	680	650	590	550	460	405	455	370
20	—	—	—	550	515	435	385	455	370
17	—	—	—	505	485	605	510	455	370
12	—	—	—	720	720	575	490	440	355
10	—	—	—	600	600	530	490	440	355
8	—	—	—	480	480	480	480	480	355
6	—	—	—	360	360	360	360	360	360
4	—	—	—	240	240	340	240	240	240

Примечание. Данные под чертой относятся к случаям обслуживания пресса двумя и большим числом рабочих.

Таблица 33

Ориентировочная продолжительность установки штампов
(по О. В. Воронецкому [41])

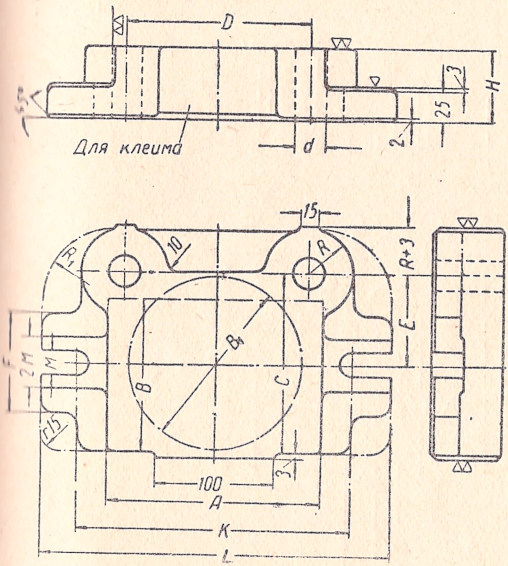
Конструкция штампов	Продолжительность установки и снятия штампов с наладкой в мин. при площади нижней подушки в $м^2$										
	0,05	0,15	0,25	0,5	0,75	1,2	1,5	2,0	3,0	5,0	7,0
Без выталкивателя	18 / 22	21 / 28	24 / 35	22 / 45	40 / 53	— / 80	— / 120	— / 160	— / 225	— / 265	— / 290
С планочным выталкивателем	22 / 25	25 / 34	27 / 40	32 / 53	48 / 63	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —
С пружинным или резиновым буфером	27 / 33	29 / 41	32 / 52	35 / 66	53 / 85	— / 113	— / 155	— / 200	— / 265	— / 330	— / 350
С пневматическим буфером	37 / 42	42 / 48	55 / 62	65 / 85	76 / 108	— / 133	— / 185	— / 230	— / 315	— / 390	— / 410

Примечание. Данные над чертой относятся к штампам с хвостиком, а под чертой — без последнего.

XI. ПРИЛОЖЕНИЕ

Стандарты и нормали деталей штампов[1]

Таблица 34



ПЛИТА НИЖНЯЯ ШТАМПА — тип I $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7223}{472}$

Пример обозначения нижней плиты, тип I № 5,

$A \times B \times H = 200 \times 150 \times 60$ *мм*.

Нижняя плита штампа № 5

$H = 60 \frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7223}{472}$

№ по пор.	Площадь под матрицу: прямоугольн. $A \times B$	Площадь под матрицу: кругл. B_1	C	D	E	F	d	R	K	L	M	R_1	H	Приблизительный вес в *кг*
1	100× 75	90	95	80	50	90	22	30	150	200	20	50	30—40	4—5
2	125×100	120	120	100	60	80	22	30	175	225	20	50	35—45	6,5—7,5
3	150×100	120	120	125	60	80	25	35	200	250	20	60	40—50—60	8,9—5,11
4	175×125	140	145	150	75	80	25	35	225	275	20	60	45—60—75	11—14—17
5	200×150	170	175	175	90	100	28	40	250	320	25	70	45—60—75	16—20—24
6	250×175	200	200	220	100	100	28	40	300	370	25	70	50—70—90	23—30—37
7	275×200	225	225	245	115	100	32	45	325	395	25	70	50—70—90	29—39—49
8	300×225	250	250	270	125	125	32	45	350	420	30	70	50—70—90	34—46—58
9	350×250	280	280	315	140	125	40	50	400	470	30	70	60—80—100	49—64—79
10	400×300	330	330	365	165	125	40	50	450	520	30	70	60—80—100	66—86—106

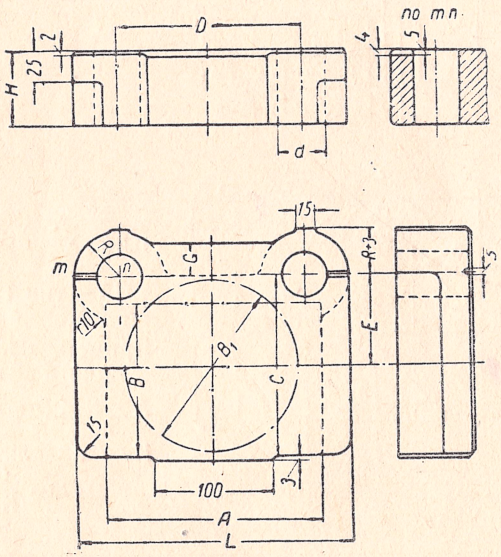
1. Материал: чугунное или стальное литье.[2]
2. В стандарте указаны размеры H и постоянная толщина полок 25 *мм* применительно к чугунному литью.
3. Толщину H выбирать в соответствии с нагрузкой.
4. Допуск на параллельность верхней и нижней плоскостей нижней плиты не более 0,02 *мм*
Допуск на параллельность верхней плоскости верхней плиты и нижней плоскости нижней плиты не более 0,08 *мм*.
Указанные допуски на параллельность приняты на длину 300 *мм*.
5. Допуск на диаметр отверстия d по ОСТ 1012.
6. Допуск на размер $D \leqslant 1/2$ наибольшего зазора между колонкой и втулкой.
7. Для крепления прихватами допускается форма полок по пунктиру.

---

[1] Приводимые нормали, за немногим исключением, заимствованы у Н. И. Личадеева и А. К. Коровина [35] — авторов существующих стандартов ОСТ на пакеты штампов.
Нормали по таблицам 58 и 59 заимствованы у А. В. Головина [42].

[2] Технические условия для всех плит одинаковы, поэтому в последующих таблицах технические условия не приводятся.

ПЛИТА ВЕРХНЯЯ ШТАМПА — тип I $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7224}{473}$



Пример обозначения верхней плиты тип I № 5, $A \times B \times H = 200 \times 150 \times 60$ *мм*.

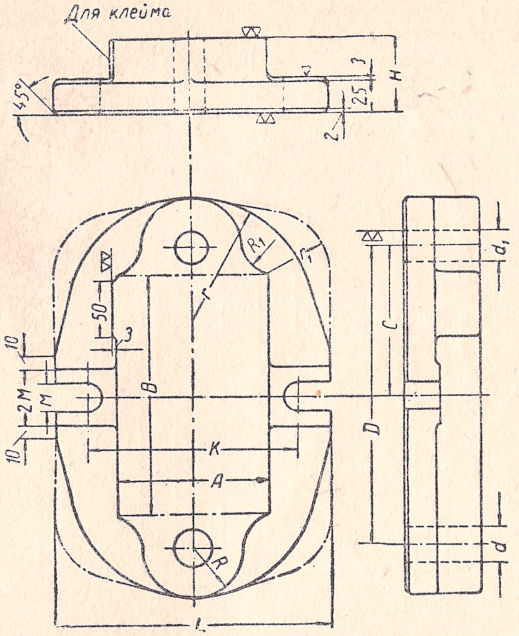
Верхняя плита штампа № 5, $H = 60$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7224}{473}$

№ по пор.	Площадь под пуансон: прямоугольн. $A \times B$	Площадь под пуансон: кругл. B_1	C	D	E	G	L	d	R	H	Приблизительный вес в *кг*
1	100 × 75	90	95	80	50	—	—	35	30	30—40	2,5—3,5
2	125 × 100	120	120	100	60	—	—	35	30	30—40	3,5— 5
3	150 × 100	120	120	125	60	—	—	38	35	40—60	6— 9
4	175 × 125	140	145	150	75	—	—	38	35	40—60	7—13
5	200 × 150	170	175	175	90	—	—	42	40	40—60	11—16
6	250 × 175	200	200	220	100	25	300	42	40	50—70	22—29
7	275 × 200	225	225	245	115	25	325	45	45	50—70	27—36
8	300 × 225	250	250	270	125	25	350	45	45	50—70	31—44
9	350 × 250	280	280	315	140	25	415	55	50	60—80	50—64
10	400 × 300	330	330	365	165	25	465	55	50	60—80	65—83

Примечание. Форма плиты до № 5 включительно без полок по пунктиру.

Таблица 36

ПЛИТА НИЖНЯЯ ШТАМПА — тип II $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7225}{474}$



Пример обозначения верхней плиты, тип II № 5,
$A \times B \times H = 225 \times 325 \times 70$ *мм*.

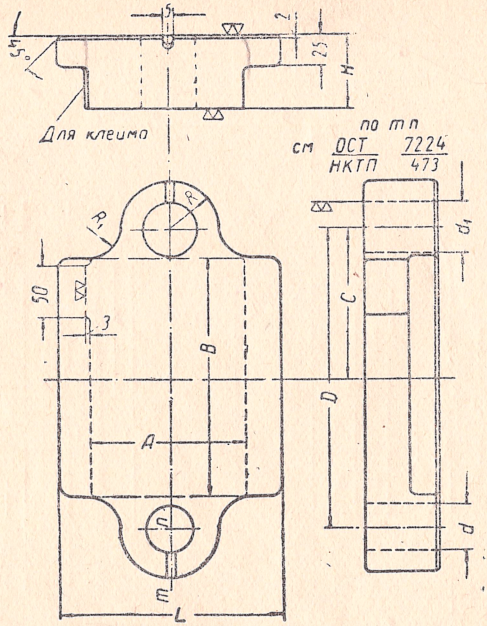
Нижняя плита штампа № 5, $H = 70$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7225}{474}$

№ по пор.	Площадь под матрицу $A \times B$	C	D	r	r_1	d	d_1	R	K	L	R_1	M	H	Приблизительный вес в *кг*
1	100 × 150	97,5	195	85	—	25	28	40	145	200	15	20	40— 50	9,5—11,5
2	125 × 200	122,5	245	100	—	25	28	40	170	225	25	20	45— 60	15—18,5
3	150 × 225	135	270	115	—	25	28	40	200	250	30	25	45— 60— 75	18— 23— 28
4	175 × 275	162,5	325	130	—	28	32	45	225	280	40	25	50— 70— 90	27— 35— 43
5	225 × 325	187,5	375	—	52,5	28	32	45	275	330	50	25	50— 70— 90	40— 52— 64
6	250 × 375	215	430	—	55	32	40	50	300	360	50	30	60— 80—100	58— 73— 88
7	275 × 425	240	480	—	55	32	40	50	325	385	50	30	60— 80—100	68— 87—106
8	325 × 475	270	540	—	57,5	40	50	60	385	440	60	30	60— 80—100	101—125—149
9	375 × 550	307,5	615	—	57,5	40	50	60	435	490	60	30	80—100—120	145—176—207
10	450 × 650	357,5	715	—	60	40	50	60	510	570	60	30	80—100—120	196—239—282

Примечание. Форма полок до № 5 по сплошной линии; с № 5 по № 10 включительно по пунктиру.

Таблица 37

ПЛИТА ВЕРХНЯЯ ШТАМПА — тип II $\frac{\text{ОСТ НКТП}}{\text{7226 475}}$



Пример обозначения верхней плиты, тип II № 5, $A \times B \times H = 225 \times 325 \times 560$ мм

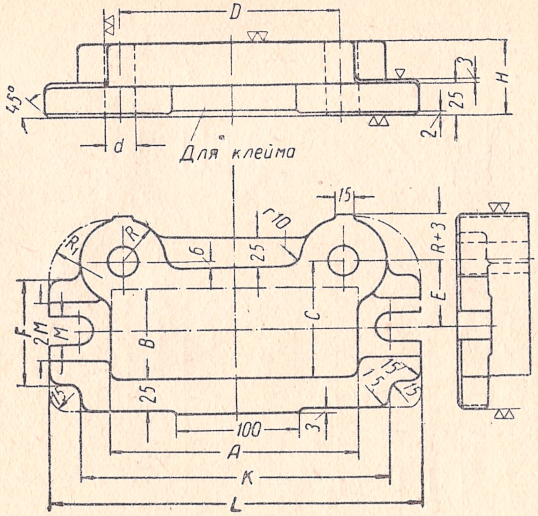
Верхняя плита штампа № 5, $H = 60$ $\frac{\text{ОСТ НКТП}}{\text{7226 475}}$

№ по пор.	Площадь под пуансон $A \times B$	C	D	d	d_1	R	l	R_1	H	Приблизительный вес в кг
1	100×150	97,5	195	38	42	40	—	15	40—50	5,5—7
2	125×225	122,5	245	38	42	40	—	25	40—60	8,5—13
3	150×225	135	270	38	42	40	—	30	40—60	11,5—17,5
4	175×275	162,5	325	42	45	45	230	40	50—70	24—32
5	225×325	187,5	375	42	45	45	280	50	60—80	39—51
6	250×375	215	430	45	55	50	310	50	60—80	50—65
7	275×425	240	480	45	55	50	330	50	60—80	59—78
8	325×475	270	540	55	65	60	400	60	70—90	92—116
9	375×550	307,5	615	55	65	60	450	60	70—100	119—167
10	450×650	357,5	715	55	65	60	530	60	70—100	172—230

Примечание. Форма плиты до № 3 включительно без полок по пунктиру.

Таблица 38

ПЛИТА НИЖНЯЯ ШТАМПА — тип III $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7227}{476}$

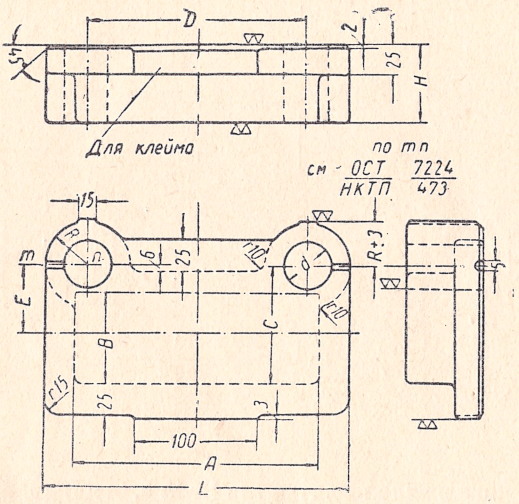


Пример обозначения нижней плиты, тип III № 5, $A \times B \times H = 400 \times 150 \times 60$ *мм*

Нижняя плита штампа № 5, $H = 60$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7227}{476}$

№ по пор.	Площадь под матрицу $A \times B$	C	D	E	F	d	R	K	L	M	R_1	H	Приблизительный вес в *кг*
1	200×75	95	180	55	100	25	35	250	300	25	50	45—60	10—12
2	250×100	120	230	70	100	25	35	300	350	25	50	50—70	15—20
3	300×100	125	270	75	100	28	40	350	400	25	60	50—70—90	19—25—31
4	350×125	150	320	85	100	28	40	400	450	25	60	60—80—100	29—37—45
5	400×150	175	360	100	100	32	45	450	520	25	70	60—80—100	38—48—58
6	500×175	200	460	110	100	32	45	550	620	25	70	70—90—110	58—73—88
7	550×200	230	500	130	100	40	50	600	670	25	70	70—90—110	71—89—107
8	600×225	255	550	140	125	40	50	650	720	30	70	80—100—120	96—118—140
9	650×225	260	580	145	125	50	60	700	770	30	80	80—100—120	105—129—153
10	700×250	285	630	160	125	50	60	750	820	30	80	80—100—120	124—152—180

ПЛИТА ВЕРХНЯЯ ШТАМПА — тип III $\frac{\text{ССТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7228}{477}$



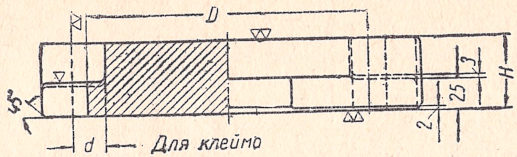
Пример обозначения верхней плиты, тип III № 5, $A \times B \times H = 400 \times 150 \times 60$ мм

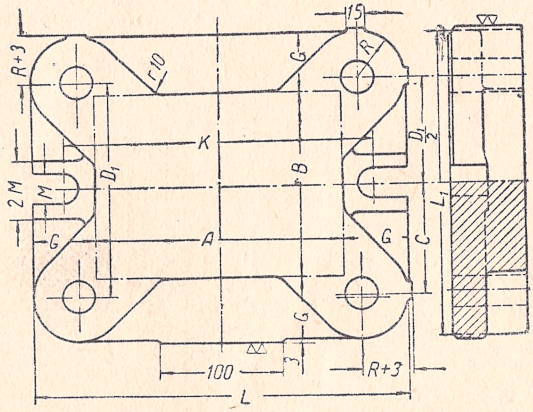
Верхняя плита штампа № 5, $H = 60$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7228}{477}$

№ по пор.	Площадь под пуансон $A \times B$	C	D	E	d	R	L	H	Приблизительный вес в кг
1	200×75	95	180	55	38	35	250	40—60	8,5—11
2	250×100	120	230	70	38	35	300	50—70	15,5—18,5
3	300×100	125	270	75	42	40	350	50—70	17,5—23
4	350×125	150	320	85	42	40	400	60—80	28—35
5	400×150	175	360	100	45	45	450	60—80	35—46
6	500×175	200	460	110	45	45	550	60—80	50—65
7	550×200	230	500	130	55	50	600	70—90	71—90
8	600×225	255	550	140	55	50	650	70—90	85—108
9	650×225	260	580	145	65	60	700	80—100	107—132
10	700×250	285	630	160	65	60	750	80—100	125—153

Таблица 40

ПЛИТА НИЖНЯЯ ШТАМПА — тип IV $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7229}{478}$





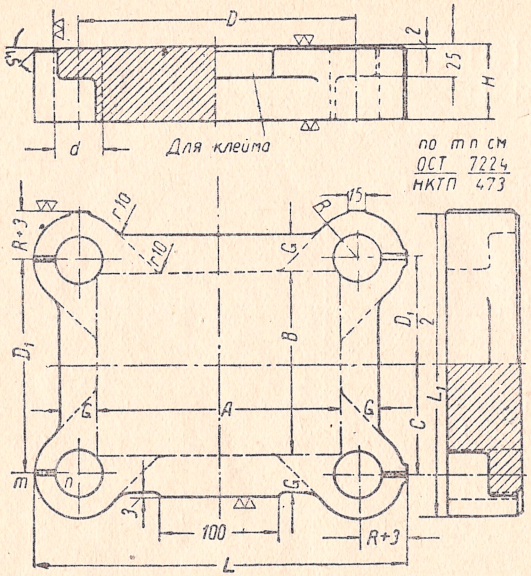
Пример обозначения нижней плиты, тип IV № 5, $A \times B \times H = 300 \times 225 \times 70$ мм

Нижняя плита штампа № 5 $H = 70$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7229}{478}$

№ по пор.	Площадь под матрицу $A \times B$	D	D_1	C	G	d	R	L	L_1	K	M	H	Приблизительный вес в кг
1	200×150	225	175	85	50	25	37,5	300	250	250	25	45—60	19—25
2	200×200	225	225	110	50	25	37,5	300	300	250	25	45—60	23—29
3	250×175	275	200	97	50	28	40	355	280	300	25	50—70	24—33
4	250×250	275	275	135	50	28	40	355	355	300	25	50—70	36—48
5	300×225	330	255	125	60	32	45	420	345	360	25	50—70—90	40—53—66
6	300×300	330	330	162	60	32	45	420	420	360	25	50—70—90	49—65—81
7	350×250	390	290	142	60	40	50	490	390	410	30	60—80—100	59—76—93
8	350×350	390	390	192	60	40	50	490	490	410	30	60—80—100	76—98—120
9	400×300	440	340	167	60	40	50	540	440	460	30	60—80—100	75—96—117
10	400×400	440	440	217	60	40	50	540	540	460	30	60—80—100	94—121—148
11	450×325	490	365	180	60	40	50	590	465	510	30	60—80—100	87—112—137
12	450×450	490	490	242	60	40	50	590	590	510	30	60—80—100	114—147—180
13	500×350	550	400	195	70	50	60	670	520	570	30	70—90—110	124—155—186
14	500×500	550	550	270	70	50	60	670	670	570	30	70—90—110	160—205—250
15	600×400	650	450	220	70	50	60	770	570	670	30	70—90—110	160—200—240
16	600×600	650	650	320	70	50	60	770	770	670	30	70—90—110	224—280—336
17	700×500	750	550	270	70	50	60	870	670	770	30	80—100—120	245—301—357
18	800×550	850	600	295	70	50	60	970	720	870	30	80—100—120	300—367—434
19	900×550	950	600	295	70	50	60	1070	720	970	30	100—120—140	410—485—560
20	1000×600	1050	650	320	70	50	60	1170	770	1070	30	100—120—140	485—575—665

Таблица 41

ПЛИТА ВЕРХНЯЯ ШТАМПА — тип IV $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7230}{479}$

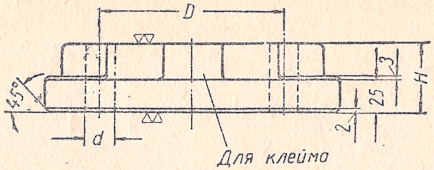


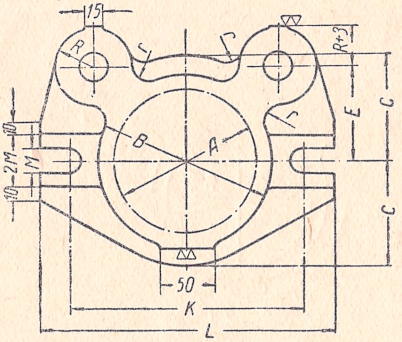
Пример обозначения верхней плиты, тип IV № 5, $A \times B \times H = 300 \times 225 = 70$ мм.

Верхняя плита штампа № 5, $H = 70$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7230}{479}$

№ по пор.	Площадь под пуансон $A \times B$	D	D_1	C	G	d	R	L	L_1	H	Приблизит. вес в кг
1	200 × 150	225	175	85	30	38	37,5	300	250	40—60	16—22
2	200 × 200	225	225	110	30	38	37,5	300	300	40—60	19—27
3	250 × 175	275	200	97	30	42	40	355	280	50—70	22—30
4	250 × 250	275	275	135	30	42	40	355	355	50—70	32—44
5	300 × 225	330	225	125	40	45	45	420	345	50—70	37—50
6	300 × 300	330	330	162	40	45	45	420	420	50—70	47—63
7	350 × 250	390	290	142	40	55	50	490	390	60—80	56—73
8	350 × 350	390	390	192	40	55	50	490	490	60—80	72—94
9	400 × 300	440	340	167	40	55	50	540	440	60—80	71—93
10	400 × 400	440	440	217	40	55	50	540	540	60—80	90—116
11	450 × 325	490	365	180	40	55	50	590	465	60—80	83—103
12	450 × 450	490	490	242	40	55	50	590	590	60—80	109—142
13	500 × 350	550	400	195	50	65	60	670	520	70—90	120—150
14	500 × 500	550	550	270	50	65	60	670	670	70—90	158—200
15	600 × 400	650	450	220	50	65	60	770	570	80—100	173—214
16	600 × 600	650	650	320	50	65	60	770	770	80—100	245—300
17	700 × 500	750	550	270	50	65	60	870	670	100—120	295—350
18	800 × 550	850	600	295	50	65	60	970	720	100—120	357—423
19	900 × 550	950	600	295	50	65	60	1070	720	100—120	400—475
20	1000 × 600	1050	650	320	50	65	60	1170	770	100—120	475—565

ПЛИТА НИЖНЯЯ ШТАМПА — тип V $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7231}{480}$





Пример обозначения нижней плиты, тип № 5, $B \times H = 180 \times 60$ мм.

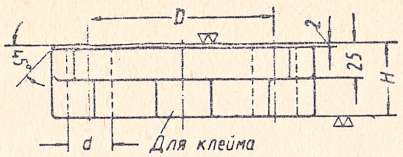
Нижняя плита штампа № 5, $H = 60$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7231}{480}$

№ по пор.	A	B	C	D	E	K	L	d	R	M	r	H	Приблизительный вес в кг
1	75	100	65	110	60	150	200	22	30	20	15	30—50	4—6
2	95	120	75	130	70	170	220	22	30	20	15	35—55	6—8
3	115	140	85	150	75	190	240	22	30	20	15	40—50—60	8—9—10
4	135	160	95	170	80	210	260	25	35	20	15	45—60—75	11—14—17
5	155	180	110	190	90	240	300	25	35	25	20	45—60—75	15—19—23
6	175	200	120	200	100	260	320	25	35	25	20	50—70—90	18—23,5—29
7	195	220	130	220	110	280	340	28	40	25	20	50—70—90	20—27—34
8	215	240	145	240	120	310	380	28	40	30	20	50—70—90	25—34—43
9	245	270	160	260	130	340	410	32	45	30	25	60—80—100	36—46—56
10	295	320	185	310	150	390	460	32	45	30	25	60—80—100	47—60—73

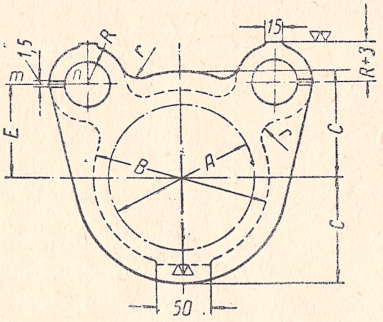
Примечания.

1. Размер A обозначает диаметр врезной матрицы.
2. При $H < 40$ мм прилив для клейма делать на ребре полки.

ПЛИТА ВЕРХНЯЯ ШТАМПА — тип V $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7232}{481}$



по тп
см ОСТ / НКТП 7224 / 473



Пример обозначения верхней плиты, тип V № 5, $B \times H = 180 \times 60$ *мм*.

Верхняя плита штампа № 5, $H = 60$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7232}{481}$

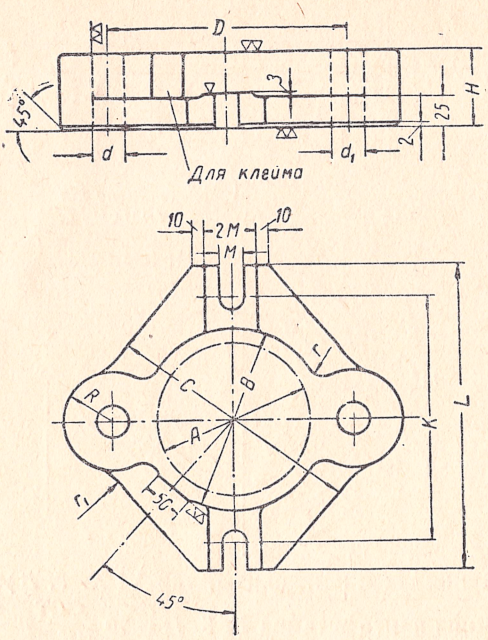
№ по пор.	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*d*	*R*	*r*	*H*	Приблизительный вес в *кг*
1	75	100	65	110	60	35	30	15	30—40	3,5—4,5
2	95	120	75	130	70	35	30	15	35—50	4,5—6,5
3	115	140	85	150	75	35	30	15	40—60	6—10
4	135	160	95	170	80	38	35	15	40—60	9—13
5	155	180	110	190	90	38	35	20	40—60	11—16
6	175	200	120	200	100	38	35	20	50—70	15—21
7	195	220	130	220	110	42	40	20	50—70	19—26
8	215	240	145	240	120	42	40	20	50—70	23—31
9	245	270	160	260	130	45	45	25	60—80	33—43
10	295	320	185	310	150	45	45	25	60—80	45—58

Примечания.

1. Размер *A* обозначает диаметр врезного пуансонодержателя.
2. При $H < 40$ *мм* прилив для клейма делать на ребре полки.

Таблица 44

ПЛИТА НИЖНЯЯ ШТАМПА — тип VI $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7233}{482}$



Пример обозначения нижней плиты, тип VI № 5, $B \times H = 230 \times 70$ *мм*

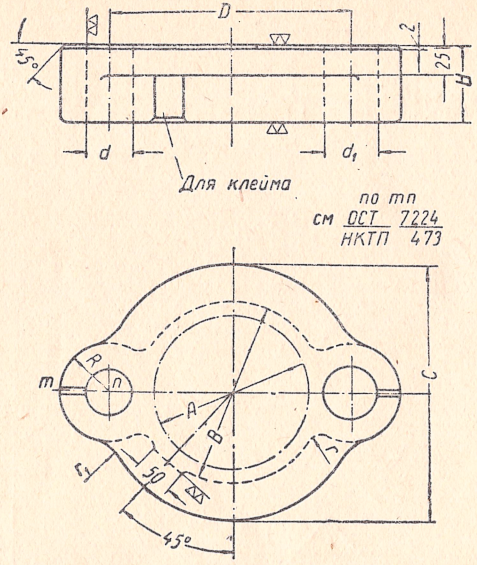
Нижняя плита штампа № 5, $H = 70$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7233}{482}$

№ по пор	*A*	*B*	*C*	*D*	*d*	d_1	*R*	*K*	*L*	*M*	*r*	r_1	*H*	Приблизительный вес в *кг*
1	125	150	210	195	25	28	40	200	250	20	15	40	40—50—60	7—8,5—10
2	145	170	240	215	25	28	40	220	270	20	15	40	45—60—75	11—13,5—16
3	165	190	260	235	25	28	40	240	300	25	15	40	45—60—75	13,5—16,5—19,5
4	185	210	280	260	28	32	45	270	330	25	15	40	50—70—90	18—22,5—27
5	205	230	310	280	28	32	45	290	350	25	15	45	50—70—90	22—27—32
6	225	250	330	300	28	32	45	310	370	25	15	45	50—70—90	24—31—38
7	265	290	370	350	32	40	50	350	410	30	20	45	60—80—100	35—45—55
8	305	330	410	390	32	40	50	390	450	30	20	45	60—80—100	45—57—69
9	345	370	450	430	32	40	50	430	500	30	20	50	60—80—100	55—71—87
10	385	410	490	480	40	50	60	480	550	30	20	50	70—90—110	76—95—114
11	425	450	530	520	40	50	60	520	600	30	20	50	70—90—110	95—115—135
12	475	500	590	570	40	50	60	580	600	30	20	50	80—100—120	126—152—182

Примечание. Размер *A* обозначает диаметр врезной матрицы.

Таблица 45

ПЛИТА ВЕРХНЯЯ ШТАМПА — тип VI $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7234}{483}$



Пример обозначения верхней плиты, тип VI № 5, $B \times H = 230 \times 70$ *мм*

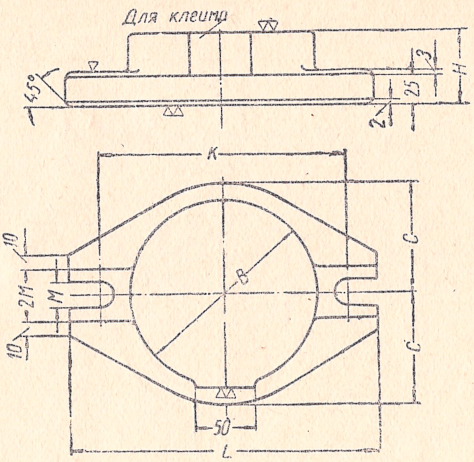
Верхняя плита штампа № 5, $H = 70$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7234}{483}$

№ по пор.	*A*	*B*	*C*	*D*	*d*	d_1	*R*	*r*	r_1	*H*	Приблизительный вес в *кг*
1	125	150	210	195	38	42	40	15	40	40—60	7—9,5
2	145	170	240	215	38	42	40	15	40	40—60	9—12,5
3	165	190	260	235	38	42	40	15	40	40—60	11,5—15
4	185	210	280	260	42	45	45	15	40	50—70	16—20
5	205	230	310	280	42	45	45	15	45	50—70	20—26
6	225	250	330	300	42	45	45	15	45	50—70	23—30
7	265	290	370	350	45	55	50	20	45	60—80	34—43
8	305	330	410	390	45	55	50	20	45	60—80	43—55
9	345	370	450	430	45	55	50	20	50	60—80	54—69
10	385	410	490	480	55	65	60	20	50	70—90	73—92
11	425	450	530	520	55	65	60	20	50	70—90	85—108
12	475	500	590	570	55	65	60	20	50	80—100	124—151

Примечание. Размер *A* обозначает диаметр врезного пуансонодержателя.

Таблица 46

ПЛИТА НИЖНЯЯ ШТАМПА — тип VII $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7235}{484}$



Пример обозначения нижней плиты, тип VII № 5, $B \times H = 175 \times 60$ *мм*

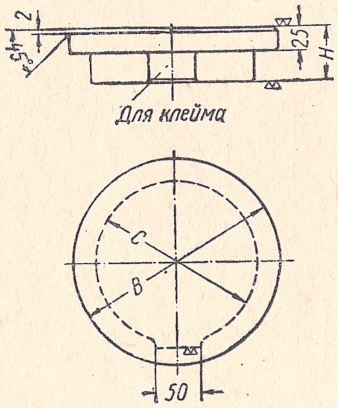
Нижняя плита штампа № 5, $H = 60$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7235}{484}$

№ по пор.	*B*	*C*	*K*	*L*	*M*	*H*	Приблизительный вес в *кг*
1	75	55	125	175	20	30—50	4—4,5
2	100	65	150	200	20	35—55	5—6,5
3	125	80	175	225	20	35—65	7—9,5
4	150	90	200	250	20	45—60—75	10—12—14
5	175	110	235	300	25	45—60—75	11,5—14—16,5
6	200	120	260	325	25	50—70—90	15—19,5—24
7	225	135	285	350	25	50—70—90	18—24—30
8	250	150	310	375	25	50—70—90	23—30—37
9	275	160	335	400	30	60—80—100	26—35—44
10	300	175	370	440	30	60—80—100	32—42—52
11	350	200	420	490	30	60—80—100	43—57—71
12	400	225	470	540	30	80—100—120	70—90—110

Примечание. При $H < 40$ *мм* прилив для клейма делать на ребре полки.

Таблица 4

ПЛИТА ВЕРХНЯЯ ШТАМПА — тип VII $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7236}{485}$



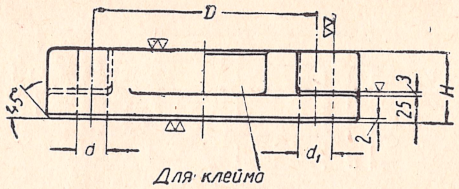
Пример обозначения верхней плиты, тип VII № 5, $B \times H = 175 \times 60$ *мм*

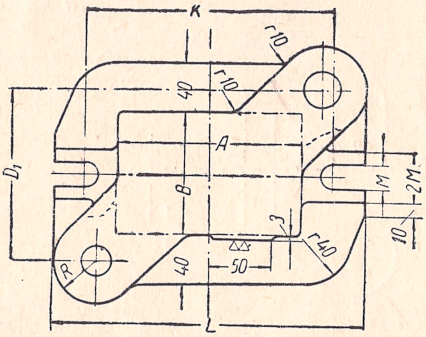
Верхняя плита штампа № 5, H=60 $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7236}{485}$

№ по пор.	*B*	*C*	*H*	Приблизительный вес в *кг*
1	75	110	30—40	1,9—2,2
2	100	130	30—40	2,5—3
3	125	160	35—50	4,5—6
4	150	180	40—60	6,5—9
5	175	220	40—60	9,5—13
6	200	240	50—70	13,5—18,5
7	225	270	50—70	17,5—23
8	250	300	50—70	19,5—28
9	275	320	60—80	26—38
10	300	350	60—80	35—45
11	350	400	70—90	54—68
12	400	450	70—100	70—97

Примечание. При $H < 40$ *мм* прилив для клейма делать на ребре полки.

ПЛИТА НИЖНЯЯ ШТАМПА — тип VIII $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7237}{486}$





Пример обозначения нижней плиты, тип VIII № 7, $A \times B \times H = 400 \times 250 \times 80$ *мм*.

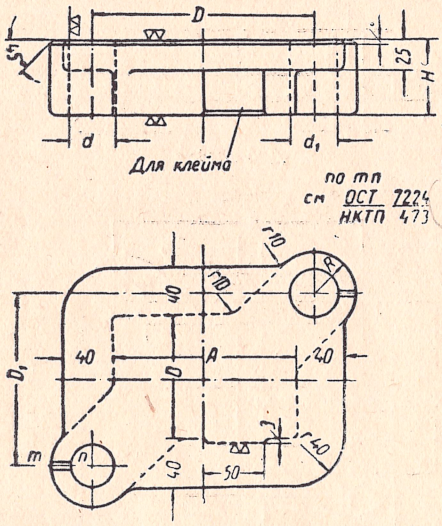
Нижняя плита штампа № 7, $H = 80$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7237}{486}$

№ по пор.	Площадь под матрицу $A \times B$	D	D_1	d	d_1	R	K	L	M	H	Приблизительный вес в *кг*
1	125×75	155	130	22	25	35	175	225	20	40—50	8—8,5
2	150×100	180	140	22	25	35	200	250	20	40—50—60	10,5—11,5—12,5
3	200×125	225	150	25	28	40	250	300	20	45—60—75	17,5—20—23
4	250×150	275	175	25	28	40	300	350	25	45—60—75	22—26—30
5	300×175	330	200	28	32	45	360	420	25	50—70—90	31—42—52
6	350×200	380	230	28	32	45	410	470	30	50—70—90	48—58—68
7	400×250	440	290	32	40	50	460	520	30	60—80—100	60—75—89
8	450×275	490	315	32	40	50	510	570	31	60—80—100	72—89—107
9	500×300	550	350	40	50	60	570	640	30	70—90—110	101—121—143
10	600×350	650	400	40	50	60	670	740	30	80—100—120	148—178—210

Примечание. Форма приливов № 1 и № 2 по пунктирной линии; с № 3 по № 10 — по сплошной линии.

Таблица 19

ПЛИТА ВЕРХНЯЯ ШТАМПА — тип VIII $\frac{\text{ОСТ НКТП}}{7238 — 487}$



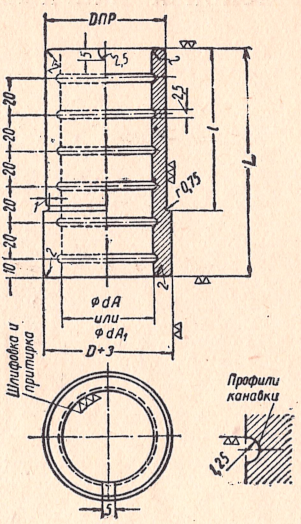
Пример обозначения верхней плиты, тип VIII №7, $A \times B \times H = 400 \times 250 \times 60$ мм.

Верхняя плита штампа № 7, $H = 60$ $\frac{\text{ОСТ НКТП}}{7238 — 487}$

№ по пор.	Площадь под пуансон $A \times B$	D	D_1	d	d_1	R	H	Приблизительный вес в *кг*
1	125 × 75	155	130	35	38	35	40—50	7—8
2	150 × 100	180	140	35	38	35	40—50	10—11
3	200 × 125	225	150	38	42	40	40—60	14—18
4	250 × 150	275	175	38	42	40	40—60	19—24
5	300 × 175	330	200	42	45	45	50—70	30—36
6	350 × 200	380	230	42	45	45	60—80	42—52
7	400 × 250	440	290	45	55	50	60—80	57—72
8	450 × 275	490	315	45	55	50	60—80	69—87
9	500 × 300	550	350	55	65	60	70—90	95—117
10	600 × 350	650	400	55	65	60	70—100	128—173

Примечание. Форма плиты до № 4 только по пунктиру (без полок).

ВТУЛКА НАПРАВЛЯЮЩАЯ ШТАМПА — ОСТ НКТП — 7239 / 488



Пример обозначения втулки направляющей № 51 $d \times L = 40 \times 115$ *мм*.

Втулка штампа № 5,

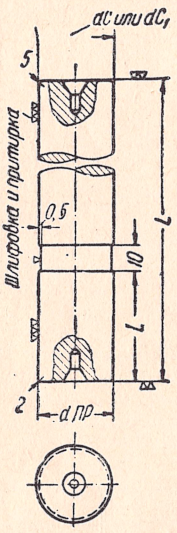
$$L = 115 \frac{\text{ОСТ НКТП}}{7239 / 488}$$

№ по пор.	d			D		l	L	Число канавок
	ном.	A_1	A	ном.	$/1p$			
1	22	$22\frac{+0{,}013}{-0{,}000}$	$22\frac{+0{,}023}{-0{,}000}$	35	$35\frac{+0{,}052}{+0{,}035}$	29 / 49	50 / 70	3 / 4
2	25	$25\frac{+0{,}013}{-0{,}000}$	$25\frac{+0{,}023}{-0{,}000}$	38	$38\frac{+0{,}052}{+0{,}035}$	39 / 59	60 / 80	3 / 4
3	28	$28\frac{+0{,}013}{-0{,}000}$	$28\frac{+0{,}023}{-0{,}000}$	42	$42\frac{+0{,}052}{+0{,}035}$	39 / 59	65 / 85	3 / 4
4	32	$32\frac{+0{,}015}{-0{,}000}$	$32\frac{+0{,}027}{-0{,}000}$	45	$45\frac{+0{,}052}{+0{,}035}$	49 / 69	75 / 95	4 / 4
5	40	$40\frac{+0{,}015}{-0{,}000}$	$40\frac{+0{,}027}{-0{,}000}$	55	$55\frac{+0{,}065}{+0{,}045}$	59 / 79	95 / 115	5 / 5
6	50	$50\frac{+0{,}015}{-0{,}000}$	$50\frac{+0{,}027}{-0{,}000}$	65	$65\frac{+0{,}065}{+0{,}045}$	69 / 89	105 / 125	5 / 6

1. Материал: сталь 2. Цементировать и калить; твердость по Шору 65—70.
2. Обозначение допусков и посадок на чертеже по ОСТ 2650.
3. Допуск на размер *d* принимать:
   а) для материала толщиной от 0,4—0,6 *мм* по ОСТ 1011;
   б) „ „ „ более 0,6 *мм* по ОСТ 1012;
   в) „ „ „ менее 0,4 *мм* допуск не нормируется и выбирается в пределах зазора между режущими кромками пуансона и матрицы.
4. Допуск на размер *D* по ОСТ 1012; посадка прессовая.
5. Размер *l* принимать наибольший, допускаемый выбранной толщиной *H* верхней плиты штампа.

Таблица 51

КОЛОНКА НАПРАВЛЯЮЩАЯ ШТАМПА $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7240}{489}$



Пример обозначения направляющей колонки № 10, $d \times l = 25 \times 40$ мм

Колонка штампа № 10, $l = 40$ $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} - \frac{7240}{489}$

№ по пор.	d				L	l	
	посадки						
	ном.	C_1	C	$Пр$			
1	22	$22\frac{+0{,}000}{-0{,}009}$	$22\frac{+0{,}000}{-0{,}014}$	$22\frac{+0{,}042}{+0{,}028}$	110	30	
2					120	30	
3					130	30	40
4					140	30	40
5					150		40
6					160		40
7	25	$25\frac{+0{,}000}{-0{,}009}$	$25\frac{+0{,}000}{-0{,}014}$	$25\frac{+0{,}042}{+0{,}028}$	150	40	
8					160	40	50
9					170	40	50
10					180	40	50
11					190		50
12	28	$28\frac{+0{,}000}{-0{,}009}$	$28\frac{+0{,}000}{-0{,}014}$	$28\frac{+0{,}042}{+0{,}028}$	160	40	
13					170	40	
14					180	40	60
15					190	40	60
16					200	40	60
17					210		60
18					220		60

№ по пор.	d				L	l	
	ном.	посадки					
		C_1	C	$Пр$			
19	32	$32\frac{+0{,}000}{-0{,}011}$	$32\frac{+0{,}000}{-0{,}017}$	$32\frac{+0{,}052}{+0{,}035}$	190	50	
20					200	50	
21					210	50	70
22					220	50	70
23					230	50	70
24					240		70
25					250		70
26	40	$40\frac{+0{,}000}{-0{,}011}$	$40\frac{+0{,}000}{-0{,}017}$	$40\frac{+0{,}052}{+0{,}035}$	230	60	
27					240	60	
28					250	60	80
29					260	60	80
30					270	60	80
31					280		80
32					290		80
33	50	$50\frac{+0{,}000}{-0{,}011}$	$50\frac{+0{,}000}{-0{,}017}$	$50\frac{+0{,}052}{+0{,}035}$	280	80	
34					290	80	
35					300	80	100
36					310	80	100
37					320	80	100
38					330	80	100
39					340		100
40					350		100

1. Материал: сталь 2. Цементировать и калить; твердость по Шору 75—80.

2. Обозначение допусков и посадок на чертеже по ОСТ 2650.

3. Допуск на размер d принимать:

а) для материала толщиной от 0,4—0,6 *мм* по ОСТ 1011;

б) „ „ „ более 0,6 *мм* по ОСТ 1012;

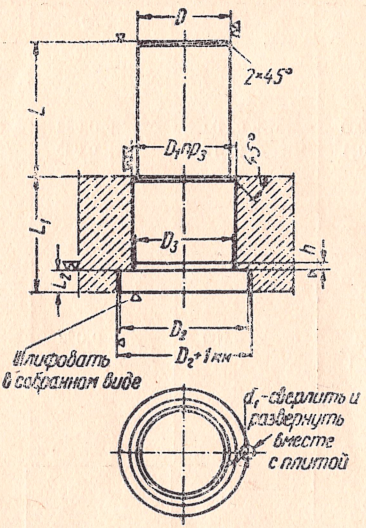
в) „ „ „ менее 0,4 *мм* допуск не нормируется и выбирается в пределах зазора между режущими кромками пуансона и матрицы; посадка скольжения.

4. Допуск на размер $dПр$ принимать по ОСТ 1012; посадка прессовая.

5. Центровые отверстия (гнезда) 3725, тип *А*.

6. Размер l принимать наибольший, допускаемый выбранной толщиной H нижней плиты штампа, в которой колонки запрессовываются.

ХВОСТОВИК[1] — ТИП I



Пример обозначения хвостовика типа I, $D = 40$; $L = 60$; $L_1 = 40$ *мм*.
Хвостовик № 5 типа I, $L = 60$; $L_1 = 40$

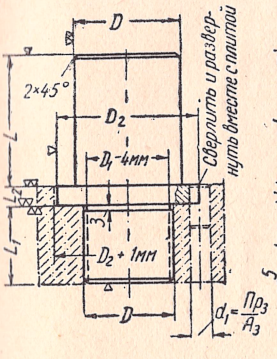
№ по пор.	D	D_1	D_2	D_3	L_2	h	d_1
1	20	22	29	18	6	2	6
2	25	28	37	24	6	2,5	6
3	30	32	41	28	6	3	8
4	35	38	47	33	8	3	8
5	40	42	51	37	8	4	10
6	50	52	64	46	8	4	10
7	60	62	74	56	10	4	10
8	75	78	91	72	12	4	13

1. Материал: сталь 5.
2. Допуски на свободные размеры по 7-му классу точности.
3. Размер L — по прессу: размер L_1 — по толщине верхней плиты.

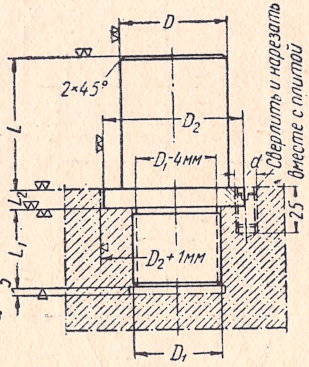
[1] Указания для выбора типа хвостовика см. [43].

ХВОСТОВИК — ТИПЫ II и III

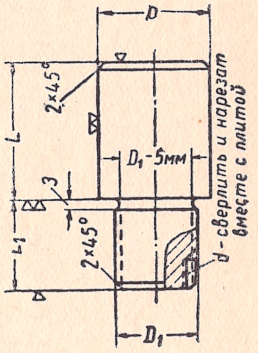
II



1



III

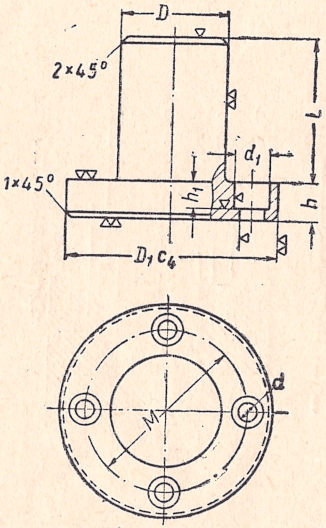


Пример обозначения хвостовика II, $D = 40$; $L = 60$; $L_1 = 40$ *мм*.
Хвостовик № 5 типа II, $L = 60$; $L_1 = 40$

№ по пор.	D	D_1	D_2	L_2	d	d_1
1	20	1 м 16	29	5	6	м 6
2	25	1 м 18	34	5	6	м 6
3	30	1 м 22	41	6	8	м 8
4	35	1 м 24	47	6	8	м 8
5	40	1 м 27	54	7	10	м 10
6	50	1 м 33	64	7	10	м 10
7	60	1 м 39	74	8	10	м 10
8	75	1 м 45	91	10	13	м 13

1. Материал: сталь 5.
2. Допуски на свободные размеры по 7-му классу точности.
3. Размер L — по прессу; размер L_1 — по толщине верхней плиты.

ХВОСТОВИК — ТИП IV



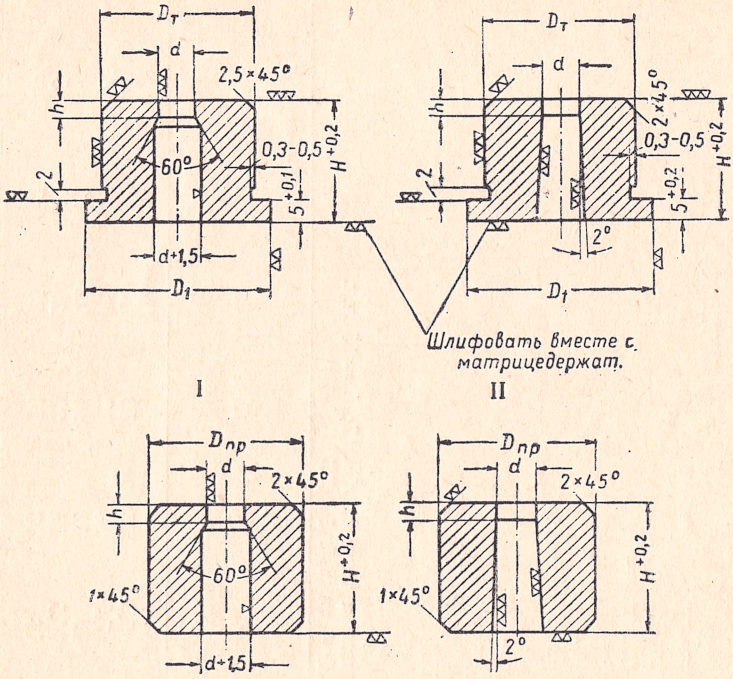
Пример обозначения хвостовика типа IV, $D = 40$; $L = 60$ *мм*.
Хвостовик № 3 типа IV, $L = 60$

№ по пор.	D	D_1	M	d	d_1	h	h_1
1	30	70	50	11	16	15	11
2	35	75	55	11	16	15	11
3	40	80	60	11	16	15	11
4	50	100	75	13	19	18	13
5	60	110	85	13	19	18	13

1. Материал: сталь 5.
2. Допуски на свободные размеры — по 7-му классу точности; допуск на диаметр гнезда в верхней плите — по 4-му классу точности.
3. Размер L — по прессу.

Таблица 55

МАТРИЦЫ — ТИПА I И II



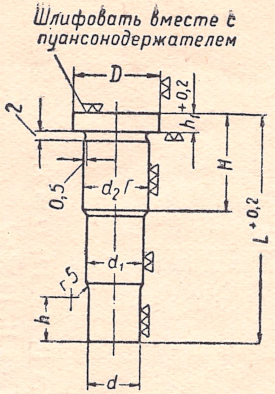
Пример обозначения матрицы типа II, $d = 12$; $D = 38$; $h = 27$ *мм*.

Матрица № 8 типа II, 12 × 27

№ по пор.	d для материалов толщиной			$D_т$ или $D_{пр}$	D_1	h	H
	до 2 *мм*	свыше 2 до 4 *мм*	свыше 4 *мм*				
1	От 0,8 до 1,5			8	12	3	22—17
2	Св. 1,5 „ 3			10	15	3	
3	„ 3 „ 5			13	18	3	
4	„ 5 „ 7	От 3 до 5		15	20	4	
5	„ 7 „ 10	Св. 5 „ 7		20	25	4	
6	„ 10 „ 13	„ 7 „ 10	От 5 до 7	25	31	4	35—27—22
7	„ 13 „ 16	„ 10 „ 13	Св. 7 „ 10	30	36	5	
8	„ 16 „ 20	„ 13 „ 16	„ 10 „ 13	38	45	5	
9	„ 20 „ 25	„ 16 „ 20	„ 13 „ 16	45	52	5	
10	„ 25 „ 30	„ 20 „ 25	„ 16 „ 20	55	62	5	
11		„ 25 „ 30	„ 20 „ 25	70	78	5	

1. Материал: сталь У8А, У9А, Х12, Х12М, ХГ, ШХ15; HR_C 58—62.
2. Матрицы, показанные слева — только для № 1 и 2.

Таблица 56



ПУАНСОН — ТИП I

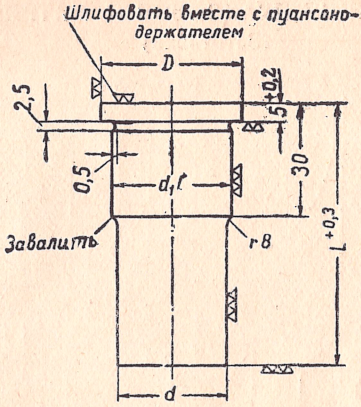
Пример обозначения пуансона типа I, $d = 12$; $L = 65$ *мм*.
Пуансон № 4 типа I, 12×65

№ по пор.	d для материалов толщиной до 2 *мм*	d для материалов толщиной свыше 2 *мм*	d_1	$d_2Г$	D	H	h	h_1	L
1	До 5		5,5	6	10	20	8	3	75—65—55
2	Св. 5 до 7	До 5	7,5	8	12	22	10	3	
3	„ 7 „ 10	Св. 5 до 7	11	12	16	22	12	4	
4	„ 10 „ 14	„ 7 „ 10	14,5	15	20	25	15	5	
5		„ 10 „ 14	16	18	23	25	17	5	

1. Материал: сталь У8А, 7Х, Х12, Х12М, ШХ15, 5ХВС.
2. Твердость рабочей части R_C 56—60; головки R_C 45—50.

Таблица 57

ПУАНСОН — тип II



Пример обозначения пуансона типа II, $d = 18$; $L = 65$ мм
Пуансон № 2 типа II; 18 × 65

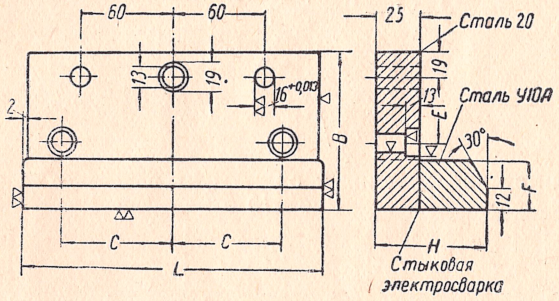
№ по пор.	d	$d_1 Г$	D	L
1	От 14 до 17	20	25	75—65—55
2	Св. 17 „ 20	22	28	
3	„ 20 „ 24	25	31	
4	„ 24 „ 30	32	38	
5	„ 30 „ 35	36	42	

1. Материал: сталь У8А, 7Х, Х12, Х12М, 5ХВС, ШХ15.
2. Твердость режущей части — R_C 56—60; головки — R_C 45—50.

Таблица 58

ПРЯМОЛИНЕЙНАЯ СЕКЦИЯ ПУАНСОНОВ И МАТРИЦ — ТИП I

(Заготовка)



Пример обозначения прямолинейной секции типа I № 2 $F = 25$; $H = 50$ мм.
Секция № 2 типа I, 25 × 50

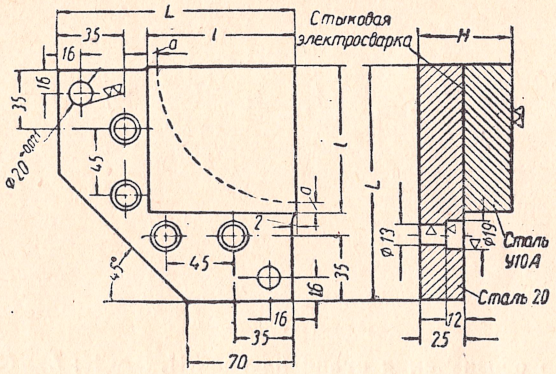
№ по пор.	L	B	C	E		F		H
1	150	75	45	20	13	25	32	От 50 до 80 через 5 мм.
2	200	90	70	32	25	25	32	
3	200	100	70	30		38		

Примечание. На склад секции сдавать без термической обработки; отверстия под винты и штифты делать при монтаже штампа.

Таблица 59

УГЛОВЫЕ СЕКЦИИ ПУАНСОНОВ И МАТРИЦ — ТИП II

(Заготовка)



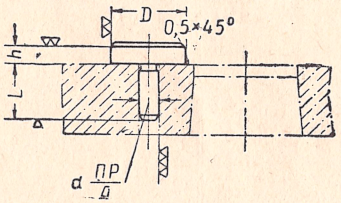
Пример обозначения угловой секции типа II № 2, $H = 70$ мм.
Секция № 2 типа II, $H = 70$ мм

№ по пор.	L	l	a	H
1	150	100	8	От 50 до 115 через 5 мм
2	175	115	8	

Примечание. На склад секции сдавать без термической обработки; отверстия под винты и штифты делать при монтаже штампа.

Таблица 60

УПОР ШТИФТОВЫЙ

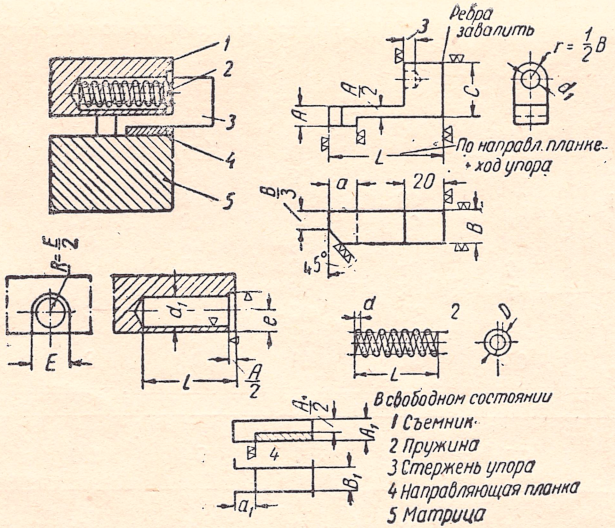


Пример обозначения упора штифтового $D = 20$ мм.
Упор № 5

№ по пор.	D	$dПР$	h	L
1	8	4	3	8
2	10	4	3	10
3	12	5	4	12
4	15	6	4	15
5	20	6	5	15
7	30	8	6	18

1. Материал: сталь 2.
2. Цементировать и калить головку — HR_C 40—45.

УПОР ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ



Пример обозначения упора предварительного № 2, $A \times B \times C = 6 \times 8 \times 13{,}5$ мм.

Упор предварительный № 2

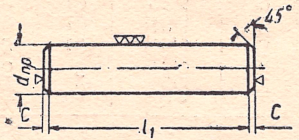
№ по пор.	Гнездо в направляющей планке			Стержень упора				Гнездо в съемнике				Пружина		
	A_1	B_1	a_1	A	B	C	a	d_1	e	E	l	D	d	L
1	4	8	6	4	8	12,5	5	7	6,5	9	15	6,5	0,7	18
2	6	8	6	6	8	13,5	5	7	6,5	9	15	5,5	0,7	18
3	8	10	6	8	10	15,5	5	7	6,5	11	18	5,5	0,7	21
4	10	10	8	10	10	18,5	7	9	8,5	11	22	7,5	1	27
5	12	12	10	12	12	21,5	9	10	9,5	13	25	8,5	1	30
6	15	15	13	15	15	24,5	12	10	9,5	16	28	8,5	1	35

1. Материал для стержня упора: сталь 5, конец калить HR_C 38—50; для пружины — проволока рояльная.
2. Допуски на сопрягаемые размеры — по 5-му классу точности.

Таблица 62

ШТИФТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

(Размеры по ОСТ 2072)



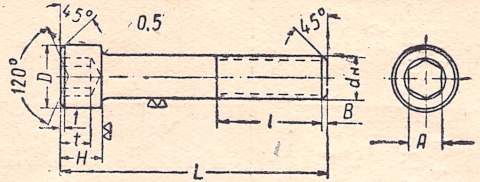
Пример обозначения штифта цилиндрического, $d = 10$; $l_1 = 50$ *мм*.
Штифт цилиндрический ∅ 10×50 ОСТ 2072

d	1	1,5	2	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25
c	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3,5
l_1	5 6 8 10	5 6 8 10 12 15	5 6 8 10 12 15 18 20	6 8 10 12 15 18 20 (22) 25 30	8 10 12 15 18 20 (22) 25 30 (35) 40	10 12 15 18 20 25 30 (35) 40 (45) 50	15 18 20 25 30 (35) 40 (45) 50 60	18 20 25 30 40 50 60 80	20 25 30 40 50 60 80 100	25 30 40 50 60 80 100 120 140	30 40 50 60 80 100 120 140 160 180	40 50 60 80 100 120 140 160 180 200	50 60 80 100 120 140 160 180 200

1. Размеров, отмеченных скобками, по возможности избегать.
2. Материал: сталь У7А, HR_C 52—56.

ВИНТЫ С ШЕСТИГРАННЫМ УГЛУБЛЕНИЕМ В ГОЛОВКЕ — ОСТ 40188

Обработка ▽ кроме мест, показанных особо



Пример обозначения винта с размерами $d_н \times l \times L$ = М8×25×60 *мм*.

Винт № 4×60, ОСТ 40188

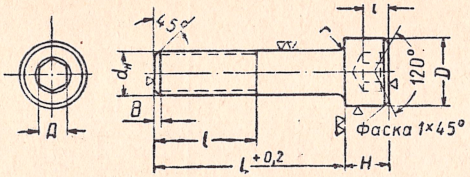
№ по пор.	$d_н$	D	H	A наим.	A наиб.	B	t	l	L										
1/2	М 6×1	10	6	5,02	5,05	1	4	15/20	30	35	38	40	50	55	58	—	—	—	—
3/4	М 8×1,25	12	8	6,02	6,05	1,2	5	16/25	35	40	50	55	60	70	—	—	—	—	—
5/6/7	М10×1,5	15	10	8,04	8,10	1,5	6	20/25/30	40	42	48	52	55	58	65	68	70	75	80
8/9	М12×1,75	18	12	10,04	10,10	1,8	8	25/35	48	55	62	68	70	75	82	90	—	—	—

Материал: сталь 30; цементировать и калить головку HR_C 40—45.

Таблица 64

ВИНТЫ С ШЕСТИГРАННЫМ УГЛУБЛЕНИЕМ В ГОЛОВКЕ

(Диаметр резьбы от 14 до 24 *мм*)



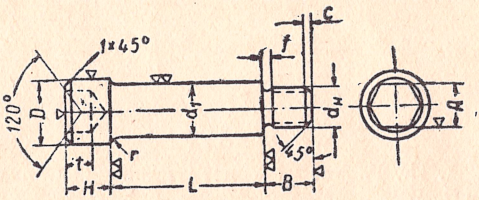
Пример обозначения винта с размерами $d_н \times l \times L$ = М16×36×60 *мм*.
Винт М16×60

$d_н$	М14	М16	М18	М20	М22	М24
D	22	24	27	30	32	36
H	14	16	18	20	22	24
A наим.	12,04	12,04	14,04	14,04	17,04	17,04
A наиб.	12,10	12,10	14,10	14,10	17,10	17,10
B	2	2	2,5	2,5	2,5	3
t	9	10	11	12	12	14
r	0,5	0,5	1	1	1	1
L	l					
26	26	—	—	—	—	—
30	30	30	—	—	—	—
35	32	35	35	—	—	—
40	32	36	40	40	—	—
45	32	36	40	45	45	—
50	32	36	40	45	48	—
55	32	36	40	45	48	—
60	32	36	40	45	48	52
65	32	36	40	45	48	52
70	32	36	40	45	48	52
75	32	36	40	45	48	52
80	32	36	40	45	48	52
85	32	36	40	45	48	52
90	32	36	40	45	48	52
95	32	36	40	45	48	52
100	—	36	40	45	48	52
105	—	36	40	45	48	52
110	—	—	40	45	48	52
120	—	—	40	45	48	52
130	—	—	—	45	48	52
140	—	—	—	45	48	52
150	—	—	—	—	48	52
160	—	—	—	—	48	52

Материал: сталь 30; цементировать и калить головку HR_C 40—45.

Таблица 65

ВИНТЫ ДЛЯ СЪЕМНИКОВ С ШЕСТИГРАННЫМ УГЛУБЛЕНИЕМ В ГОЛОВКЕ

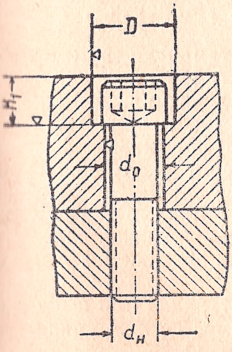


Пример обозначения винта с размерами $d_н \times L$ = М8×75 *мм*.
Винт № 2, L = 75

№ по пор.	$d_н$	d_1	D	A наим.	A наиб.	B	c	f	H	t	r	L						
1	М6	8	12	6,02	6,05	10	1	1,6	8	5	0,5	32	42	52	62	75	82	102
2	М8	10	15	8,04	8,10	10	1,2	1,6	10	6	0,5	45	55	65	75	85	95	105
3	М10	12	18	10,04	10,10	15	1,5	2	12	8	0,5	56	66	76	86	106	126	—
4	М12	14	22	12,04	12,10	15	1,8	3	14	9	1	71	81	101	121	151	—	—
5	М14	18	27	14,04	14,10	20	2	3	18	11	1	92	112	132	152	172	—	—
6	М16	22	32	17,04	17,10	20	2	3	22	12	1	103	128	153	178	203	—	—

Материал: сталь 30; цементировать и калить головку HR_C 40—45.

Таблица 66



ОТВЕРСТИЯ ПОД ВИНТЫ.

(Средняя сборка)

$d_н$	М6	М8	М10	М12	М14	М16	М18	М20	М22	М24
d_0	7	9	11	13	15	17	20	22	24	26
D_1	11	13	16	19	23	25	29	32	34	38

Размер h_1 равен размеру d плюс 1—2 *мм*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целиков А. И., Расчет и конструирование прокатных машино-орудий, стр. 222, ОНТИ, 1938.

2. Гаркави Я. Н., Ножницы с наклонными ножами, „Вестник инженеров и техников“ № 4, 1934.

3. Зубцов М. Е., Холодная штамповка, стр. 43, Машгиз, 1941.

4. Кодрон К., Горячая обработка металлов, т. I, стр. 253, Макиз, 1929.

5. Хюлле Ф. В., Металлорежущие станки, стр. 479, ОНТИ НКТП, 1932.

6. Кенен М., Элементы станков, их расчет и конструкции, стр. 21, ГНТИ, 1932.

7. Е. Р. М. М., Резка листового металла на ножницах и в штампах, „Мировая техника“ № 5, 1935.

8. Flynn F. E., D. A. Mac Arthur, Shearing Flat Rolled Steel, „Iron and Steel Engineer“, декабрь 1944.

9. Hütte, т. II, стр. 861, ОНТИ, 1936.

10. Головин С. М. и Рванцев Ф. З., Исследование процесса вырубки металлов с помощью штампов, ВНИТОКШ, Кузнечно-штамповочное производство, Холодная штамповка, Машгиз, 1938.

11. Crane E. V., Bliss Computations for sheet metal working operations, London.

12. Зворono Б. П., Подсчет усилия резания при штамповке в случае применения скошенных ножей или пуансонов, „Вестник металлопромышленности“ № 5, 1937.

13. Цейтлин В. Я., Расчет ножей составных матриц и паунсонов, тезисы докладов 1-го Всесоюзного съезда ВНИТОКШ, вып. III, Машгиз, 1940.

14. Давиденков Н. Н., Динамические испытания металлов, стр. 61, ОНТИ, 1936.

15. Кузнецов В. Д., Физика твердого тела. т. III, стр. 187, Томск 1944.

16. Полторацкий Н. Г., Определение ударных нагрузок методом Бринеля, „Американская техника“ № 6, 1943.

17. Рурман Э., Работа на штамповальных прессах с листовым металлом, „Орга-Информация“ № 4, 1930.

18. Шмид Ж., Экспериментальное исследование зависимости между величиной зазора и давлением при вырезке в штампах, „Мировая техника“ № 3, 1937.

19. Зворono Б. П., Использование приборов для штамповки при испытании листовых материалов, „Заводская лаборатория“ № 7, 1947.

20. Головин С. М., Способ определения величины давления, возникающего на прессе во время работы, ЦИТЭИН, ТЕХСО, № 1605, серия 15, 1938,

21. Клапцов Ф., Определение опытным путем нагрузки и деформации С-образной станины одностоечного пресса, ЦБТМ, Материалы технической информации, Москва 1939.

22. Романовский В. П., О зазорах в вырубных штампах, ВНИТОКШ, Кузнечно-штамповочное производство, Холодная штамповка, Машгиз, 1938.

23. Codron C., Experiences surle travail des machinesoutils pour les metaux Paris 1902.

24. Зубцов М. Е., Исследование процесса резания материала при вырубке штампами с прямыми и наклонными режущими кромками. Тезисы докладов 1-го Всесоюзного Съезда ВНИТОКШ, вып. III, Машгиз, 1940.

25. Гаркави Я. Н., К вопросу об определении усилия резания и работы деформации при вырезке-пробивке и работе на ножницах, „Вестник металлопромышленности“ № 5, 1938.
26. Гавриленко А. П., Механическая технология металлов, изд. 2-е, стр. 541, ч. III, Москва 1 03.
27. Сторожев М., при участии Копылова В., Основы расчета кривошипных прессов, „Вестник металлопромышленности“ № 10 и 11, 1935.
28. Oehler G., Taschenbuch für Schnitt und Stanzwerkzeuge, изд 2-е, стр. 9, Berlin 1938.
29. Коломийцев А. А., Машиностроение, Энциклопедический справочник, т. I, кн. 2, стр. 257, Гос. научно-техн. издат. машиностр. литературы, 1947.
30. Пригоровский Н. И., то же, стр. 267.
31. Зворono Б. П., Альбом штампов холодной штамповки, ГОНТИ НКТП, 1938.
32. Качмарек Э., Современные приемы штамповки, стр. 31, МАКИЗ, 1925.
33. Мещерин В. Т., Штампы, стр. 60, Машгиз, 1940.
34. Мещерин В. Т., Влияние зазора между пуансоном и матрицей на поверхность среза и на размеры самой вырезки и отверстия, „Вестник металлопромышленности“ № 7—8, 1937.
35. Личадеев Н. Н. и Коровин А. К., Альбом деталей штампов для холодной штамповки, стр. 20, изд. Орга-Металл, Москва 1936.
36. Зворono Б. П., Методы расчета заготовок для вытяжки прямоугольных пустотелых изделий, „Вестник машиностроения“ № 6, 1947.
37. Зворono Б. П., Методы получения отбортованных отверстий без надрывов и трещин в практике холодной штамповки, „Вестник металлопромышленности“ № 12 и 13, 1937.
38. Неймайер К. Ф., Холодная и горячая штамповка, т. I, стр. 17, ОНТИ Госмаштехиздат, 1934.
39. Знаменский А. П., Справочник металлиста, т. II, стр. 607, ГНТИ, 1933.
40. Клейман Г. М., Допуски на холодно-штампуемые детали, Проект руководящего материала ГСПКИ МВ СССР, Оборонгиз, 1946.
41. Воронецкий О. В., Машиностроение, Энциклопедический справочник, т. 14, стр. 103, Гос. научно-техн. издат. машиностр. литературы, 1946.
42. Головин А. В., Машиностроение, Энциклопедический справочник т 6, стр. 521, Гос. научно-техн. издат. машиностр. литературы, 1947.
43. Звороно Б. П., Наивыгоднейшие способы крепления современных штампов для холодной штамповки, „Органинформация“ № 7, 1934.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

От редактора 3

Предисловие 4

Раздел первый

Определение сил, действующих на детали штампов

I. Введение 7
II. Существующие методы вычисления усилий резания прямыми скошенными ножами 10
III. Анализ усилий и работы резания при скошенных пуансонах или матрицах 14
IV. Анализ сил, вызываемых действием усилия резания 43
V. Упрощенные приборы для измерений усилий штамповки 49
VI. Опыты резания металла в штампах 57
VII. Итоги опытов 72

Раздел второй

Элементарный расчет и конструирование штампов

VIII. Исходные данные для расчетов деталей штампов и для выбора пресса 86
IX. Элементарный расчет деталей штампов на прочность 99
X. Конструирование пробивных и вырезных штампов 134
XI. Приложение. Стандарты и нормали деталей штампов 163
Литература 194

Технический редактор *Е. Н. Матвеева* Корректор *И. И. Рубашкин*

Обложка художника *А. Л. Бельского*

Сдано в произв. 3/XII 1948 г. Подпис. к печати 7/IV 1949 г. Тираж 3400 экз.
А 04120. Печ. л. 12 1/4 Уч.-изд. л. 12,5. 60 × 92 1/16. Зак. № 4083.

1-я типография Машгиза, Ленинград, ул. Моисеенко, 10

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
15	4-я снизу	Главное снижение	Плавное снижение	Тип.
16	5-я снизу	кривой P_u	кривой P'_u	»
17	9-я сверху	$\int^{n} P'_u\,dz = 0.$	$\int_{0}^{n} P'_u dz = 0.$	«
17	16-я сверху	кривых P_u и P_u	кривых P_u и P'_u	»
117	19-я сверху	образоваться не может	просвет образоваться не может.	»
145	11-я снизу	$D_{мн} = D_{мн}$	$D_{мн} = D_{\min}$	»

Поправка к стр. 63. Фиг. 76 должна быть повернута на 110° против часовой стрелки.

Поправка к стр. 113. В формулу для вычисления напряжения изгиба σ_1 вкралась ошибка. Вместо

$$\sigma_1 = \frac{8400\ (12{,}5 + b)}{b^3}$$

должно быть

$$\sigma_1 = \frac{8200\ (25 + b)}{b^3}$$

и принимаемое допускаемое напряжение не 3000, а 5000 *кг/см²*; конечный же результат не 3,8, а 4,5 *см*.

Б. П. Звороно, Расчет и конструирование штампов для холодной штамповки.