

М 430098

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

УДК 539.38.384.001.57

БОЯРШИНОВ Михаил Геннадьевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО ИЗГИБА
С НАТЯЖЕНИЕМ

01.02.04 - механика деформируемого твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1985

Работа выполнена на кафедре теоретической механики
Пермского политехнического института.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор НЯШИН Ю.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Гун Г.Я.

Кандидат технических наук,
доцент Романов К.И.

Ведущее предприятие: Череповецкий сталепрокатный
завод

Защита состоится "21" марта 1985 г. в 14³⁰ час.
на заседании Спец
по присуждению
в Московском у

Отзыв, за
107005, Москвы
Н.Э.Баумана, ;

С диссер
МВТУ им.Н.Э.Б

Авторефе

Ученый
Специалист
К.Т.Н.

11430098



1430098

Бояринов М.Г. Разработка

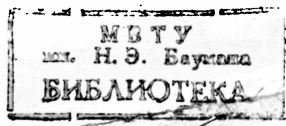
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В современном промышленном производстве процессы знакопеременного изгиба широко используются для уменьшения искривленности длинномерных изделий (правка прутков, проката), удаления окалины с проволоки перед волочением, снятия остаточных напряжений (в проволоке и прутках) и т.п. Значительный интерес представляет использование знакопеременного изгиба с натяжением для повышения механических характеристик арматурной проволоки, предложенное сотрудниками ВНИИ метизной промышленности (такой процесс деформирования является разновидностью механотермической обработки - стабилизацией). Повышение механических свойств (прочности, релаксационной и коррозионной стойкости) проволоочной арматуры для преднапряженных железобетонных элементов является одним из основных направлений работы по повышению качества строительных конструкций, проводимой в рамках Программы ГКНТ при Совете Министров СССР.

Практическая настройка установок знакопеременного изгиба в настоящее время требует значительных материальных и временных затрат вследствие отсутствия научно обоснованных методов определения рациональных режимов правки, рихтовки, стабилизации и т.д. Определение оптимальных параметров устройств знакопеременного изгиба для получения длинномерных изделий с заданными характеристиками возможно на основе математической модели указанных процессов. Наиболее широкие перспективы открывает использование методов механики деформируемого твердого тела.

Цель работы:

- создание общей методики, алгоритма и программы расчета напряженно-деформированного состояния и температурных полей длинномерных изделий при знакопеременном изгибе с натяжением;
- определение критерия, постановка и решение задачи оптимизации процесса знакопеременного изгиба (стабилизация проволоки, правка прутков) как оптимизационной задачи механики деформируемого твердого тела;
- определение возможности получения заданной температуры проволоки на выходе волочильного стана, обеспечивающей одновременные волочения и стабилизации в едином потоке.



1430098

Научная новизна работы состоит в том, что

- а) впервые разработана методика и алгоритм определения температурного поля и квазиобъемного напряженно-деформированного состояния длинномерных изделий в процессах знакопеременного изгиба с натяжением (правка, рихтовка, стабилизация, роликовая окалиноломка и т.д.);
- б) предложен новый подход, позволяющий свести многокритериальную задачу оптимизации к однокритериальной; в качестве критерия оптимизации взято отклонение действительного распределения неупругих деформаций от заданного (в данном случае – осесимметричного); для количественной оценки отклонения использованы методы теории гильбертовых пространств; получены оценки кривизны и удлинения изделия через значения введенного функционала;
- в) поставлены и решены задачи оптимизации процессов знакопеременного изгиба – стабилизации проволоки и правки прутков; теоретически показана возможность совмещения процессов волочения и стабилизации в едином потоке.

Практическая ценность работы состоит в том, что на основе разработанных алгоритмов составлены программы для исследования напряженно-деформированного состояния и температурного поля длинномерных изделий при знакопеременном изгибе с натяжением, которые внедрены в лаборатории стальной проволоки ВНИИ метизной промышленности ВПО "Совязметиз" МЧМ СССР. Результаты решения задачи оптимизации процесса стабилизации использованы при составлении технического задания на проектирование волочильного стана с совмещением волочения и знакопеременного изгиба с натяжением в едином потоке. Исследование процесса правки длинномерных прутков позволило сделать рекомендации по практической эксплуатации роликоправильных машин.

Апробация работы. Материалы диссертации обсуждались:

- а) на ежегодных научно-технических конференциях Пермского политехнического института; Пермь, 1980 – 1984 г.г.;
- б) на научно-техническом совете ВНИИ метизной промышленности; Магнитогорск, 1982 – 1983 г.г.;
- в) на VIII Всесоюзной конференции по прочности и пластичности; Пермь, 1983 г.;

- г) на I Всесоюзной конференции "Технология и средства производства заготовок деталей машин"; Свердловск, 1983 г.;
- д) на областной научно-технической конференции молодых специалистов "Проблемы качества и совершенствования оборудования тяжелого, энергетического, транспортного и химического машиностроения"; Свердловск, 1984 г.;
- е) на областной научно-технической конференции "Применение вычислительной техники в научных исследованиях и на производстве"; Пермь, 1984 г.

Основное содержание работы отражено в 10 печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов по работе и приложений, содержит 181 страницу, в том числе 10 таблиц, 43 рисунка и библиографический список из 117 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Нахождение оптимальных параметров процессов механической обработки материалов связано с необходимостью решения соответствующих оптимизационных задач. Определим целевые функции в задачах оптимизации процессов обработки арматурной проволоки и длинномерных прутков.

Экспериментальные исследования, проведенные в лаборатории стальной проволоки ВНИИ метизной промышленности (зав.лаб.канд. техн.наук В.П.Иванов) показали, что с помощью знакопеременного изгиба с натяжением целесообразно осуществлять дополнительную механотермическую обработку – стабилизацию – с целью повышения прочности, коррозионной и релаксационной стойкости высокоуглеродистой арматурной проволоки. Анализ экспериментальных данных выявил, что в наибольшей степени на повышение механических свойств влияют температура процесса и величина деформации удлинения, получаемой проволокой при такой схеме деформирования. Наилучшие результаты получены при температуре 300–400°C и удлинении 4–8 %. Для снижения энергозатрат на дополнительную механотермическую обработку было предложено совместить волочильный стан и установку стабилизации в едином потоке с тем, чтобы использовать тепло деформации при волочении для нагрева проволоки до требуемой температуры.

Одним из основных условий создания совмещенного процесса "волочение - стабилизация" является получение заданной средней температуры проволоки T_{CT} на выходе волочильного стана. Поэтому в качестве целевой функции целесообразно взять интегральную характеристику отклонения температуры от заданной:

$$J_1 = \int_S (T - T_{CT})^2 dS = \|T - T_{CT}\|_{L_2(S)}^2, \quad (I)$$

где S - область, занятая поперечным сечением проволоки. Удобство выбранного функционала состоит в том, что он имеет минимум, равный нулю, при условии $T = T_{CT}$ по всему сечению проволоки. Тогда задача оптимизации процесса волочения проволоки сводится к поиску параметров указанного процесса, доставляющего минимум функционалу (I).

Основная сложность эксплуатации установки стабилизации заключается в точной настройке устройства знакопеременного изгиба с натяжением, обеспечивающей получение заданного удлинения проволоки при одновременном сохранении прямолинейности в пределах допуска (т.е. речь, по-существу, идет о многокритериальной задаче: минимизировать кривизну и получить заданное удлинение проволоки).

Для сведения данной многокритериальной задачи к однокритериальной предлагается новый подход, суть которого заключается в следующем. Процессы механической обработки связаны с созданием того или иного распределения деформаций в изделии. Механические характеристики (удлинение, уширение, криволинейность, коробоватость и т.д.) также определяются характером распределения деформаций. Одновременное получение комплекса механических характеристик (например, прямолинейность и заданное удлинение) связано с созданием вполне определенного поля неупругих деформаций. Это дает возможность перейти от задачи минимизации одновременно нескольких критериев к вопросу создания определенного поля неупругих деформаций. Для количественной характеристики отклонения действительного поля деформаций от заданного используются методы функционального анализа.

Обозначим:

$$\eta(x, y) = \varepsilon^p(x, y) + \varepsilon^T(x, y) - \varepsilon_\delta, \quad (2)$$

где ε^p — продольная пластическая деформация;
 ε^T — температурная деформация;
 ε_δ — требуемая деформация удлинения.

Необходимым и достаточным условием (в рамках гипотезы плоских сечений при изгибе) получения прямолинейной проволоки с заданной деформацией удлинения ε_δ является создание (к моменту окончания упругопластического деформирования и охлаждения до температуры окружающей среды) поля неупругих деформаций ($\varepsilon^p + \varepsilon^T$), удовлетворяющего уравнениям:

$$\int_S \eta ds = 0, \quad \int_S \eta x ds = 0, \quad \int_S \eta y ds = 0, \quad (3)$$

где S — как и ранее, область, занятая поперечным сечением проволоки (круг радиуса R).

В гильбертовом пространстве $L_2(S)$ выделим множество $A = \{ \psi \in L_2(S) \mid \psi = \psi(x^2 + y^2), \int_S \psi ds = 0 \}$ (4)

осесимметричных функций, каждая из которых удовлетворяет условиям (3). Поскольку A — замкнутое сепарабельное подпространство в $L_2(S)$, в нем можно построить счетный ортонормальный базис:

$$P_K = \frac{\sqrt{K+1}}{R\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^K \frac{(-1)^{K+n} (n+K+1)!}{(n+1)! n! (K-n)!} \left(\frac{r}{R}\right)^n, \quad 0 \leq r \leq R, \quad K = \overline{1, \infty}. \quad (5)$$

Заметим, что в общем случае можно сразу определить A как множество функций, удовлетворяющих условиям (3). Указанное выше построение множества A обусловлено необходимостью получения осесимметричного поля неупругих деформаций, т.к. в этом случае распределение остаточных напряжений так же осесимметрично, что повышает рабочие характеристики проволоочной арматуры.

Определим функционалы

$$J_2 = \| \eta - \rho_A \eta \|^2 = \| \eta \|^2 - \sum_{K=1}^{\infty} (\eta, P_K)^2, \quad (6)$$

$$J_2^N = \| \eta \|^2 - \sum_{K=1}^N (\eta, P_K)^2. \quad (7)$$

Функционал J_2 определяет в $L_2(S)$ "расстояние" от произвольного элемента $\gamma \in L_2(S)$ до подпространства A . Из (6), (7) следует:

$$0 \leq J_2 = \|\gamma\|^2 - \sum_{k=1}^{\infty} (\gamma, \Pi_k)^2 \leq \|\gamma\|^2 - \sum_{k=1}^N (\gamma, \Pi_k)^2 = J_2^N \quad (8)$$

Соответствующим выбором N можно сделать различие между J_2 и J_2^N как угодно малым.

Теперь задачу оптимизации процесса стабилизации можно определить следующим образом: определить параметры процесса знакопеременного изгиба с натяжением, доставляющие минимум функционалу J_2^N .

При решении задачи оптимизации удобно воспользоваться оценками кривизны и деформации удлинения через значения функционала:

$$|\mathcal{K}_x| \leq (J_2^N / I_x)^{1/2}, \quad (9)$$

$$|\mathcal{K}_y| \leq (J_2^N / I_y)^{1/2}, \quad (10)$$

$$|\mathcal{E}_{cp} - \mathcal{E}_\delta| \leq (J_2^N / F)^{1/2}, \quad (11)$$

где $\mathcal{K}_x$, $\mathcal{K}_y$ - кривизны линии центров тяжести проволоки в двух взаимноперпендикулярных плоскостях;

I_x, I_y, F - статические моменты инерции и площадь поперечного сечения;

$\mathcal{E}_{cp}$ - средняя по сечению деформация удлинения.

Основной целью процесса правки (знакопеременного упруго-пластического изгиба) длинномерных прутков является снижение начальной кривизны до значений, определяемых условиями успешного проведения последующих операций механической обработки. В данном случае нет необходимости сведения многокритериальной задачи к однокритериальной, поэтому целесообразно в качестве критерия оптимизации взять

$$J_3 = |\mathcal{K}_{ост}| \quad (12)$$

В этом случае целью задачи оптимизации процесса правки является поиск параметров роликоправильной машины, доставляющих минимум функционалу (12).

Решение задачи оптимизации предполагает наличие математической модели, с достаточной точностью отражающей исследуемый процесс. Операции знакопеременного изгиба – правка, рихтовка, стабилизация (знакопеременный изгиб с натяжением) и др. – широко применяются в современном промышленном производстве для придания длинномерным изделиям (прокат, проволока) определенного комплекса физико-механических свойств. Изучению процессов знакопеременного изгиба посвящены работы М.Я.Бровмана, А.Х.Винокурского, М.Ф.Глушко, В.В.Москвитина, А.З.Слонима, П.В.Трусова, М.И.Федорова, Г.Л.Химича, М.Б.Цалика, А.И.Целикова и др.

Для корректного (с точки зрения механики деформируемого твердого тела) исследования напряженно-деформированного состояния прутков и проволоки в указанных процессах следует решать пространственную нелинейную краевую задачу термоупругопластичности. Решение такой задачи в полном объеме в настоящее время, по-видимому, невозможно. Поэтому представляет интерес решение задачи знакопеременного изгиба с натяжением в некотором приближении, с введением упрощающих гипотез. Исследуемый процесс считается стационарным, квазистатическим (динамическими эффектами пренебрегаем). В условиях установившегося процесса траектории частиц совпадают с линиями тока. Трение в опорах пренебрежимо мало, контакт проволоки (прутка) и роликов – точечный. Необходимо отметить, что в отличие от существующих методик не используется гипотеза об одноосном напряженном состоянии, что позволяет учесть поперечные напряжения и деформации.

При использовании гипотезы плоских сечений продольная деформация считается линейной функцией поперечных координат:

$$\varepsilon_{zz} = \varepsilon_0 + \varepsilon_x y + \varepsilon_y x \quad (I3)$$

а сдвиговые деформации

$$\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0. \quad (I4)$$

Здесь:

ε_0 – деформация удлинения линии центров тяжести;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – кривизны линии центров тяжести в вертикальной и горизонтальной плоскостях, соответственно.

С учетом принятых гипотез исходная задача может быть сведена к двум связанным между собой подзадачам: 1) исследованию изгиба многопролетной балки с переменными по объему свойствами, которые определяются историей деформирования движущихся по линиям тока частиц; 2) определению напряженно-деформированного состояния материальных частиц, движущихся по линиям тока, причем линии тока определяются решением первой задачи.

Для решения задачи изгиба (в предположении, что свойства материала в каждой точке исследуемой области известны) многопролетная балка со смещенными опорами (рис.1) расчленяется на ряд однопролетных с заменой отброшенных пролетов реакциями связей (рис.2). При этом неизвестные давления со стороны валов включаются в искомые реакции связей.

Поскольку ни линии тока, ни распределение упругих и пластических зон заранее не известны, решение связанной задачи знакопеременного изгиба ведется итерационным путем. На первой итерации предполагается, что материал является идеально-упругим; решением подзадачи определяются усилия на концах пролетов, кривизна линии центров тяжести. Далее, решением системы дифференциальных уравнений равновесия, теплопроводности, геометрических, физических с соответствующими краевыми условиями определяются температура и напряженно-деформированное состояние частиц материала при движении их по линиям тока. По известному напряженно-деформированному состоянию подсчитываются коэффициенты в дифференциальном уравнении изгиба. Затем вновь решается задача по определению реакций, смещения и кривизны линии центров тяжести; исследуется состояние материала с прослеживанием истории деформирования, и так далее, до достижения требуемой точности. На каждой итерации решение дифференциальных уравнений изгиба проводится методом конечных разностей; для исследования напряженно-деформированного состояния частиц при движении их по линиям тока (решения уравнений равновесия и теплопроводности) использован метод конечных элементов в сочетании с методом Галеркина; аппроксимация производной по времени в уравнении теплопроводности проводится по схеме Кранка-Николсона.

Непосредственное использование разработанного алгоритма для решения задачи оптимизации затруднительно ввиду значительных затрат времени ЭВМ (на расчет одного варианта требуется от 2 до 5

Схема процесса знакопеременного изгиба с натяжением

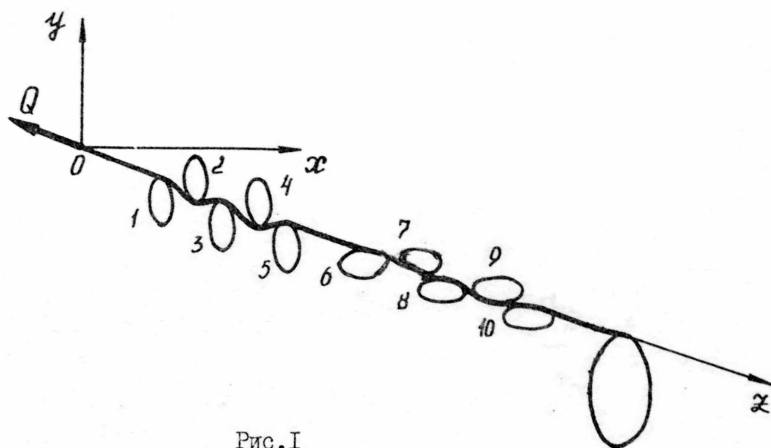


Рис. I

Расчленение многопролетной балки на однопролетные

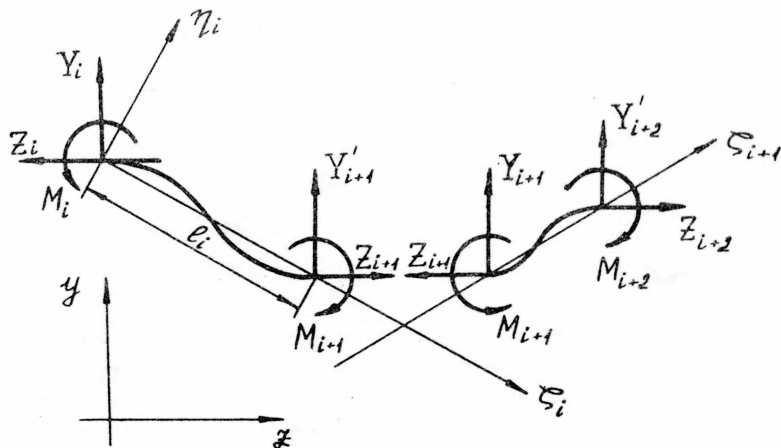


Рис.2

часов работы ЕС-1055). Численные эксперименты показывают, что при знакопеременном изгибе с натяжением практически в течение всего процесса деформирования продольные напряжения на порядок и более превышают поперечные (одновременно следует отметить, что при знакопеременном изгибе без натяжения поперечные напряжения сравнимы, а в ряде случаев превышают продольные; это делает применение гипотезы об одноосном напряженном состоянии в этом случае недостаточно обоснованным). Более эффективная (с точки зрения вычислительных затрат) модель одноосного напряженного состояния позволяет найти приближенное решение задачи оптимизации, которое затем уточняется с помощью более точной модели квазиобъемного напряженного состояния.

Для оценки эффективности предложенной методики по разработанному алгоритму проведены расчеты некоторых режимов знакопеременного изгиба с натяжением проволоки диаметром 0,005 м, материал – сталь 80 (экспериментальное исследование проведено под руководством зав.группой лаборатории стальной проволоки ВНИИМетиз Е.М.Киреева).

Давление проволоки на ролики, Н
(номера роликов соответствуют рис.1)

Смещение роликов, мм	Номер ролика	2	4	7	9
- 3	Эксперимент	2200	2500	2100	2600
	Расчет (одноосная модель)	1990	2330	1900	2350
- 5	Эксперимент	3150	3400	3150	3400
	Расчет (одноосная модель)	2990	3260	2840	3210
	Расчет (квазиобъемная модель)	3050	3300	3020	3320

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод об удовлетворительной точности разработанного алгоритма исследования процессов знакопеременного изгиба с натяжением.

С помощью модели квазиобъемного напряженно-деформиро-

ванного состояния проведена апостериорная проверка выполнения положений теории упругопластических процессов малой кривизны. В частности показано, что на участках пластического деформирования радиус кривизны траектории деформации значительно превышает длину следа запаздывания материала.

Для исследования процесса волочения проволоки использована методика, разработанная под руководством докт.техн.наук, профессора Ю.И.Няшина и канд.техн.наук, доцента П.В.Трусова.

В качестве основных гипотез принято: процесс волочения является осесимметричным, стационарным, квазистатическим (динамическими эффектами пренебрегаем); поведение материала подчиняется положениям теории упругопластических процессов малой кривизны А.А.Ильшина. Для прослеживания истории деформирования материальных частиц используется смешанный эйлерово-лагранжев подход. Для решения связанной задачи термоупругопластичности применяется итерационная процедура. Данный алгоритм позволяет определять и итерационно уточнять линии тока и положение свободной поверхности.

Используемый алгоритм дает возможность исследовать распределение напряжений и температуры в проволоке при волочении, находить остаточные напряжения, деформации и т.д.

Поставленная выше задача оптимизации процесса знакопеременного изгиба с натяжением (стабилизации) является задачей нелинейного программирования, которая заключается в поиске вектора управления, доставляющего минимум функционалу (7). В качестве компонент вектора управления выбраны величины заглубления роликов и усилие натяжения:

$$h = \{ \Delta_1 \ \Delta_2 \ \Delta_3 \ Q \}$$

где Δ_1 - смещения 2 и 4 роликов первой секции;

Δ_2 - смещение 6 ролика первой секции;

Δ_3 - смещения 2 и 4 роликов второй секции;

Q - усилие натяжения.

Смещения остальных роликов отсутствуют.

Для непосредственного решения задачи нелинейного программирования использован метод Нелдера и Мида. Решением задачи оптимизации является вектор

$$h^* = \{-0,004 \ -0,0017 \ -0,0014 \ 10800\}.$$

Расчеты показывают, что такой режим стабилизации позволяет получать проволоку с удлинением $\varepsilon_{cp} = 5,75\%$ и остаточной кривизной $\mathcal{X}_{от} = 0,128 \text{ м}^{-1}$ (требовалось получить $\varepsilon_d = 6\%$ и остаточную кривизну не более $0,24 \text{ м}^{-1}$ согласно ТУ-14-4-1217-82).

Для определения возможности совмещения волочения и стабилизации в едином потоке решалась задача по определению параметров, обеспечивающих получение на выходе волочильного стана заданной средней температуры $T_{ст} = 350^\circ\text{C}$.

В качестве компонент вектора управления взяты полууглы рабочих зон волок (маршрут волочения 8,0-7,1-6,2-5,6-5,0 указан ВНИИМетизом)

$$h = \{\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4\}$$

Минимизация функционала (I) проводилась методом Нелдера-Мида. Решением задачи оптимизации является вектор

$$h^* = \{10^\circ \ 10^\circ \ 5,5 \ 11,5\}$$

Режим волочения, соответствующий оптимальному, позволяет получать на выходе стана среднюю температуру проволоки 346°C при усилии волочения $Q = 10850 \text{ Н}$.

При оптимизации процесса правки прутков на семироликовой правильной машине вектор управления определялся в виде

$$h = \{\Delta_1 \ \Delta_2 \ \Delta_3\}$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ — смещения 2, 4 и 6 роликов, соответственно. Начальная кривизна прутков $0,15 \text{ м}^{-1}$. Решением задачи оптимизации является вектор

$$h = \left\{ \begin{array}{ccc} -0,0008 & -0,0005 & -0,00007 \end{array} \right\},$$

доставляющий функционалу (I2) значение $J_3 = |\mathcal{X}_{от}| = 0,003 \text{ м}^{-1}$. (допустимая остаточная кривизна не более $0,04 \text{ м}^{-1}$).

Выводы

1. Впервые разработаны методика и алгоритм определения температурного поля и квазиобъемного напряженно-деформированного состояния длинномерных изделий при знакопеременном изгибе с натяжением.

2. По разработанному алгоритму создан пакет прикладных программ для ЭЕМ, внедренный во ВНИИ метизной промышленности НПО "Совметиз" МЧМ СССР с экономическим эффектом 51 т.р. в год.

3. Удовлетворительное качественное и количественное совпадение результатов расчетов и экспериментальных данных говорит о справедливости принятых гипотез, об эффективности разработанных алгоритмов.

4. С привлечением методов функционального анализа многокритериальная задача оптимизации процесса стабилизации сведена к однокритериальной. Получены оценки кривизны и деформации удлинения проволоки через значения введенного функционала.

5. Решение задачи оптимизации позволило определить условия, обеспечивающие получение проволоки с заданным комплексом механических свойств. Теоретически показана возможность совмещения процессов волочения и стабилизации в едином потоке. Экономический эффект применения проволоочной арматуры с улучшенными характеристиками составит 100 тыс. рублей в год.

6. Поставлена и решена задача оптимизации процесса правки длинномерных прутков.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Бояршинов М.Г., Киреев Е.М. Исследование напряженно-деформированного состояния проволоки в процессе рихтовки. - В кн.: Краевые задачи. Пермь, 1982, с.91-97 (Междуз.сб.науч.тр./Перм.политехн.ин-т).
2. Бояршинов М.Г. Алгоритм и результаты решения задачи знакопеременного изгиба проволоки. - Пермь, 1983. - 20с. - Рукопись представлена Перм.политехн.ин-том. Деп.в ЦНИИ Черметинформация 22 нояб 1983, № 2228 ЧМ-Д83.
3. Бояршинов М.Г., Трусов П.В. Оптимизация процессов знакопеременного изгиба: алгоритм и результаты. - Пермь, 1984. - 18 с. - Рукопись представлена Перм.политехн.ин-том. Деп. в ЦНИИ Черметинформация 29 авг 1984, № 2556 ЧМ - Д 84.
4. Алгоритм исследования напряженно-деформированного состояния проволоки при деформировании знакопеременным изгибом с натяжением / М.Г.Бояршинов, Е.М.Киреев, Б.А.Никифоров, П.В.Трусов - Известия высш.учебн.завед. Черная металлургия, 1984, № 8, с.79-83.

5. Результаты исследования напряженно-деформированного состояния проволоки при деформировании знакопеременным изгибом с натяжением / М.Г.Бояршинов, Е.М.Киреев, Б.А.Никифоров, П.В.Трусов. - Известия высш.учебн.завед. Черная металлургия, 1984, № 10, с.63-67.
6. Бояршинов М.Г., Гитман М.Б., Трусов П.В. Методика и результаты решения задачи знакопеременного изгиба длинномерных изделий в квазиобъемной постановке. - Пермь, 1984. - 30 с. - Рукопись представлена Перм.политехн.ин-том. Деп. в ЦНИИ Черметинформация 24 окт 1984, № 261З ЧМ-Д84.
7. Бояршинов М.Г., Гитман М.Б. Оптимизация процессов знакопеременного изгиба: алгоритмы и приложения к задачам правки. - УШ Всесоюзная конференция по прочности и пластичности: Тез.докладов. Пермь, 1983, с.23-24.
8. Бояршинов М.Г., Трусов П.В. Исследование напряженно-деформированного состояния проволоки при знакопеременном изгибе с натяжением. - Технологии и средства производства заготовок деталей машин: Тез.докладов I Всесоюзной конференции. Свердловск, 1983, с.84.
9. Бояршинов М.Г., Гитман М.Б. Численное исследование процессов знакопеременного изгиба. - Применение вычислительной техники в научных исследованиях и на производстве: Тез.докладов областной науч.-техн.конференции. - Пермь, 1984, с.18-19.
10. Бояршинов М.Г. Создание математической модели процессов волочения и стабилизации высокопрочной арматурной проволоки. - Информационный листок № 437-84. - Пермь, 1984, 4с. (Перм.межотраслевой территориальный ЦНТИ).

Гитман

Подписано к печати 20.02.85.
 ЛБ06101. Формат 60x84/16. Объем I п.л.
 Тираж 100. Заказ 32. Бесплатно.

Ротапринт Пермского политехнического института

