

М316639

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ
ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ имени Н.Э.БАУМАНА

ГАРАНОВ Валерий Михайлович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ИЗГИБА С
РАСТЯЖЕНИЕМ ПОЛОСЫ ПО КОНИЧЕСКОЙ ОПРАВКЕ

05.03.05. - Технология и машины обработки
давлением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1977 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ
ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ имени Н.Э. БАУМАНА

ГАРАНОВ Валерий Михайлович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ИЗГИБА С
РАСТЯЖЕНИЕМ ПОЛОСЫ ПО КОНИЧЕСКОЙ ОПРАВКЕ

05.03.05. – Технология и машины обработки
давлением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1977 г.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1316639

Гаранов В.М. Исследование

M316639

Работа выполнена в МВТУ им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Е.А. ПОПОВ

Научный консультант – кандидат технических наук, доцент
С.И. ВЛОВИН

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Е.И. ИСАЧЕНКОВ,
кандидат технических наук Б.Г. КАЛПИН.

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета

Защита диссертации состоится " " _____ 1977г.

на заседании специализированного Совета _____

Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшего технического училища им. Н.Э. Баумана по адресу:
Москва, 107005, 2-я Бауманская, 5

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные
печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени
Н.Э. Баумана

Автореферат разослан " " _____ 1977г.

Ученый секретарь специализированного Совета

Л – 89655, подписан к печати 24/6 1977г. Объем I п.л.,
тип. МВТУ, зак. II4I, тир. 100.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Актуальность проблемы. Существует определенная номенклатура типовых деталей машин, изготовление которых методом гибки с растяжением может быть весьма эффективным. К таким деталям относятся, в частности, сепараторы специальных конических подшипников, представляющие собой секторы колец, ширина которых существенно больше толщины. Прибегая к схематизации, можно охарактеризовать процесс формообразования деталей такого типа, как плоский изгиб полосы, сечение которой ориентировано по отношению к плоскости гибки некоторым заданным углом.

В отличие от шпангоутов, форма которых может быть изменена зажимными устройствами стапеля, либо за счет слесарной правки, секторы сепараторов и другие, подобные им детали, должны иметь повышенную точность по завершении операции гибки, т.к. правка их практически невозможна ввиду весьма малого сопротивления полосы изгибу "плашмя" по сравнению с изгибом "на ребро".

В связи с изложенным достигнутая в настоящее время точность изготовления деталей методами гибки с растяжением оказывается недостаточной, кроме того возникают некоторые новые проблемы принципиального характера. Необходимо обеспечить прилегание заготовки к оправке в процессе гибки, повысить точность расчета изменения размеров и формы деталей в процессе пружинения. Исследование процесса изгиба с растяжением указанных деталей является актуальной проблемой.

Цель исследования. Целью настоящей работы является разработка процесса изготовления методом изгиба с растяжением деталей из профилей, несимметричных относительно плоскости гибки, с резко выраженным различием экстремальных значений жесткости поперечных сечений при изгибе. Наиболее простым и характерным примером такого процесса является изгиб полосы по конической оправке.

Методы исследования. В качестве основных в теоретическом исследовании активного периода процессов изгиба с растяжением применены численные методы с использованием ЭВМ. В решении принята дискретная модель формы поперечного сечения изгибаемой заготовки и диаграммы упрочнения материала.

Разработке численного анализа предшествовало аналитическое исследование по определению условий прилегания заготов-

ки к оправке в процессе гибки и влиянию принятой плоской схемы напряженного состояния на величину изгибающего момента при калибровке.

Для определения компонентов пружинения получено аналитическое решение на основе единой теории тонких и тонкостенных стержней и уравнений равновесия Кирхгофа.

Экспериментально исследовано влияние различных технологических факторов на величину основных параметров исследуемых процессов для различных последовательностей нагружения осевым усилием и изгибающим моментом.

Научная новизна. В результате теоретического анализа активного периода процесса установления величина растягивающей силы, обеспечивающей прилегание заготовки в процессе изгиба к оправке. Дан анализ влияния принятой плоской охемы напряженного состояния на величину изгибающего момента. Разработана методика использования дискретного представления формы поперечного сечения и диаграммы упрочнения материала в анализе исследуемых процессов.

Установлена методика определения компонентов пружинения при разгрузке профилей, несимметричных относительно плоскости изгиба. Получено дифференциальное уравнение стесненного кручения профиля с криволинейной осью и аналитические зависимости для определения изменения кривизны, неплоскостности и закручивания профилей при разгрузке после пластического изгиба с растяжением. Разработана методика определения радиуса гибочной оправки по заданному радиусу кривизны детали с использованием итерационных процессов.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований разработан алгоритм и составлена программа, позволяющие рассчитать оптимальный вариант процесса по выбранной схеме нагружения. В программе предусмотрена возможность рассчитывать процесс изгиба профилей с произвольным очертанием контура одноосевых поперечных сечений.

Проведенные исследования позволили разработать и внедрить в производство процесс изготовления методом изгиба с растяжением по схеме РМ двух типоразмеров гнутых заготовок деталей "сектор сепаратора" из профилей со сложной формой поперечного сечения.

Для изгиба с растяжением профилей относительно небольшой длины спроектировано, изготовлено и внедрено в производство устройство для изгиба профилей с растяжением. Получен акт внедрения.

Полученный реальный экономический эффект от внедрения разработанной технологии и устройства составил в расчете на условную годовую программу 1000 изделий 4,25 тыс.руб.

Апробация работы. По основным разделам работы сделано два доклада на научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им.Н.Э.Баумана в 1976, 1977 гг. и доклад на третьей научно-технической конференции молодых ученых и специалистов предприятий и организаций ГУММАШа в 1976г.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 147 страницах машинописного текста. Она содержит введение, пять глав, выводы по каждой главе, заключение по работе и приложение. В диссертации приведены 4 таблицы, 45 рисунков и список литературы из 84 наименований.

Глава I. Аналитический обзор

В литературном обзоре дана общая характеристика процессов изгиба с растяжением профилей. Рассмотрены работы, связанные с определением технологических параметров процессов изгиба профилей с растяжением: величины осевого усилия и изгибающего момента, реакции оправки, конечных размеров и формы детали после разгрузки, размеров и формы гибочной оправки, остаточных напряжений и др.

Анализ известных из отечественной и зарубежной литературы исследований Ахмерова А.Ф., Горбунова М.Н., Громовой А.Н., Давыдова В.И., Дробота Ю.Б., Лысова М.И., Мошнина Е.Н., Чкал Цяня и других авторов показывает, что теоретическое исследование активной и пассивной стадий процесса проводится с использованием линейной схемы напряженного состояния. Влияние более близкой к реальной плоской схемы напряженного состояния на величину изгибающего момента не рассматривается. Необходимость такого исследования вытекает из того, что изгибающий момент при изгибе с растяжением значительно меньше, а радиальные напряжения больше, чем при изгибе без осевого усилия.

Поперечные сечения большинства деталей из профилей не имеют осей симметрии, либо плоскость кривизны этих деталей

не совпадает с осями симметрии сечений. Контур поперечного сечения часто имеет сложную конфигурацию.

Практическое использование полученных в рассматриваемых работах зависимостей ограничивается профилями с поперечными сечениями, представляющими собой набор прямоугольных элементов, ориентированных вдоль осей изгиба, причем в большинстве работ полагается, что ось симметрии сечения лежит в плоскости изгиба.

Установлено, что при изготовлении криволинейных деталей из тонкостенных профилей с высокой точностью следует отдать предпочтение методам изгиба с растяжением. Для несимметричных относительно плоскости гибки сечений необходимо использовать схемы нагружения в последовательности РИР (растяжение-изгиб-растяжение), РИ (растяжение-изгиб). Точность формообразования в процессах по схеме РИР зависит от соотношения усилий предварительного и последующего растяжений. Оптимальному соотношению соответствует минимально возможная величина усилия предварительного растяжения при максимальной величине суммарного осевого усилия в конечный момент формообразования. Теоретически этот вопрос не исследован, имеются лишь практические рекомендации о выборе усилия предварительного растяжения безотносительно к форме поперечного сечения и его положения относительно плоскости гибки.

Существующее оборудование типа ПР предназначено для изготовления деталей из достаточно длинных профилей с массивными поперечными сечениями, весьма сложно и дорогостояще, занимает значительные производственные площади.

Весь комплекс расчетов по определению технологических параметров изгиба с растяжением весьма трудоемок, даже с учетом ограничений на вид поперечного сечения. Вместе с тем указано, что основная задача этих расчетов — определение размеров оправки с учетом пружинения детали при разгрузке — практически может быть решена только приближенно. Для качественного повышения точности расчетов целесообразно использование вычислительной техники.

Ввиду того, что многие аспекты процессов изгиба с растяжением исследованы недостаточно и расчет технологических параметров носит приближенный характер, что отрицательно сказыв-

вается на точности обработки, существуют препятствия расширению номенклатуры деталей, изготавливаемых методами гибки с растяжением, за счет более точных и менее технологичных по сравнению с освоенными.

Глава 2. Постановка цели и задач исследования.

Выбор методов исследования.

В результате проведенного анализа и в соответствии с целью данной работы были поставлены следующие задачи.

1. Теоретически исследовать активную стадию процессов изгиба с растяжением с более полным учетом влияющих факторов. При этом рассмотреть влияние плоской схемы напряженного состояния на технологические параметры процессов. Установить влияние механических свойств материала заготовки и геометрических факторов процессов на выбор оптимальной величины предварительного растягивающего усилия.

2. Теоретически исследовать пассивную стадию процесса, приняв во внимание стесненность кручения при разгрузке профилей, несимметричных относительно плоскости изгиба.

3. Разработать методику повышения точности расчетов технологических параметров процессов изгиба с растяжением, используя при этом вычислительную технику.

4. В процессе экспериментального исследования рассмотреть степень соответствия теоретически рассчитанных и практически установленных параметров процесса.

5. Разработать технологию изготовления конкретных производственных деталей методом изгиба с растяжением по конической оправке заготовок типа полоса, используя разработанную методику расчета.

6. Разработать и предложить к внедрению в производство устройство для изгиба с растяжением деталей относительно небольшой длины.

Осуществление поставленных задач предполагает выбор используемых в работе методов исследования.

В теоретическом исследовании применены в качестве основных численные методы решения с использованием ЭВМ. Это относится прежде всего к активной стадии процесса — пластическому изгибу с растяжением.

Форма и размеры поперечного сечения представлены в виде

дискретной модели. При этом поперечное сечение разбивается на достаточно большое число слоев, перпендикулярных плоскости изгиба. Значение напряжения текучести σ_s , радиальных σ_r , тангенциальных σ_θ напряжений в пределах слоя принимается постоянным. Контур поперечного сечения наиболее просто описывается координатами узловых точек с линейной интерполяцией криволинейных участков.

Дискретное представление использовано также для диаграммы упрочнения. Наиболее точное отображение этой функции представляю собой экспериментально полученные таблицы с достаточно малым шагом. Промежуточные значения σ_s определяются с помощью линейной интерполяции.

Моноotonно протекающий в пределах упругости процесс разгрузки достаточно точно может быть проанализирован также с помощью аналитических методов, чему способствует единый закон изменения фиктивных напряжений разгрузки.

Глава 3. Теоретический анализ активного периода процесса

При изгибе полосы по конической оправке усилие предварительного растяжения N_{np} должно быть достаточным для обеспечения прилегания изгибаемой заготовки к оправке, т.к. в результате весьма большого различия величин моментов инерции поперечного сечения и несовпадения плоскости изгиба с осями симметрии сечения изгибаемая заготовка склонна к развороту относительно оправки. Минимальная величина N_{np} , достаточная для предотвращения такого разворота, определяется неравенством

$$M_{тр} + \int_{F_p} \sigma_\theta y dF \geq - \int_{F_c} \sigma_\theta y dF \quad (I)$$

с использованием очевидного условия

$$N_{np} = N_p + N_c \quad (2)$$

где $M_{тр}$ — момент от сил трения заготовки об оправку, препятствующий развороту; F_p, F_c — площади растянутой и сжатой частей сечения; N_p, N_c — осевые усилия в частях сечения F_p и F_c ; y — расстояние от элементарной площадки dF до плоскости, параллельной плоскости гибки, проходящей через ось поворота.

Считая характер диаграммы упрочнения материала линейным, а зону упругих деформаций малой по высоте, после преобразова-

ний (1), (2) получим

$$\sigma_p \geq \frac{\Pi \chi_y I_{xy} - \mu F b \sigma_p \sin \beta}{S_x^c - S_x^p}, \quad (3)$$

$$N_{pr} = \sigma_p (F_p - F_c) + \Pi \chi_y S_y,$$

где S_x^p, S_x^c - статические моменты площадей F_p, F_c относительно оси x ; S_y - статический момент площади F сечения относительно оси y ; I_{xy} - центробежный момент инерции относительно осей x, y ; σ_p - напряжение в предварительно растянутой заготовке от усилия N_{pr} ; Π - модуль упругости; χ_y - кривизна нейтрального слоя изгиба; b, β - ширина полосы и угол наклона ее к плоскости, нормальной плоскости гибки; μ - коэффициент трения.

Непосредственные вычисления показывают, что для полосы может быть $(N_{pr})_{min} < \sigma_{q1} F$, в этом случае в (3) нужно заменить в соответствующих местах σ_p на σ_{q1} , т. к. упругие при $\sigma_p < \sigma_{q1}$ начинается от условного предела текучести.

Выбор усилия N_{pr} в соответствии с зависимостями (3) расширяет возможности оптимизации процессов по схеме РИР, позволяя получить более равномерное распределение напряжений σ_θ по высоте поперечного сечения в конечный момент калибровки дополнительным растяжением.

В главе рассматривается с использованием плоской схемы напряженного состояния процесс калибровки. Если все сечение калибруемой заготовки находится в состоянии пластического растяжения, то условие пластичности имеет вид

$$\sigma_\theta - \sigma_p = K \left[\epsilon_n \frac{\rho(1+\epsilon_p)}{\rho_n} \right]^n, \quad (4)$$

где ϵ_p - суммарная осевая деформация от растягивающего усилия, переменная по длине заготовки; ρ_n - радиус нейтрального слоя в конечный момент изгиба; K, n - константы степенной кривой упругости.

Подстановка (4) в уравнение равновесия позволяет последующим интегрированием с использованием граничного условия на внешнем волокне ($\sigma_r = 0$ при $\rho = R$) найти выражения для напряжений σ_r, σ_θ и подсчитать изгибающий момент при изгибе полосы "плашмя", используя для этого соотношение $M = \int \sigma_\theta \rho d\rho$. Сравнение результатов вычислений по определению величины изгибающего момента при плоском напряженном состоянии и по полу-

ченными ранее другими авторами формулам с использованием линейного напряженного состояния показывает, что в первом случае величина M может быть больше на 30%.

При изгибе профилей, поперечные сечения которых имеют более сложную форму, чем прямоугольное, эшера σ_r может содержать разрывы, при этом напряжения σ_θ также изменяются по высоте сечения скачкообразно. В этом случае в работе применяются численные методы для определения напряжений по участкам, не содержащим разрывов.

Дискретное представление поперечного сечения в таком случае, а также диаграммы упрочнения материала, являются необходимым условием достаточно точного метода расчета активного периода процессов изгиба.

Дискретная модель поперечного сечения реализуется в виде алгоритма и программы, с помощью которой определяются также геометрические характеристики сечения.

Уравнение равновесия в соответствии с принятой дискретной моделью сечения получит вид

$$\Delta \sigma_r = \delta (\sigma_\theta - \sigma_r) \frac{l_{i+1}}{r_i}, \quad (5)$$

где δ — толщина слоя, из которых состоит поперечное сечение. Последний множитель в правой части (5) учитывает возможность скачкообразного изменения σ_r . Приращение радиальных напряжений $\Delta \sigma_r$ в каждом последующем слое подсчитывается по напряжениям σ_r и σ_θ , установленным в данном слое по (5) с использованием условия пластичности.

Приращения деформаций при изгибе предварительно растянутой заготовки в i -ом слое определяются выражением

$$\Delta \epsilon_i = \frac{\delta(i-k)}{r + (k-0,5)\delta}, \quad (6)$$

где k — номер нейтрального слоя; r — радиус внутреннего ося. Величина k задается произвольно и варьируется с тем, чтобы было выполнено условие равенства внутренних и внешних сил вдоль оси заготовки

$$\sum_{i=1}^m \sigma_i l_{i+1} - \sigma_r \sum_{i=1}^m l_{i+1} \approx 0, \quad (7)$$

где l_i — длина i -го слоя. Деформации ϵ_i и напряжения σ_i подсчитываются с учетом сложного характера и различной после-

довательности нагружения осевым усилием и изгибающим моментом.

После того, как распределение напряжений в заготовке в конечный момент формообразования установлено, силовые факторы исследуемых процессов определяются по формулам:

$$N_{пр} = \delta \sum_{i=1}^m \sigma_i l_{i+1}, \quad M_x = \delta \sum_{i=1}^m \sigma_i \sum_{j=1, 2, \dots, n_i}^n (y_j - y_{j-1}) \left(\frac{y_j + y_{j-1}}{2} - y_c \right), \quad (8)$$

$$M_y = \delta \sum_{i=1}^m \sigma_i [r + (i-1)\delta] l_{i+1} - \delta \sigma_p \sum_{i=1}^m [r + (i-1)\delta] l_{i+1}.$$

Здесь y_j - ордината j -ой точки пересечения i -го слоя с контуром поперечного сечения; n_i - число точек пересечения i -го слоя с контуром сечения; y_c - ордината центра тяжести сечения.

Определение технологических параметров калибровки (РИР) проводится с учетом трения заготовки об оправку по известной формуле Л. Эйлера из условия перехода всех сечений калибруемой заготовки в состояние пластического растяжения.

На основе разработанного алгоритма составлена программа для определения технологических параметров активной стадии процессов изгиба с растяжением. Практическое использование разработанной методики способствует повышению точности расчета процессов гибки и позволяет весьма просто задавать исходные данные для расчетов.

Глава 4. Теоретическое исследование процессов разгрузки

Разгрузка несимметричных относительно плоскости гибки тонкостенных профилей сопровождается не только пружинением в этой плоскости, но и характеризуется отклонениями оси заготовки от формы плоской кривой и поворотом поперечных сечений относительно этой оси.

Понятие о требуемой точности деталей рассматриваемого типа должно поэтому включать не только точность получения заданной чертежом кривизны χ_y , но и предельные допустимые значения вышеуказанных отклонений.

Использование энергетического уравнения - элементарная работа внешних сил равна вариации потенциальной энергии - приводит к следующим выражениям, отнесенным к оси центров кручения:

$$\begin{aligned} N_z &= E F \varepsilon, & M_x &= E I_x \varepsilon'_x - E I_{xy} \varepsilon'_y, \\ M_y &= E I_y \varepsilon'_y - E I_{xy} \varepsilon'_x, & M_z &= G T \eta - E I_{\omega} \ddot{\eta}. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь I_{ω} — главный секториальный момент инерции сечения.

Связь между крутящими и изгибающими силовыми факторами в момент полной разгрузки устанавливается с использованием уравнений равновесия Кирхгофа и известной теоремы о разгрузке

$$\frac{dM_z}{dz} = M_y \varepsilon'_x - M_x \varepsilon'_y, \quad (10)$$

где $\varepsilon'_x, \varepsilon'_y$ — изменение кривизны оси центров кручения.

Используя теперь (9), где последнее из соотношений нужно продифференцировать по z , а также (10), запишем дифференциальное уравнение стесненного кручения несимметричного относительно плоскости изгиба профиля при разгрузке в виде

$$\Theta'' - k^2 \Theta = - \frac{M_x M_y (I_y - I_x) + I_{xy} (M_y^2 - M_x^2)}{E^2 I_{\omega} (I_x I_y - I_{xy}^2)}, \quad (11)$$

где $k = \sqrt{\frac{G T}{E I_{\omega}}}$ — изгибно-крутильная характеристика; Θ — полный угол закручивания при разгрузке; T — жесткость при кручении; $\Theta'' = \frac{d^2 \Theta}{dz^2}$, $\Theta' = \frac{d \Theta}{dz}$, $\eta = \frac{d \Theta}{dz}$.

Решение уравнения (11) с использованием соответствующих граничных условий приводит к соотношениям, используемым для определения угла закручивания:

— процесс по схеме РИ:

$$\Theta = \frac{M_x M_y (I_y - I_x) + I_{xy} (M_y^2 - M_x^2)}{E G T (I_x I_y - I_{xy}^2)} \left(\frac{z^2}{2} + \frac{1 - \operatorname{ch} k z}{k^2} + \frac{\operatorname{ch} k \ell - 1}{\operatorname{sh} k \ell} \cdot \frac{\operatorname{sh} k z - k z}{k^2} \right); \quad (12)$$

— процесс по схеме РИР:

$$\begin{aligned} \Theta &= \frac{M_{x0} M_{y0} (I_y - I_x) + I_{xy} (M_{y0}^2 - M_{x0}^2)}{E G T (I_x I_y - I_{xy}^2)} \left\{ \frac{1}{4 \sqrt{2} - k^2} \left[\frac{\exp 2 \sqrt{2} \ell}{\operatorname{sh} k \ell} - \operatorname{cth} k \ell \right] (\operatorname{sh} k z - k z) + \right. \\ &\quad \left. (\operatorname{ch} k z + 2 \sqrt{2} z) - \left(\frac{k}{2 \sqrt{2}} \exp \sqrt{2} z \right)^2 \right] - \frac{1}{2 \sqrt{2}} \left(z + \frac{1}{2 \sqrt{2}} \right) \right\}, \end{aligned} \quad (13)$$

где ℓ — длина заготовки; M_{x0}, M_{y0} — составляющие изгибающего момента в центральном сечении ($z = 0$); коэффициент $\sqrt{2}$ определяется из соотношений $\sqrt{2} = \frac{\ell \ln \frac{(M_{y0} z - \ell)}{M_{x0}}}{\ell \ln \frac{(M_{y0} z - \ell)}{M_{y0}}}$.

С использованием (9) можно получить

$$\varepsilon'_x = \frac{M_x I_y + M_y I_{xy}}{E (I_x I_y - I_{xy}^2)}, \quad \varepsilon'_y = \frac{M_y I_x + M_x I_{xy}}{E (I_x I_y - I_{xy}^2)} \quad (14)$$

для процесса РИ и

$$\xi'_x = \frac{M_{k0}I_y + M_{y0}I_{xy}}{E(I_{x1}I_y - I_{xy}^2)} \exp \nu z, \quad \xi'_y = \frac{M_{y0}I_x + M_{k0}I_{xy}}{E(I_{x1}I_y - I_{xy}^2)} \exp \nu z \quad (15)$$

для процесса по схеме РИР.

Соотношения (12)+(15) позволяют определить компоненты пружинения и установить форму и размеры детали после разгрузки.

Расчет размеров гибочной оправки по заданным размерам детали с учетом перемещений разгрузки наиболее часто требуется в инженерной практике. На основании теоремы о разгрузке для остаточной кривизны можно написать выражение $\bar{\chi}_y = \chi_y - f(\chi_y)$, где $f(\chi_y) = \xi'_y$. Приращение пассивной деформации при пластическом деформировании всегда меньше соответствующего приращения активной деформации, т.е. $f'(\chi_y) < 1$. Поэтому можно организовать итерационный процесс для вычисления χ_y , который будет сходиться при любом начальном значении χ_y . Если в качестве начального приближения назначить $\chi_y = \bar{\chi}_y$, то

$$\chi_y = \bar{\chi}_y + f(\bar{\chi}_y + f(\bar{\chi}_y + \dots) \quad (16)$$

Как показывают расчеты, уже после 3-4 итераций выполняется условие выхода из цикла вида $\chi_y - f(\chi_y) \geq 0,999 \bar{\chi}_y$, т.е. требуемая величина χ_y определяется с точностью 99,9%.

Глава 5. Экспериментальное исследование, разработка технологии и промышленное внедрение процесса

В главе описаны экспериментальные исследования, проводимые для установления степени соответствия практически наблюдаемых и теоретически рассчитанных наиболее важных параметров процессов.

Проведению экспериментов предшествовали разработка и создание лабораторного устройства для изгиба с растяжением. В главе рассмотрена методика проведения экспериментов. Проведено исследование по определению $(N_{пр})_{min}$ при изгибе полосы по коническим оправкам с углами конусности 25° , 35° и 60° . Установлено, что без учета влияния трения теоретическая величина усилия предварительного растяжения на 8-10% превышает $(N_{пр})_{min}$. Отсюда следует вывод, что практически для обеспечения стабильности ориентации полосы на оправке в процессе гибки следует определять значение $(N_{пр})_{min}$ без учета трения.

Проведены также исследования по определению характера изменения компонентов пружинения по длине заготовки при разгрузке, влиянию принятой плоской схемы напряженного состояния в анализе активного периода процессов на величину компонентов пружинения, а также сравнение рекомендаций по выбору величины усилия предварительного растяжения в процессах РИР, имеющих в литературе и предложенных в настоящей работе. Результаты последнего эксперимента показывают, что использование предложенной в работе методики по выбору $N_{пр}$ позволяет повысить точность формообразования.

Метод изгиба с растяжением, рассмотренный в настоящей работе, применен на одном из предприятий для изготовления "секторов сепараторов" специальных подшипников, близких по форме к сектору конического кольца. Исходные заготовки — специальные профили с криволинейным очертанием контура поперечного сечения.

Расчет технологических параметров процесса изготовления "секторов сепараторов" двух типоразмеров произведен по программе на ЭВМ "Минск-32". С использованием результатов расчета изготовлены гибочные оправки, которые были применены для изготовления партий деталей обоих типоразмеров (по 30 шт). По результатам проверки разработанной технологии составлен акт, подтверждающий полученные положительные результаты, высокое качество изделий.

Для изгиба с растяжением профилей относительно небольшой длины, в частности, "секторов сепаратора", спроектировано, изготовлено и внедрено в производство сравнительно экономичное устройство. Промышленное использование устройства показало достаточную точность проектных расчетов и работоспособность разработанной конструкции. К преимуществам устройства относятся простота конструкции, небольшие размеры, а возможность работы от гидروпривода пресса увеличивает его полезное использование.

Общие выводы и итоги работы

I. Изгиб с растяжением профилей находит применение при изготовлении различных деталей. Освоение и широкое распространение процесса изгиба с растяжением полосы по конической оправке сделает возможным эффективное изготовление многих ти-

пов деталей, ранее считавшихся нетехнологичными.

2. Существующие теоретические исследования по изгибу с растяжением тонкостенных профилей, поперечные сечения которых несимметричны относительно плоскости изгиба, практически ограничиваются профилями с поперечными сечениями, представляющими набор прямоугольных элементов, ориентированных вдоль осей изгиба. При этом не рассматривается влияние радиальных напряжений на величину изгибающего момента в процессах по схеме РИР. В этих же процессах не исследован вопрос о выборе оптимальной величины предварительного растягивающего усилия. Недостаточно исследован вопрос о разгрузке несимметричных профилей, не рассматривалось влияние стесненности кручения при разгрузке на конечные размеры деталей.

3. В работе теоретически определена возможность изгиба с растяжением полос по конической оправке, установлена необходимая величина растягивающей силы. Последнее позволяет оптимизировать процессы по схеме РИР.

4. В теоретическом исследовании активного периода процессов изгиба с растяжением впервые применены дискретное представление формы поперечного сечения и диаграммы упрочнения материала, позволяющие повысить точность расчета технологических параметров. Последние в процессах по схеме РИР для соответствующих поперечных сечений определяются с учетом более близкой к реальной плоской схеме напряженного состояния.

5. В результате теоретического исследования разгрузки несимметричных относительно плоскости гибки профилей получено дифференциальное уравнение стесненного кручения профиля с криволинейной осью при разгрузке.

6. В целях повышения точности расчетов с одновременным их облегчением разработан алгоритм и составлена программа на алгоритмическом языке "Фортран", позволяющие рассчитать оптимальный вариант процесса по выбранной схеме (РИ, РИР, ИР). В программе предусмотрена возможность рассчитывать процесс изгиба профилей с произвольным очертанием контура односвязных поперечных сечений.

7. В результате экспериментального исследования подтверждена высокая точность разработанной методики теоретического анализа. Расхождение теоретических и экспериментальных резуль-

татов при определении компонентов пружинения в пределах 5%.

8. Проведенные исследования позволили разработать и внедрить в производство процесс изготовления методом изгиба с растяжением двух типоразмеров деталей "сектор сепаратора" и устройство для его осуществления. Получен акт внедрения.

9. Реальный экономический эффект от внедрения разработанной технологии и устройства составил в расчете на условную годовую программу 1000 изделий 4.25 тыс.руб.

В качестве основных выводов можно сделать следующие.

1. Установлено, что оптимальное значение величины усилия предварительного растяжения в процессах по схеме РИР следует определять из условия отсутствия поворота полосы относительно оправки в процессе гибки.

2. Влияние более близкой к реальной плоской схемы напряженного состояния на величину изгибающего момента при изгибе профилей с растяжением может быть существенным (до 30%), т.е. использование в этом случае линейной схемы напряженного состояния может привести к значительным погрешностям.

3. Установлено, что влияние стесненности кручения при разгрузке на конечные размеры и форму относительно коротких деталей может быть значительным.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Гаранов В.М. Экспериментальное устройство для гибки с растяжением. Труды МВТУ, № 229 "Машины и технология обработки металлов давлением", вып. II, М., 1976.

2. Вдовин С.И., Гаранов В.М. Пластические деформации разгрузки. "Известия вузов. Машиностроение", М., 1976, № 3.

3. Биржков В.П., Хаев Э.Е., Гаранов В.М. Устройство для гибки с растяжением деталей из профилей. Авторское свидетельство СССР № 484918. II/02. Бюллетень № 35, 1975.

4. Вдовин С.И., Гаранов В.М. Расчет пружинения при гибке профилей. "Известия вузов. Машиностроение", М., 1977, № 4.

