

Князев Юрий Геннадьевич

**РАЗРАБОТКА УТОЧНЕННОЙ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ ОБРЕЗКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ
ТОНКОЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Специальность 05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

15.02.2000

Москва

2000

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана на кафедре "Технологии обработки давлением".

Научные руководители

доктор технических наук, профессор
Головащенко С. Ф.;
кандидат технических наук, профессор
Кондратенко В. Г.

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор
Тарасов В. А.
кандидат технических наук, доцент
Константинов В. Ф.

Ведущее предприятие ЗАО «МЕТРОВАГОНМАШ»

2000 г. в часов на заседании

Московском государственном

по адресу:

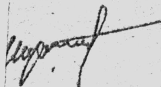
д. 5.

ся в библиотеке Московского

га

1566455

2000 г.



Шубин И. Н.

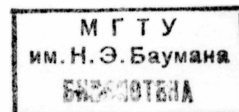
Актуальность работы. В настоящее время все больше внимания уделяется конкурентоспособности продукции отечественного машиностроения и качеству изготавливаемых деталей и изделий. При выполнении разделительных операций листовой штамповки качество изделия тесно связано с точностью изготовления и пригонки оснастки, так как наиболее значимым фактором, определяющим качество поверхности разделения, является зазор между режущими кромками пуансона и матрицы. Согласно справочным данным, в зависимости от материала, величина указанного зазора должна находиться в пределах 2...10 % от толщины заготовки. Обеспечение этого условия сопряжено со значительными экономическими затратами, которые включают в себя затраты на доводку оснастки из-за неточности ее изготовления и затраты на переточку режущих кромок пуансона и матрицы вследствие их интенсивного износа. В конечном итоге это ведет к повышению себестоимости получаемого изделия и негативно влияет на конкурентоспособность продукции отечественного машиностроения. При штамповке крупногабаритных деталей выдержать требуемый зазор особенно сложно. Причиной этого являются упругие деформации технологической оснастки в процессе разделения под действием значительных сил отжатия со стороны заготовки, соизмеримых с силой разделения, и возможность небольших перекосов, приводящих к заметным колебаниям зазора между режущими кромками пуансона и матрицы. В результате этих колебаний величина зазора в процессе разделения может достигать 60 % от толщины заготовки. Это приводит к возникновению на деталях заусенцев и необходимости дополнительной механической обработки для их удаления. Удаление заусенцев галтовкой для крупногабаритных тонкостенных деталей невозможно, а ручное удаление весьма трудоемко. В связи с этим проведение комплексных исследований процесса разделения листовых заготовок и разработка новых технологических схем разделения, обеспечивающих получение деталей с тре-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1566455

Князев Ю.Г. Разработка УТО



буемой формой поверхности среза во всем диапазоне возможного изменения зазора между режущими кромками пуансона и матрицы, является актуальной задачей.

Цель работы: разработка научно–обоснованной методики проектирования технологических процессов обрезки крупногабаритных тонколистовых деталей, позволяющей описать механизм разделения и форму поверхности среза детали в широком диапазоне изменения зазора между режущими кромками пуансона и матрицы, и обеспечивающей повышение качества поверхности среза изготавливаемых деталей и снижение требований к точности изготовления штамповой оснастки.

Методы исследований. Теоретические исследования процесса обрезки листовых заготовок выполнено методом конечных элементов на основе численного решения уравнений движения сплошной среды, энергетического условия пластичности, уравнений упругопластического течения материала и критерия разрушения В. Л. Колмогорова.

Экспериментальные исследования проводились на гидравлической универсальной испытательной машине (УИМ-50) и кривошипном прессе простого действия КД1428В в лаборатории кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- научно–обоснованная методика, описывающая процесс разделения с использованием метода конечных элементов, упругопластической модели материала и критерия разрушения В. Л. Колмогорова с учетом изгиба заготовки, упрочнения ее материала, трения заготовки о матрицу в широком диапазоне изменения зазора между режущими кромками пуансона и матрицы;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса обрезки для схем деформирования без подпора и с подпором, позволяю-

щие объяснить механизм разделения заготовки и расширить диапазон допустимых зазоров между режущими кромками пуансона и матрицы;

- на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований установлено, что большая часть поверхности среза формируется трещиной, развивающейся от режущей кромки пуансона. Теоретически и экспериментально показана возможность управления процессом разделения путем применения механического подпора и изменения радиуса кривизны кромки пуансона, что позволяет оставлять заусенец на отходе.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- математическая модель процесса обрезки листовых деталей, позволяющая на стадии проектирования определить форму поверхности среза: величину утажины, угол скола и размеры заусенца;
- на основании проведенных исследований предложена схема обрезки листовых заготовок с использованием механического подпора, позволяющая значительно расширить допустимый диапазон изменения зазора между кромками пуансона и матрицы без ухудшения геометрических параметров качества поверхности среза деталей и, тем самым, снизить требования к точности изготовления штамповой оснастки и затраты на переточку режущих кромок пуансона и матрицы вследствие их интенсивного износа;
- на основании теоретических и экспериментальных исследований дана рекомендация: обрезку с подпором производить пуансоном со скругленной режущей кромкой, что предотвращает образование заусенца на детали и позволяет исключить доводочные операции по его удалению;
- установлены зависимости коэффициентов формы поверхности среза в зависимости от зазора между режущими кромками пуансона и матрицы для схем деформирования без подпора и с подпором.

Апробация работы. Основные положения и материалы работы доложены и обсуждены на Всероссийской научно-технической конференции

«Машиностроительные технологии» (г. Москва, 1998), IV Научной сессии «Проблемы повышения эффективности технологических процессов в заготовительных производствах» (г. Москва, 1998), на научных семинарах кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликованы 3 печатные работы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Работа выполнена на 153 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков, 8 таблиц и список литературы из 146 наименований.

Автор защищает:

- математическую модель на основе численного решения уравнений движения сплошной среды, энергетического условия пластичности, уравнений упругопластического течения и критерия В. Л. Колмогорова, определяющую форму поверхности среза и процесс разделения заготовки в широком диапазоне изменения зазора между режущими кромками пуансона и матрицы;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований механизма разделения при различных схемах процесса обрезки листовых деталей, в том числе с использованием подпора, пуансона со скругленной режущей кромкой, при горизонтальном и наклонном расположении заготовки;
- результаты экспериментальных и теоретических исследований формы поверхности среза детали в зависимости от величины зазора между режущими кромками пуансона и матрицы при различных схемах разделения;
- результаты экспериментальных исследований, необходимых для построения диаграммы пластичности для алюминиевого сплава АД33;
- рекомендации по проектированию технологической оснастки.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор научных публикаций, посвященных вопросу разделения листовых материалов, влиянию основных технологических факторов на форму поверхности среза детали и износ штамповой оснастки.

В результате проведенного анализа установлено, что отсутствуют данные по исследованию механизма процесса разделения заготовок при больших зазорах между режущих кромок пуансона и матрицы. В теоретических работах при моделировании процесса разделения, как правило, принимали допущения, что материал заготовки идеально жесткопластичен, трением между заготовкой и инструментом пренебрегали, изгиб заготовки не учитывали. Практически отсутствуют теоретические работы по моделированию процесса разрушения. Это затрудняет на стадии проектирования определить оптимальные условия протекания процесса разделения и разработку новых технологических схем разделения, обеспечивающих получение деталей с требуемой формой поверхности среза в широком диапазоне изменения зазора.

В связи с вышеизложенным и в соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи исследований:

1. Разработать математическую модель, описывающую механизм разделения и форму поверхности среза при обрезке листовых заготовок.
2. Экспериментально проверить адекватность разработанной модели реальным процессом разделения листовой заготовки.
3. Теоретически и экспериментально исследовать механизм разделения и влияние основных технологических факторов на форму поверхности среза детали во всем диапазоне возможного изменения зазора между режущими кромками пуансона и матрицы.
4. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработать технологические схемы обрезки крупногабаритных тонкостенных

деталей, обеспечивающие улучшение геометрических параметров качества поверхности среза деталей: величин угла скола детали, утяжины и заусенца в широком диапазоне изменения зазоров между режущими кромками пуансона и матрицы.

5. Разработать рекомендации по конструированию штамповой оснастки и определению оптимальных технологических параметров процесса обрезки.

Во второй главе разработана методика моделирования процесса обрезки листовых деталей методом конечных элементов на основе численного решения уравнений движения сплошной среды, упругопластического течения материала, энергетического условия пластичности и критерия разрушения В. Л. Колмогорова.

Расчетную область в плоскости XOY разбивали на треугольные элементы с узлами в их вершинах. Поле скоростей полагали линейным в зависимости от координат x , y , поэтому составляющие тензоров напряжений и скоростей деформации полагали постоянными в пределах каждого элемента. Скорости и перемещения вычисляли в узлах сетки. Для этого использовали формулы интегрального представления производных. Для треугольной ячейки с вершинами 1, 2, 3 выражения для скоростей деформаций имеют вид:

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon}_x &= \frac{(u_2 - u_1)(y_3 - y_2) - (u_3 - u_2)(y_2 - y_1)}{2S_{123}}, \\ \dot{\epsilon}_y &= -\frac{(v_2 - v_1)(x_3 - x_1) - (v_3 - v_2)(x_2 - x_1)}{2S_{123}}, \\ \dot{\gamma}_{xy} &= \frac{(v_2 - v_1)(y_3 - y_2) - (v_3 - v_2)(y_2 - y_1) - (u_2 - u_1)(x_3 - x_2) + (u_3 - u_2)(x_2 - x_1)}{2S_{123}},\end{aligned}$$

где $x_1...x_3$, $y_1...y_3$ - координаты точек 1...3, $u_1...u_3$, $v_1...v_3$ - проекции скорости точек на оси x и y , $\dot{\epsilon}_x$, $\dot{\epsilon}_y$ и $\dot{\gamma}_{xy}$ - компоненты тензора скоростей деформаций, S_{123} - площадь ячейки.

Найденные при решении предварительные значения скоростей и ординат узлов корректировали с учетом возможного контактного взаимодействия узла с жесткой шероховатой матрицей. Для этого были рассмотрены основные варианты движения узла относительно жесткой матрицы и разработан алгоритм решения контактной задачи. Силу трения определяли по закону Кулона

$$|F_{TP}| = f \cdot |F_H|.$$

Если $F_{TP} > F_{TP}^{\max}$, то полагали, что $F_{TP} = F_{TP}^{\max}$.

Приращения составляющих девиатора и шарового тензора Δs_{ij} находили из уравнений теории упругопластического течения материала, умножая левые и правые части на шаг по времени Δt , который выбирали из условия устойчивости явной разностной схемы, так чтобы шаг по времени был меньше времени пробега упругой волны по минимальному размеру элемента рассматриваемой треугольной сетки. Если интенсивность напряжений превышала текущее значение сопротивления деформированию, то производили корректировку составляющих девиатора напряжений. Она заключалась в умножении предварительно вычисленных значений s_{ij}^* на корректирующий множитель ψ : $s_{ij}^{n+1} = s_{ij}^* \cdot \psi$, где $s_{ij}^* = s_{ij}^n + \Delta s_{ij}$, s_{ij}^n и s_{ij}^{n+1} - компоненты девиатора напряжений на n и $n+1$ шаге.

Значения ψ находили, решая совместно уравнения упругопластического течения и энергетического условия пластичности. Если принять линейную схематизацию кривой упрочнения в виде $\sigma_s = \sigma_{s0} + D\varepsilon_i^n$, то

$$\psi = \frac{D\sigma_s^{n+1}}{(3G + D)\sigma_s^{n+1} - 3G\sigma_s^n},$$

где D - модуль кривой упрочнения, G - модуль сдвига, σ_s^n и σ_s^{n+1} - напряжение текучести материала на n и $n+1$ шаге.

При моделировании процесса разрушения пластичность материала оценивали на основе феноменологического критерия пластичности

В. Л. Колмогорова, учитывающего показатель напряженного состояния, равный отношению среднего нормального напряжения к интенсивности напряжений, и коэффициент Лодэ-Надаи μ_σ . Данный критерий моделирует разрушение как накопление повреждений, основываясь на гипотезе их линейного суммирования. Согласно этому методу, для каждой ячейки разностной схемы, дискретизирующей заготовку, проводили суммирование степени использования ресурса пластичности, которую определяли по формуле:

$$\psi = \int_0^{t_p} \frac{\dot{\varepsilon}_i}{\varepsilon_p(\Pi)} dt,$$

где ε_p - интенсивность деформаций в момент разрушений;

$\Pi = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_s}$ - показатель жесткости схемы напряженного состояния,

t_p - время с начала деформирования до момента разрушения, $\dot{\varepsilon}_i$ - интенсивность скорости деформации.

В тех элементах, где величина поврежденности ψ достигала 1.0, т.е. там, где был исчерпан ресурс пластичности, моделировали разрушение ячейки путем ее удаления. Составляющие узловых сил, возникающих от напряжений в этих элементах, полагали равными нулю.

В третьей главе приведена методика экспериментальных исследований деформированного состояния заготовки методом координатных сеток, механизма разделения при обрезке, влияния основных технологических факторов на форму поверхности среза и механизм разделения, методика и результаты исследований пластичности листового материала АД33. Основными исследуемыми факторами являлись: величина технологического зазора, радиус скругления режущей кромки пуансона, угол наклона заготовки. Исследования проводили путем варьирования одного из перечисленных факторов при условии постоянства всех остальных.

В качестве заготовок использовали заготовки из алюминиевого сплава АД33 шириной 50 и толщиной 1.0 мм. Полученные результаты подтверждены экспериментами на заготовках из меди и низкоуглеродистой стали 08-кп.

На основании проведенного анализа механизма разделения при обрезке по традиционной схеме (см. рис. 1, а) были проведены экспериментальные исследования по обрезке заготовок с механическим подпором (рис.1, б), удельная сила которого равнялась 1...5 % от σ_s .

В четвертой главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса разделения листовых заготовок с различным сочетанием исследуемых технологических факторов. Проведенный анализ полученных результатов позволил выявить некоторые закономерности процесса разделения. Установившееся в литературе представление процесса разрушения как одновременное возникновение и развитие двух трещин у режущих кромок пуансона и матрицы при обрезке листовых заготовок подтвердился лишь при нулевых и отрицательных зазорах. Причем, трещина от пуансона имела большее распространение, что было связано с изгибом отрезаемой части заготовки. При зазорах 10 % и выше трещина развивалась только от режущей кромки пуансона, со стороны матрицы трещина не возникала. Образец, полученный при 10 % зазоре, уже имел заусенец. Следует отметить, что вследствие изгиба заготовки происходило не только появление заусенца на изделии, но и образование фрагментов (волосков), которые в производственных условиях налипают на поверхности детали и инструмента и негативно влияют на износостойкость штампа и качество деталей при последующих ходах прессы. Исключение изгиба заготовки путем применения механического подпора привело к изменению механизма разрушения заготовки. При данном способе обрезки имели место два конкурирующих механизма: Первый – когда трещина развивалась от режущей кромки матрицы, и заусенец оставался на отходе, второй – когда трещина образовывалась только у режущей кромки пуансона, а заусенец соответственно оставался на детали. При зазорах 50...60 % эта конкуренция

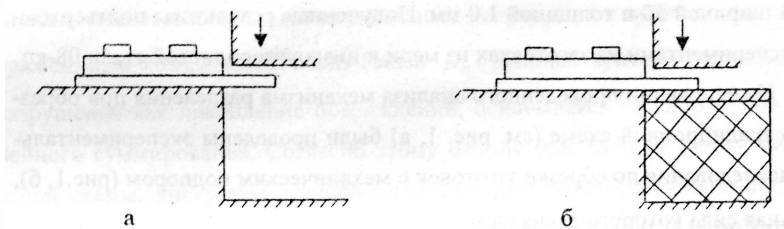


Рис. 1. Схемы разделения: а – без подпора, б – с подпором

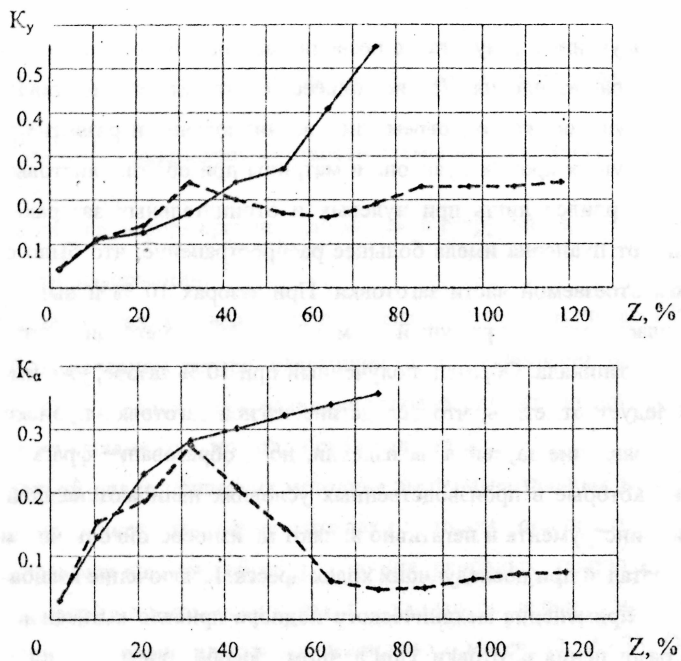


Рис. 2. Зависимость коэффициентов утяжины K_y и угла скола K_α детали от величины технологического зазора при обрезке без подпора (сплошная линия) и с подпором (пунктирная линия)

проявлялась наиболее сильно, когда при одних и тех же условиях заусенец мог оставаться как со стороны детали, так и со стороны отхода. Причем данные результаты были получены как экспериментально, так путем теоретических расчетов по разработанной модели. Механизм разделения, когда трещина возникала только у режущей кромки матрицы, обеспечивал получение деталей, практически не имеющих заусенцев и не требующих дополнительных доводочных операций. Для обеспечения данного механизма разделения и избежания случаев, когда трещина образуется у режущей кромки пуансона, вследствие чего заусенец остается на детали, рекомендовано производить скругление режущей кромки пуансона. Так при обрезке заготовок толщиной 1.0 мм с радиусом скругления пуансона 0.1 мм трещина развивалась только от режущей кромки матрицы на всем протяжении исследованного диапазона изменения зазора между режущими кромками пуансона и матрицы.

Качественные характеристики образцов, полученных при обрезке, оценивали коэффициентами геометрической точности: утяжины - K_y , угла скола - K_α и высоты заусенца - K_z , которые определяли по следующим формулам:

$$K_y = \frac{h_y}{\delta}; \quad K_z = \frac{h_z}{\delta}; \quad K_\alpha = \operatorname{tg} \alpha,$$

где h_y - высота утяжки, δ - толщина заготовки, h_z - высота заусенца, α - угол скола.

На рис. 2 приведены графики зависимостей геометрических коэффициентов K_y , K_α от величины зазора между режущими кромками пуансона и матрицы. Было выявлено, что при разделении с подпором при зазорах до 32 % от толщины заготовки величины утяжины и угла скола примерно такие же, как и при обрезке без подпора. При дальнейшем увеличении зазора до 65...75 % при обрезке с подпором наблюдалось резкое снижение величин утяжины и угла скола детали, что было связано с изменением механизма

разделения. Как показали расчеты по разработанной модели, при зазорах свыше 32 % очаги поврежденности образуются не только у режущих кромок пуансона и матрицы, где имеют место максимальные деформации материала, но и на свободных поверхностях заготовки (рис.3), где у материала ресурс пластичности весьма мал вследствие отсутствия гидростатического давления. Растягивающие напряжения приводят к образованию на свободных поверхностях зон разрушения. Отсюда меняется угол распространения скалывающей трещины. Если при малых зазорах (до 10% от толщины заготовки) трещина направлена к противоположной режущей кромке, то при больших зазорах разделение происходит путем слияния трещины, берущей начало у кромки матрицы (в случае применения пуансона со скругленной кромкой) или кромки пуансона (при зазорах 60 % и выше в случае острых режущих кромок пуансона и матрицы) и очага разрушения, образующегося на свободной поверхности заготовки. В результате такого изменения угла распространения трещины соответственно меняется угол наклона поверхности среза на детали.

На рис. 4 представлены формы поверхностей среза детали и отхода, полученные после обрезки без подпора и с подпором при зазоре 50 % от толщины заготовки. Видно, что при обрезке с подпором образец имеет меньшую величину утяжины и поверхность среза, характеризующуюся меньшим отклонением от плоскостности и перпендикулярности по отношению к оси заготовки.

Разработанная математическая модель на основе численного решения уравнений движения сплошной среды, энергетического условия пластичности, уравнений упругопластического течения и критерия разрушения В. Л. Колмогорова позволяет описать процесс разделения, включая стадию разрушения, и может успешно применяться для предварительного определения формы поверхности среза детали и определении оптимальных условий протекания технологических процессов на стадии их проектирования. Сравнение данных, полученных путем численного моделирования, с экспериментальными позволяет говорить о корректности разработанной модели и

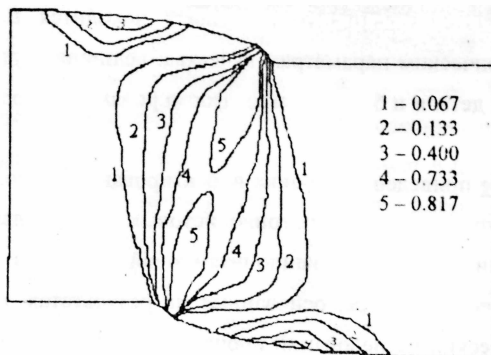


Рис. 3. *Распределение степени использования ресурса пластичности в заготовке при обрезке с подпором ($Z = 32\%$)*

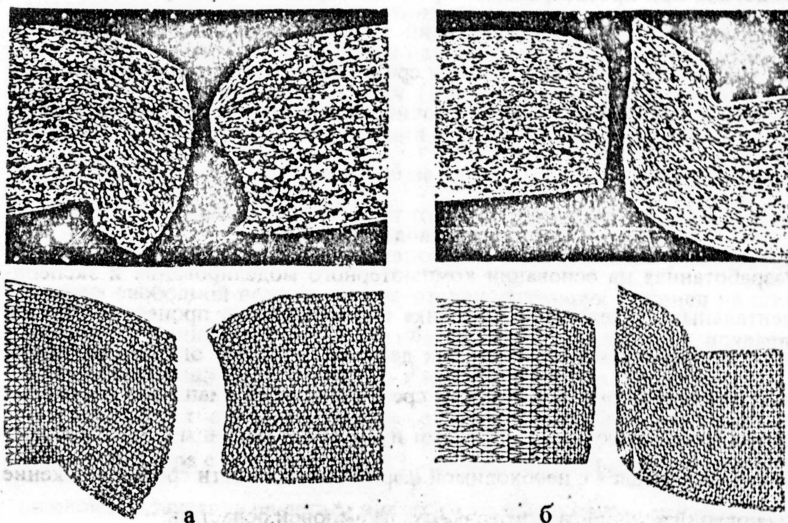


Рис. 4. *Форма поверхности среза при обрезке: а – без подпора, б -- с подпором согласно экспериментам и расчетам по разработанной модели (слева – деталь, справа – отход)*

полученных результатов, расхождение которых находится в диапазоне 2...25 % по геометрическим параметрам качества: величинам утяжины, заусенца и угла скола детали и 5...15 % по деформированному состоянию заготовки.

В пятой главе приведена методика проектирования технологических процессов обрезки крупногабаритных тонколистовых деталей, даны практические рекомендации по проектированию штамповой оснастки и выбору величины технологического зазора, основанные на результатах экспериментальных и теоретических исследований процесса разделения при обрезке с подпором. Показано, что подпор можно осуществлять локально с некоторым шагом вдоль линии реза. Для заготовок толщиной 1.0 мм рекомендовано расстояния между локальными участками подпора выполнять равными 30 мм. На основании теоретических и экспериментальных исследований рекомендовано при проектировании процесса обрезки с подпором применять технологический зазор, составляющий 5...25 % толщины заготовки, что обеспечивает получение поверхности среза удовлетворительного качества и существенно снижает требования к точности изготовления штамповой оснастки.

Основные выводы по работе:

1. Разработанная на основании компьютерного моделирования и экспериментальных исследований методика проектирования процессов обрезки крупногабаритных тонколистовых деталей позволяет описать механизм разделения и форму поверхности среза в широком диапазоне изменения зазора между режущими кромками пуансона и матрицы и обеспечивает получение деталей с необходимой формой поверхности среза и снижение требований к точности изготовления штамповой оснастки.
2. Разработанная математическая модель на основе численного решения уравнений движения сплошной среды, энергетического условия пластичности, уравнений упругопластического течения и критерия разрушения В. Л. Колмогорова позволяет описать процесс разделения, включая ста-

дию разрушения с учетом упрочнения материала, изгиба заготовки и трения на инструменте. Теоретические и экспериментальные исследования механизма разделения и влияния основных технологических факторов на форму поверхности среза показали, что моделирование разрушения на основе критерия В. Л. Колмогорова позволяет в целом правильно описать механизм разрушения заготовки и форму поверхности среза детали. Расхождение экспериментальных и теоретических результатов находится в диапазоне 5...15 % по деформированному состоянию заготовки и 5...25 % по геометрическим параметрам качества: величинам заусенца, утяжины и угла скола детали.

3. Теоретически и экспериментально показано, что при зазорах свыше 32 % от толщины заготовки на сторону трещины развиваются не только от режущих кромок пуансона и матрицы, где имеют место максимальные деформации, но и от свободных поверхностей заготовки, где пластичность металла значительно ниже вследствие отсутствия гидростатического давления. Получено, что на механизм разделения при обрезке существенное влияние оказывает изгиб заготовки. При зазорах до 10 % разделение происходит путем развития двух трещин, берущих начало у режущих кромок пуансона и матрицы, причем трещина от пуансона получает большее развитие. При зазорах свыше 10 % от толщины заготовки трещина возникает только со стороны кромки пуансона и в дальнейшем развивается в сторону свободной поверхности заготовки, формируя заусенец на штампуемом изделии. Вследствие изгиба заготовки происходит появление фрагментов (волосков), негативно сказывающихся на качестве получаемых изделий и стойкости штампового инструмента. Применение механического подпора с удельной силой 1...5 % от σ , позволяет избежать возникновения заусенца на детали и образование фрагментов разрушения.
4. При обрезке с подпором трещина может возникать как со стороны кромки пуансона, так и со стороны кромки матрицы. При зазорах до 60 % от толщины заготовки трещина появлялась со стороны матрицы, при зазо-

рах свыше 60 % - со стороны пуансона. Путем скругления режущей кромки пуансона можно регулировать процесс разрушения заготовки и обеспечивать формирование поверхности среза без заусенца. При радиусе скругления 0.1 мм трещина распространялась только от режущей кромки матрицы на всем протяжении исследованного диапазона изменения зазора между кромками пуансона и матрицы.

5. Применение подпора в процессе разделения позволяет расширить диапазон возможного изменения зазора до 60...80 % толщины заготовки без значительного снижения качества поверхности среза детали. Теоретические и экспериментальные исследования формы поверхности среза позволяют рекомендовать при проектировании процесса обрезки с подпором применять технологический зазор, составляющий 5...25 % от толщины заготовки. Экспериментальные исследования показали, что подпор можно осуществлять локально с некоторым шагом вдоль линии реза. Для заготовок толщиной 1.0 мм можно рекомендовать расстояния между локальными участками подпора выполнять равными 30 мм.

Список опубликованных работ

1. Головащенко С. Ф., Князев Ю. Г. Обрезка крупногабаритных деталей при больших зазорах // Машиностроительные технологии: Сб. тез. докл. Всерос. науч. - техн. конф. – М., 1999. – С. 130.
2. Головащенко С. Ф., Князев Ю. Г. Повышение качества процессов обрезки тонкостенных деталей в штампах // Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1999. – № 1. – С. 20-26.
3. Князев Ю. Г. Повышение качества поверхности разделения при штамповке крупногабаритных тонколистовых деталей // Технология металлов. – 1999. - № 2. – С. 2-5

Подписано к печати 05.04.2000г. Зак. 38. Объем 1.0 п. л. Тир. 100

Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана