

М 491155
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ

ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

АКАСТЕЛОВА Нина Александровна

УДК 621.983:(681.14:658.512)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАСКРОЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ
ВЫРУБКОМ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
СОКРАЩЕНИЯ ОТХОДОВ

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки
давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1990

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового
Красного Знамени государственном университете имени
воссоединения Украины с Россией.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
С.И. Вдовин

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор
А.Д.Матвеев
к.т.н., доцент
Л.Н.Ильин

Ведущее предприятие: Днепропетровский научно-исследовательский
институт технологии машиностроения

Защита состоится "25" 06 1990 г. в 16 часов на
заседании специализированного совета К 053.15.13 при Московском
* Революции и ордена Трудового
техническом университете имени
кв. 2-я Бауманская ул., д.5.
еся в библиотеке МГТУ имени

ном экземпляре, заверенный
анному адресу.

4.

25 1990 г.

И.Н.Шубин И.Н.Шубин

М 491155

Актуальность. Вырубка листовых материалов — один из основных способов получения заготовок и готовых деталей. Относительная величина отходов материала при вырубке во многом определяет уровень КИМ производства изделий в целом. Из 100% поступающего в заготовительно-штамповочные цехи материала выход годного составляет несколько более 60%. Основными путями сокращения отходов являются:

- рациональный раскрой листов и рулонов;
- оптимальное расположение деталей в полосе (ленте);
- сокращение до минимума боковых и междетальных перемычек;
- точный расчет разверток деталей, изготавливаемых гибкой и вытяжкой.

Комплексное решение этих вопросов может дать наибольший эффект. Некоторые из них могут быть решены за счет технической проработки или с применением специальных методик расчета. Вопросы оптимизации раскроя эффективно могут быть разрешены только с использованием ЭВМ, при этом актуальной является проблема разработки надежных алгоритмов и программ, удовлетворяющих требованиям практики. Сокращение отходов за счет применения минимальных боковых и междетальных перемычек нуждается в подтверждении исследованием размеров очага пластической деформации (о.п.д.) в области реза при разделительных операциях. Теоретическое исследование о.п.д. при вырубке может быть выполнено на ЭВМ при помощи автоматического моделирования процесса на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Анализ проблемы экономии металла позволил сформулировать цель и задачи работы.

Цель работы. Создание надежных алгоритмов и программ для автоматизированного проектирования раскроя листов и рулонов при вырубке деталей произвольной формы и технологических решений, направленных на сокращение до минимума отходов материалов.

Задачи работы:

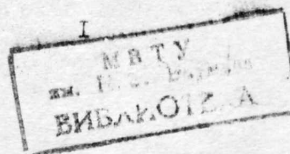
I. Исследовать процесс вырубки листового материала и установить минимально допустимую ширину перемычки.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1491155

Акастелова Н.А. Разработка



2. Разработать универсальный алгоритм периодического размещения в листовой заготовке произвольных плоских фигур, в том числе взаимно симметричных.

3. Разработать алгоритм оптимизации раскроя рулонного материала на ленты заданной ширины и длины.

4. Разработать методику расчета размеров разверток гнутых деталей, учитывающую утолщение стенок деталей при перетягивании их через кромку матрицы.

5. Разработать конструкцию направляющих устройств, исключая погрешность базирования полосы в штампе при двухрядной вырубке.

Научная новизна.

1. На базе МКЭ создана математическая модель напряженно-деформированного состояния н.д.с. заготовки при вырубке. Полученные результаты расчетов согласуются с известными результатами. Модель позволяет проанализировать особенности возникновения и развития о.п.д. при вырубке. Найдена критическая ширина перемычки, при которой качественно меняется развитие о.п.д.: вместо двустороннего пластического внедрения происходит смятие перемычки.

2. Предложенная новая форма линеаризованных конечно-разностных уравнений пластического течения для МКЭ позволяет снизить погрешность расчета параметров н.д.с. в 10 и более раз или адекватно ускорить вычислительный процесс. Преобразованные уравнения могут эффективно использоваться при решении различных технологических задач пластичности.

3. Разработанный алгоритм автоматизированного проектирования оптимального раскроя листов и рулонов при вырубке деталей в штампах инвариантен к способу раскроя. По сравнению с широко распространенным методом построения годографа векторной функции плотного размещения алгоритм снижает трудоемкость проектирования встречного и двухрядного, с переворотом полосы, раскроя. Алгоритм основан на дискретном представлении произвольной плоской фигуры в виде раstra, крайние точки которого принадлежат контуру фигуры. Опираясь на растры, алгоритм сводит решение двумерной задачи на плоскости к одномерной, что повышает надежность работы программы расчета параметров оптимального расположения детали в полосе.

4. Разработана методика автоматизированного проектирования схем резрезки рулона на комплект лент заданной ширины и длины. Минимизация отходов строго сведена к решению задачи линейного программирования. Постановка задачи отражает требование минимальных переналадок многодисковых ножниц.

5. Защищено авторским свидетельством устройство, устраняющее погрешности базирования заготовки в штампе при двухрядной вырубке и позволяющее сократить в полтора раза отходы за счет перемычек.

Практическая ценность. Применение разработанной методики в автоматизированных расчетах при технологической подготовке производства деталей, изготавливаемых вырубкой, гарантирует значительную экономию металла, сокращает сроки технологической подготовки производства.

Реализация работы в промышленности. Результаты работы внедрены на КМЗ с экономическим эффектом 182,5 тыс. руб. Последняя версия программы для ЭВМ СМ-4 передана в НИИТМ для тиражирования и внедрения на других машиностроительных предприятиях.

Апробация работы. Материалы работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры технологии производства ДГУ, МТ-6 МГТУ, на всесоюзных семинарах "Математическое обеспечение расчетов линейного и прямоугольного раскроя" (Уфа, 1980 г.), "Математическое обеспечение рационального раскроя в системах автоматизированного проектирования" (Уфа, 1987 г.), на всесоюзной конференции "Совершенствование разделительных процессов обработки металлов давлением" (Тирасполь, 1980 г.), на республиканской межвузовской конференции "Автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении и приборостроении" (Воронеж, 1989 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 статей, 4 доклада (в тезисах), получено авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложения. Основное содержание работы изложено на 156 страницах машинописного текста, включает 44 рисунка и 10 таблиц. Список использованной литературы содержит 139 наименований, приложение представлено на 6 страницах.

Введение содержит обоснование актуальности работы, формулировку цели, задач работы и научной новизны выносимых на защиту положений. Приведена общая характеристика работы.

Глава I. Аналитический обзор. Научной базой исследования процессов холодной листовой штамповки является современная теория пластичности, разработанная в трудах С.И.Губкин, Е.И.Исаченкова, Н.Н.Малинина, Е.А.Попова, М.В.Сторожева, А.Д.Томленова, Л.А.Шофмана, У.Джонсона, Х.Кудо и других советских и зарубежных ученых. Вопросы разделительных процессов исследуются в работах В.Д.Головлева, М.Е.Зубцова, А.Г.Лисина, В.Т.Мещерина, Ф.П.Михаленко, В.А.Тимошенко.

Анализ разделительных операций листовой штамповки представляет собой сложную проблему, в основном по двум причинам. Во-первых, большая неравномерность деформации затрудняет математическое описание состояния деформируемого материала. О.п.д. не удается строго разбить на области, в пределах которых можно принять обоснованное допущение в отношении распределения деформаций, направления главных удлинений. Вторая причина состоит в сложности изучения механики разрушения как завершающей стадии деформирования.

Теоретические и экспериментальные методы исследования применимы с некоторыми допущениями, характер которых вытекает из конкретных целей, условий и возможностей эксперимента, чем объясняется различие мнений по ряду вопросов, в частности, по поводу максимального размера о.п.д..

Обоснованное назначение перемычек при вырубке требует проведения исследований процесса внедрения инструмента в материал заготовки, т.к. табличные значения рекомендуемых перемычек при толщине материала 1 мм и выше имеют большие отклонения от интерполяционных кривых, что говорит о недостаточной изученности данного вопроса. При двух- и многорядной вырубке значения перемычек превышают на 50% по сравнению с однорядной с учетом погрешностей базирования заготовок, которые следует исключить.

Развитие вычислительной техники и появление численных методов математического моделирования немонотонно протекающих процессов, прежде всего МКЭ, позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние (н.д.с.) о.п.д. в материале заготовки при выруб-

ке, определить его размеры, которые не должны превышать величину назначаемой перемычки. Вопросы моделирования при помощи МКЭ процессов разделительных операций отражены в литературе недостаточно.

Проблема, имеющей в программных реализациях МКЭ остается большая потребность в вычислительных ресурсах, что делает актуальной проблему интенсификации этого метода.

Главным преимуществом автоматизированного проектирования является возможность решения многовариантных оптимизационных задач, какими являются задачи раскроя. Наиболее существенный вклад в решение задач раскроя сделан Л.Б. Беляковой, Б.А. Залгаллером, Л.В. Канторовичем, Э.А. Мухачевой, Ю.Г. Стояном. Решение некоторых задач раскроя нуждается в уточнении, поскольку в ряде разработок не в полной мере учитываются ограничения, накладываемые на способы раскроя, не полностью преодолена неустойчивость алгоритмов обработки больших объемов геометрической информации в среде ЭЕМ.

Источником потерь металла являются припуски на краях гнутых деталей некоторых типов, что связано также с увеличением числа операций и штампов. Актуальна разработка методики точного расчета разверток с учетом утонения стенок гнутых деталей при перетягивании их через кромку матрицы.

В результате анализа проблемы экономии материала при вырубке сформулированы цель и задачи работы.

Глава 2. Исследование напряженно-деформированного состояния металла при вырубке. Н.д.с. металла в зоне деформации при вырубке считается плоским. Согласно МКЭ исследуемая часть заготовки разбита на треугольные конечные элементы (рис.1). Ось Y противоположна направлению движения пуансона и совпадает с осью симметрии вырубываемой детали. Вертикальные перемещения узлов, прилегающих к торцу матрицы, равны нулю, прилегающих к торцу пуансона, равны его перемещению. Горизонтальное перемещение узлов, расположенных на оси симметрии, равно нулю. В прилегающих к инструменту узлах учитывается сила трения, противоположная направлению течения деформируемого металла относительно торцовых поверхностей инструмента. Материал предполагается однородным, изотропным, подчиняющимся в упругом состоянии закону Гука; в пластическом — соотношениям Пренгтля-

Рейсса. Известны модуль упругости, коэффициент упрочнения, коэффициент Пуассона, начальное напряжение текучести и коэффициент трения. Решение системы линейных уравнений $[K] \times \{u\} = \{Q\}$ дает исчерпывающую информацию о н.д.с. металла в интересующей нас области реза. Векторы внешних сил $\{Q\}$ и перемещений узлов $\{u\}$ связаны матрицей жесткости $[K]$, при вычислении элементов которой используются соотношения Прандтля-Рейсса для упруго-пластических материалов в предложенном Р.Хиллом виде: $\{d\sigma\} = [D] \times \{d\varepsilon\}$. Матрица $[D]$ содержит компоненты девиатора напряжений и механические константы материала. Приращения деформаций определяются через перемещения узлов: $\{\varepsilon\} = [B] \times \{u\}$, где матрица $[B]$ учитывает форму элемента и функции перемещения узлов, аппроксимируемые линейными полиномами. В пределах каждого элемента параметры н.д.с.г осредняются, силы передаются через узловые точки. Математическое моделирование процесса выполняется в малых поэтапных приращениях деформации порядка $0,0001 \div 0,0002$, что требует больших затрат машинного времени. Интенсификация МКЭ за счет увеличения приращения деформации приводит к абсурдным значениям поэтапных приращений напряжений, вычисляемых по соотношению Прандтля-Рейсса, ΔS_{iB} . Линеаризованная относительно приращений деформаций и напряжений форма уравнений Прандтля-Рейсса в конечных приращениях:

$$\Delta S_{iB} = 2G \left[\Delta e_i - \frac{3S_{i0}}{2\sigma^2} (S_{10} \Delta e_1 + S_{20} \Delta e_2 + S_{30} \Delta e_3) \right] \quad (1)$$

содержит значения приращений напряжений ΔS_{i0} , вычисленные на предыдущем этапе. Здесь σ - интенсивность напряжений, G - модуль сдвига, Δe_i - конечные приращения деформаций. В работе показано, что критическим значением вычисленного приращения напряжения является значение, вдвое превышающее истинное. Соответствующее ему критическое значение приращения деформации равно ~ 0 .

Необходимость использования малых поэтапных приращений деформаций объясняется "плохой" структурой линеаризованных уравнений течения Прандтля-Рейсса:

$$de_{ij} = \frac{3}{2} \frac{d\varepsilon}{\sigma} s_{ij} + \frac{ds_{ij}}{2G}, \quad (2)$$

где: $d\varepsilon$ - интенсивность приращений деформаций;

e_{ij}, s_{ij} - компоненты девиаторов деформаций и напряжений.

Последний член выражения (2) выражает упругую часть деформации и весьма мал по сравнению с двумя другими. Если процесс деформации заготовки перешел в фазу пластической деформации, т.е. о.п.д. сформировался полностью, можно пренебречь последним членом выражения (2). В конечно-разностной форме выражение (2) преобразуется в уравнение:

$$\Delta e_{ij} = \frac{3}{6} \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} s_{ij} \quad (3)$$

В (3) не содержатся в явном виде приращения напряжений. Последующее дифференцирование (3) и ряд преобразований дают в результате выражения:

$$\Delta S_{18} = \frac{26}{3\Delta \epsilon_0} \Delta e_1 - \frac{45\Delta e_{10}}{9(\Delta \epsilon_0)^3} (\Delta e_1 \Delta e_{10} + \Delta e_2 \Delta e_{20} + \Delta e_3 \Delta e_{30}) \quad (4)$$

Произведенный вычислительный эксперимент показал, что допустимые поэтапные приращения деформаций могут быть увеличены на порядок и выше.

Результатами решения системы уравнений $[K] \times \{u\} = \{Q\}$ на каждом этапе являются приращения неизвестных внешних сил в опорных узлах области КЭ и перемещения узлов, по которым определяются приращения деформаций и напряжений элементов и прибавляются к значениям, накопленным к предыдущему этапу. Барьеры списками узлов, прилегающих к торцам инструмента, изменяли величину зазора между пуансоном и матрицей, а также ширину перемычки. В результате проведения вычислительных экспериментов получены следующие данные, уточняющие представление о процессе резки металла:

- напряжения в о.п.д. распределены неравномерно: в областях, прилегающих к режущим кромкам инструмента, (рис.2) имеет место одноименная схема напряжений при неравномерном сжатии; за пределами этих областей металл подвержен действию разноименных напряжений;

- установлены характер эпюр давления и характер течения металла на контактных поисках инструмента, ширина которых составляет $\sim 0,4 S$ на матрице и $\sim 0,5 S$ на пуансоне (рис.2);

- минимально допустимая ширина перемычки, сохраняющей жесткость при резке АМГ6, составляет $\sim 0,7 S$, см. рис.3.

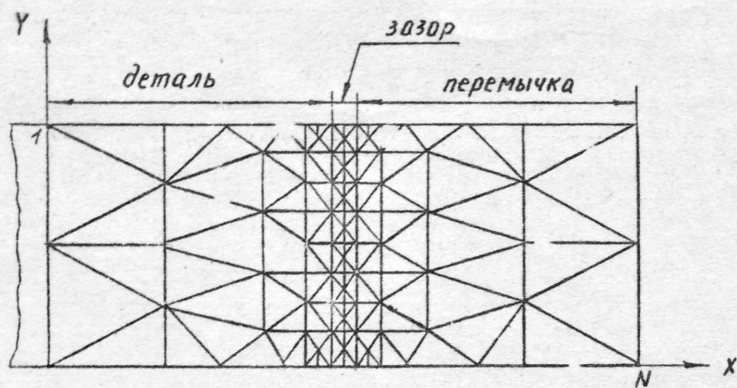


Рис. I

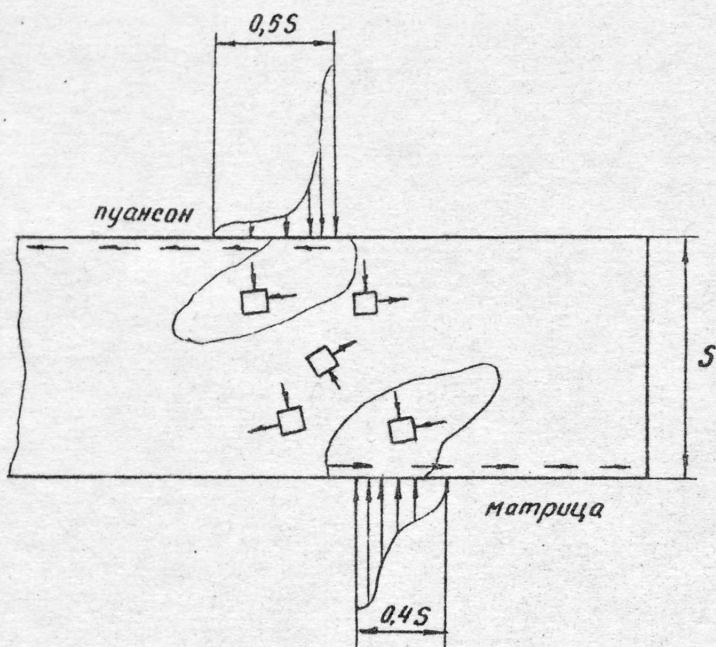
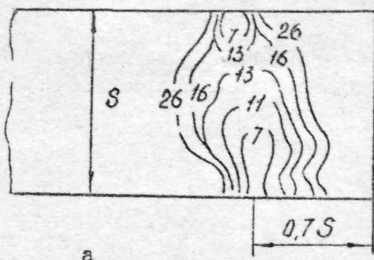
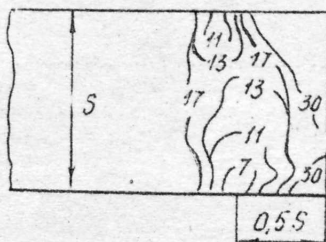


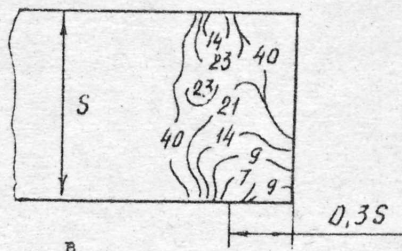
Рис. 2



a



б



в

Рис.3. Границы о.п.д. в материале заготовки при вырубке с шириной перемычки: а- 0,7 , б- 0,5 , в- 0,3 (числа в разрывах кривых - номера этапов внедрения инструмента в заготовку; поэтапное перемещение инструмента - 0,00015)

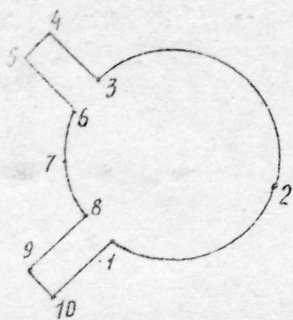


Рис. 4

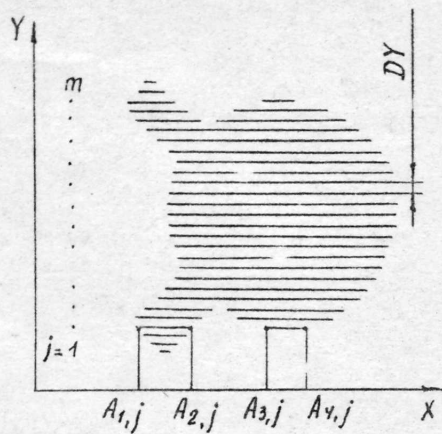


Рис. 5

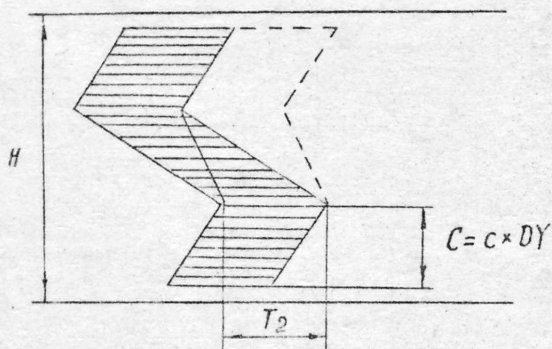


Рис. 6

Глава 3. Разработка алгоритмов автоматизированного решения

задач оптимального раскроя материалов. В работе рассматриваются однородная, двухрядная с поворотом на 180° (переворотом) полосы вырубка из листовых или рулонных материалов. Информация задается координатами точек излома или сопряжения отрезков прямых и дуг окружностей, ограничивающих контур детали (рис.4). Далее контур расширяется на половину ширины перемычки, и информация о контуре преобразуется в матрицу $A(10, m)$ абсцисс точек пересечения контура m параллельными оси X прямыми (рис.5), расстояние между которыми равно $DY = 0,7a$ (a - ширина перемычки). Погрешность определения шага вырубki при этом составит не более $0,3a$ в самом неблагоприятном случае взаимного расположения двух соседних деталей. Основной проблемой при автоматизированном размещении двух соседних (попвизной и непопвизной) фигур в полосе или ленте является определение положения, когда они располагаются касательно друг к другу. Формируется массив G , аналогичный A для однородной вырубki, $G_{jk} = -A_{ij}$ - для повернутой на 180° фигуры и $G_{ik} = A_{ij}$ - для перевёрнутой (здесь $i = 1, 2, \dots, 10$ - номер листа числа в строке; $j = 1, 2, \dots, m$ - номер строки; $k = m+1-j$). Плотное, т.е. касательное расположение фигур в полосе или ленте, т.е. шаг вырубki определяется как $T = A_{i+1, j} - G_{k, j+c}$ при условии, что не выполняется ни одно из условий пересечения:

$$\begin{aligned} G_{k, j+c} < A_{i, j} \leq A_{k+1, j+c}, \\ A_{i, j} < G_{k, j+c} < A_{i+1, j}. \end{aligned} \quad (5)$$

Индекс C в (5) позволяет моделировать смещение рядов при двухрядной вырубке на величину $C = c \times DY$, см.рис.6.

Суть оптимизации состоит в определении такого угла α ориентации фигур в полосе и смещения C , при которых шаг вырубki T и ширина полосы H дают максимальное число деталей из листа, или же их произведение $T \times H$ минимально при вырубке из ленты. Ленты, используемые для вырубki, заказываются на металлургических предприятиях или получаютcя разрезкой рулонов. При разрезке рулона на ленты необходимо, чтобы в лентах разместились все заготовки заданного перечня $i = 1, N$, причем части Z_{ij}

некоторых заготовок могут располагаться в поле более широких лент с некоторым дополнительным боковым отходом $S_{ij} = XL_j - XS_j$, где: XL_j - ширина j -той ленты, XS_j - ширина i -той заготовки. Цель задачи состоит в определении минимальной длины рулона или нескольких рулонов. Для того, чтобы была удовлетворена потребность в деталях i -го вида, сумма частей i -той заготовки, размещенной в поле j ленты, должна быть равна заданной длине этой заготовки B_i . Из этого условия формируется N уравнений вида:

$$\sum_{j=1}^N Z_{ij} = B_i \quad ; \quad S_{ij} \geq 0. \quad (6)$$

Все ленты, на которые разрезается рулон, одинаковы по длине, т.е. сумма частей заготовок, расположенных в поле любой из лент, равна длине любой другой ленты. Это условие может быть выражено уравнениями следующего вида:

$$\sum_{i=1}^N Z_{ij} \cdot j = i \cdot \sum_{i=1}^N Z_{ik}, \quad k = \overline{1, N} \quad ; \quad S_{ij} \geq 0. \quad (7)$$

Функция цели при решении системы линейных уравнений (6) и (7) представляет собой минимум площади дополнительного отхода:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N Z_{ij} \cdot S_{ij} \rightarrow \min \quad ; \quad S_{ij} \geq 0. \quad (8)$$

В такой интерпретации оптимизация раскроя рулона строго сводится к задаче линейного программирования.

Глава 4. Разработка САПР раскроя материала при вырубке из длинномерных заготовок. На базе алгоритмов, изложенных в гл. 3, разработана САПР раскроя для мелкосерийного производства. Разработанные программы применяются для оперативного решения задач раскроя, исходя из наличия материала на планируемый период. САПР снабжена диалоговыми программами, предоставляющими пользователю право принятия принципиальных решений при назначении перемычек, формировании входной оперативной информации о раскраиваемых листах или рулонах, при выборе типа раскроя (однорядный, двухрядный, с взаимносимметричным или зеркальным расположением деталей в заготовке, встречный), при учете ограничений, зависящих от конкретных условий производства: оборудования, оснастки, требований техники безопасности и охраны труда.

В САПР включена программа расчета разверток гнутых деталей с учетом утонения стенок или без него - на усмотрение пользователя.

ля. Для учета утонения стенок гнутых деталей при их перетягивании через кромку матрицы разработана и экспериментально подтверждена соответствующая методика. Отличительная особенность гибки с перетягиванием заготовки через кромку матрицы - действие значительной растягивающей силы в процессе спрямления материала, что приводит к утонению стенки до величины:

$$S = S_0 \frac{R + r_m}{R + r_m \exp \frac{S_0^2 \exp \mu \varphi}{r_m (2r_m + S_0)}} \quad (9)$$

где: R - радиус кривизны наружной поверхности;

r_m - радиус скругления матрицы;

S - толщина стенок детали, подвергающихся утонению при сходе с кромки матрицы;

S_0 - толщина материала заготовки;

μ - коэффициент трения;

φ - угол охвата заготовкой кромки матрицы.

Длина средней линии детали с учетом (9) равна:

$$\Delta L = (1 - S/S_0) \sum \ell, \quad \sum \ell - \text{сумма длин утоняющихся стенок.}$$

$$\text{Потребная длина заготовки: } L_{\text{заг}} = L_{\text{дем}} - \Delta L.$$

Результаты экспериментальной проверки разработанной методики на заготовках из стали 06КП толщиной ~ мм с варьированием радиуса матрицы $r_m = 4, 2, 1, 0,5$ мм показали, что при $S_0 \leq 2r_m$ разброс размеров гнутых деталей отсутствует, при $S_0 = r_m$ равен ~ 10%, при $S_0 > r_m$ необходимо предусматривать припуск по длине развертки.

В состав САПР включены тексты руководств для программиста и пользователя программ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В решении проблемы экономии листового материала наибольший эффект может быть достигнут при комплексном решении всех вопросов технологической подготовки листоштамповочного производства. Важная роль в экономии материала отводится оптимизации раскроя при выполнении разделительных операций, сокращению припусков и технологических отходов перемычек. Существующие сред-

ства оптимизации раскроя, стандарты и рекомендации по назначению перемычек и припусков могут быть усовершенствованы путем разработки более эффективных алгоритмов и программ, исследования процессов вырубki и последующего формоизменения листовых заготовок, а также устранения технических несовершенств производства.

2. Математическое моделирование процесса вырубki с помощью МКЭ позволило установить:

- минимально допустимую ширину перемычки, равную 0,7 толщины материала;
- величины контактных поясков, равные $\sim 0,4$ толщины материала на матрице и $\sim 0,5$ - на дуансоне;
- характер эпюр давления инструмента на металл;
- характер течения металла на контактных поясках инструмента;
- распределение напряжений в зоне деформации заготовки.

В математической модели использовано преобразование линеаризованных уравнений пластического течения, обеспечившее увеличение допустимого поэтапного перемещения инструмента более, чем в 10 раз.

3. Разработаны алгоритм дискретного растрового представления произвольной плоской фигуры в виде множества отрезков, принадлежащих фигуре и семейству параллельных прямых, и алгоритм автоматического плотного размещения растров неподвижной и подвижной фигур. Выполнена оценка потребности плотного размещения фигур.

4. Создан алгоритм рационального раскроя рулона на ленты разной ширины заданного перечня. Алгоритм предусматривает использование концевых отходов широких лент для размещения в них заготовок меньшей ширины. Минимизация боковых отходов сведена к строгому решению задачи линейного программирования.

5. В результате исследования гибки листовых заготовок и последующего их спрямления на кромке матрицы получены формулы расчета разверток гнутых деталей типа "сдвоенный зет". По сравнению со справочными данными уточненные размеры разверток уменьшаются (уменьшение может достигать нескольких миллиметров). При относительных радиусах гибки $r_m / s_0 \geq 2$ исключается операция обрезки краев гнутых деталей.

6. Газработано и защищено авторским свидетельством (а.с. № 1315081) устройство для повышения точности базирования заготовки в штампе при двухрядной вырубке, позволяющее уменьшить перемычки в полтора раза.

7. Результаты исследований гибки и вырубки использованы при разработке САПР раскроя листовых материалов. По сравнению с аналогичными САПР расширен перечень оптимизационных задач, повышена точность разверток гнутых деталей, минимизированы перемычки при вырубке.

8. Применение разработанной методики автоматизированного проектирования раскроя листовых материалов при изготовлении деталей вырубкой обеспечивает экономию металла 6-10%. Промышленная реализация САПР раскроя на Кнм машиностроительном заводе позволила получить годовой экономический эффект 182,5 тыс.руб. В настоящее время САПР раскроя адаптирована на мини-ЭВМ с расширенным перечнем оптимизационных задач, передана отраслевому НИИ технологии машиностроения и проходит испытания и опытную эксплуатацию.

Основные положения диссертации изложены в работах:

1. Акастелова Н.А., Вдовин С.И. Исследование очага пластической деформации при вырубке листового материала // Известия вузов. Машиностроение. - 1989. - №3. - С.90-92.

2. Акастелова Н.А., Вдовин С.И. Оптимизация разделки одномерного и двумерного материала // Математическое обеспечение линейного и прямоугольного раскроя: Тез. докл. всесоюзного семинара. - Уфа, 1980. - С.35-37.

3. Акастелова Н.А. Раскрой рулона // математическое обеспечение рационального раскроя в системах автоматизированного проектирования: Тез. докл. всесоюзного семинара. - Уфа, 1987. - Ч.1. - С.5-7.

4. Акастелова Н.А., Вдовин С.И. Расчет на ЭВМ разделки листов и профилей // Совершенствование разделительных процессов обработки металлов давлением: Тез. докл. всесоюзной конференции. - Тирасполь, 1980. - С.104-105.

5. Акастелова Н.А., Вдовин С.И., Щупляк Г.И. Расчет на ЭВМ раскроя листовых материалов при вырубке деталей из полосы // Кузнечно-штамповочное производство. - 1983. - №4. - С.18-19.

6. Акастелова Н.А., Вдовин С.И., Путий М.С. Автоматизация

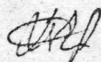
проектирования технологических процессов // Вестник машиностроения.- 1983.- №3.- С.66-67.

7. Акастелова Н.А., Вдовин С.И., Убизький Н.Н. Расчет утонения листового материала при гибке // Кузнечно-штамповочное производство.- 1987.- №10.- С.24-25.

8. Акастелова Н.А., Вдовин С.И., Цыганков С.В. Ввод в ЭВМ формы и размеров плоских инженерно-графических объектов // Автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. республиканской межвузовской конференции.- Ворошиловград, 1989.- С.106.

9. Акастелова Н.А., Вдовин С.И., Ухов Е.И. Автоматизированный расчет осесимметричной вытяжки деталей сложной формы // Кузнечно-штамповочное производство.- 1989.- №2.- С.28-31.

10. А.с. 1315081 СССР, МКИ³ В 21. Устройство для направления листового материала / Н.А. Акастелова, С.И.Вдовин, А.А.Пацац, Г.И.Щупляк // Открытия. Изобретения.- 1987.- №21.



Л - 15401 от 23.05.90 г. Зак.605. Объем 1.0 п.л.

Тир. 100 экз.

Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана