

Лекция 5.
**Тема РАСКРОЙ ЛИСТОВОГО
ПРОКАТА**

План лекции: 1. показатели эффективности раскроя,
2. типы раскроя листа,
3. выбор вида раскроя,

Раскрой — это отыскание наиболее эффективного размещения заготовок (или плоских деталей) в листе (полосе, ленте), относительно друг друга и кромок листового проката.

В себестоимости продукции листовой штамповки затраты на материал составляют 50—70 %, поэтому наиболее эффективным способом снижения себестоимости является экономия металла за счет снижения массы отходов.

Подсчитано, что каждый процент уменьшения массы отходов позволяет снизить себестоимость штампованной детали на 0,4—0,5 %. В связи с этим возникает проблема оптимизации раскроя листового и сортового проката.

В технической литературе встречается и другая, традиционная трактовка термина «раскрой», а именно — размещение заготовок с последующей разрезкой (раскромом) листового и сортового проката на полосы и ленты и отдельные заготовки. Недостаток этой трактовки заключается в том, что она не соответствует терминологии, регламентированной ГОСТ 18970—84.

Согласно ГОСТ 18970—84 мерой эффективности раскроя служат два показателя:

- **коэффициент раскроя** $K_{ра}$, равный отношению массы деталей, полученных из одной заготовки (листа, прутка), к массе исходной заготовки;
- **коэффициент использования металла** $K_{и}$, представляющий собой отношение массы детали к норме расхода металла на ее изготовление.

$$K_{и} = \frac{M_{д}}{H}$$

где $M_{д}$ - масса готового изделия (детали), кг;

H – норма расхода материала на одно изделие (деталь), кг;

$$H = \frac{M}{n_d}$$

где M - масса единицы листа, рулона, куска ленты, применяемых для штамповки, кг;

n_d - число изделий, получаемых в результате раскроя материала в штуках.

если считать, что толщина деталей, штампуемых из листового проката, неизменна во всех точках и равна толщине исходной заготовки (листа), то коэффициент использования металла можно рассматривать как отношение площади всех деталей (или заготовок), штампуемых из листа $n_d \times f$, к площади листа $B \times L$, из которого они получают вырубкой:

$$K_n = n_d \times f / (B \times L). \quad (6.1)$$

Площадь детали f , имеющей отверстия, равна разности площадей ее внешнего контура f_k и суммарной площади отверстий $f_{отв}$ в этом случае:

$$K_n = n \times (f_k - f_{отв}) / (B \times L). \quad (6.2)$$

Исходя из условия неизменности толщины металла и заготовки, коэффициент раскроя $K_{ра}$ можно представить, как отношение площади, ограниченной внешним контуром детали (без площади отверстий, если они имеются), к площади листа, из которого их штампуют:

$$K_{ра} = n \times f_k / (B \times L). \quad (6.3)$$

Нетрудно заметить, что когда деталь не имеет отверстий ($f_{отв} = 0$), то $f = f_k$ и:

$$K_n = K_{ра}.$$

Если коэффициент раскроя $K_{ра}$ зависит от формы внешнего контура деталей и их взаимного расположения, то коэффициент использования металла K_n , кроме указанных факторов, зависит еще и от наличия в детали отверстий.

Коэффициент использования металла — главный показатель,

определяющий как эффективность использования металла, так и

технологичность конструкции штампуемой детали.

Чем он выше, тем выше эффективность раскроя и тем технологичнее

штампуемая деталь.

2. ТИПЫ РАСКРОЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА, ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Существует три типа раскроя листового проката: *с отходами, малоотходный и безотходный*.

При раскрое *с отходами* деталь (или заготовка) получают вырубкой по замкнутому контуру. Между деталями, а также между деталями и кромкой полосы или листа оставляют перемычки (**рис. 6.1, а**). Раскрой с перемычками по всему контуру применяют при штамповке деталей, имеющих по преимуществу криволинейные очертания и повышенную точность размеров.

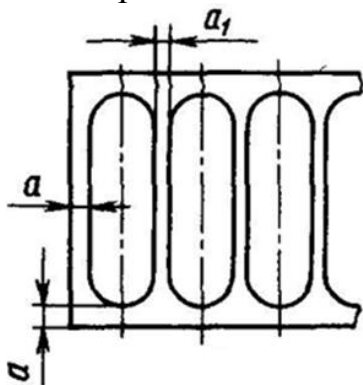


Рис. 6.1. Типы раскроя: «а» - с отходами

Различают два вида перемычек: между краями соседних деталей a_1 и между краями детали и кромкой листа или полосы a (**рис. 6.1, а**), последние называют боковыми перемычками, они в 1,15—1,3 раза больше, чем перемычки между деталями. Это объясняется возможными отклонениями размера полосы по ширине (в пределах допуска) и возможной не прямолинейностью ее боковых кромок.

Ширина перемычек влияет на K_n , точность размеров вырубаемых деталей и стойкость пуансонов и матриц. Чем шире перемычка, тем меньше K_n и, следовательно, больше отходов. Перемычки должны быть достаточно жесткими. При малой жесткости они теряют устойчивость и могут быть втянуты в зазор между пуансоном и матрицей, что приводит к снижению стойкости инструмента и даже к его разрушению.

Кроме того, недостаточная жесткость перемычек снижает точность шага штамповки из-за упругого изгиба при применении автоматической крючковой подачи или при ручной подаче с упором в перемычку.

Ширина перемычки зависит от толщины штампуемого материала и его механических свойств, длины прямолинейных участков штампуемой детали (чем она больше, тем больше упругие деформации перемычки), конструкции штампа (особенно, его упоров), конструкции автоматической подачи полосы в штамп и других факторов. Ее определяют по специальным таблицам, составленным на основании обобщения опыта передовых предприятий. В зависимости от перечисленных факторов ширина перемычек изменяется от 1,0 до 3,2 мм при толщине металла менее 4 мм и от 2,5 до 6,5 мм — при толщине металла 4—10 мм.

Малоотходный раскрой характеризуется отсутствием боковых перемычек, при этом ширина полосы должна быть равна ширине штампуемой детали. Малоотходный раскрой применяют, например, при раскрое звеньев цепей пластинчатых конвейеров, при штамповке их из полосы (рис. 6.1, б), коэффициент использования $K_{и}$ при малоотходном раскрое выше, чем при штамповке с отходами.

Безотходный раскрой применяют при штамповке деталей, контур которых сопрягается друг с другом. При безотходном раскрое перемычки отсутствуют, следовательно, $K_{и}$ близок к единице. Примером безотходного раскроя различных по форме деталей может служить раскрой заготовок оконных или дверных петель (рис. 6.1, в).

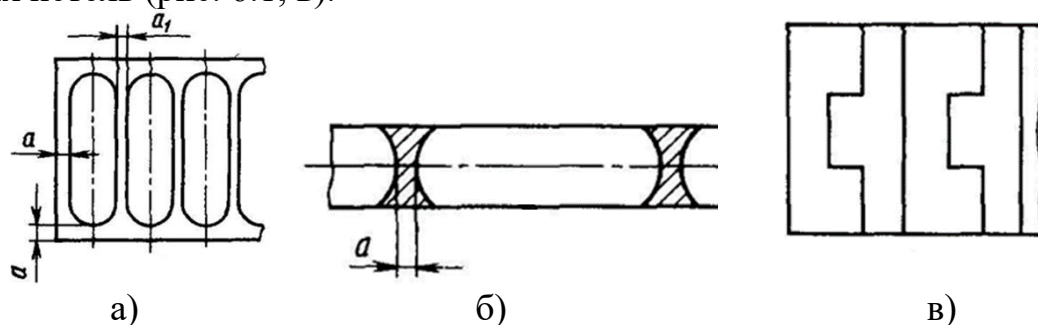


Рис. 6.1. Типы раскроя:

а — с отходами; *б* — малоотходный; *в* — безотходный

При малоотходном и безотходном раскрое происходит отрезка по незамкнутому контуру в отличие от вырубки по замкнутому контуру при раскрое с отходами.

Указанная особенность приводит к снижению стойкости инструмента в связи с тем, что возникающие при отрезке изгибающие моменты и распорные усилия взаимно не уравниваются. В результате этого пуансон штампа может упруго деформироваться, что связано с изменением зазора между пуансоном и матрицей.

Увеличение зазора по сравнению с оптимальным приводит к образованию торцевого заусенца, а уменьшение зазора — к росту удельных усилий на рабочих кромках пуансона и матрицы, в связи с чем их притупление и изнашивание происходит более интенсивно.

Различают шесть основных видов раскроя деталей (или заготовок) в полосе, область применения которых определяется формой и размерами штампуемых деталей: *при штамповке деталей простой геометрической формы* (прямоугольной, овальной) применяют **прямой раскрой** (рис. 6.2, а); *при штамповке деталей Г-образной формы или другой сходной формы* применяют **наклонный раскрой** (рис. 6.2, б); *при штамповке деталей Т- и Ш-образной формы* применяют **встречный раскрой** (рис. 6.2, в); *при штамповке деталей разной формы, но одинаковой толщины из одного и того же материала* применяют **комбинированный раскрой** (мелкие детали располагаются в промежутках между деталями больших размеров или в угловых участках полосы (листа), когда крупные детали имеют круглую или овальную форму), рис. 6.2, г.

При штамповке деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве применяют *многорядный раскрой* (рис. 6.2, д); при штамповке мелких и весьма узких деталей (например, стрелок часов) из мерной полосы или ленты — *раскрой с вырезкой перемычек* (это единственный вид раскроя, когда преднамеренно увеличивается отход металла в целях увеличения площади поперечного сечения пуансона для пробивки окон), рис. 6.2, е.

Тип раскроя с отходами

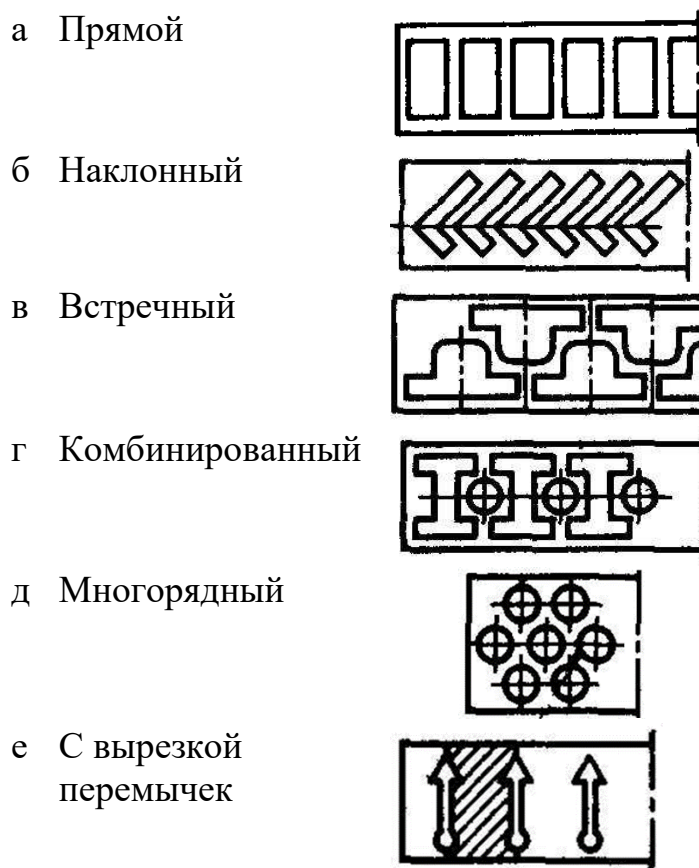


Рис. 6.2. Основные виды раскроя

3. ВЫБОР ВИДА РАСКРОЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Выбор наиболее рационального вида раскроя осуществляется *опытно-графическим* или *расчетным (аналитическим)* путем.

Опытно-графический способ применяют в мелкосерийном производстве при раскрое деталей (или заготовок) сложной формы. Для отыскания самого выгодного раскроя вырезают 2—3 шаблона штампуемой детали из бумаги или картона. Придавая этим шаблонам различные взаимные расположения в полосе, отыскивают такое, при котором отход материала будет наименьшим. При окончательном установлении ширины полосы и шага штамповки учитывают продольные и боковые перемычки. **Можно применять САД системы.**

Расчетный (аналитический) способ определения раскроя может быть применен лишь в том случае, когда установлена функциональная связь между параметрами раскроя и $K_{\text{и}}$. **Можно применять САЕ системы**

- При штамповке с боковыми перемычками ширину полосы определяют с учетом принятой схемы штампа.
- Если предусмотрен прижим полосы к направляющей планке, то ширина полосы не зависит от зазора между направляющими планками:

где: δ -допуск на ширину полосы;

- Если же в штампе предусмотрено свободное перемещение полосы, то ее ширину рассчитывают из условия, что при наибольшем смещении полосы в одну сторону боковая перемычка не была меньше «а».
- В наиболее неблагоприятном случае наибольший зазор между направляющими планками: $Z_{max}=ZH+\delta+\delta l$;
- При этом расстояние от правой кромки матрицы до края полосы должно сохранять значение «а».
- Следовательно, должно соблюдаться равенство:

$$B_{п-\delta}=A+a+ZH+\delta+\delta l+a$$

- Откуда:

$$B_{п}=[A+2(a+\delta)+ZH+\delta l]-\delta$$

Рассчитанная по этой формуле ширина полосы при самых неблагоприятных условиях штамповки гарантирует сохранение наименьшего значения перемычки «а».

Рассмотрим методику определения K_n для круглых деталей (или заготовок), которые могут быть расположены в полосе в несколько рядов, при параллельном или шахматном раскрое (рис. 6.3).

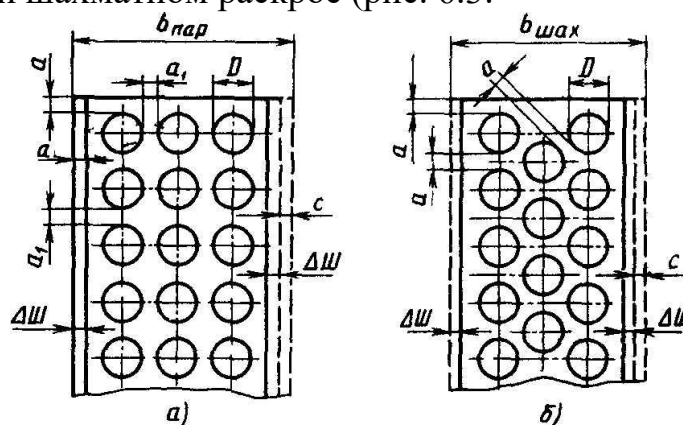


Рис. 6.3. Схема раскроя круглых заготовок:

а — параллельный; б-шахматный

Вначале выбирают тип раскроя и число рядов N в полосе в зависимости от диаметра заготовки, удобства работы с ней, программы выпуска продукции.

После этого определяют величины перемычек a и a_1 , допуск на ширину полосы $A_{ш}$, зазор z между краем полосы и направляющей линейкой штампа и припуск сна обрезку ножевым упором (если он имеется в штампе).

С учетом выбранных параметров определяют ширину полосы по формулам, полученным геометрическим путем (см. рис. 6.3):

- при параллельном раскрое без применения бокового прижима:

$$b_{пар} = ND + 2a + (N - 1) a_1 + 2\Delta Ш + z; \quad (6.4)$$

- при шахматном раскрое без применения бокового прижима;

$$b_{шах} = D + 2a + (N-1) (D + a_1) + 2\Delta Ш + z. \quad (6.5)$$

При штамповке с боковым прижимом необходимость в зазоре z отпадает, для данного случая могут быть использованы формулы (6.5) и (6.6), полагая в них $z=0$.

Ширина полосы *при параллельном и шахматном раскрое круглых заготовок и вырубке их в штампе с боковым ножевым упором*, срезающим припуск шириной «С» вдоль полосы, равна:

- *при одностороннем ножевом упоре:*

$$b_{\text{пар}} = ND + 2a + (N - 1) a_1 + c; \quad (6.6)$$

$$b_{\text{шах}} = D + 2a + 0,866(N - 1)(D + a_1) + c; \quad (6.7)$$

- *при двустороннем ножевом упоре:*

$$b_{\text{пар}} = ND + 2a + (N - 1) a_1 + 2c; \quad (6.6a)$$

$$b_{\text{шах}} = D + 2a + 0,866(N - 1)(D + a_1) + 2c. \quad (6.7a)$$

После установления ширины полосы определяют число полос «r», получаемых из листа при двух вариантах его разрезки — продольном и поперечном (рис. 6.4):

- *при продольном расположении полос в листе*

$$r_{\text{пар}} = B/b_{\text{пар}} \quad (6.8) \quad \text{или} \quad r_{\text{шах}} = B/b_{\text{шах}}; \quad (6.9)$$

- *при поперечном расположении полос в листе* (6.10)

$$r_{\text{пар}} = L/b_{\text{пар}} \quad (6.10) \quad \text{или} \quad r_{\text{шах}} = L/b_{\text{шах}}. \quad (6.11)$$

Способ раскроя листа из полосы так же, как и способ расположения деталей в полосе, влияет на K_n . Раскрой листа на полосы выполняется с учетом не только экономии металла, но и технологических факторов, а также производительности труда при отрезке на ножницах. *Так, например, при раскрое листа на полосы необходимо учитывать ориентировку продольной оси детали (или заготовки) относительно направления волокон металла. Если отрезаемые или вырубаемые заготовки подвергаются гибке, то направление волокон металла должно быть перпендикулярно линиигиба или, в крайнем случае, должно составлять с ней угол не менее 30°.* При раскрое лучше всего полосы располагать вдоль большей стороны листа, так как при продольной отрезке производительность больше, чем при поперечной. Однако продольная отрезка не всегда обеспечивает наилучшее использование металла и неудобна в работе (длинная полоса больше провисает, чем короткая).

Следующий этап расчета K_n — *определение числа деталей в полосе* для различных способов раскроя при продольной и поперечной отрезке листа на полосы:

- *при параллельном раскрое деталей в полосе* и продольной отрезке листа на полосы число деталей в полосе (при $a \approx a_1$)

$$m_L = N(L - a)/(D + a_1); \quad (6.12)$$

- *при поперечной отрезке листа на полосы*

$$m_B = N(B - a)/(D + a_1). \quad (6.13)$$

- *при шахматном раскрое (см. рис. 6.3, б) число заготовок*

$$m = N_1 l_1 + N_2 l_2, \quad (6.14)$$

где N_1 и N_2 — число рядов вдоль полосы с наибольшим и наименьшим числом заготовок соответственно; l_1 и l_2 — число рядов поперек полосы с наибольшим и наименьшим числом заготовок соответственно.

Учитывая, что $N_2 = N_1 - 1$, получим $m = N_1 l_1 + l_2 (N_1 - 1)$. (6.14a)

Рассмотрим два вида раскроя: когда $l_1 = l_2$, при этом число рядов поперек полосы $l = l_1 + l_2$ всегда будет четным, и когда $l_2 = l_1 - 1$, в данном случае число рядов поперек полосы всегда будет нечетным.

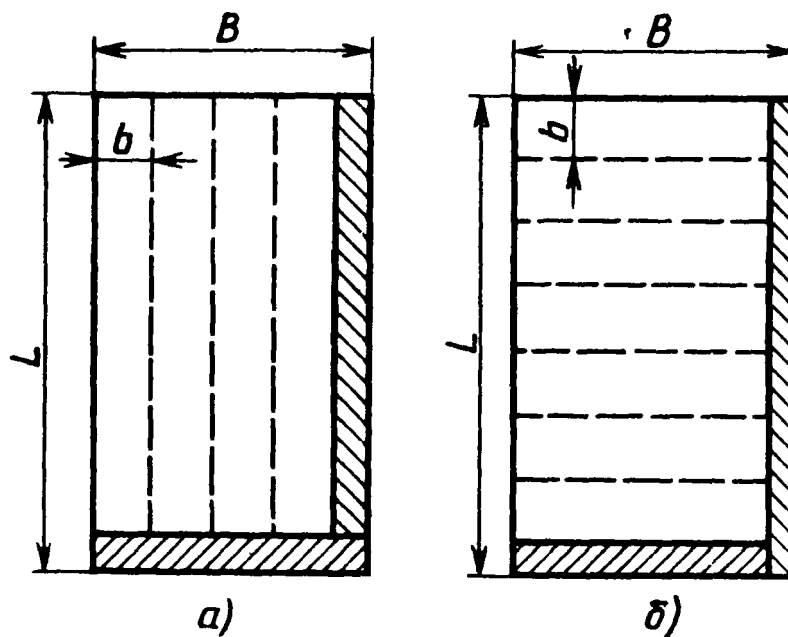


Рис. 6.4. Варианты разрезки листа на полосы:
а — продольный; б — поперечный

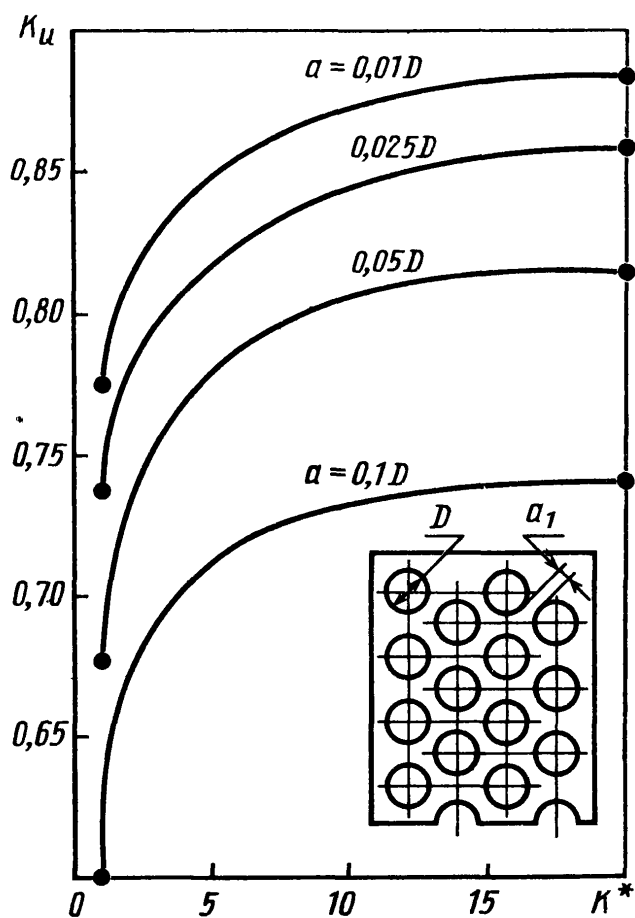


Рис. 6.5. Зависимость коэффициента использования металла K_u числа рядов K^* при шахматном раскрое

Подставив в формулу (6.14а) $l_1 = l_2$ и $l_1 + l_2 = l$, получим число заготовок из полосы при четном числе рядов:

$$m = 0,5 \times l \times (2 \cdot N_l - 1). \quad (6.15)$$

Подставив в формулу (6.14а) $l_2 = l_1 - 1$ и $l_1 + l_2 = l$, получим число заготовок из полосы при нечетном числе рядов:

$$m = 0,5 \times [N_l \times (l + 1) + (N_l - l) \times (l - 1)]. \quad (6.16)$$

В формулах (6.15) и (6.16) N_l определяется из формулы (6.5) при $\Delta III = 0$, $z = 0$ и $a = a_1$:

$$N_l = (b - a) / (D + a_1). \quad (6.17)$$

Число рядов поперек полосы l зависит от типа раскроя полосы в листе: при раскрое полосы поперек листа

$$l = \frac{B - 2a - D}{(D + a_1) \cdot 0,866} + 1;$$

при раскрое полосы вдоль листа

$$l = \frac{L - 2a - D}{(D + a_1) \cdot 0,866} + 1, \quad (6.18)$$

где B — ширина листа; L — длина листа. Расчетное значение будет целым числом только в том случае, когда B и L кратны шагу раскроя $(D + a_1)$.

Зная число r полос из листа и число заготовок m , получаемых из полосы для различных типов раскроя и способов расположения полос в листе (вдоль и поперек листа), можно определить число заготовок, получаемых из листа:

$$n = m \times r. \quad (6.20)$$

В заключение расчета определяем K_n :

$$K_n = 0,785 \times D^2 \times n / (B \cdot L). \quad (6.21)$$

Расчеты показывают, что шахматный раскрой эффективнее раскроя с параллельным расположением деталей и эффективность шахматного раскроя повышается с увеличением числа рядов (рис. 6.5).

Многорядный раскрой эффективно использовать при штамповке круглых деталей сравнительно небольшого диаметра — до 100—120 мм, причем число рядов рекомендуется принимать от 10 при диаметре заготовки до 10 мм и до 1—2 при диаметре заготовки свыше 120 мм. При большем числе рядов полоса становится широкой (и тяжелой), работа с ней требует больших физических затрат. В данном случае для облегчения условий труда необходима механизация процесса подачи полосы в штамп.

Штамповка непосредственно из листа (без предварительной) отрезки полос более эффективна, чем штамповка из ленты. Для штамповки круглых заготовок, расположенных в шахматном порядке непосредственно из листа, применяют автоматические подачи к кривошипным открытым прессам. Принцип работы этих установок заключается в том, что вращательное движение вала прессы преобразуется приводом ходовых винтов в зигзагообразное поступательное движение каретки, в зажимах которой закрепляется лист. Настройка привода ходовых винтов установки производится в зависимости от расположения заготовок в листе. Установка работает в автоматическом режиме, ее производительность до 35 тыс. шт. в смену, точность подачи 0,25—0,15 шага подачи.