

В.П. Романовский

**Справочник по холодной
штамповке**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 66.0
ББК 35
В11

В11 **В.П. Романовский**
Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский – М.: Книга по Тре-
бованию, 2024. – 520 с.

ISBN 978-5-458-26964-3

ISBN 978-5-458-26964-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ВВЕДЕНИЕ

Холодная листовая штамповка является одним из наиболее прогрессивных технологических методов производства; она имеет ряд преимуществ перед другими видами обработки металлов как в техническом, так и в экономическом отношении.

В техническом отношении холодная штамповка позволяет:

- 1) получать детали весьма сложных форм, изготовление которых другими методами обработки или невозможно или затруднительно;
- 2) создавать прочные и жесткие, но легкие по массе конструкции деталей при небольшом расходе материала;
- 3) получать взаимозаменяемые детали с достаточно высокой точностью размеров, преимущественно без последующей механической обработки.

В экономическом отношении холодная штамповка обладает следующими преимуществами:

- 1) экономным использованием материала и сравнительно небольшими отходами;
- 2) весьма высокой производительностью оборудования, с применением механизации и автоматизации производственных процессов;
- 3) массовым выпуском и низкой стоимостью изготавливаемых изделий.

Наибольший эффект от применения холодной штамповки может быть обеспечен при комплексном решении технических вопросов на всех стадиях подготовки производства, начиная с создания технологичных конструкций или форм деталей, допускающих экономичное изготовление их.

Разработка технологических процессов холодной штамповки и проектирование штампов неразрывно связаны между собой, хотя и могут выполняться разными лицами. Технолог должен хорошо знать конструкцию штампов, а конструктор должен обладать основными технологическими знаниями по холодной штамповке.

Холодная листовая штамповка объединяет большое количество разнообразных операций, которые могут быть систематизированы по технологическим признакам.

По характеру деформаций холодная штамповка расчленяется на две основные группы: с разделением материала и пластические деформации.

Первая группа объединяет деформации, которые приводят к местному раздвиганию материала путем среза и отделения одной его части от другой. Группа пластических деформаций холодной листовой штамповки включает операции по изменению формы гнутых и полых листовых деталей.

Имеется четыре основных вида деформаций холодной листовой штамповки:

- 1) резка — отделение одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру;
- 2) гибка — превращение плоской заготовки в изогнутую деталь;
- 3) вытяжка — превращение плоской заготовки в полую деталь любой формы или дальнейшее изменение ее размеров;
- 4) формовка — изменение формы детали или заготовки путем местных деформаций различного характера.

Каждый из основных видов деформаций холодной штамповки подразделяется на ряд отдельных конкретных операций, характеризующихся особенностью и назначением работы, а также типом штампа.

На рис. 1 приведена классификация основных операций холодной листовой штамповки¹.

Штамповка деталей путем выполнения нескольких отдельных операций в большинстве случаев экономически невыгодна, вследствие чего обычно применяют методы комбинированной штамповки, одновременно сочетающие две или несколько из указанных деформаций и отдельных операций. Кроме того, на производстве используются сборочно-штамповочные операции, основанные на применении деформаций гибки, формовки или отбортовки.

Комбинированная штамповка представляет собой совмещение в одном штампе двух или нескольких технологически различных операций штамповки (переходов).

По технологическому признаку комбинированные операции могут быть разделены на три группы: 1) разделительные комбинированные операции, совмещающие

¹ Ввиду пересмотра ГОСТ 18970—73 на терминологию по обработке металлов давлением, определения и характеристики операций см. в предыдущих изданиях справочника [107].

различные виды режущих операций (вырубка, пробивка, отрезка); 2) формоизменяющие комбинированные операции, совмещающие виды операций изменения формы (вытяжка, рельефная формовка, гибка, отбортовка и пр.); 3) комбинированные операции резки и изменения формы, совмещающие разделительные операции с формоизменяющими, или сочетающие несколько операций (вырубка — вытяжка, формовка и пробивка),

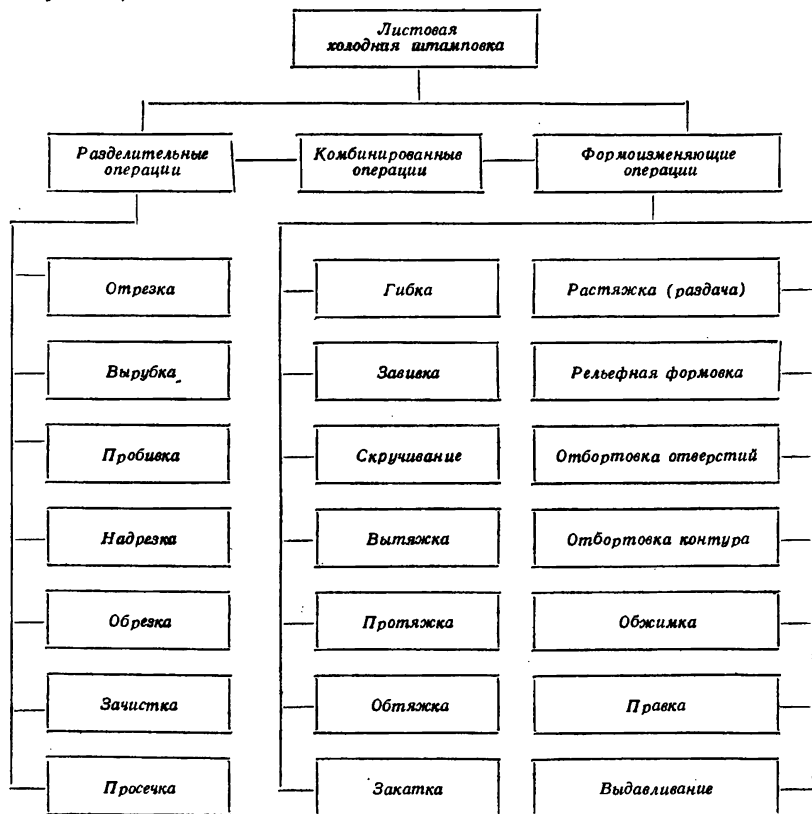


Рис. 1. Классификация основных операций холодной листовой штамповки

По способу совмещения операций комбинированная штамповка разделяется на три группы: 1) совмещенную; 2) последовательную; 3) совмещенно-последовательную.

При совмещенной штамповке одновременно выполняется несколько различных операций за один ход пресса и за одну установку заготовки в штампе.

Последовательная штамповка объединяет несколько различных операций (переходов), осуществляемых последовательно отдельными пуансонами за несколько ходов пресса при перемещении заготовки между ними; причем за каждый ход пресса получается готовая деталь.

При совмещенно-последовательной штамповке выполняется несколько различных операций путем сочетания в одном штампе совмещенной и последовательной штамповки.

Практически осуществимо большое количество разнообразных типов комбинированной штамповки и штампов. Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены лишь наиболее распространенные операции комбинированной штамповки.

Кроме штамповочных операций в холодной штамповке применяются заготовительные, давильно-накатные, вспомогательные, термические и отделочные операции.

Холодная листовая штамповка широко применяется в машиностроительной, приборостроительной и других отраслях промышленности. Наибольшее распространение холодная штамповка получила в крупносерийном и массовом производстве, где большие масштабы выпуска позволяют применять технически более совершенные, хотя и более сложные и дорогие штампы.

Ряд изделий массового производства и народного потребления изготавливается десятками и сотнями миллионов штук в год. Наряду с этим в настоящее время холодная листовая штамповка широко применяется в мелкосерийном и даже единичном производстве.

Расширение области применения холодной листовой штамповки, с одной стороны, характеризуется значительным увеличением габаритов штампуемых деталей до 10 м и более, а с другой стороны — резким уменьшением размеров — миниатюризацией деталей.

Основным прогрессивным конструктивным показателем, характеризующим эффективность применения холодной листовой штамповки, является снижение массы при увеличении прочности и жесткости штампованных из листа деталей по сравнению с литыми, коваными или обработанными из сортового проката.

Основным прогрессивным технологическим фактором дальнейшего развития холодной листовой штамповки является стремление получить штамповкой полностью законченную деталь, не требующую дальнейшей обработки резанием.

Прогрессивность тех или иных технологических методов неразрывно связана с серийностью и конкретными условиями данного производства, а следовательно, является не столько технологическим, сколько организационно-техническим понятием.

Производственно-технологические методы, прогрессивные в мелкосерийном производстве, в большинстве случаев оказываются непрогрессивными и нецелесообразными в условиях крупносерийного и массового производства, и наоборот. Этим объясняется различие производственных методов и путей развития холодной штамповки в массовом и мелкосерийном производстве.

В крупносерийном и массовом производстве развитие холодной штамповки характеризуется:

- 1) применением сложных совмещенно-комбинированных штампов;
- 2) применением многопозиционной последовательной штамповки в ленте;
- 3) механизацией и автоматизацией процессов штамповки;
- 4) созданием быстроходных автоматических прессов и специальных автоматов;
- 5) совершенствованием и развитием методов, дающих повышенную точность и производительность и заменяющих обработку металлов резанием (чистовая вырубка, зачистка в штампах, холодное выдавливание).

В мелкосерийном и единичном (опытном) производстве холодная листовая штамповка характеризуется использованием универсальных и дешевых упрощенных штампов (пластинчатых, листовых, неметаллических), а также применением новых технологических методов (штамповки резиной, гидравлической штамповки, штамповки взрывом, гидроэлектрическим разрядом, магнитными импульсами и др.).

Характеристикой серийности в штамповочном производстве являются коэффициент серийности, выражаемый количеством операций, закрепленных за прессом, и ориентировочный годовой выпуск штампуемых деталей [107]. Приводим приближенные значения коэффициента серийности.

Тип производства	Массовое	Крупносерийное	Серийное	Мелкосерийное	Единичное
Количество операций на один пресс	1—3	3—10	10—30	30—100	Неопределенно

Раздел первый

ТЕХНОЛОГИЯ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

ГЛАВА I

РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

1. РЕЗКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ

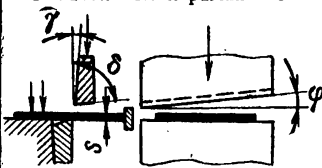
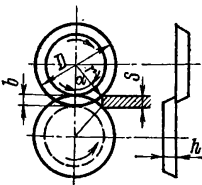
Листовые материалы для холодной штамповки в большинстве случаев предварительно разрезают на полосы или заготовки необходимых размеров. Резка полос является заготовительной операцией и производится на рычажных, гильотинных, дисковых (роликовых) или вибрационных ножницах, а также на специальных отрезных штампах.

Процесс резки листового материала ножницами состоит из трех последовательных стадий: упругой, пластической и скалывания.

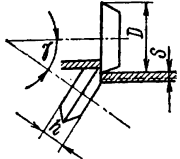
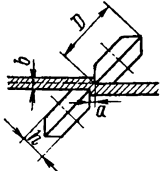
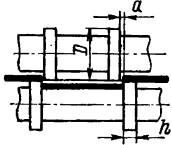
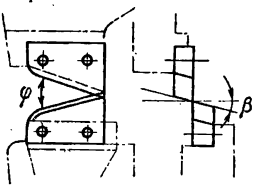
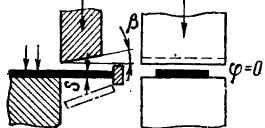
На срезанной кромке листа четко выделяются две зоны: узкая блестящая полоска, соответствующая пластической стадии, и более широкая матовая зона скалывания. При резке толстого материала получается S-образная форма скола.

Различные способы резки листового металла и типы режущих инструментов приведены в табл. 1.

1. Различные способы резки листовых материалов

Тип ножниц и схема	Рабочие элементы режущих инструментов	Основное применение
Гильотинные и рычажные 	Угол створа: для гильотинных ножниц $\varphi = 2 \div 6^\circ$; для рычажных ножниц $\varphi = 7 \div 12^\circ$ Угол резания $\delta = 75 \div 85^\circ$ Задний угол $\gamma = 2 \div 3^\circ$ Для упрощения заточки ножей допускается $\delta = 90^\circ$ и $\gamma = 0$ Зазор между ножами от 0,05 до 0,2 мм	Резка листовых материалов на полосы или штучные заготовки. Толщина разрезаемого материала до 40 мм (в зависимости от типа ножниц)
Дисковые (с параллельными осями) 	Угол захвата $\alpha < 14^\circ$ Заход ножей $b = (0,2 \div 0,3) S$ Размер ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = (25 \div 30) S$, $h = 50 \div 90$ мм; для тонких материалов ($S < 3$ мм) $D = (35 \div 50) S$, $h = 20 \div 25$ мм	Резка листов на полосы, а также резка круглых (дисковых) заготовок с выходом на край листа. Толщина разрезаемого материала до 30 мм (разные типы ножниц)

Продолжение табл. 1

Тип ножниц и схема	Рабочие элементы режущих инструментов	Основное применение
Дисковые (с наклонным нижним ножом) 	Угол наклона $\gamma = 30 \div 40^\circ$ Размеры ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = 20S$, $h = 50 \div 80$ мм; для тонких материалов ($S < 3$ мм) $D = 28S$, $h = 15 \div 20$ мм	Резка полос и круглых дисковых и кольцевых заготовок. Толщина разрезаемого материала до 30 мм (разные типы ножниц)
Дисковые (с наклонными ножами) 	Зазор $a \leq 0,2S$ Зазор $b \leq 0,3S$ Размер ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = 12S$, $h = 40 \div 60$ мм; для тонких материалов ($S < 5$ мм) $D = 20S$, $h = 10 \div 15$ мм	Резка круглых, дисковых, кольцевых и криволинейных заготовок с малым радиусом, толщиной до 20 мм. Криволинейная поверхность задней режущей грани обеспечивает свободный поворот материала
Многодисковые (с параллельными осями) 	Угол резания 90° Размеры ножей: $D = (40 \div 125) S$, $h = 15 \div 30$ мм Перекрытие: $b = \pm 0,5S$; зазор $a = (0,1 \div 0,2) S$	Для одновременной резки нескольких полос, а также для обрезки полос и ленты по ширине. Толщина материала до 10 мм (разные типы ножниц)
Вибрационные 	Число ходов 2000—25 000 в минуту Ход ножа 2—3 мм Передний угол $\beta = 6 \div 7^\circ$ Угол створа $\varphi = 24 \div 30^\circ$	Резка криволинейных заготовок по разметке или шаблонам с малым радиусом (до $r = 15$ мм). Толщина материала до 10 мм
Отрезные штампы 	Передний угол $\beta = 2 \div 3^\circ$ Угол створа $\varphi = 0$	Резка полос на стучные заготовки

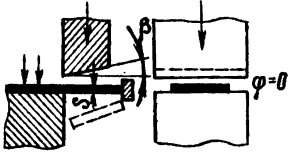
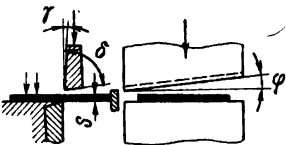
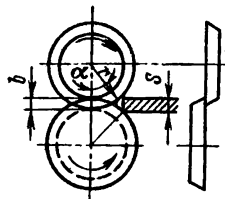
Наиболее распространена резка листов на гильотинных ножницах.

В цехах металлических конструкций и заготовительных цехах некоторых заводов производится резка сортового и профильного проката на специальных пресс-ножницах усилием до 1600 тс при наибольшем размере сечения 250×250 мм. Способы резки профилей и типы применяемого инструмента приведены в специальной литературе.

2. УСИЛИЕ РЕЗАНИЯ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ

Определение усилий при резке ножницами производят по формулам, приведенным в табл. 2.

2. Определение усилий резания ножницами

Способ резки	Схема	Усилие резания, кгс
Параллельными ножницами		$P = LS\sigma_{ср}$
Гильотинными ножницами		$P = 0,5 \frac{S^2}{\operatorname{tg} \varphi} \sigma_{ср}$ (для φ от 2 до 5°)
Дисковыми ножницами		$P = 0,5 \frac{h_n S}{\operatorname{tg} \alpha} \sigma_{ср}$

Обозначения: L — длина реза, мм; φ — угол створз ножниц, град; $\sigma_{ср}$ — сопротивление срезу, кгс/мм² [$\sigma_{ср} = (0,6 \div 0,8) \sigma_v$]; h_n — глубина вдавливания ножей к моменту скалывания, мм; α — угол захвата роликовых ножниц, град.

Учитывая наличие изгиба при резке, а также неравномерность толщины материала и притупление ножей, расчетное усилие увеличивают на 30% и полное усилие

я принимают равным $P_n = 1,3 P$, для чего в формулах вместо $\sigma_{ср}$ может быть $\sigma_n \approx 1,3 \sigma_{ср}$.

рис. 2 приведена схема резания листа гильотинными ножницами или ножом режущей кромкой, на которой показаны графики местного (единичного)

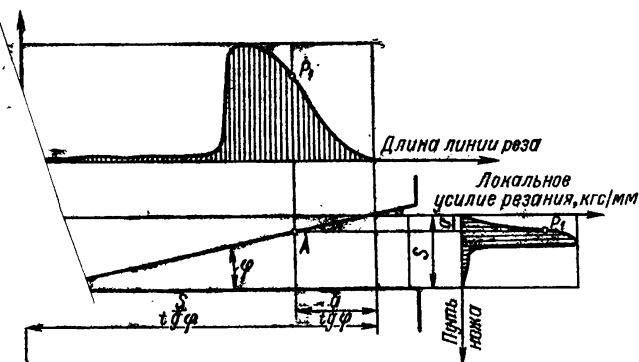


Рис. 2. Схема резания листа на гильотинных ножницах

усилия резания [205]. На рисунке обозначено: P_1 — текущее усилие резания в точке A при погружении режущей кромки на глубину a . В процессе резания положение графика перемещается по линии реза.

В производственных условиях усилие резания гильотинными ножницами обычно не подсчитывают, так как в паспорте ножиц содержится указания о предельной толщине и наибольшей длине разрезаемых стальных листов ($\sigma_n \geq 45$ кгс/мм²).

3. РЕЗКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ШТАМПАМИ

Процесс резания штампами при вырубке, пробивке и других операциях в некоторой степени аналогичен процессу резания ножницами. В данном случае пуансон и матрица являются как бы ножами замкнутой конфигурации, имеющими сопряженные режущие кромки. Однако процессы резания существенно отличаются.

Последовательность процесса вырубки показана на рис. 3.

Процесс резания штампами также состоит из трех стадий: упругой, пластической и скалывания.

В первой стадии происходит упругий изгиб металла с легким выдавливанием его в отверстие матрицы. При этом напряжения в металле не превосходят предела упругости.

В пластической стадии происходит вдавливание пуансона в металл и выдавливание его в отверстие матрицы.

Вдавливание вырубного пуансона происходит не по всей торцевой поверхности, а лишь по кольцевому (или иной формы в плане) пояску шириной b . Такое же вдавливание наблюдается и со стороны матрицы. Отпечатки от локализованного вдавливания пуансона и матрицы остаются на вырубленной детали и отходе в виде смятой полоски вдоль контура резания.

В результате локализованного вдавливания пуансона и матрицы возникает круговой изгибающий момент, образованный силами резания, условно представленными на рис. 3, I и II равнодействующими нормальных напряжений.

Под действием кругового изгибающего момента заготовка получает пространственный изгиб (выпучивание), при котором с наружной (выпуклой) стороны заготовки возникает напряженное состояние двухосного растяжения, а на внутренней стороне — двухосного сжатия.

Непосредственно под режущей кромкой пуансона создается напряженное состояние объемного сжатия, а над режущей кромкой матрицы — напряженное состояние с напряжениями радиального растяжения. Первое более благоприятно для пластического течения металла, а второе — менее благоприятно и способствует возникновению микротрещин в зоне резания.

К концу второй стадии напряжения вблизи режущих кромок достигают максимальной величины, соответствующей сопротивлению металла срезу.

В третьей стадии процесса вырубки у режущих кромок матрицы образуются скалывающие трещины (рис. 3, III). После дальнейшего погружения пуансона и

исчерпывания местной пластичности металла скалывающие трещины возникают и у режущих кромок пуансона (рис. 3, IV и V). Эта последовательность скалывания подтверждается тем, что блестящий пояс, соответствующий пластической стадии резания, на отходе значительно шире, чем на детали.

Скалывающие трещины, направленные по линиям наибольших деформаций сдвига (поверхностям скольжения), быстро распространяются на внутренние слои металла и вызывают отделение вырезаемой детали.

Во время первой и второй стадий вырубки скорость погружения пуансона уменьшается, а с начала третьей стадии — резко увеличивается. При дальнейшем движении пуансон проталкивает вырезаемую деталь через рабочую шейку матрицы.

При нормальном зазоре между пуансоном и матрицей z_1 поверхности сдвига (линии скольжения), возникающие у режущих кромок пуансона, совпадают с поверхностями сдвига и трещинами, возникшими у режущих кромок матрицы, и образуют общую криволинейную поверхность скалывания (рис. 3, а).

При малом зазоре z_2 и большой толщине материала поверхности сдвига, идущие от кромок пуансона, не совпадают с поверхностями сдвига, возникшими у кромок матрицы. Оставшаяся кольцевая перемычка перерезается при дальнейшем погружении пуансона с возникновением новых скалывающих трещин, причем на детали образуются надрыв и двойной срез (рис. 3, б).

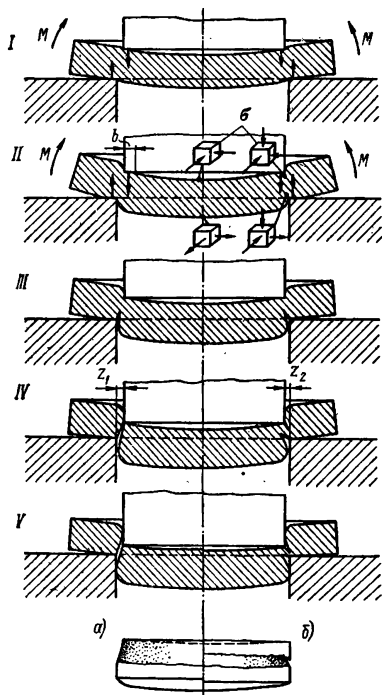
Рис. 3. Последовательность процесса вырубки и поверхность среза

с протянутым заусенцем (рис. 3, б). Поверхность отверстия получается сравнительно гладкой, лишь в нижней части образуется небольшой шероховатый скол. Поэтому, если требуется получить отверстие с гладкими ровными стенками, следует производить пробивку с малым зазором между пуансоном и матрицей.

При вырубке с малым зазором твердых материалов двойного среза обычно не получается. В случае очень большого зазора на поверхности образуются ровные заусенцы от затягивания и обрыва металла в зазоре.

После возникновения скалывающих трещин величина изгибающего момента M резко падает, вследствие чего происходит уменьшение кривизны вырезаемой детали, увеличение ее размеров и распор детали в отверстии матрицы.

Металлографические исследования макро- и микроструктуры вырубленных деталей показывают, что металл в зоне резания претерпевает значительные структур-



ные изменения и наклепывается. Глубина наклепанного слоя зависит от толщины материала, его свойств и первоначальной структуры, зазора и качества режущих кромок, а также от скорости вырубки.

На рис. 4 показано влияние скорости вырубки на форму среза вырубленной детали и на глубину наклепанного слоя при выручке тонколистовой стали с числом ходов пресса 60, 120, 330 и 450 ход/мин [69].

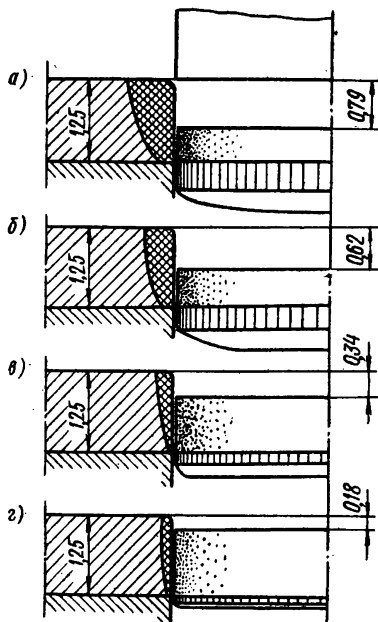


Рис. 4. Поверхность среза и глубина наклепанного слоя при выручке с различным числом ходов пресса

При небольшом числе ходов пресса (60 ход/мин, рис. 4, а) глубина вдавливания пуансона до момента образования скалывающих трещин составляет 64% толщины материала. Пластическая стадия процесса вырубки сильно развита, а наклепанная зона довольно значительна.

При увеличении числа ходов пресса до 120 и 330 ход/мин (рис. 4, б и в) и повышении начальной скорости вырубки

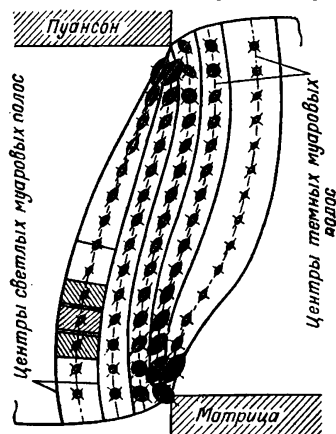


Рис. 5. Неравномерность деформаций в зоне резания (по В. И. Веру)

глубина вдавливания пуансона уменьшается соответственно от 50 до 27%. Пластическая стадия процесса значительно уменьшается, в связи с чем уменьшается величина наклепанной зоны металла.

Наконец, при быстроходной штамповке с числом ходов пресса 450 ход/мин (рис. 4, г) пластическая стадия и глубина вдавливания пуансона снижается до 14%, наибольшее развитие получает третья стадия процесса — скалывание. Большая часть поверхности среза представляет собой сравнительно ровный скол. Глубина наклепанного слоя невелика.

Локальный характер процесса разделения листовых металлов сопровождается резкой неравномерностью деформаций в зоне резания.

Новые исследования процесса разделения металла методом муаровых полос, выполненные В. И. Бером и Д. И. Суяровым [12], позволяют четко фиксировать границы пластической области и с высокой степенью точности вычислить локальные эллипсы деформации и направления локальных осей для большого количества точек в зоне резания, как показано на рис. 5 для одной из промежуточных стадий процесса.

Установлено, что по мере углубления пуансона, происходит изменение границ пластической области и непрерывный рост локальных деформаций, сопровождаемый поворотом главных осей локальных эллипсов.

Локальные пластические деформации могут быть определены также по методу Моравецкого путем нанесения мельчайшей координатной сетки (плотность до 1200 ячеек на 1 мм^2) с измерением деформации под микроскопом или по фотоснимку с 400-кратным увеличением [207].

Приводим оригинальные способы резки.

На рис. 6, а показан новый способ разрезки тонкостенных труб, без вдавливания отхода внутрь трубы. Вначале, движением поперечного ползуна с зубчатым резачком в зажатой трубе срезается шлиц высотой $h = 2S$. Вслед за этим опускаю-

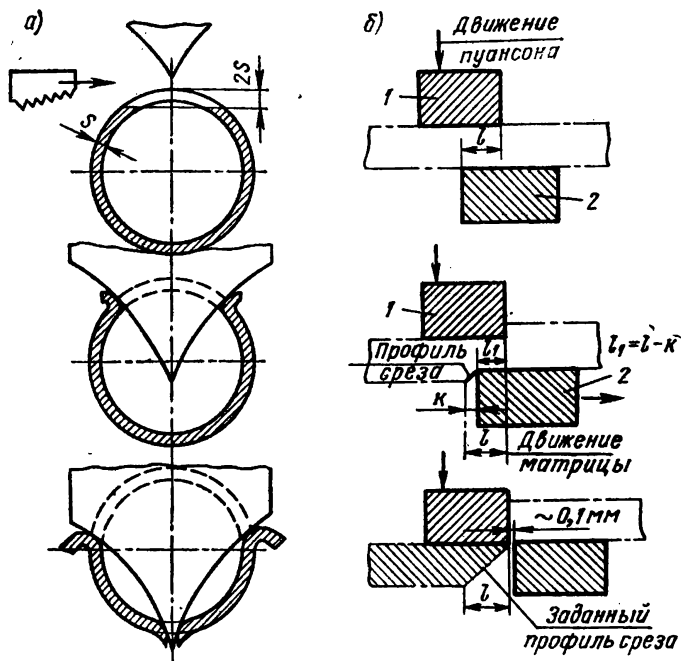


Рис. 6. Схемы резки труб (а) и резки скосов на кромках листов (б)

щийся отрезной пуансон копьевидной формы входит в прорезь трубы и отрезает отход, загнывая его наружу. Поверхность среза получается более качественной. Штмп для резки указанным способом приведен в работе [84]. Там же описаны способы криволинейной резки труб и типовые пуансоны для резки профилированных заготовок. На рис. 6, б показан новый, внедренный на производстве способ холодной резки скосов на кромках листовых заготовок¹. Сущность этого способа заключается в том, что срез кромок (фаски) происходит в результате вертикального перемещения плоского пуансона при одновременном горизонтальном перемещении матрицы. По мере движения штампа происходит постепенное сближение режущих кромок пуансона 1 и матрицы 2. Чистота среза соответствует 6-му классу шероховатости.

¹ Кравец М. Л. А. с. 415068.