

М421597

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

На правах рукописи

САНКОВИЧ Ирина Васильевна

УДК 621.771

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА
ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ СПЛОШНЫХ
ЗАГОТОВОК В ОБЖИМНЫХ СТАНАХ

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 – 1984

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 имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

САНКОВИЧ Ирина Васильевна

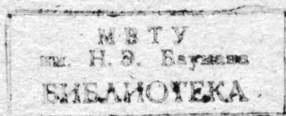
УДК 621.771

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА
БАНТОВОЙ ПРОКАТКИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ СПЛОШНЫХ
ЗАГОТОВОК В ОБЖИМНЫХ СТАНАХ

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 - 1984



НТБ МВТУ им. Н.Э. Баумана



1421597

Санкович И. В. Разработка ме

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель - академик ЦЕЛИКОВ А.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ТЕТЕРИН П.К.
кандидат технических наук
МАРКОВ Ю.А.

Ведущее предприятие - ПО "Электростальтяжмаш", министерство тяжелого и транспортного машиностроения

Защита диссертации состоится "30" декабря 1985 г.
в 14³⁰ на заседании специализированного Совета К 053.15.13 по металловедению и горячей обработке металлов Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью, просьба выслать по указанному адресу.

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

Автореферат разослан "24" декабря 1985 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА
Д.Т.Н., ДОЦЕНТ



Г. НИКИТИН

Актуальность работы. В основных направлениях экономического развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года представлена задача: "Построить заводы небольшой мощности в местах образования лома черных металлов и потребления металлопродукции". По данным экономических расчетов наиболее эффективной является следующая схема производства проката на мини-заводах: плавка лома в электропечах, непрерывное литье сортовых заготовок, пластическая деформация заготовок в обжимной клетке трехвалкового стана винтовой прокатки, получение точных профильных заготовок в автоматических линиях деталяпрокатных станов. Целесообразным является также использование трехвалковых обжимных клеток винтовой прокатки в качестве обжимной группы сортовых станов для получения арматуры и сортовых профилей для машиностроения. В этой связи задача изучения процесса винтовой прокатки в обжимных и деталяпрокатных станах на базе современной теории, математических моделей и экспериментальных исследований приобретает особую актуальность.

Цель работы. На основе теоретического и экспериментального исследования выявить и обосновать кинематические и силовые условия осуществления процесса винтовой прокатки сплошных заготовок с большими ($\gamma > 25^\circ$) углами подачи.

Научная новизна. В работе теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность осуществления процесса винтовой прокатки на станах с грибовидными валками при больших ($\gamma = 25 + 35^\circ$) углах подачи.

Разработана математическая модель процесса винтовой прокатки, которая впервые позволила рассчитать геометрические, энергосиловые параметры процесса без использования эмпирического коэффициента оваллизации и учесть влияние усилий подпора и натяжения на усилие и скорость прокатки.

Уточнены представления о механизме влияния деформационного фактора на структуру арматурной стали 35ГС.

Практическая ценность. Предлагаемая методика расчета использована при разработке процесса деформирования непрерывнолитых заготовок на трехвалковом стане "70" для расчета геометрических и энергосиловых параметров процесса винтовой прокатки, выбора температурных, деформационных режимов и калибровки вал-

ков.

Математическая модель процесса винтовой прокатки может быть использована при разработке систем автоматизированного проектирования конструкций станов и технологических режимов процесса винтовой прокатки. Полученная математическая модель является базовой для разработки математической модели процесса прокатки в деталяпрокатных станах.

Реализация работы. Предложенная математическая модель использована в НПО ВНИИМЕТМАШ при проектировании серийной партии промышленных станов "100". С помощью модели рассчитаны геометрические и энергосиловые параметры процесса прокатки, калибровка валков, а также разработаны технологические режимы прокатки на этих станах.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на научно-техническом семинаре в г. Челябинске (1983 г.), на научных семинарах кафедры "Автоматизированные металлургические машины и агрегаты" МВТУ им. Н.Э. Баумана (1984 г.), на научно-техническом семинаре ВНИИМЕТМАШ (1984 г.).

Публикации. Содержание основных разделов диссертации отражено в 5 публикациях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и приложения. Она изложена на 137 стр. машинописного текста, содержит 61 иллюстрацию, 4 таблицы, список литературы 60 наименований.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В первой главе приведен анализ процессов обработки металлов давлением с точки зрения выбора наиболее благоприятной для проработки литой структуры схемы деформирования. Принималась во внимание также производительность процесса. Показаны преимущества процесса прокатки в трехвалковых обжимных станах. На основании имеющегося к настоящему времени опыта прокатки (МВТУ, ВНИИМЕТМАШ, МИСЧС и др.) сделан вывод о наиболее благоприятных для проработки литой структуры областях режимов деформирования с углами подачи $\gamma > 20^\circ$ и вытяжками $\lambda = 4 + 25$.

Для реализации таких режимов необходимы специальные конструкции станов, количество которых в настоящее время весьма ограничено. Процесс винтовой прокатки с большими углами подачи сулит значительные экономические выгоды. Для его изучения нель-

зя ограничиться лишь технологическими изысканиями. Необходимо детальное теоретическое исследование процесса с целью его оптимизации.

Вопросы теории процесса винтовой прокатки с большими углами подачи разработаны явно недостаточно. Применение существующих методик расчета геометрических и энергосиловых параметров процесса прокатки ограничивается использованием в них эмпирического коэффициента оваллизации $K_{об}$. Значения $K_{об}$ изменяются в зависимости от температурно-деформационных режимов, марки материала, величины усилий подпора, натяжения и др. и в рассматриваемой области режимов деформирования являются малоизученными.

Возможности современных ЭМ позволяют определить основные характеристики процесса винтовой прокатки без использования коэффициента оваллизации путем совместного решения численными методами задач о геометрических параметрах и напряженном состоянии заготовки в очаге деформации, кинематике течения металла и др.

Поэтому основными задачами данной работы являются:

- разработка методики взаимосвязанного расчета геометрических и кинематических параметров процесса прокатки, близких к оптимальным при исследуемых режимах прокатки;
- разработка методики расчета энергосиловых параметров процесса прокатки;
- разработка технологических режимов и калибровки инструмента для прокатки сплошных непрерывнолитых заготовок.

Напряженно-деформированное состояние заготовки в очаге деформации при винтовой прокатке

Известные методы решения задач о величине и распределении вдоль очага деформации с малой контактной поверхностью контактных напряжений, а также распределении напряжений и деформаций в теле заготовки не учитывают влияние величины третьей (осевой) составляющей деформации на напряженно-деформированное состояние заготовки.

Во второй главе показано, что в рамках плоской задачи теории пластичности можно учесть осевую деформацию, постоянную для данного сечения очага деформации. Для этого принимаются дополнительные условия о том, что:

- сечения, проведенные в теле нормально оси z , после деформирования остаются плоскими и смещаются друг относительно друга на некоторую величину ω ;

- вращение смежных сечений друг относительно друга отсутствует.

Сформулированные условия можно представить в виде:

$$\begin{aligned}\varepsilon_z &= \frac{\partial \omega}{\partial z} = \text{const} \\ \frac{\partial(v, u)}{\partial z} &= 0; \quad \frac{\partial(\omega)}{\partial \theta} = 0; \quad \frac{\partial(\omega)}{\partial \rho} = 0.\end{aligned}\quad (1)$$

С учетом выражений (I) физические соотношения можно представить в виде

$$\begin{aligned}\varepsilon_p &= \frac{3}{4} \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} (\sigma_p - \sigma_\theta) - \frac{\varepsilon_z}{2} \\ \varepsilon_\theta &= \frac{3}{4} \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} (\sigma_\theta - \sigma_p) - \frac{\varepsilon_z}{2} \\ \varepsilon_z &= \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} \left(\varepsilon_z - \frac{\sigma_p + \sigma_\theta}{2} \right) \\ \gamma_{p\theta} &= 3 \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} \tau_{p\theta}\end{aligned}\quad (2)$$

Поскольку при дифференцировании константа $\varepsilon_z/2$ обращается в нуль, уравнение совместности деформаций в напряжениях имеет вид:

$$\begin{aligned}\frac{1}{\rho^2} \frac{\partial}{\partial \rho} \left[\rho^2 \frac{\partial}{\partial \rho} \left[\frac{3}{4} \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} (\sigma_p - \sigma_\theta) \right] \right] + \left(\frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} - \right. \\ \left. - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \right) \left[\frac{3}{4} \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} (\sigma_\theta - \sigma_p) \right] = \frac{4}{\rho^2} \frac{\partial}{\partial \rho} \left[\rho \frac{\partial}{\partial \theta} \left(3 \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} \tau_{p\theta} \right) \right]\end{aligned}\quad (3)$$

Выражение для расчета величины интенсивности напряжений преобразуется следующим образом:

$$\sigma_i = \frac{\varepsilon_i}{\sqrt{\varepsilon_i^2 - \varepsilon_z^2}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{(\sigma_p - \sigma_\theta)^2 + 4\tau_{p\theta}^2} = \frac{\varepsilon_i}{\sqrt{\varepsilon_i^2 - \varepsilon_z^2}} \cdot \sigma_{p\theta} \quad (4)$$

Величина $\sigma_{\rho\theta}$ — функция только напряжений и по структуре совпадает с выражением интенсивности напряжений в плоской задаче, причем при $\varepsilon_z = 0$ имеет место равенство $\sigma_{\rho\theta} = \sigma_i$.

Реальную диаграмму деформирования аппроксимируем степенной зависимостью:

$$\varepsilon_i = A \cdot \sigma_i^n \left(\frac{\sqrt{\varepsilon_i^2 - \varepsilon_z^2}}{\varepsilon_i} \right)^{n-1} + B \sigma_i. \quad (5)$$

Заменяя в выражении (5) σ_i согласно выражению (4) получаем следующее выражение для величины секущего модуля в уравнении (3):

$$\sigma_i / \varepsilon_i = (A \cdot \sigma_{\rho\theta}^{n-1} + B)^{-1} \quad (6)$$

Для решения задачи о распределении напряжений в теле заготовки при винтовой прокатке очаг деформации представляем в виде набора тонких дисков. Далее определяем распределение напряжений в каждом из них при однократном нагружении системой трех радиальных сил.

Граничные условия заданы в виде разложения внешних нагрузок в ряд Фурье:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_\rho &= B_0 + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot \cos(kn\theta) \\ \bar{\tau}_{\rho\theta} &= \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin(kn\theta), \end{aligned} \quad (7)$$

где k — количество радиальных деформирующих усилий; n — параметр суммирования; B_0, B_n, A_n — коэффициенты Фурье, выражаемые в зависимости от вида опоры нагрузки.

Используя функцию напряжений Ψ , с учетом выражения (6) задачу об определении распределения напряжений по сечению заготовки удастся свести к решению одного уравнения в частных производных с одной неизвестной функцией. Решение этого уравнения выполнено методом конечных разностей. В результате решения получено распределение напряжений $\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z$ в теле заготовки при ее упруго-пластическом нагружении системой радиальных и осевых сил с учетом постоянной по сечению заготовки осевой деформации.

Математическая модель процесса винтовой прокатки

Для математического описания кинематики течения металла в очаге деформации при винтовой прокатке нами приняты три рабочие гипотезы. Эти гипотезы сформулированы на основании анализа характера течения металла при осадке плоских дисков тремя бойками и винтовой прокатке.

1. В процессе винтовой прокатки часть смещаемого объема металла ($\Delta V_{см}$) течет в осевом ($\Delta V_{ос}$), а часть – в радиальном ($\Delta V_{рад}$) направлении. При этом соблюдаются соотношения

$$\begin{aligned}\Delta V_{см} &= \Delta V_{ос} + \Delta V_{рад} \\ \Delta V_{ос} &= C \cdot \Delta V_{см}\end{aligned}\tag{8}$$

2. Зоны осевого истечения металла не распространяются по всему сечению заготовки, а локализуются в областях примыкающих к геометрическим очагам деформации вплоть до центра заготовки.

3. Доля смещенного объема металла, вытесняемая в осевом направлении, зависит от величины внешних осевых усилий, приложенных к заготовке.

В рамках рабочих гипотез построено взаимосвязанное решение задач об определении:

- геометрических параметров процесса прокатки;
- напряженно-деформированного состояния заготовки в очаге деформации;
- силовых воздействий на заготовку;
- распределении величины смещаемого объема металла в очаге деформации.

Каждая из них имеет самостоятельное значение, но не может быть решена отдельно, т.к. связана с другими. Из анализа рабочих гипотез следует, что результаты решения каждой из этих задач зависят от величины C – части смещаемого объема металла, которая течет в осевом направлении.

С учетом соотношений (8) ведется расчет геометрических параметров процесса прокатки для сечений очага деформации, перпендикулярных оси прокатки, начиная с сечения входа металла в очаг деформации.

Единичные обжатия определяются по формуле

$$\Delta R = R' - r\tag{9}$$

где $R^1 = \sqrt{R^2(1-C) + C \cdot r^2}$ — радиус заготовки перед обжатием в следующем по ходу прокатки валке; r — кратчайшее расстояние от оси прокатки до поверхности вала в рассматриваемом сечении очага деформации.

Ширина очага деформации b определяется как сумма двух отрезков, соединяющих точки входа и выхода металла из валков с точкой кратчайшего расстояния от оси прокатки до поверхности вала.

Значение приращения осевой деформации ϵ_z в каждом сечении определяется полусуммой деформаций в осевой ϵ_z^o и периферийной ϵ_z^n областях заготовки

$$\epsilon_z = \frac{1}{2}(\epsilon_z^n + \epsilon_z^o) \quad (10)$$

$$\epsilon_z^n = \ln \left[\frac{1}{4} \left(\frac{R}{r} \right)^2 (1 + 3 \cdot C) + \frac{3}{4} (1 - C) \right]$$

$$\epsilon_z^o = \dot{\epsilon}_z \cdot b / [(r + 0,5 \Delta R) \omega_3],$$

где $\dot{\epsilon}_z$ — скорость деформации; ω_3 — частота вращения заготовки.

На основании определенных радиальных обжатий, ширины контактной поверхности и распределения осевых деформаций для всех сечений очага деформации, решается задача о распределении напряжений в теле заготовки согласно методике, изложенной во 2-ой главе.

Характерный для винтовой прокатки процесс деформирования с большими степенями деформации и незначительным временем междеформационных пауз описывается аналитической зависимостью, полученной методом кручения образцов. Сложный вид зависимости не позволяет использовать ее непосредственно при решении уравнений пластичности. Поэтому на каждом участке очага деформации она аппроксимируется степенной зависимостью (5). Степень деформации конкретного участка очага деформации определяется по формуле:

$$\epsilon_{z\Sigma} = \epsilon_{zj} + \epsilon_{zj} \quad (11)$$

где $\epsilon_{zj} = \ln(F_0/F_j)$ — суммарная величина вытяжки до дан-

ного участка; ϵ_{zj} - осевая деформация рассматриваемого участка, определяемая по формуле (10); F_0, F_j - площадь заготовки в сечении входа металла в очаг деформации и в сечении j .

По рассчитанной величине и распределению осевых напряжений определяется величина внутренних осевых усилий

$$P_z^{\text{внутр}} = \sum_{i=1}^n \sigma_{zi} F_i, \quad (12)$$

где F_i - площадь действия напряжения σ_{zi} .

Рассчитанная величина внутренних осевых усилий сравнивается с величиной внешних осевых усилий $P_z^{\text{внеш}}$, действующих на данном участке очага деформации.

Величина их определяется посредством решения следующих уравнений равновесия сил и моментов относительно оси заготовки для каждого участка очага деформации

$$Q + S + \sum_{k=1}^n P_{zk} + \sum_{k=1}^n F_{zk} = 0 \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^n P_{xuk} \cdot h_k + \sum_{k=1}^n F_{xuk} \cdot r_k = 0,$$

где Q и S - усилия подпора и натяжения; $P_{zk}, P_{xuk}, F_{zk}, F_{xuk}$ - проекции нормальной составляющей усилия от вала и сил трения на ось z и вертикальную плоскость.

Наибольший интерес представляет определение направлений и величин векторов сил трения.

Направления их определяются направлением вектора относительной скорости вала и заготовки, величина и направление которого, в свою очередь, зависят от величин угловой скорости заготовки (ω_3) и осевой составляющей линейной скорости заготовки (V_u) в каком-либо сечении очага деформации.

Значения их определяются методом последовательных приближений с использованием следующих зависимостей:

$$V_u = \left[\sum_{k=1}^n F_k \frac{\Delta V_{zk}}{\Delta V_k} - (Q + S) + \sum_{k=1}^n P_{zk} \right] / \left(\sum_{k=1}^n \frac{F_k}{\Delta V_k} \cdot \frac{f_u}{f_k} \right) \quad (14)$$

$$\omega_3 = \left[\sum_{k=1}^n \frac{\Delta V_{xuk}}{\Delta V_k} r_k - \sum_{k=1}^n P_{xuk} \cdot h_k \right] / \left[\sum_{k=1}^n \frac{F_k}{\Delta V_k} (r_k + \Delta r_k / 2) r_k \right],$$

где F_k - сила трения; $\Delta V_k, \Delta V_{хук}, \Delta V_{зк}$ - компоненты векторов относительной скорости вала и заготовки; f_u, f_k - площадь заготовки в сечении выхода из очага деформации и в сечении k .

Алгоритм математической модели организован таким образом, что выполнение условия

$$|P_{zj}^{\text{внеш}} - P_{zj}^{\text{внутр}}| \leq \Delta P_z \quad (15)$$

(где ΔP_z - наперед заданная погрешность) корректируется значением величины C_j . После выполнения условия (15) расчеты производятся для следующего по ходу прокатки участка очага деформации. По их окончании определяются интегральные характеристики - усилие и момент прокатки.

Проверку соответствия математической модели реальному процессу винтовой прокатки проводили на основании опубликованных экспериментальных данных; полученных при прокатке на трехвалковых станах "50", "70", "120", "250", а также по данным исследований процесса прокатки непрерывнолитых заготовок с большими углами подачи, проведенных нами на стане "70" МВТУ им. Н.Э. Баумана. Расчетные данные по конфигурации и площади контактной поверхности, зависимостями усилий и моментов прокатки от величины обжатия, влиянию усилий подпора и натяжения на усилие и скорость прокатки показали небольшое (в пределах 7-10%) отклонено от экспериментальных данных.

Это позволяет рекомендовать математическую модель для расчетов характеристик процесса винтовой прокатки с достаточной для практических целей точностью.

Опыт деформирования непрерывнолитого металла

С помощью математической модели рассчитаны геометрические и энергосиловые параметры процесса прокатки на стане "70" МВТУ им. Н.Э. Баумана, калибровка валков и в соответствии с этим выбраны режимы деформирования.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных

исследований по прокатке непрерывнолитых заготовок из стали 35ГС, полученных на радиальной МНЛЗ ВНИИМЕТАШ, а также предварительно деформированных непрерывнолитых заготовок из стали 45. Усилия подпора и натяжения не применяли. Для прокатки намеренно отбирали заготовки, имеющие грубые осевые объемные дефекты.

На основании структурных исследований и механических испытаний проката сделан вывод о том, что заваривание объемных осевых дефектов заготовок из сталей 35ГС и 45 происходит стабильно во всем диапазоне исследуемых вытяжек от 3 до 10 при углах подачи $\gamma = 25 + 35^\circ$.

Интенсивное измельчение зерен в центральной зоне и выравнивание их размеров по сечению заготовки достигается при степенях вытяжки 4,5 и более.

Механические испытания образцов из центральной зоны проката стали 35ГС показали соответствие ГОСТ 5781-75 на арматуру 3-го класса.

В этой главе приведены также результаты экспериментальных исследований по изучению влияния деформационного фактора на структурные изменения непрерывнолитой стали 35ГС в процессе высокотемпературного деформирования. Серия экспериментов проведена на установке тепловой микроскопии ИМАШ 20-75 при небольших скоростях деформации.

Анализ исследований показал, что при заданных температурно-скоростных условиях деформирования наблюдается взаимное смещение зерен, сопровождающееся локализацией деформационных процессов по границам зерен. Сами зерна деформируемые в горячем состоянии, видимого измельчения не получают.

Однако структура, выявленная травлением деформированных образцов после их охлаждения, претерпевает существенные изменения. Величина зерна значительно уменьшается с увеличением степени полученной деформации.

Общие выводы

I. Разработана и опробована математическая модель процесса винтовой прокатки. Хорошая сходимость экспериментальных и расчетных данных позволяет рекомендовать модель для расчетов геометрических, энергосиловых параметров процесса прокатки, калибровки валков при разработке новых режимов деформирования, создании и реконструкции обжимных станков винтовой прокатки.

2. На основании теоретических экспериментальных исследований уточнен характер течения металла в очаге деформации, в частности:

- установлено, что реализуемая при винтовой прокатке схема напряженного состояния заготовки в очаге деформации является причиной осевого и радиального истечения металла;
- выявлено, что зоны осевого течения металла не распространяются на все сечение заготовки, а локализуются в области геометрических очагов деформации, т.е. сечение, выделенное до деформирования, не сохраняется плоским в процессе винтовой прокатки;
- установлено, что величина приращений осевой деформации в поперечных сечениях заготовки зависит от величины осевых усилий, возникающих под воздействием внешних силовых факторов, приложенных к заготовке.

3. Впервые для описания зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций при винтовой прокатке применена аналитическая зависимость, получаемая методом кручения образцов при больших степенях деформации, и доказана возможность ее использования с достаточной для практических целей точностью.

4. Разработана методика расчета усилия прокатки с учетом влияния усилий подпора и натяжения. Это позволяет поставить на научную основу проектирование станов винтовой прокатки с механизмами подпора и натяжения.

5. В результате выполненных исследований установлено, что винтовая прокатка грибовидными валками на трехвалковых станах с большими углами подачи ($25 + 35^\circ$) практически осуществима и является эффективной для проработки структуры непрерывнолитых заготовок.

6. Экспериментально установлено, что при углах подачи $\delta = 25 + 35^\circ$ 3-х кратная вытяжка является минимально необходимой для заличивания объемных дефектов непрерывнолитых заготовок из сталей 45 и 35ГС.

7. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют рекомендовать трехвалковые станы винтовой прокатки в качестве обжимных для прокатки непрерывнолитых заготовок. Ожидаемый экономический эффект от установки обжимных трехвалковых станов в линии линейно-прокатных комплексов сос-

тавляет около 300 тыс.руб.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Бережной В.В., Санкович И.В. Расчет усилия деформирования при накатывании резьб. - В кн.: Прогрессивные технологические процессы и оборудование для отделки труб. Тез.докл. на Всес. научно-техн.сем. - Челябинск: УДНТИ, 1983, с. 59-60.

2. Бережной В.В., Санкович И.В. Решение упругой задачи о деформировании цилиндрического тела радиальными силами. - М., 1983. - 12 с., ил. - Рукопись представлена МВТУ им. Н.Э. Баумана. Деп. в Черметинформации 17 янв. 1984. № 2293чм - Д84.

3. Бережной В.В., Санкович И.В. Распределение напряжений в круглой заготовке при упруго-пластическом деформировании. - М., 1983. - 13 с., ил. - Рукопись представлена МВТУ им. Н.Э. Баумана. Деп. в Черметинформации 17 янв. 1984. № 2294чм - Д84.

4. Бережной В.В., Санкович И.В. Учет осевой деформации заготовки в процессах обработки металлов давлением. - М., 1983. - 8 с., ил. - Рукопись представлена МВТУ им. Н.Э. Баумана. Деп. в Черметинформации 17 янв. 1984. № 2295чм - Д84.

5. Душников В.М., Тананов А.И., Санкович И.В. Влияние деформирования на качество проката из непрерывнолитого металла. - Труды /МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1984, вып. 412, с. 95-99.

И. Санкович



Зак. 1770. Л-83645 от 25.12.84г. Тир. 100 экз. Объем 1 п.л.

Типография МВТУ им. Н.Э. Баумана