

## Лекция №3

### РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

#### План лекции

1. Классификация и схемы основных разделительных операций
2. Механизм деформирования, оптимальный зазор
3. Влияние зазора на значение и знак упругих деформаций
4. Энергосиловые характеристики процесса
5. Способы уменьшения деформирующего усилия

### 3.1. Классификация и схемы основных разделительных операций

Разделительные операции широко применяются в холодноштамповочном производстве (табл. 4). С их помощью осуществляется отрезка рулонного и листового проката на ленты и полосы, разрезка сортового проката на заготовки, вырубка различного рода плоских деталей, вырубка заготовок для штамповки пространственных пустотелых деталей и пр.

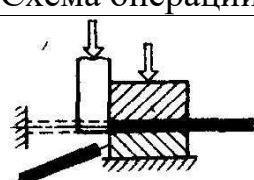
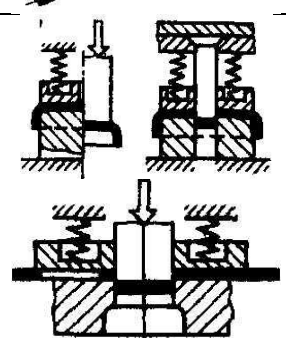
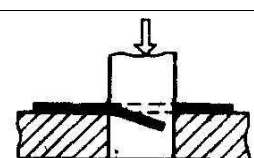
В разделительных операциях можно выделить две (основные):

**Отрезка**, т. е. отделение части заготовки по незамкнутой линии, осуществляется на ножницах или в штампах.

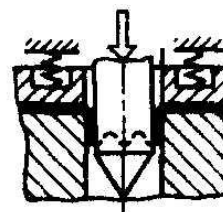
**Вырезка** — отделение части заготовки по замкнутому контуру, осуществляемое на ножницах.

А вообще «Схемы» основных разделительных операций определяет ГОСТ 18970 -84.

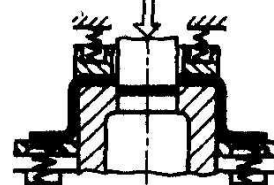
**Схемы основных разделительных операций и их определение по ГОСТ 18970—84**

Термин и его определение	Схема операции
Отрезка — полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем сдвига	
Разрезка — разделение заготовки на части по незамкнутому контуру путем сдвига (с отходом и без отхода)  Вырубка — полное отделение заготовки или изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путем сдвига (отделенная часть — изделие)	
Надрезка — неполное отделение части заготовки путем сдвига	

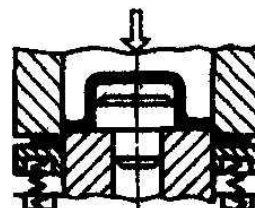
Проколка — образование в заготовке отверстия без удаления металла в отход



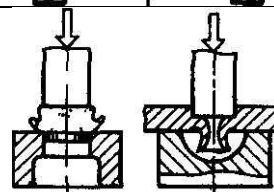
Пробивка — образование отверстия или паза путем сдвига с удалением отделенной части металла в отход



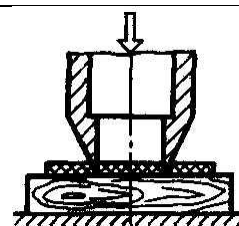
Обрезка — удаление излишков металла (припусков, облоя) путем сдвига



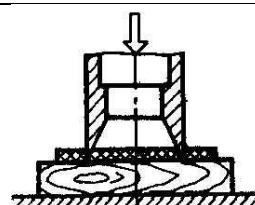
Зачистка — удаление технологических припусков с помощью штампа с образованием стружки для повышения точности размеров и уменьшения шероховатости штамповочной заготовки



Высечка — полное отделение заготовки или изделия по замкнутому контуру путем внедрения инструмента в материал исходной заготовки



Просечка в штампе — образование отверстия в заготовке путем внедрения в нее инструмента с удалением части материала в отход



Для разделительных операций отрезки и вырезки применяют ножницы.

**Ножницы** — специализированная машина, позволяющая вести отрезку полос (заготовок) разной ширины и длины, а также вырезку заготовок различной конфигурации и размеров.

По характеру движения режущих кромок различают ножницы:

1) *с поступательным*

2) *вращательным движением режущих кромок.*

К первой группе ножниц с поступательным движением режущих кромок относятся ножницы:

- с наклонным ножом (гильотинные, вибрационные, аллигаторные),
- сортовые,
- высечные
- с параллельными ножами.

Ножницы с возвратно-поступательным движением ножей выпускаются с механическим и гидравлическим приводом.

В заготовительных отделениях прессовых цехов для отрезки листового металлопроката толщиной до 10—12 мм наиболее широко применяют ножницы с механическим приводом (кривошипные с наклонным ножом), для отрезки толстолистового проката толщиной до 40 мм — с гидравлическим приводом и наклонными ножами различной формы.

Ещё раз отметим то, что ножницы *с поступательным движением режущих кромок* могут иметь параллельные режущие кромки ножей или наклонные с углом  $\alpha$  между ними (углом створа).

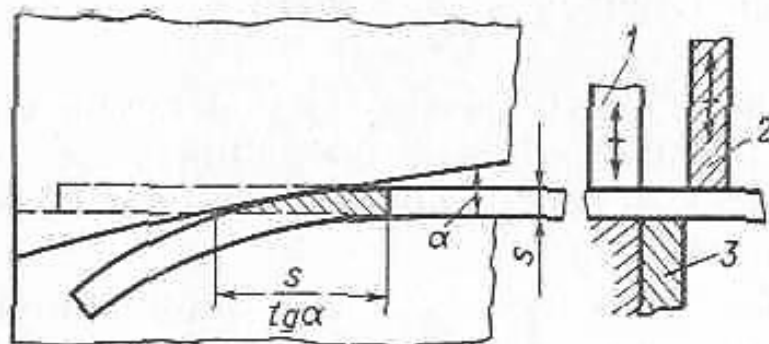


Рис. 13. Схема резки на гильотинных ножницах:

1 — прижим; 2 — верхний нож; 3 — нижний нож

Последний тип ножниц обычно называют гильотинными

Рассмотрим механизм деформирования при отрезке листового проката ножницами и основные факторы влияющие на качество поверхности реза.

### **3.2. МЕХАНИЗМ ДЕФОРМИРОВАНИЯ, ОПТИМАЛЬНЫЙ ЗАЗОР**

Механизм деформирования при выполнении разделительных операций рассмотрим на примере отрезки и разрезки. Эти операции выполняют с помощью специальных ножниц или штампов. Рабочие органы — ножи, внедряясь в металл, пластически деформируют его до полного отделения одной части от другой. Ножи устанавливают с некоторым зазором  $z$ .

Отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением этих частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение в начальных стадиях характеризуется пластическим деформированием, но завершается обязательно разрушением.

Для уменьшения искажений заготовки, вызываемых пластическими деформациями, стремятся локализовать очаг пластической деформации, чему способствует уменьшение радиусов скругления рабочих кромок инструмента и уменьшение зазора между пуансоном и матрицей.

Наличие зазора приводит к тому, что силы, приложенные к заготовке со стороны матрицы и пуансона, образуют момент, равный произведению равнодействующих элементарных сил, действующих от пуансона и матрицы на плечо несколько большее, чем зазор  $z$ .

Наличие момента вызывает поворот в пространстве отделяемых частей (при отрезке) или изгиб заготовки (при вырубке и пробивке). Это в свою очередь, приводит к резкой неравномерности распределения нормальных напряжений на контактных поверхностях. Нормальные напряжения увеличиваются от нуля по мере приближения к режущим кромкам до максимума вблизи последних. Неравномерность распределения напряжений на контактных поверхностях вызывает неравномерность распределения напряжений в слоях, параллельных плоскости листа, и в толщине заготовки.

Согласно принципу Сен-Венана о локальности эффекта самоуравновешивающихся внешних нагрузок, по которому неравномерность распределения напряжений, вызванная действием сосредоточенных сил, быстро убывает по мере удаления от точки приложения этих сил, в разделительных операциях по мере удаления от режущих кромок в толщину заготовки неравномерность распределения напряжений уменьшается, а протяженность зоны пластических деформаций в направлениях, перпендикулярных к направлению внешних сил резания, увеличивается. Отсюда следует, что очертания очага деформации в разделительных операциях, как это подтверждается опытом (рис. 4), приближенно имеют вид, показанный на рис. 5. Неравномерности распределения напряжений в очаге деформации соответствует неравномерность распределения величин деформаций. Максимальная величина деформаций будет вблизи режущих кромок; по мере удаления от них в толщину заготовки и в направлениях, перпендикулярных к линии действия внешних сил, величина деформаций уменьшается. Можно полагать, что в слоях заготовки, первоначально параллельных плоскости листа, наибольшая величина меридиональной деформации  $\epsilon_r$  будет в элементах, расположенных вблизи поверхности, соединяющей режущие кромки рабочего инструмента.

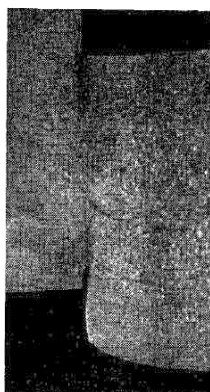


Рис. 4. Изменение макроструктуры при вырубке

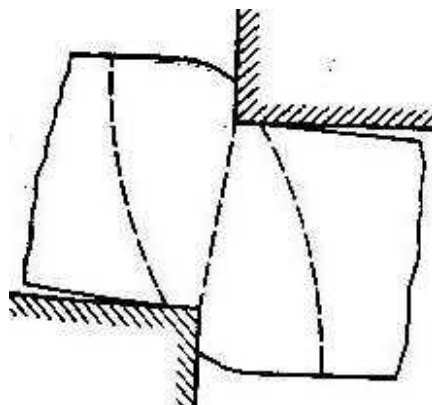


Рис. 5. Схема очага деформации при разделительных операциях

Деформация  $\epsilon_r$  на этой поверхности переменна, минимальное значение соответствует середине толщины, а увеличивается она по мере приближения к рассматриваемым слоям к режущим кромкам. Такому характеру распределения деформаций способствует также и то обстоятельство, что очаг пластической деформации зарождается вблизи режущих кромок и проникает на все большую глубину по мере внедрения режущих кромок в заготовку. При определенном внедрении режущих кромок очаги пластической деформации, возникающие у режущих кромок, сольются, образуя единый очаг, пронизывающий всю толщину заготовки.

С момента образования единого очага деформации начинается достаточное смещение одной части заготовки относительно другой в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. По мере увеличения смещения величины деформаций, возникающие в очаге деформации также увеличиваются, причем наиболее интенсивно вблизи поверхности, соединяющей режущие кромки инструмента.

***Каждый металл без разрушения способен воспринять пластическую деформацию определенной величины, которая зависит от свойств металла и схемы напряженного состояния. В соответствии с этим и в разде-***

лительных операциях без снятия стружки при достижении определенной величины пластической деформации может начаться разрушение. А так как максимальная деформация имеет место вблизи режущих кромок, то и разрушение может начаться в первую очередь в элементах, расположенных вблизи режущих кромок инструмента. При этом следует иметь в виду, что величина предельной (без разрушения) пластической деформации зависит *от схемы напряженного состояния и величины действующих напряжений* и увеличивается с увеличением шарового тензора сжатия. Именно поэтому разрушение должно начаться не в элементах, расположенных под (или над) торцом рабочего инструмента, а в элементах, противостоящих свободным поверхностям (при положительном зазоре), где величина сжимающих напряжений меньше. Это обстоятельство наглядно подтверждается фотографией, показывающей макрошлиф участка заготовки у режущей кромки в момент начала образования трещины (рис. 6). Этим же объясняется появление торцового заусенца, особенно в случае притупления режущих кромок. Приведенные соображения и данные позволяют воссоздать картину процесса деформирования в разделительных операциях без снятия стружки.

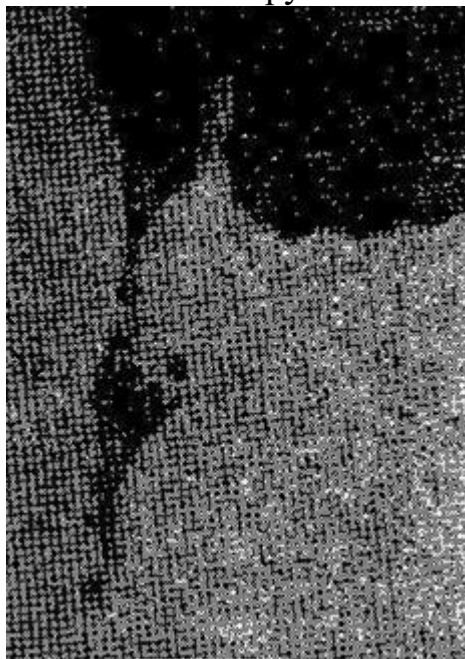


Рис. 6 – Зарождение трещины режущей кромки

*В начальных стадиях* пластическая деформация сосредоточивается у кромок, которые внедряются на некоторую глубину в металл. Очаги деформации от режущих кромок увеличиваются, продвигаясь в толщину заготовки, до смыкания. Дальнейшее внедрение режущих кромок вызывает пластическую деформацию по всей толщине заготовки, обуславливающую смещение одной части заготовки относительно другой. В этой стадии деформирования имеет место или только пластическая деформация [51], или уже начинается разрушение слоев заготовки, но только тех, которые приходят в непосредственное соприкосновение с режущей кромкой

При смещении одной части заготовки относительно другой в результате действия момента, образованного вертикальными силами  $P$  (рис. 7,15), заготовка стремится повернуться и на боковых поверхностях смещаемых частей

возникают горизонтальные силы  $T$ , прижимающие заготовку к боковым поверхностям режущего инструмента. Эти силы при смещении режущего инструмента относительно заготовки сглаживают поверхность, образуя блестящий пояс на поверхности среза.

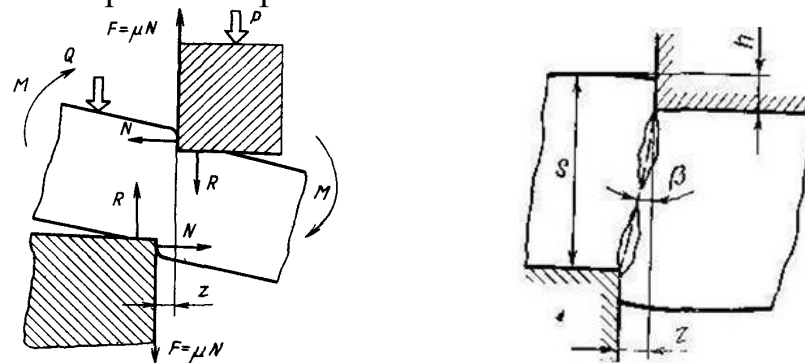


Рис.7 – схема действия сил положения (а) и положения скалывающей трещины (б) при отрезке.

Как только будет достигнута **предельная** величина деформации в слоях заготовки, расположенных вблизи от режущих кромок, последние разрушаются, образуя трещины, быстро развивающиеся в толщину заготовки.

Благодаря расклинивающему действию сил  $P$  и  $T$  образующаяся трещина несколько разворачивается к свободной поверхности. Слияние этих трещин в разделительных операциях без снятия стружки и завершает процесс отделения одной части заготовки от другой.

Таким образом процесс отделения одной части металла от другой можно расчленить на отдельные стадии (рис. 8). В **начале первой стадии** отрезки пластическая деформация сосредоточена у рабочих кромок ножей. По мере смыкания ножей очаги пластической деформации увеличиваются и в конце концов смыкаются (рис. 8, а).

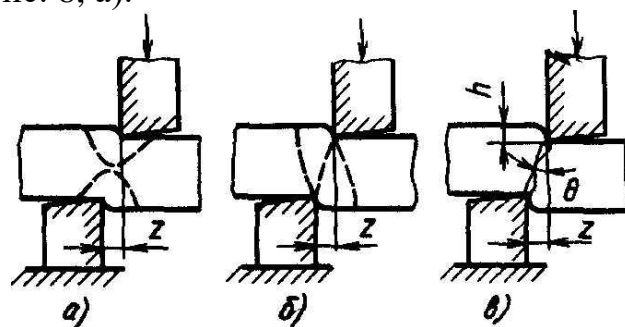


Рис. 8 - Стадии процесса отрезки

**Вторая стадия** начинается при необратимом смещении одной части листа относительно другой (рис. 8, б). В этот момент образуется гладкая блестящая поверхность, сглаженная силами трения, направленными вдоль боковой поверхности ножей.

По мере смыкания ножей степень деформации увеличивается и когда ресурс пластичности будет исчерпан, начинается **третья стадия** отрезки — появление трещин скалывания и разрушение металла, завершающееся отделением одной части листа от другой (рис. 8, в). Разрушение металла (скалывание) опережает внедрение рабочих кромок ножа в лист, поэтому трещины называют **опережающими трещинами скалывания**.

Однако слияние трещин может произойти не при всех условиях деформирования (рис. 7б).

Если принять, что трещины имеют прямолинейную образующую, наклоненную под углом  $\beta$  к оси инструмента (рис. 7б), а глубину внедрения режущей кромки до появления трещины обозначить через  $h$ , то величина зазора между режущими инструментами  $Z$ , обеспечивающего слияние трещин, идущих от режущих кромок, сможет быть найдена из простой геометрической зависимости

$$z=(s-h)\operatorname{tg}\beta$$

где  $s$  — толщина заготовки.

Анализ формулы показывает, что  $z_{\text{опт}}$  увеличивается с увеличением  $s$  и уменьшением  $h$  (чем мягче металл, тем  $z_{\text{опт}}$  меньше).

Как показали опыты, средняя величина угла  $\beta$  колеблется от 4 до 6°, уменьшаясь с увеличением прочностных характеристик материала заготовки. В то же время глубина внедрения  $h$  до появления трещин колеблется от 0,1 до 0,5 толщины заготовки, увеличиваясь с увеличением пластичности материала заготовки (с уменьшением прочностных характеристик).

С учетом приведенных данных можно сделать вывод, что минимальная величина зазора, обеспечивающая слияние трещин, разбивающихся от режущих кромок, уменьшается с повышением пластичности штампуемого металла (с уменьшением прочностных характеристик).

**Минимальный зазор, обеспечивающий совпадение трещин в разделительных операциях, называют оптимальным зазором.** Уменьшение зазора по сравнению с оптимальным значением приводит к тому, что трещины, развивающиеся от режущих кромок, не встречаются и поверхность среза получается рваной с поясками дополнительных срезов перемычек между трещинами (рис. 9).

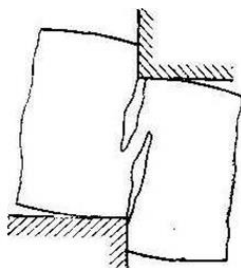


Рис. 9 – Распространение трещин при малом зазоре

При увеличении зазора относительно оптимального трещины по-прежнему сливаются, однако при этом возрастает наклон поверхности среза к оси (разница в поперечных размерах заготовки или отверстия), а также увеличиваются искажения, вызванные действием момента (так как плечо, на котором действуют силы, увеличивается с увеличением зазора).

Рассмотренные стадии отрезки характеризуются видом боковой поверхности отделенной части металла (рис. 10). **Зона I** представляет собой скругленную часть листа. Необратимое скругление произошло в результате того, что слои металла, граничащие с поверхностью разделения (шириной порядка его толщины), охвачены пластической деформацией, которая изменяется от нулевого значения на внешней границе слоя до максимума у поверхности разделения, причем интенсивность этого изменения происходит по степенному закону. **Зона II** — это блестящая поверхность, сглаженная силами трения. **Зона**



**III** представляет собой поверхность скола, образующуюся в результате возникновения и развития трещин скалывания. Трещины скалывания направлены под определенным углом  $\beta$  к плоскости листа, называемым естественным углом скола, значение которого зависит от физико-механических свойств металла. Этот угол составляет  $4\text{—}6^\circ$ .

В зависимости от зазора между ножами  $z$  и глубины проникновения ножа в толщу металла  $h$  к моменту начала разрушения трещины скалывания, идущие от рабочих кромок верхнего и нижнего ножей, могут пройти параллельно (рис. 3.4, а) или навстречу друг другу (рис. 3.4, б). В последнем случае зазор между ножами будет оптимальным, так как при этом поверхность скола получается наиболее гладкой. Скалывание начинается в тот момент, когда нож внедрится в лист на определенную глубину  $h$ , зависящую от физико-механических свойств металла и его толщины. Глубина  $h$  установлена экспериментально и изменяется в пределах от 0,2 до 0,8 толщины металла  $s$ , чем мягче металл, тем  $h$  больше

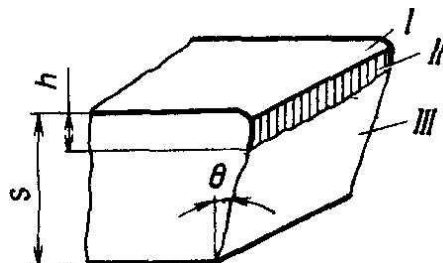


Рис.10 - Боковая поверхность отделенной части металла

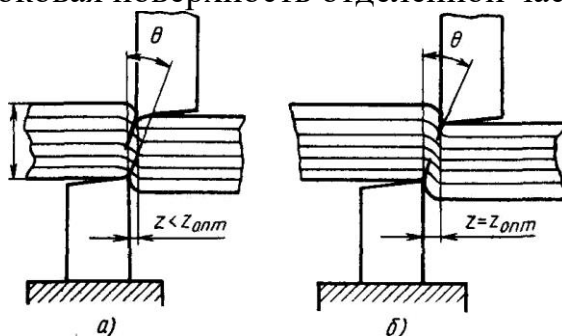


Рис. 3.4. Схема расположения трещин скалывания

Относительная высота блестящего пояса  $h/s$  зависит от рода материала заготовки и скорости деформирования. Значение отношения  $h/s$  может быть определено по эмпирическим зависимостям, одна из которых для стали 08кп (при  $\sigma_b = 300$  МПа) имеет вид [18]:  $h/s = 0,76 - 0,035s - 0,0014n$ , где  $n$  — число ходов пресса в 1 мин.

Практически оптимальный зазор  $z_{\text{опт}}$  определяют по данным, полученным на основании экспериментов и опыта работы передовых заводов. Для мягкой стали оптимальный зазор изменяется в зависимости от толщины металла, от 0,02 (при толщине металла 0,25 мм) до 0,82 мм (при толщине металла 12,5 мм). Ориентировочно можно считать, что при толщине металла  $s \leq 4$  мм  $z_{\text{опт}} = (0,03 \div 0,06)$  мм.

По данным фирмы ERFURT, при отрезке на кривошипных листовых ножницах с наклонным ножом оптимальный зазор равен  $1/30$  толщины отрезаемого листа.

**Необходимо отметить,** что при отрезке действие момента вызывает поворот отдельных частей заготовки относительно линии отрезки; величина поворота ограничена и должна определяться равенством момента сил резания  $P$  и реактивного момента, образованного давлением заготовки на боковые поверхности режущего инструмента  $N$ . При вырубке и пробивке момент сил резания вызывает прогибы в отделяемой и остающейся на матрице частях заготовки, величина которых также определяется равенством активного и реактивного моментов. Реактивный момент в данном случае будет образован не только моментом сил, вызванных давлением заготовки на боковые поверхности инструмента, но и моментами сил, возникающих в изгибаемых частях заготовки.

Изложенное относительно процесса деформирования заготовки в разделительных операциях без снятия стружки позволяет перейти к изучению силовых условий деформирования. При отрезке возникает изгибающий момент  $M$ , равный произведению силы, приложенной к ножу, на плечо, несколько большее, чем зазор  $z$  между ножами:

$$M = aPl,$$

где  $a > 1$ .

Изгибающий момент вызывает поворот отрезаемой заготовки, что в свою очередь вызывает возникновение распирающих реакций  $N$  на боковых поверхностях ножей (рис. 3.1). Для устранения возможности поворота листа (или прутка) в процессе отрезки предусмотрено прижимное устройство, создающее силу прижима  $Q$ . Значения боковых распирающих реакций  $N$  составляют: при отрезке без прижима листа  $N=0,18 \div 0,35$ , при отрезке с прижимом  $N=0,1 \div 0,2$  деформирующего усилия  $P$ . Под действием реакций  $N$  зазор между ножами  $z$  увеличивается, что ухудшает качество поверхности среза, снижает точность размеров детали. Установка противо-отжима в штампе для отрезки устраняет указанные недостатки.

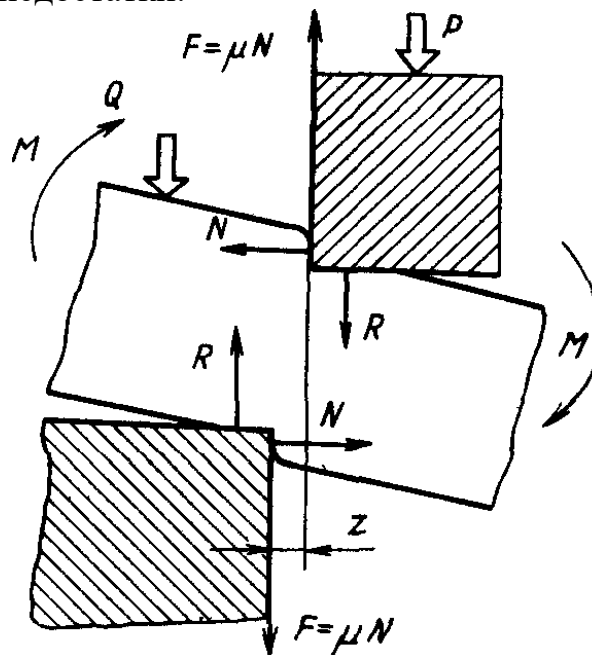


Схема действия сил при отрезке

### Отрезка на ножницах с возвратно поступательным движением ножей

По характеру движения рабочих органов ножницы для отрезки металла подразделяются на ножницы с возвратно-поступательным и вращательным движением ножей.

Ножницы с возвратно-поступательным движением ножей выпускаются с механическим и гидравлическим приводом. В заготовительных отделениях прессовых цехов для отрезки листового металлопроката толщиной до 10—12 мм наиболее широко применяют ножницы с механическим приводом (кривошипные с наклонным ножом), для отрезки толстолистого проката толщиной до 40 мм — с гидравлическим приводом и наклонными ножами различной формы.

При наклонном расположении верхнего ножа отрезка происходит постепенно, на отдельном участке листа, поэтому одномоментное усилие отрезки существенно меньше, чем при параллельном расположении ножей. Кроме того, статическое приложение нагрузки к рабочим кромкам ножей способствует повышению их стойкости.

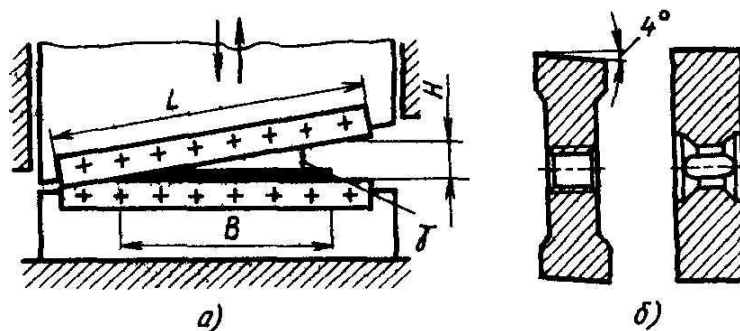


Рис. 3.5. Кривошипные ножницы с наклонным ножом (а) и форма поперечного сечения ножей (б)

Угол наклона верхнего ножа  $\gamma$  должен быть самотормозящим, т. е. таким, при котором исключается возможность перемещения листа в горизонтальной плоскости в процессе отрезки. В зависимости от толщины листа его принимают равным 2—6° (чем толще лист, тем угол  $\gamma$  больше). Для предупреждения опрокидывания листа при отрезке в конструкции ножниц предусмотрена прижимная балка (ползун) с приводом от главного вала.

Главные параметры ножниц: наибольшая длина и толщина отрезаемого материала. Согласно ГОСТ 6282—88 наибольшая Длина материала, отрезаемого на ножницах с наклонным расположением ножей, может достигать 4000 мм при наибольшей толщине — 40 мм, при условии, что его временное сопротивление  $\sigma_B \leq 500$  МПа. В том случае, когда  $\sigma_B \gg 500$  МПа, наибольшую толщину отрезаемого листа (мм) можно определить, используя условие неизменности затрачиваемого усилия отрезки, мм:

$$s_x = s \sqrt{500 / \sigma_B} . \quad (3.2)$$

Усилие отрезки на ножницах с наклонным расположением ножей, МН;

$$P_T = s^2 \cdot \sigma_{cp} / (2 \cdot \operatorname{tg} \gamma) , \quad (3.3)$$

Эта формула получена из условия постоянства площади среза. А площадь

среза получена из условия, что в каждый момент отрезки срезается площадь  $F=ls/2$ , приближенно принятая равной площади треугольника  $abc$  (рис. 3.6).

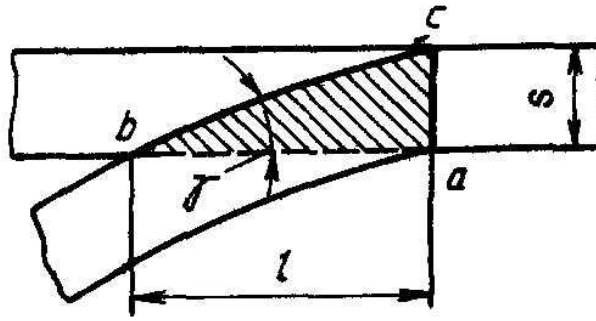


Рис. 3.6. Схема к определению усилия отрезки на ножницах с наклонным ножом

Так как  $l = s/\operatorname{tg} \gamma$ , срезаемая площадь листа  $F = s^2/2 \cdot \operatorname{tg} \gamma$ . Если считать, что усилие отрезки равно произведению площади  $F$  на сопротивление срезу  $\sigma_{\text{ср}}$ , то после использования полученных зависимостей получим формулу (3.3). С учетом притупления рабочих кромок ножей и коэффициента  $\omega$  усилие отрезки будет равно

$$P = \omega \cdot P_{\text{т}} \quad (3.4)$$

где  $\omega = 1,1 \div 1,3$ , а  $P_{\text{т}}$  определяется по формуле (3.3).

На сопротивление срезу  $\sigma_{\text{ср}}$  а, следовательно, и на усилие отрезки оказывают влияние физико-механические характеристики отрезаемого материала, значение зазора между ножами, скорость деформирования, условия трения и др. С увеличением прочности и с уменьшением пластичности материала, а также с увеличением скорости деформирования  $\sigma_{\text{ср}}$  возрастает; с увеличением зазора между ножами — уменьшается.

Сопротивление срезу определяется на основании обобщения экспериментальных данных по специальным таблицам, составленным для различных листовых металлов в нагартованном и отожженном состоянии, а также для различного рода неметаллических материалов (слоистые и волокнистые пластики, кожа, картон и пр.) [11, 18]. Сопротивление срезу  $\sigma_{\text{ср}}$  приближенно может быть определено как функция временного сопротивления  $\sigma_{\text{в}}$ . Например, для листов из углеродистых сталей  $\sigma_{\text{ср}} = (0,7 \div 0,8) \cdot \sigma_{\text{в}}$ .

При отрезке на ножницах с наклонным ножом может происходить изгиб (закручивание) полосы вокруг своей оси. Чем больше угол наклона верхнего ножа к меньше ширина полосы, тем изгиб больше. В связи с этим узкие полосы, ширина которых меньше 50—60 мм, отрезать на ножницах с наклонным ножом нецелесообразно. Если требуется получить узкую полосу, отрезку выполняют на ножницах с *параллельным расположением ножей* ( $\gamma = 0$ ). Для этого случая усилие, отрезки

$$P = \omega \cdot B \cdot s \cdot \sigma_{\text{ср}}. \quad (3.5)$$

При разрезке на ножницах с наклонным ножом поперечная сила  $P$  на установившейся стадии процесса изменяется незначительно (рис. 3.7, кривая  $a$ ). На этом основании формулу для определения работы деформирования  $A$  при разрезке можно представить в следующем виде (кДж):

$$A = P \cdot H / 1000. \quad (3.6)$$

Учитывая, что согласно рис. 3.5, а  $H = L \cdot \operatorname{tg} \gamma$ , формула (3.6) примет вид:

$$A = \frac{P \cdot L \cdot \operatorname{tg} \gamma}{1000}. \quad (3,6a)$$

При разрезке на ножницах с параллельными ножами усилие  $P$  интенсивно возрастает и достигает максимума, после чего уменьшается (см. рис. 3.7, кривая б).

При разрезке одинаковых листов работа деформирования, характеризуемая площадью диаграмм «а» и «б» (кривыми рабочей нагрузки), приблизительно одинакова, однако в случае а усилие разрезки меньше, чем в случае б. В связи с этим мощность привода ножниц с наклонным ножом меньше, чем ножниц с параллельными ножами. Практически установлено, что в связи с изгибом листов при отрезке на ножницах с наклонным ножом затрачиваемая работа деформирования на 10—15 % больше, чем при разрезке на ножницах с параллельными ножами.

При отрезке на ножницах с наклонным ножом ширину полос и штучных заготовок, а также параллельность их сторон обеспечивают упорами, установленными на станине ножниц и регулируемые специальным устройством.

Работа деформирования может быть также вычислена, если известна площадь, ограниченная кривой рабочей нагрузки, определяемая планиметрированием, или известен коэффициент заполнения кривой рабочей нагрузки  $\lambda = P_{cp} / P_{max}$ , где  $P_{cp}$  — отношение площади кривой рабочей нагрузки к ходу ножа (толщине заготовки). В данном случае работа деформирования равна

$$A = \lambda \cdot P_{max} \cdot s. \quad (3.6б)$$

Согласно экспериментальным данным при  $s > 2$  мм  $\lambda = 0,75 \div 0,55$ ; при  $s = 2 \div 4$  мм  $\lambda = 0,55 \div 0,45$  и при  $s > 4$  мм  $\lambda = 0,46 \div 0,30$ . Большее значение  $\lambda$  назначают для наиболее тонких и мягких, меньшее — для твердых и более толстых металлов [10]. Поперечные сечения четырехсторонних ножей ножниц показаны на рис. 3.5, б. Нож с передним углом  $\alpha = 4^\circ$  применяется для отрезки листового металла толщиной менее 4 мм, с углом  $\alpha = 0^\circ$  — для отрезки толстолистого металла. При длине ножей более 600 мм их делают составными для облегчения термической обработки и возможности замены отдельных секций ножа.

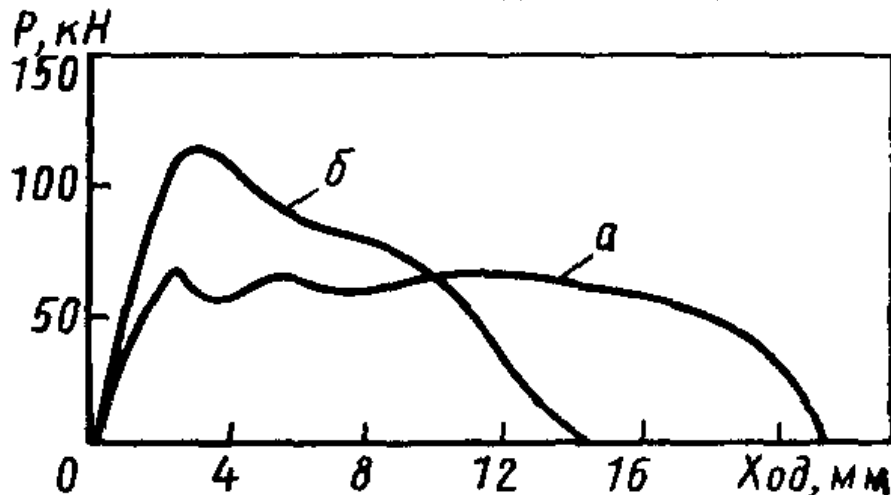


Рис. 3.7. Изменение рабочей нагрузки при отрезке на ножницах:

*а* — с наклонным ножом; *б* — с параллельными ножами

Если один вид ножниц с наклонным ножом — *вибрационные* ножницы. У этих ножниц нижний нож закреплен на станине неподвижно, а верхний — совершает возвратно-поступательное (вибрирующее) движение, передаваемое ему от специального кулачкового механизма, совершающего 1200—2500 ходов в минуту (рис. 3.8). Вибрационные ножницы применяют, главным образом, для вырезки криволинейных контуров (внешних и внутренних) с радиусами скругления на менее 12—15 мм. Толщина вырезаемого металла обычно не превышает 3 мм, точность размеров вырезанных заготовок (или деталей) соответствует 16-му качеству. Угол створа ножей вибрационных ножниц составляет 24—30° (больше самотормозящего), вследствие чего лист подается к ножам принудительно. Ход ножниц изменяется в пределах 2—4 мм.

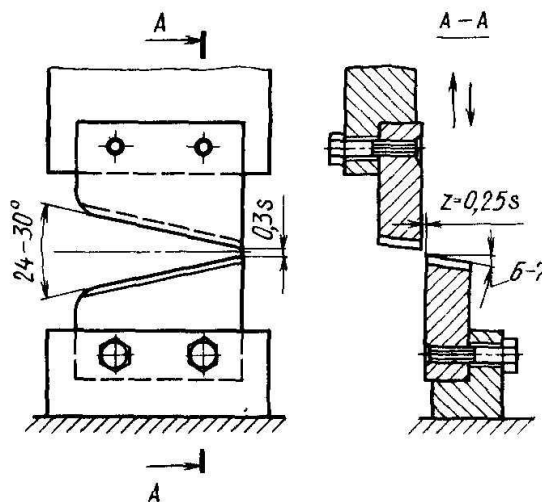


Рис. 3.8. Вибрационные ножницы

Особенность настройки вибрационных ножниц заключается в том, что перекрытие ножей отсутствует, а зазор между ножами больше оптимального (0,2—0,25 толщины металла). Это обеспечивает возможность поворота заготовки относительно рабочих кромок ножей в процессе вырезки криволинейных контуров.

К числу недостатков вибрационных ножниц по сравнению с гильотинными нужно отнести быстрое изнашивание ножей, а также образование заусенцев и зарубов по контуру вырезанной заготовки. Обычно заготовки после вырезки набирают в пачки и дополнительно фрезеруют по контуру. Вибрационные ножницы применяются только в мелкосерийном производстве вследствие низкой производительности.

Ножи рассмотренных ножниц для отрезки низкоуглеродистого проката рекомендуется изготавливать из инструментальной стали У8А и У10А, для отрезки проката повышенной прочности — из сталей Х12М или ее заменителей. Х6ВФ. Твердость ножей после термической обработки должна быть  $HRC = 58 \div 60$ .

Так как при отрезке разделение заготовки на части осуществляется по незамкнутой линии, то боковые усилия, возникающие при отрезке, могут уравниваться только внешними силами, приложенными к рабочему инструменту.

Рассмотрим, какие факторы влияют на величину боковых усилий, действующих на поверхности ножей в направлении, перпендикулярном к усилию резания при отрезке без прижима.

Усилие  $T$ , действующее на боковые поверхности ножей (рис. 15, а), может быть определено из условия равенства моментов, создаваемых усилиями резания  $P$  и боковыми усилиями  $T$ . Положим, что нормальные напряжения  $\sigma_x$  на контактной поверхности у рабочих торцов ножей возрастают по мере приближения к режущей кромке по линейному закону, а нормальные напряжения  $\sigma_y$  равномерно распределены по глубине внедрения  $x$ . Тогда условие равенства моментов может быть записано в виде

$$Ts = P(z + \frac{2}{3}y)$$

откуда следует, что

$$T = \frac{P(z + \frac{2}{3}y)}{s} \quad (3.7)$$

где  $y$  — длина контактной зоны под торцом ножей.

Возрастание напряжений от нуля до максимума на пояске смятия у режущей кромки наглядно подтверждается изменением чистоты поверхности в зоне смятия (рис. 15, б) и является следствием изгиба заготовки и образования утяжины вблизи пуансона.

Из формулы (3.7) видно, что боковое усилие  $T$  увеличивается с увеличением зазора между режущими кромками  $z$ , усилия деформирования  $P$  и ширины контактной зоны  $y$ . Заметим, что ширина контактной зоны  $y$  зависит от усилия деформирования и увеличивается с возрастанием последнего.

Попытаемся приближенно определить ширину контактной зоны. Внедрение режущих кромок, особенно в начальных стадиях деформирования, когда очаг деформации только формируется, можно сравнить с внедрением в полупространство пуансона, имеющего плоский торец.

Примем, что напряжение  $\sigma_{xmax}$  вблизи режущей кромки равно напряжению, действующему на торце пуансона, внедряемого в полупространство без трения при угле поворота характеристик  $\alpha_{ab} = \pi$ . Тогда, используя интеграл уравнений пластичности (интеграл Генки), можно определить  $\sigma_{xmax}$  из уравнения

$$\sigma_{sMAX} = 2k(1 + \pi) = 4.14\sigma_s \quad (3.8 \ 53)$$

Сходные значения  $\sigma_{xmax}$  получены также А. Г. Лисиным при рассмотрении процесса вырубки и пробивки.

При линейном убывании  $\sigma_x$  от режущей кромки усилие деформирования может быть выражено через  $\sigma_x$ :

$$P = \frac{1}{2} \sigma_{xMAX} y = 2.07\sigma_s y$$

Кроме того, если принять, что  $P_{max} = 0.8\sigma_{BS}$ , а в уравнении (3.8 53) для приближенного учета влияния упрочнения заменить напряжение текучести

$\sigma_s$  пределом прочности  $\sigma_6$ , то после некоторых преобразований можно получить значение ширины контактного участка  $y = 0,385s$ .

После подстановки найденного значения  $y$  в формулу (3.7 52) получим

$$T = \frac{z + 0.26s}{s} P \quad (3.9)$$

Формула (3.9) позволяет приближенно определить величину бокового усилия  $T$ .

**Боковое усилие  $T$**  несколько уменьшается при отрезке с **прижимом**. Действительно, в этом случае момент, создаваемый силой  $P$  уравнивается не только моментом от сил  $T$  но и моментом, создаваемым усилием прижима. В первом приближении можно принять, что действие прижима приводит к изгибу заготовки, причем с некоторым преувеличением можно считать, что изгибающий момент  $M_{\text{и}} = 1/6 \sigma_s s^2$ , т. е. равен максимальному моменту, еще не вызывающему пластических деформаций. В этом случае уравнение моментов получит вид

$$P(z + \frac{2}{3} y) = Ts + \frac{1}{6} \sigma_s s^2$$

Приняв, что  $\sigma_s \approx 0.8 \sigma_B = P/S$  после некоторых преобразований получим

$$T = (\frac{z}{s} + 0.26)P - \frac{1}{6} P \approx (\frac{z}{s} + 0.1)P$$

Из полученного соотношения видно, что **прижим существенно уменьшает боковое усилие**. Если принять, что  $z = 0,04s$ , то при отрезке без прижима  $T = 0,3P$ , а при отрезке с прижимом  $T = 0,14P$ ,. Сходные значения бокового усилия несколько иным способом были получены А. И. Целиковым и др. авторами.

При отрезке на ножницах с наклонным расположением режущих кромок точка приложения силы в процессе резания будет смещаться вдоль ножей. Это, в свою очередь, при большой длине и недостаточной жесткости ножей будет вызывать разную величину их прогиба, а, следовательно, и переменное (по длине ножей) увеличение исходного зазора между ними.