

М 188566

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

Ю. А. МАРКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА
ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ ПОЛЫХ ОСЕЙ И ВАЛОВ
НА ТРЕХВАЛКОВЫХ СТАНАХ С ОСЕВЫМ
СЖИМАЮЩИМ УСИЛИЕМ

(Специальность 05.03.05—Технология и машины обработки
давлением)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана и во Всесоюзном ордена Ленина научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте металлургического машиностроения.

Научный руководитель —
кандидат технических наук, доцент Жаворонков В. А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии СССР, Осадчий В. Я.,
кандидат технических наук,
лауреат Государственной премии СССР, Тартаковский И. К.

Ведущий
металлург

а Ленина ме-

Автор

1972 г.

Защита

1973 г.

на заседа-
ния п
зация п
Трудово
ща име
манская

ия и механи-
на и ордена
ского учили-
005, 2-я Бау-

Ваша
просьба

M188566

ые печатью,

С д
лица.

лиотеке Учи-

Учен

канд

А. Степанов.



1188566

Марков Ю.А. Исследование

ВВЕДЕНИЕ

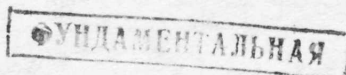
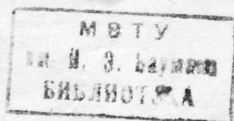
Одной из основных задач, поставленных XXIV съездом КПСС перед машиностроителями в новом пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 гг., является снижение материалоемкости производства за счет более полного использования материалов, снижения веса изделий и улучшения конструкций машин и механизмов.

В связи с этим все большее значение приобретает дальнейшая рационализация производства в заготовительных цехах экономичных полуфабрикатов, приближающихся к форме готовых изделий и позволяющих обеспечить максимальную прочность конструкции при наименьшем собственном весе.

Одним из эффективных способов получения точных круглых заготовок переменного сечения является способ винтовой прокатки на трехвалковых станах, разработанный во Всесоюзном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте металлургического машиностроения (ВНИИМЕТМАШ) и на кафедре "Машины-автоматы прокатного производства" МВТУ им. Баумана.

Исследованиями А.И.Целикова, В.С.Смирнова, П.К.Тетерина, В.Я.Осадчего, Г.А. Лившица, В.П.Анисифорова, В.М.Луговского, В.А.Жаворонкова и других советских ученых было установлено, что трехвалковая схема прокатки с принудительной подачей заготовки внешним осевым усилием натяжения (сжатия) качественно изменяет напряженное состояние металла в процессе деформации и создает условия, исключающие разрыхление сердцевин заготовки. В результате появляется реальная возможность использовать высокопроизводительный процесс винтовой прокатки, применяемый в трубном производстве, для получения круглых профилей с переменным сечением по длине.

В настоящее время в Советском Союзе построены и успешно эксплуатируются 12 трехвалковых станов периодической прокатки, производящих широкий сортамент сплошных профилей для текстиль-



M188566

ной, автотракторной, электротехнической, вагоностроительной и других отраслей промышленности.

Наряду с дальнейшим совершенствованием процесса производства сплошных периодических профилей задачи технического прогресса требуют освоения производства на трехвалковых станах более прогрессивных полых профильных изделий и, прежде всего, заготовок полых осей и валов (осей железнодорожных вагонов и локомотивов, автомобильных и тракторных прицепов, валов электродвигателей, полых роликов рольгангов и т.п.). Актуальность данной проблемы становится очевидной с учетом большой потребности по стране в указанных изделиях и целого ряда преимуществ полых осей и валов по сравнению со сплошными.

Годовая потребность в осях только для таких отраслей народного хозяйства, как вагоностроительная и автомобильная промышленность, составляет не менее 700-800 тыс. штук, а производство осей ограничено выпуском исключительно сплошных заготовок, получаемых децентрализованно методомковки на прессах и молотах или продольной периодической прокаткой.

Эффективность использования полых осей и валов взамен сплошных складывается прежде всего из существенной экономии металла при их производстве и снижении эксплуатационных расходов за счет повышения грузоподъемности транспортной единицы.

Кроме того, при поверхностном упрочнении полные детали по пределу выносливости не уступают, а в ряде случаев и превосходят накатанные сплошные детали равнопрочного сечения. При намеряемом повышении скорости движения железнодорожного транспорта до 185 км/час, а в дальнейшем до 250 км/час эксплуатация сплошных осей вообще невозможна из-за повышенного вредного воздействия неподрессорных частей вагона на рельсовый путь.

Следует отметить, что процесс винтовой прокатки полых тел на оправке и без оправки подробно изучен применительно к трубному производству в работах О.А.Пляцковского, А.З.Глейберга, И.К.Тартаковского, В.Я.Осадчего, М.А.Левшунова, Ф.Д.Могилевкина и др. В то же время процесс винтовой прокатки полых профилей переменного сечения на трехвалковых станах исследован явно недостаточно.

До последнего времени оставались малоизученными основные закономерности деформации полых тел при прокатке без оправки на трехвалковых станах с принудительной подачей заготовки, вопрос определения контактных давлений и силовых параметров

процесса.

Существенный практический интерес представляет также изучение кинематики винтовой прокатки с целью уменьшения скольжения металла при прокатке, повышения производительности и устойчивости полой заготовки в очаге деформации, особенно при прокатке тонкостенных изделий.

Целью настоящей работы являлось изучение основных вопросов винтовой прокатки полых тел без оправки применительно к производству полых осей и валов на трехвалковых станах.

ГЛАВА I. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛЫХ ОСЕЙ И ВАЛОВ

В первой главе рассмотрены основные способы получения полых осей и валов методами ковки в штампах и ротационной ковкой на ротационно и радиально-обжимных машинах.

Особое внимание уделено поперечной и винтовой прокатке полых осей и валов, как наиболее высокопроизводительным способам в условиях массового производства. Основными преимуществами поперечной и винтовой прокатки являются высокая точность проката, небольшой вес оборудования, универсальность и полная механизация процесса.

В то же время отмечается, что процесс прокатки на существующих трехвалковых станах с натяжением становится нецелесообразным для обжата концов оси (шейки или цапфы) из-за повышенного расхода металла в обрызг, увеличения холостых ходов стана, а также опасности утяжки или обрыва переднего конца при больших обжатах. Более предпочтительной оказывается схема с применением осевого сжатия, которая позволяет достичь большей экономии металла, повысить качество проката и упростить конструкцию трехвалковых станов.

ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ НА ТРЕХВАЛКОВЫХ СТАНАХ С ОСЕВЫМ СЖАТИЕМ

В первом разделе этой главы дан обзор работ, посвященных исследованию деформации полых тел при поперечной и винтовой прокатке без оправки. Показано, что двухвалковая схема прокатки без применения внешнего осевого усилия сопровождается развитием тангенциальных растягивающих напряжений, приводящим к интенсивному утонению стенки заготовки и росту внутреннего

диаметра. В результате, прокатка с уменьшением внутреннего диаметра возможна лишь в диапазоне отношения $q_1 < \frac{s}{d_0} < q_{25}$ и с небольшой степенью обжатия по диаметру (не более 15-20%).

Применение трехвалковой схемы и принудительной подачи заготовки качественно меняет напряженное состояние металла в очаге деформации и создает условия для нормального протекания редуцирования без поперечной раскатки. Особенно эффективен процесс с применением внешнего усилия сжатия, приложенного к заднему торцу заготовки, что позволяет осуществлять прокатку практически при любом отношении $\frac{s}{d_0}$ исходной заготовки и обжатия достигающих 50% и более.

Схема напряжений в теле заготовки качественно характеризуется преобладанием сжимающих напряжений в радиальном направлении, под действием которых происходит увеличение толщины исходной стенки при прокатке тонкостенных заготовок и уменьшение периметра отверстия.

В случае прокатки толстостенных гильз неравномерность деформации в продольном и поперечном направлениях увеличивает долю растягивающих напряжений во внутренних слоях металла, в результате чего процесс протекает с утонением стенки гильзы.

Подчеркивается, что специфика процесса винтовой прокатки состоит в том, что при затруднении истечения металла в осевом направлении происходит накопление дополнительных тангенциальных растягивающих напряжений, приводящих к более интенсивному утонению стенки. При преобладании напряжений растяжения над рабочими напряжениями сжатия происходит увеличение периметра отверстия гильзы и нарушение его круглой формы. Поэтому при прокатке на трехвалковых станах необходимо уделять серьезное внимание созданию благоприятных условий для продольного истечения металла.

Выполненными экспериментами на станах различной конструкции доказано, что оптимальные условия процесса характеризуются скоростью осевой подачи в валки стана не менее 2,0 мм на оборот заготовки и разворотом валков на угол подачи 5° и выше. При этом процесс редуцирования протекает без признаков тангенциальной раскатки и обеспечивает получение заданных размеров полых изделий по внутреннему диаметру.

Снижение скорости подачи заготовки и уменьшение угла разворота валков затрудняет процесс редуцирования и приводит к более интенсивному утонению стенки.

Снижение температуры прокатки ниже 900°C снижает пластические свойства металла, что приводит к неустойчивости протекающего процесса и появлению граней на наружной и внутренней поверхности заготовки.

Для оптимальных режимов прокатки построены обобщенные графические зависимости деформации стенки, внутреннего диаметра и отношения S/d тонкостенных и толстостенных заготовок.

Установлено, что прокатка тонкостенных заготовок $S_0/d_0 < 0,17$ сопровождается утолщением исходной стенки, а прокатка толстостенных заготовок ($S_0/d_0 > 0,2$) независимо от величины обжатия протекает с утонением исходной стенки. У заготовок с отношением $0,17 < S_0/d_0 < 0,2$ при увеличении степени обжатия утолщение исходной стенки переходит в ее утонение. При отношении $S_0/d_0 = 0,2$ толщина стенки заготовки не изменяется до обжатия $\epsilon = 30-35\%$, после чего стенка начинает утоняться.

Основная закономерность изменения внутреннего диаметра и отношения S/d заключается в том, что диаметр отверстия заготовки непрерывно уменьшается, а отношение S/d возрастает с ростом обжатия.

Процесс изменения $d_{\text{вн}}$ и отношения S/d протекает более интенсивно при деформации тонкостенных заготовок.

Обработка экспериментальных зависимостей позволяет рекомендовать формулу для определения изменения отношения внутреннего диаметра к наружному при винтовой прокатке на трехвалковых станках с осевым сжатием:

$$\frac{d_{\text{вн}}}{d} = \frac{d_{\text{вн}0}}{d_0} - (S_0/d_0)^K \frac{\Delta d}{d_0};$$

Значение коэффициента K изменяется в пределах 2+5 в функции отношения S_0/d_0 и определяется графически.

ГЛАВА III. НОРМАЛЬНЫЕ КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ СПЛОШНЫХ И ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК

В первой части главы представлен обзор существующих методов подсчета контактных давлений при поперечной и винтовой прокатке с учетом неравномерности деформации и влияния внешних зон.

Отмечено, что известные теоретические схемы ограничиваются рассмотрением статического сжатия круглого диска при двухмерной деформации и не отражают реальных кинематических условий

прокатки с одновременным вращением обжимаемой заготовки и поступательным движением ее вдоль конуса деформации. При этом не учитывается совместное влияние внешних зон на величину $\rho_{ср}$ в продольном и поперечном направлениях, а также накопление напряжений в теле заготовки при многократных обжатиях.

Из-за указанных недостатков замеренные значения средних давлений на промышленных станах значительно превышают расчетные значения, полученные по теоретическим формулам.

Наиболее точным и сравнительно простым методом подсчета величины $\rho_{ср}$ при сосредоточенном характере нагрузки является метод А.И.Целикова и В.В.Смирнова, позволяющий учесть влияние внешних зон на величину контактного давления с помощью коэффициентов напряженного состояния и фактическое сопротивление металла деформации в данных условиях.

При проведении экспериментов по осадке на прессе круглых алюминиевых образцов определено влияние внешних недеформируемых концов и боковых внешних зон на величину $\rho_{ср}$. Построены зависимости для коэффициентов напряженного состояния, учитывающих влияние внешних зон как в продольном, так и в поперечном направлении.

Установлено, что характер зависимости, отражающей влияние внешних зон в продольном направлении, совпадает с зависимостью А.И.Целикова и В.В.Смирнова для плоских образцов. При этом с уменьшением отношения $l/d_0 < 1$ величина $\rho_{ср}$ может повышаться более, чем в 2 раза. Боковые внешние зоны круглого образца оказывают дополнительное повышение $\rho_{ср}$ в 1,58 раза независимо от длины образца.

Кривые зависимости $\rho_{ср} \cdot f(l/d_0)$ при осадке полых образцов без оправки по характеру аналогичны кривой при осадке сплошных образцов, при этом абсолютная величина давления снижается с уменьшением толщины стенки по линейной зависимости. Осадка осебортостенных гильз ($l/d_0 \geq 0,36$) по величине контактных давлений не отличается от осадки сплошных тел.

В результате обработки экспериментальных графиков предложены следующие зависимости для определения коэффициентов напряженного состояния и величины $\rho_{ср}$ при поперечной и винтовой прокатке:

а) при прокатке сплошных сечений:

$$\rho_{ср.пл.} = 1,58 (l/d_0)^{-0,4}$$

б) при прокатке полых тел без оправки ($0,1 \leq S_0/d_0 \leq 0,36$):

$$\rho_{ср пол} = 2,8 \rho_{ср сл} \quad S_0/d_0 \leq 0,36$$

Процесс прокатки с постепенным заполнением очага деформации (прокатка с осевым сжатием) при отношении $l/d_0 \geq 1$ характеризуется влиянием только боковых внешних зон и отличается минимальной величиной контактных давлений ($\rho_{ср сл} = 1,58$).

С применением точечных месцов, встроенных в валок стана, проведен замер нормальных контактных напряжений в очаге деформации при поперечной прокатке на двухвалковом стане и винтовой прокатке на трехвалковом стане с осевым сжатием.

В работе представлены эпюры изменения контактного давления при прокатке сплошных и полых образцов с различным отношением

$$S_0/d_0.$$

Установлено, что распределение давления по длине образца при поперечной прокатке и вдоль конуса деформации при винтовой прокатке носит равномерный характер. При этом не отмечено ослабляющего влияния боковых внешних зон с увеличением суммарного обжатия.

Проведено сравнительное исследование нормальных контактных напряжений при продольной прокатке высоких сечений и поперечной прокатке, выполненное на одном и том же стане в идентичных условиях. Показано, что процесс поперечной прокатки характеризуется большей величиной $\rho_{ср}$ по сравнению с продольной прокаткой из-за дополнительного влияния боковых внешних зон и упрочнения материала заготовки при многократных единичных обжатиях.

Предложена методика подсчета величины $\rho_{ср}$ при поперечной и винтовой прокатке с помощью базисных значений контактных давлений ρ_0 , учитывающих фактическое сопротивление металла деформации и влияние внешних зон.

При горячей прокатке сплошных заготовок экспериментально определены значения контактных давлений, которые при температуре прокатки $t_{np} = 1100^\circ\text{C}$ и отношении $l/d_0 \geq 1$ составляют:

для стали 45 - $\rho_0 = 15,6 \text{ кг/мм}^2$
для стали 40X - $\rho_0 = 16,7 \text{ кг/мм}^2$

Построены графические зависимости значений ρ_0 при прокатке полых заготовок без оправки из углеродистой стали и стали 40X в диапазоне $t_{np} = 900 + 1200^\circ\text{C}$

ГЛАВА IV. КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ ПОДЫХ ЗАГОТОВОК НА ТРЕХВАЛКОВЫХ СТАНАХ С ОСЕВЫМ СЖИМАЮЩИМ УСИЛИЕМ

Исследование скольжения металла относительно валков при винтовой прокатке в условиях принудительной подачи заготовки осевым усилием сжатия показало, что в осевом направлении вдоль конуса деформации наблюдается сплошное отставание металла, а в тангенциальном направлении скольжение носит разноименный характер: от нейтрального сечения в сторону выхода металла из валков располагается зона отставания, а в сторону входа в валки — зона опережения.

Увеличение скорости принудительной подачи заготовки существенно уменьшает отставание металла в осевом направлении, повышает производительность процесса и вызывает отклонение вектора скорости металла в сторону оси прокатки. В результате обеспечивается преимущественное истечение металла в продольном направлении.

Расчетные формулы для определения коэффициентов осевого и тангенциального скольжения и скоростей вращения в валках при прокатке с осевым сжатием имеют вид:

$$\eta_r = \frac{d n_3}{2\delta \cos \varphi}; \quad \eta_t = \frac{V_0 d}{\pi d_1 n_3 \sin \varphi};$$

$$n_3 = n_1 \frac{2\ell}{a_0} \quad \text{— дисковые валки};$$

$$n_3 = n_1 \frac{2\ell}{a_1} \quad \text{— грибовидные валки}.$$

Проведен анализ скручивающего воздействия валков при винтовой прокатке на трехвалковых станах. Показано, что разноименное скольжение металла в тангенциальном направлении приводит к отклонению равнодействующей нормальных сил и сил трения от направления, проходящего через центр заготовки. В результате возникает момент пластического скручивания заготовки:

$$M_{скр} = \sqrt{P^2 + T_1^2} a_1$$

где a_1 — плечо равнодействующей сил трения и давления металла на валки (P);

$T_1 = \iint \mu P \cos \theta_y d\delta d\ell$ — тангенциальная составляющая сил трения в зоне отставания.

Если величина скручивающего момента в выходном сечении превышает некоторое предельное значение, происходит потеря устойчивости сечения заготовки и смятие ее в валках.

Прокатка полых тел без оправки характеризуется меньшей величиной момента сопротивления скручиванию по сравнению с прокаткой сплошных тел. Поэтому в обычных условиях процесс ограничен прокаткой сравнительно толстостенных заготовок с небольшим обжатием. Особенно неустойчив процесс безоправочной прокатки на валках дисковой конструкции, сопровождаемый значительным скольжением в тангенциальном направлении и, соответственно, большой величиной *Мскр.*

С целью повышения устойчивости заготовки, особенно при прокатке тонкостенных тел, разработана новая калибровка рабочего инструмента в виде чередующихся наклонных и параллельных оси прокатки участков на рабочей части вала. Построены области допустимых обжатий полых тел без оправки с применением обычной и новой калибровки и показано, что наиболее эффективно использование предлагаемой калибровки на грибовидных валках. При этом обеспечивается устойчивая прокатка тонкостенных заготовок ($S_0/d_0 \leq 0,1$) с обжатиями более 50%.

ГЛАВА V. РАЗРАБОТКА НОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛЫХ ОСЕЙ И ВАЛОВ

Пятая глава диссертации посвящена комплексной разработке нового технологического процесса получения полых осей и валов винтовой прокаткой.

В первом разделе главы приведены основные зависимости для подсчета величины контактной поверхности и основных силовых параметров, процесса при прокатке с осевым сжатием.

Для определения величины контактной поверхности при прокатке на дисковых и грибовидных валках получены формулы:

$$F_{\text{конт. диск.}} = 0,26 K_{08} \sqrt{\frac{2z_1}{R_k + z_1}} \cdot \frac{V_0 \cdot d_0 \cdot \lambda_1}{n_8} \cdot \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{d_0 - d_1}{\sin \alpha} + 2 \Delta V_1 \right);$$

$$F_{\text{конт. гриб.}} = 0,26 K_{08} \sqrt{\frac{2z_1}{R_k + z_1}} \cdot \frac{V_0 \cdot d_1 \cdot \lambda_1}{n_8} \cdot \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{d_0 - d_1}{\sin \alpha} + 2 \Delta V_1 \right);$$

Величина полного усилия на валок в общем случае определяется из уравнения:

$$P = \sum P_n \cos \varphi \cos \alpha + \sum P_n \mu \sin \varphi \sin \alpha + \sum P_f + \frac{Q}{3} (\sigma_{ра} + \mu)$$

Из условия равновесия сил в очаге деформации следует, что величина осевого усилия сжатия равна:

$$Q = 3(\sum P_n \sin \alpha \cos \varphi - T_0)$$

где $T_0 = \sum P_n \mu \sin \varphi \cos \alpha + \sum P_f \mu \sin \varphi$ — проекция сил трения на осевое направление.

Эффективное снижение величины осевого усилия достигается увеличением разворота валков на угол подачи и уменьшением угла рабочего конуса. В результате снижается общее усилие прокатки, величина крутящего момента и расход энергии.

При проведении процесса в оптимальных условиях, характеризуемых углом подачи $\varphi = 5 - 6^\circ$ и углом конуса валка $\alpha = 20 - 25^\circ$, величина осевого усилия сжатия $Q = 0,2 + 0,3 P$.

Проведен замер силовых параметров процесса при прокатке на турных образцов полых осей на полупромышленных станах. Сравнение расчетных и фактически замеренных величин давления металла на валки, полного усилия прокатки и крутящих моментов показало, что предлагаемые формулы могут быть использованы на практике.

По результатам опытной прокатки даны рекомендации по выбору технологических режимов процесса и калибровке рабочего инструмента.

Определен допустимый диапазон использования грибовидных и дисковых валков в зависимости от отношения S_0/α_0 заготовок и степени обжатия по диаметру.

Указаны возможные отклонения от оптимальных технологических режимов процесса, которые приводят к ухудшению качества проката и рекомендованы способы их устранения.

Для всесторонней проверки свойств полых осей, полученных методом винтовой прокатки на полупромышленных станах И20 ВНИИМЕТМАШ и ППТ-7 ЭЗТМ была осуществлена прокатка опытных партий заготовок полых осей автотракторных прицепов и вагонных осей широкой колеи. Проверка качества прокатанных заготовок показала, что получение изделия характеризуется повышенной точностью, хорошим состоянием наружной и внутренней поверхности,

высокими механическими свойствами и другими положительными характеристиками. Результаты механической обработки, стендовых и эксплуатационных испытаний опытных осей позволяют рекомендовать их к промышленному внедрению.

Выполненные исследования использованы при разработке новой технологии формовки шеек вагонных осей в строящемся осепрокатном цехе вместо малопроизводительного и сравнительно сложного процесса заковки шеек на прессе.

Коллективом сотрудников ВНИИМЕТМАШ и кафедры "Машины-автоматы прокатного производства" МВТУ им.Баумана при участии автора был разработан технический проект специализированного трехвалкового стана, по которому на Электростальтяжмашзаводе выполнен рабочий проект стана в составе оборудования осепрокатного цеха.

Основные достоинства производства заготовок осей на стане новой конструкции заключаются в большей точности проката и значительной экономии металла на обрезь. При этом упрощается конструкция стана и повышается его надежность в работе.

Результаты работы позволяют наметить перспективы внедрения нового технологического процесса при производстве полых осей и валов в различных отраслях машиностроения.

В заключительной главе диссертации дано технико-экономическое обоснование процесса при производстве полых осей авто-тракторных прицепов и вагонных осей широкой колеи. Показано, что промышленное освоение новой технологии позволит сэкономить ежегодно около 1,5 млн. рублей.

ВЫВОДЫ

1. Разработан новый технологический процесс производства полых осей и валов методом винтовой прокатки на трехвалковых станах, обеспечивающий получение широкого сортамента изделий переменного сечения из тонкостенных и толстостенных труб.

Схема прокатки с применением осевого сжимающего усилия значительно упрощает конструкцию стана, повышает надежность и долговечность его механизмов, увеличивает точность проката и снижает расход металла на единицу изделия.

Процесс реализован в новой конструкции специализированного стана для осепрокатного цеха Днепровского металлургического завода им.В.Э.Дзержинского.

2. Выполнен комплекс исследований по изучению деформаций полых заготовок без оправки на трехвалковых станах с осевым сжатием.

Определены оптимальные условия проведения процесса, исключая явление тангенциальной раскатки и обеспечивающие непрерывное уменьшение внутреннего диаметра гильз с увеличением степени обжатия.

Установлены основные закономерности изменения толщины стенки, внутреннего диаметра и конечного отношения S/d при редуцировании тонкостенных и толстостенных заготовок.

3. Определено влияние внешних зон в продольном и поперечном направлениях на величину контактного давления при поперечной и винтовой прокатке сплошных и полых тел.

Наиболее значительный рост давления имеет место при прокатке круглой заготовки с внешними недеформируемыми концами узкими валками (уменьшение отношения d/d_0). При этом величина $P_{ср}$ может превышать сопротивление металла деформированию в 3,5 раза.

Рекомендованы основные зависимости для подсчета коэффициентов напряженного состояния при прокатке сплошных и полых тел без оправки.

4. Проведено исследование нормальных контактных напряжений в очаге деформации при поперечной и винтовой прокатке сплошных и полых заготовок, а также продольной прокатке высоких полос в идентичных условиях.

Установлено, что процессы поперечной и винтовой прокатки за счет значительного наклепа металла при многократных обжатиях и дополнительного влияния боковых внешних зон характеризуются большей величиной $P_{ср}$ по сравнению с продольной прокаткой высоких сечений с малыми обжатиями.

5. Предложена методика определения величины $P_{ср}$ для рассматриваемого процесса с помощью базисных значений контактных давлений, учитывающих фактическое сопротивление металла деформации и влияние внешних зон.

6. Проведено исследование особенностей кинематики процесса с применением внешнего сжимающего усилия.

Рекомендованы формулы для определения истинных скоростей вращения и поступательного движения заготовки с учетом коэффициентов тангенциального и осевого скольжения.

7. Определены условия скручивания металла при винтовой прокатке в зависимости от скольжения металла в тангенциальном направлении.

С целью уменьшения скручивающего воздействия валков и повышения устойчивости полой заготовки разработана новая калибровка валков.

Использование новой калибровки особенно эффективно при прокатке тонкостенных заготовок на грибовидных валках.

8. Предложены зависимости для определения основных технологических и силовых параметров процесса с осевым сжатием.

Для снижения общего усилия прокатки и расхода энергии рекомендуется осуществлять процесс на увеличенных углах подачи.

9. Прокатаны опытные партии заготовок полых осей автотракторных прицепов и вагонных осей широкой колеи.

Проведенные лабораторные исследования и эксплуатационные испытания подтверждают высокое качество прокатанных изделий.

10. Выполнено технико-экономическое обоснование процессов при производстве полых осей автотракторных прицепов и железнодорожных осей магистральных вагонов.

Освоение новой технологии обеспечит годовую экономию до 1,5 млн. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Ю.А.Марков, В.А.Жаворонков, В.Ф.Свириденко. О распределении нормальных контактных напряжений при продольной и поперечной прокатке высоких сечений. Известия вузов. Машиностроение, № 4, 1971 г.

2. Ю.А.Марков, В.А.Жаворонков, И.Н.Столяров. Исследование влияния внешних зон на контактное давление при поперечно-винтовой прокатке. Известия вузов. Машиностроение, № 6, 1972 г.

3. Ю.А.Марков, В.А.Жаворонков, И.Н.Столяров. Исследование редуцирования полых заготовок при винтовой прокатке на трех-валковых станах. Известия вузов. Машиностроение, №10, 1972 г.

По материалам диссертации сделаны доклады: на межотраслевом совещании по проблеме усовершенствования вагонных осей и колес во ВНИТИ (тепловозный) (г. Коломна, февраль 1970г.), на первой научно-технической конференции молодых специалистов ГУММАШ в г. Лданове (июнь 1970г.), на всесоюзной научно-технической конференции "Теоретические проблемы прокатного производства" в г. Днепрпетровске (октябрь 1972 г.).