

На правах рукописи

Татаркин Илья Анатольевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ПРОШИВКИ
ЗАГОТОВОК В КОСОВАЛКОВЫХ СТАНАХ РАЗНОГО
КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2011

Работа выполнена на кафедре «Технология металлов» Московского энергетического института - технического университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Голубчик Рудольф Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Коликов Александр Павлович
доктор технических наук, профессор
Матвеев Борис Николаевич

Ведущая организация: ОАО «Первоуральский Новотрубный завод»

Защита состоится 12 октября 2011 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 002.060.02 в Учреждении Российской академии наук Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, 49.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии наук Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН.

Автореферат разослан «___» сентября 2011 года.

Справки по телефону (499) 135-96-29.

Ученый секретарь
диссертационного Совета



Шелест А.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Прошивка заготовок является основной и ответственной операцией при производстве бесшовных горячекатаных труб. Большинство прошивных станов имеют бочковидные валки. В первой половине прошлого века появились станы с консольно-расположенными грибовидными и дисковыми валками.

В настоящее время станы с дисковыми валками демонтированы, а в 1972 году в Челябинске (Осадчий В. Я., Тартаковский И. К.) запущен первый стан с грибовидными двухпорными валками с индивидуальным приводом валков. Подобные станы в 1973 году установлены на заводе в Днепропетровске и на Синарском трубном заводе (Каменск-Уральский). Все станы конструкции ЭЗТМ. В 60-х годах на Первоуральском Новотрубном заводе установлен стан с чашевидными валками (Потапов И. Н., Финагин П. М.).

При создании прогрессивных технологий производства труб высокого качества из непрерывнолитых заготовок одна из первоочередных задач заключается в разработке оптимальных режимов прошивки и оценки работы различных станов винтовой прокатки.

Уже в этом веке разными фирмами (ЭЗТМ, SMS-Meer, Daniely) изготовлены грибовидные станы для получения труб больших диаметров. В связи с этим исследование и разработка режимов прошивки заготовок в станах разного конструктивного исполнения является актуальной задачей.

Создание и освоение новых технологий и конструкций станов, оптимизация процессов винтовой прокатки требуют развития отдельных положений теории винтовой прокатки и на основе этого новых методов расчета рациональных режимов деформации.

Цели и задачи работы. Целью настоящей работы является совершенствование и разработка режимов прошивки непрерывнолитых заготовок для получения труб с привлечением математического моделирования, результатов экспериментальных исследований и анализа распределения параметров циклического формоизменения по длине очага деформации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявить кинематические особенности разных конструктивных схем прошивных станов и на базе этого провести совершенствование математической модели процесса прошивки для определения параметров циклического формоизменения по длине очага деформации;
- обобщить методику расчета коэффициентов деформации проверкой выполнимости условия постоянства объема;
- оценить адекватность математической модели при сравнении с экспериментальными данными;
- установить особенности работы станов на «подъем» и «посад», оценить проработку структуры и разработать рекомендации для совершенствования режимов прошивки заготовок.

Научная новизна. Разработана математическая модель, позволившая впервые рассчитать по длине очага деформации коэффициенты скорости в направлениях движения заготовки и валка, оценить особенности режимов на «подъем» и «посад», проверить условия постоянства объема на каждом шаге и сравнить адекватность принятых гипотез с экспериментами.

К новизне научных результатов можно отнести:

- формулы для расчета значений коэффициентов скорости в тангенциальном направлении движения заготовки и в направлении вращения валка в любой точке контактной поверхности по длине очага деформации прошивных станов с бочковидными, грибовидными и чашевидными валками, учитывающие значения меридиональных углов по валку и заготовке;
- совершенствование математической модели за счет уточнения расчета коэффициентов деформации и скорости по длине очага деформации;

- методику и аналитические выражения для определения коэффициентов деформации с проверкой условия постоянства объема;
- экспериментальные исследования, позволившие оценить точность теоретического описания поперечных сечений прошиваемых заготовок;
- рассчитанные на математической модели зависимости коэффициента тангенциальной скорости η_T по длине и ширине контактных поверхностей заготовки-гильзы

Практическая значимость. Научные разработки диссертации и технические решения направлены на снижение расхода металла, повышение точности геометрических размеров труб и снижение поверхностных дефектов. Они включают новые и усовершенствованные технологические режимы получения труб.

Реализация результатов в промышленности. Результаты теоретических исследований и обобщений явились научной основой технологических решений, переданных на заводы РФ и СНГ в виде рекомендаций и режимов прошивки заготовок:

- на основании проведенных исследований процесса прошивки определено влияние конструктивной схемы действующих станов России и Украины на параметры циклического формоизменения, позволившие оценить проработку структуры непрерывнолитых заготовок;
- предложены режимы использования станов разной конструкции для работы на «подъем» и «посад» и даны рекомендации по их обоснованному выбору при прошивке заготовок из сталей с различной исходной пластичностью;
- проведено сравнение современных четырех прошивных станов России и Казахстана, предназначенных для изготовления труб большого диаметра из непрерывнолитых заготовок. Предложены рекомендации по изменению параметров настройки для повышения эффективности работы станов;
- разработаны рекомендации по совершенствованию режимов прошивки заготовок на установке 159-426 Волжского трубного завода.

Методы исследования. Для совершенствования режимов использована математическая модель процесса винтовой прокатки МЭИ с уточнением аналитического описания кинематики процесса и расчетом коэффициентов трехмерной деформации.

Проверка одной из основных гипотез этой модели выполнена с использованием промышленных экспериментов на трех трубопрокатных агрегатах ОАО «ПНТЗ».

Достоверность и обоснованность результатов исследований и разработанных рекомендаций подтверждены: использованием фундаментальных основ механики сплошных сред, современной теории прокатки, строгостью применения математических методов, экспериментальной проверкой отдельных гипотез, подтверждением некоторых результатов ранее проведенными исследованиями, положительной оценкой Челябинского трубопрокатного и Нижнеднепровского трубного заводов.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены, обсуждены и одобрены на следующих международных научно-технических конференциях: «Трубы Украины 2008», Киев; «Пластическая деформация металлов», Днепропетровск, 2008 г; «Трубы 2009» и «Трубы 2010», Челябинск; VIII Конгресс прокатчиков, Магнитогорск, 2010 г; «Будущее машиностроения России», Москва, МГТУ им. Баумана, 2010 г; «Прогрессивные технологии пластической деформации», Москва, МИСиС, 2009 г.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 13 статьях.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, сводки общих выводов, изложена на 111 страницах машинописного текста, содержит 38 рисунков, 15 таблиц; библиографический список включает 126 наименований отечественных и зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В основу значительной части исследований положены усовершенствованные положения работ советских и российских и зарубежных ученых: П. Т. Емельяненко, А. И. Целикова, И. М. Павлова, В. С. Смирнова, А. П. Чекмарева, П. И. Полухина, П. К. Тетерина, Ю. М. Матвеева, А. О. Пляцковского, И. А. Фомичева, Ю. Ф. Шевакина, В. Я. Осадчего, И. Н. Потапова, А. А. Богатова, М. И. Ханина, А. П. Коликова, Р. М. Голубчика, Б. А. Романцева, С. П. Галкина, Б. Н. Матвеева, а также ученых-производственников А. З. Глейберга, Н. С. Кирвалидзе, Е. Д. Клемперта, В. Н. Умеренкова. Ими решены многие важные вопросы теории и технологии процесса прошивки: геометрия очага деформации, ряд задач кинематики, напряженно-деформированного состояния и образования центрального разрушения, теория условий захвата, определение усилий и др.

Вместе с тем отсутствовали методики оценки кинематических параметров по длине и ширине контактной поверхности, сравнения прошивных станков различных типов при сопоставимых настройках, оценка при работе стана на «подъем» и «посад».

При всем многообразии факторов, влияющих на процесс прошивки, оценка их воздействия была весьма ограничена. Отсутствовали заводские данные о реальных темплетах поперечных сечений очага деформации, необходимых для сравнения адекватности используемых моделей и алгоритмов.

В предлагаемой работе сделаны попытки в какой-то мере восполнить эти пробелы.

Совершенствование математической модели

Для определения кинематических показателей в станах винтовой прокатки, значения которых зависят во многом от коэффициентов скорости, необходимо учитывать сложное расположение осей валков и заготовки в пространстве

Для точного решения кинематической задачи требуется найти направляющие косинусы, которые зависят не только от углов подачи α и раскатки β , но и меридиональных углов по сечению валка ω и заготовки ψ . Используя в расчетах и рассуждениях параметры скрещивания, получена более простая структура конечных формул с учетом меридиональных углов ω и ψ и удобная для анализа.

Для решения геометрической задачи задавали две системы координат: по валку $Qstu$ и заготовке $O'x'y'z'$. Оси Qs и $O'x$ направляют в сторону движения заготовки и они совпадают с осями вращения заготовки и валка соответственно, а оси Qt и $O'y'$ отличаются только знаком, но совпадают по направлению.

Угол скрещивания δ , обеспечивающий винтовое движение заготовки, назовем технологическим, можно выразить через конструктивные углы

$$tg^2\delta = tg^2\alpha + tg^2\beta. \quad (1)$$

Связь систем координат валка и заготовки $Qstu$ и $O'x'y'z'$ записывается в виде

$$\left. \begin{aligned} x &= s \cos \delta + u \sin \delta, \\ y' &= b_* - t, \\ z' &= s \sin \delta - u \cos \delta. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При моделировании были приняты следующие допущения:

1. Распределение осевой скорости заготовки по длине очага деформации зависит от текущей вытяжки по соотношению $V_x = V_3 \cdot \mu_x$.
2. Скручивание в очаге деформации отсутствует, поэтому угловая скорость заготовки по всей длине очага деформации $\omega_x = const$.
3. Полную скорость валка радиусом R_B находили по известной скорости вращения

$$V = \frac{\pi R_B n_B}{30}.$$

4. Задавались значениями коэффициентов осевой и тангенциальной скорости на выходе гильзы из валков, так как в этом сечении их наиболее просто измерить экспериментально на существующих прошивных станах.

Для определения скоростей по заготовке и валку в любой точке контактной поверхности в направлении движения заготовки и инструмента, требуется спроектировать полную скорость валка на выбранные оси систем координат валка и заготовки. На рис. 1, а показаны координатные оси системы валка $Qstu$, для рассматриваемой точки P на поверхности валка, имеющей радиус R_V , показана полная скорость вращения валка V и ее проекции на координатные оси валка V_t и V_u . Также показан меридиональный угол по валку ω .

На рис. 1, б показаны координатные оси системы заготовки $O'xy'z'$. В произвольной рассматриваемой точке P , имеющей радиус по заготовке r , полная скорость валка V также была разложена в направлениях движения заготовки $V_x, V_{y'}, V_{z'}$. Показан меридиональный угол по заготовке ψ .

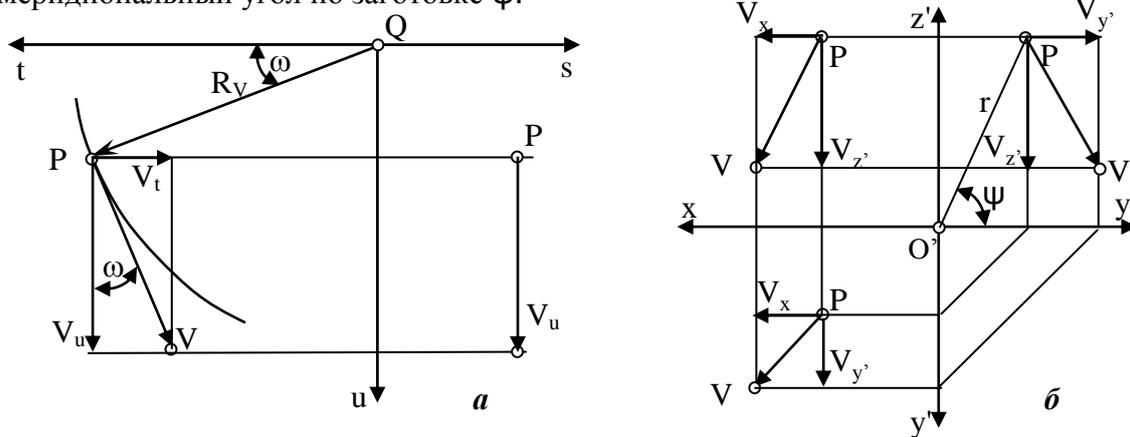


Рис. 1. Вектор окружной скорости валка в системе координат валка $Qstu$ (а) и заготовки-гильзы $O'xy'z'$ (б)

Так как валок совершает только вращательное движение, то его скорость в направлении оси вращения s будет равна нулю, две оставшиеся скорости можно спроектировать на оси t и u :

$$\begin{aligned} V_s &= 0, \\ V_t &= -V \sin \omega, \\ V_u &= V \cos \omega. \end{aligned} \quad (3)$$

Меридиональный угол по валку

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{u}{t}.$$

Взяв полученные проекции скоростей в системе $Qstu$, и воспользовавшись уравнением связи (2) между координатными системами, после преобразований можно записать:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V \sin \delta \cos \omega = V \cdot l_u, \\ V_{y'} &= V \sin \omega, \\ V_{z'} &= -V \cos \delta \cos \omega. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Из этих формул нам интересна скорость валка в направлении осевого движения заготовки V_x . Для вычисления скорости валка в тангенциальном направлении движения заготовки вводится подвижная система координат $Oxyz$, совпадающая с принятой в работе П. К. Тетерина.

В данном исследовании через параметры скрещивания направляющие косинусы использовали в виде:

$$\left. \begin{aligned} l_u &= \sin \delta \cos \omega, \\ m_u &= \cos \omega (tg \omega \sin \psi + \cos \delta \cos \psi). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Отметим, что формулы (5) имеют более «сжатую» структуру записи, что является преимуществом выбора координатных систем валка и заготовки через параметры скрещивания.

Перейдем теперь к скоростям заготовки. По выражениям (3) и (4) можно вычислить скорости валка в осевом и тангенциальном направлениях движения заготовки. Задаваясь коэффициентами осевой и тангенциальной скоростей в сечении отрыва гильзы от валка, можно рассчитать скорости заготовки по длине очага деформации.

Используя положение 1, через текущую вытяжку μ_x можно вычислить осевую скорость заготовки по всей длине очага деформации.

Зная радиус гильзы в этом сечении, можно определить угловую скорость вращения заготовки. Принимая положение 2, и зная распределение радиуса заготовки-гильзы в каждом сечении очага деформации, можно получить скорость заготовки в тангенциальном направлении.

В итоге, проведя расчет меридиональных углов по валку и заготовке, можно по формулам (1) и (2) с учетом выражений (4) и (5) найти коэффициенты осевой и тангенциальной скорости.

Для расчета коэффициента скорости в направлении движения валка необходимо провести дополнительные вычисления.

В общем виде конечная формула для расчета коэффициента скорости в направлении движения инструмента (валка) имеет вид:

$$\eta_v(x) = \frac{V_v(x)}{V(x)} = \frac{q_{uz} \cdot \eta_{vz}}{q_u(x)} w, \quad (6)$$

где q – направляющий косинус скорости в направлении валка, w – коэффициент учитывающий передаточное отношение i и прочие геометрические параметры. Из-за громоздкости формул и выкладок в данной работе не приводится полная структура формулы (6).

На рис. 2 показано изменение коэффициентов скорости по контактной поверхности в тангенциальном направлении (сплошные линии) и в направлении движения валка (пунктирные линии) для прошивного стана с бочковидными валками.

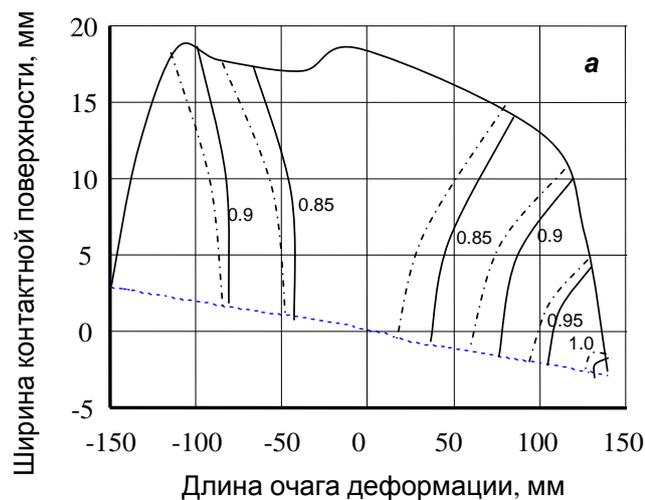


Рис. 2. Распределение изолиний коэффициентов скорости

Как можно заметить (см. рис. 2), максимальный вклад в значение $\eta_v(x)$ дает все же коэффициент тангенциальной скорости, в осевом и радиальном направлении заготовка движется значительно медленнее и их суммарный вклад составляет 5-20%.

Обоснованность предложенного подхода для расчета коэффициентов скорости подтверждают экспериментальные данные Потапова И. Н. (рис. 3), полученные по керновым отпечаткам.

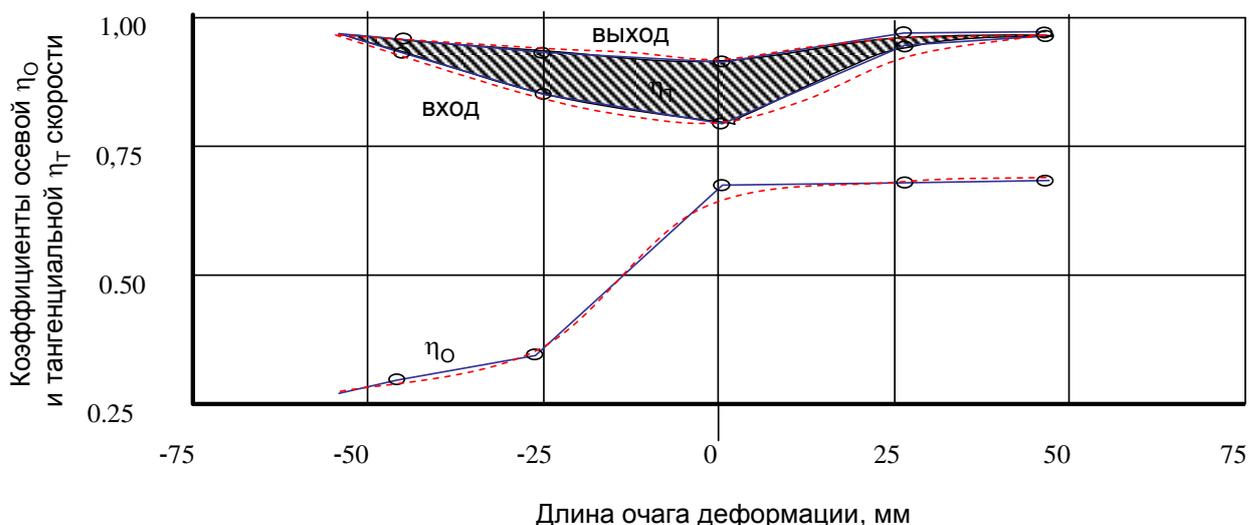


Рис. 3 Экспериментальные (заштрихованная область, сплошные линии) и расчетные (пунктирные линии) данные по распределению коэффициентов скорости по длине контактной поверхности:

$$(D_3 = 45 \text{ мм}; D_{ГХСГ} = 47 \times 5 \text{ мм}; d_{\text{опр}} = 30 \text{ мм}; \alpha = 9^\circ; \varphi_1 = 3,5^\circ; \varphi_2 = 3,5^\circ)$$

При исследовании процесса прошивки на математической модели или удельной работы на каждом шаге циклического процесса необходимо знать коэффициенты деформации по всем осям. Если принять, что исходная плотность материала в процессе деформации остается неизменной, т.е. условие несжимаемости выполняется, то условие постоянства объема записывается в виде:

$$\varepsilon_r + \varepsilon_l + \varepsilon_\tau = 0, \quad (7)$$

где ε_r , ε_l и ε_τ – истинные коэффициенты радиальной, продольной и тангенциальной деформации.

Для расчета рассматриваемых коэффициентов очаг деформации по длине условно можно разбить на три основных участка формоизменения (рис. 4): I – деформации сплошной заготовки с образованием в первом приближении эллиптического поперечного сечения; II и III – деформация на оправке в конусах прошивки и раскатки.

Рассматривая объем подачи на каждом шаге мы сталкиваемся с усеченными «конусами», которые имеют эллиптические основания (рис. 5), и образующие не прямолинейной формы из-за перекоса осей валков на угол подачи. Для участков на оправке мы имеем дело уже с полыми «конусами».

Радиальную деформацию ε_r на шаге, можно брать как логарифм отношения радиусов на текущем i и предыдущем $i-1$ шагах. Так как в поперечном сечении на рассматриваемом шаге заготовка встречается с валком уже «овализированная», то необходимо учитывать овализацию на предыдущем шаге (рис. 5, а). Тогда

$$\varepsilon_r = \ln \frac{R_i}{\xi_{i-1} R_{i-1}}. \quad (8)$$

Еще один из способов для расчета радиальной деформации заключается в использовании «эквивалентных» радиусов (рис. 5, б)

$$\varepsilon_r = \ln \frac{R_{\text{Э}i}}{R_{\text{Э}i-1}}, \quad (9)$$

которые берутся по площади поперечных сечений: считается площадь эллипса F_i , и затем вычисляется радиус эквивалентной окружности $R_{\text{Э}i}$:

$$F_i = \pi \cdot R_i^2 \xi_i = \pi \cdot R_{i0}^2,$$

$$R_{i0} = R_i \sqrt{\xi_i}.$$

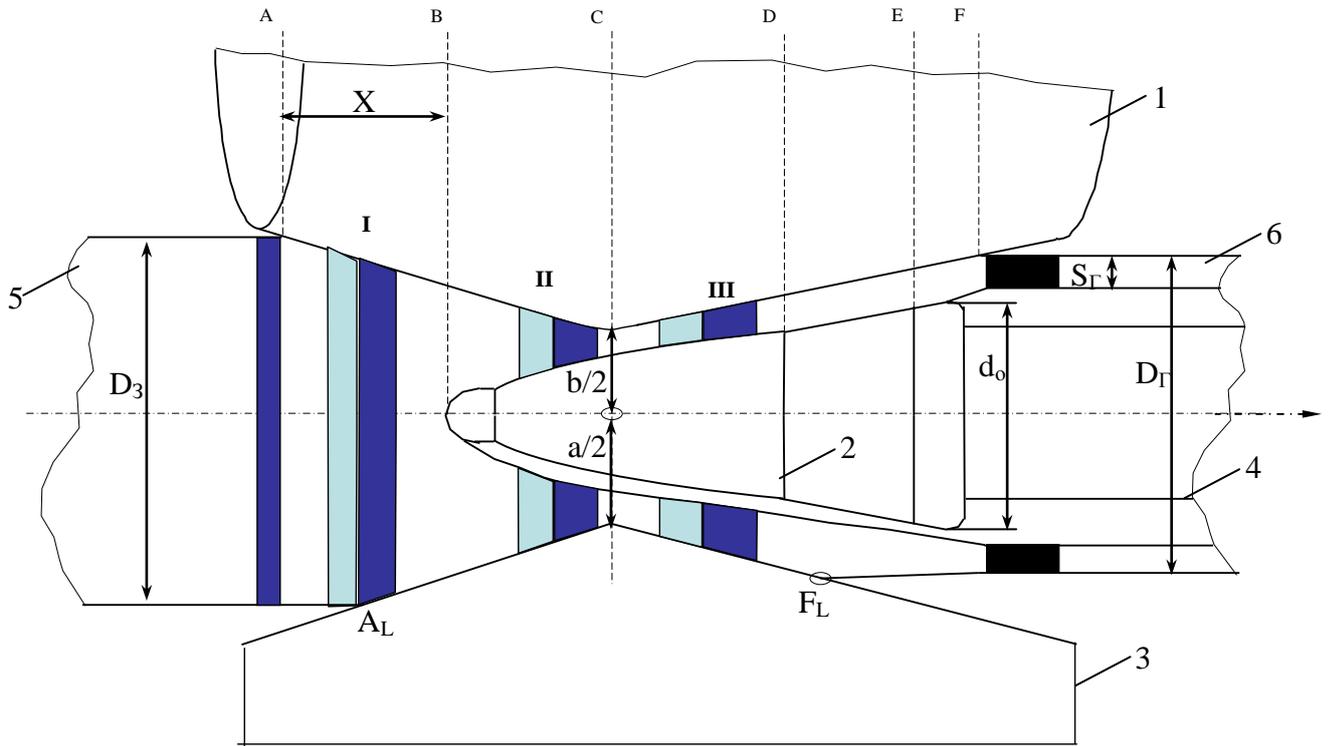


Рис. 4. Схема очага деформации с участками для определения единичных деформаций:
1 – валок; 2 – оправка; 3 – линейка; 4 – стержень оправки; 5 – заготовка;

6 – гильза

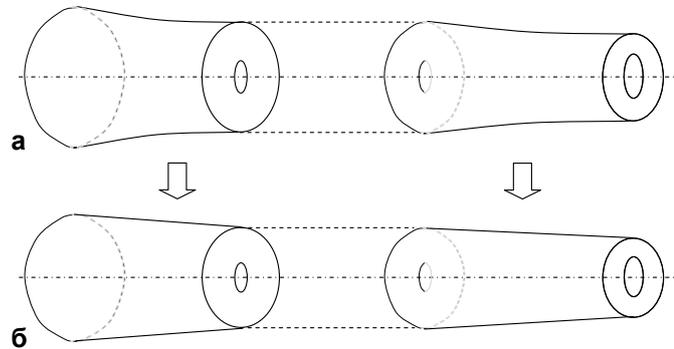


Рис. 5. Схема аппроксимации объема подачи:

а – объем подачи в виде аппроксимации «конусами с эллипсами в основании»;

б – аппроксимация правильными конусами

Линейную деформацию берут как логарифм коэффициента вытяжки через отношение средних площадей предыдущего ($i-1$) и последующего (i) шагов подач или через отношение длин объемов подач, отстоящих друг от друга на один шаг.

Тангенциальную деформацию можно рассчитать с одной стороны из условий постоянства объема:

$$\varepsilon_\tau = -(\varepsilon_r + \varepsilon_l). \quad (10)$$

Также тангенциальную деформацию можно рассчитать как отношение логарифмов периметров средних поперечных сечений:

через периметры эллипсов:

$$P = \pi [1,5 \cdot R(1 + \xi) - R\sqrt{\xi}],$$

$$\varepsilon_{\tau} = \ln \frac{P_i}{P_{i-1}}, \quad (11)$$

через периметры эквивалентных окружностей

$$\varepsilon_{\tau} = \ln \frac{P_{\partial i}}{P_{\partial i-1}} = \ln \frac{R_{\partial i}}{R_{\partial i-1}}, \quad (12)$$

и через «средние» периметры по поперечному сечений.

Если оценить выполнения условия постоянства объема по представленным формулам, то до носка оправки (участок I) погрешность может составлять до 2-11%, на участках II и III – до 5 и 8% соответственно.

Условия проведения исследований и обработка промышленных экспериментальных данных

Для сравнения, анализа и разработки режимов были рассмотрены девять промышленных станов трубопрокатных агрегатов заводов России, Украины и Казахстана: 220 и 30-102 Первоуральского Новотрубного завода, 140 Днепропетровского завода и Челябинского трубопрокатного завода, современные прошивные станы Челябинского трубопрокатного завода, Северского трубного завода, Таганрогского металлургического завода, Волжского трубного завода и Павлодара.

Для нахождения шага подачи, начиная с основополагающих работ П. Т. Емельяненко, необходимо определить распределение коэффициента вытяжки $\mu(x)$ по длине очага деформации. Так как коэффициент вытяжки μ является отношением площадей, то представляет интерес описание формы поперечного сечения прошиваемой заготовки и определения его площади.

И. А. Фомичевым было предложено внешний контур поперечного сечения описывать спиралью Архимеда. Однако данная рекомендация может использоваться только для описания поперечного сечения заготовки до носка оправки. После носка оправки, прошиваемая заготовка имеет два контура: наружный и внутренний, которые не могут быть описаны только спиралью Архимеда.

В данной работе описание контура деформируемой заготовки после отрыва от валка до встречи с линейкой дано в виде спирали Архимеда, а последующей части контура - в виде «кусочно-гладкой» кривой. Также можно рассматривать поперечное сечение в виде эллипсов (наружного и внутреннего), большие оси которых определяются расстояниями между валками и линейками и текущим диаметром оправки.

Значения площадей расчетных поперечных сечений сравнивали с данными обмеров темплетов, полученных на заторможенных недокатах прошиваемых заготовок в промышленных станах.

В экспериментах прошивали непрерывнолитые заготовки диаметром $D_3=145$ мм на трех прошивных станах различных трубопрокатных агрегатов (ТПА) ОАО «ПНТЗ» (табл. 1) и вырезали темплеты поперечных сечений с обязательным получением темплетов в сечениях $A-F$ (см. рис. 4).

Темплеты шлифовали и на координатном столе, сопряженном с ПК, проводили геометрические замеры через каждые 12 градусов по периметру сечения. В табл. 2 приведены примеры (через 36 градусов) зависимости внешнего и внутреннего диаметров гильзы в сечении пережима от угла годографа ω .

Подобные измерения темплетов были проведены для всех режимов, указанных в табл. 1.

Зная радиус на каждом участке годографа, можно, разбив на секторы годограф, посчитать площадь и периметр:

$$F_i = \frac{\pi \cdot R_{срi}^2 \cdot \gamma}{360}, \quad (13)$$

$$P_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{срi} \cdot \gamma}{360}, \quad (14)$$

где i – номер сектора; γ – угол сектора равный 30 град; $R_{срi}$ – средний радиус по сектору

$$R_{срi} = \frac{R_{секi} + R_{секi+1}}{2}.$$

Таблица 1

Режимы прошивки

Стан	Диаметр гильзы $D_{Г}$, мм	Толщина стенки гильзы $S_{Г}$, мм	Расстояние между		Диаметр оправки $d_{О}$, мм
			валками b , мм	линейками a , мм	
30-102	145	18	126	136	98
160	150	18,5	126	136	96
220	151	15,5	131	142	108
220	156	10	132	143	129

Таблица 2

Характеристика поперечных сечений гильзы в пережиме валков
(ТПА 220, гильза $D_{Г} \times S_{Г} = 151 \times 15,5$ мм)

Угол ω , град.	Радиусы, мм		Угол ω , град.	Радиусы, мм	
	наружный $R_{Н}$	внутренний $R_{В}$		наружный $R_{Н}$	внутренний $R_{В}$
0	71,9	46,2	216	59,2	35
36	64,7	40,1	252	68	46
72	74,5	50,3	288	68,3	46,8
108	73,7	51,3	324	68,3	51,3
144	71,7	53,9	360	68,4	50,7
180	67,6	42,6			

Рассчитав по выражениям (13) и (14) площадь и периметры секторов внутреннего и внешнего контуров, можно найти суммарные геометрические параметры сечений.

Площадь поперечного сечения

$$F_{\text{поп.сеч.}} = \sum_{30}^1 (F_{Нi} - F_{Вi}),$$

где индексы «Н» и «В» обозначает внутренний и наружный контур.

Наружный и внутренний периметры

$$P_{\text{поп.сеч.Н}} = \sum_{30}^1 P_{Нi},$$

$$P_{\text{поп.сеч.В}} = \sum_{30}^1 P_{Вi}.$$

Также применялось построение поперечного сечения кусочно-гладкими кривыми (секторами окружностей и эллипсов). Но при этом аналитические формулы будут более громоздкими, что усложняет их анализ.

Обработанные экспериментальные данные и результаты математического анализа сравнили по геометрическим параметрам: площади, периметру и коэффициенту вытяжки для пяти поперечных сечений.

Максимальная относительная ошибка по длине очага деформации для площадей и коэффициентов вытяжки (ТПА 220, гильза $D_{Г} \times S_{Г} = 151 \times 15,5$ мм) для двух вариантов описания поперечного сечения составляют 3-5% и 3,5-6,5% соответственно. При

сравнении с экспериментальными данными при определении числа шагов ошибка не превышает 3%, а при расчете параметра Одквиста составляет менее 2,5% (рис. 6).

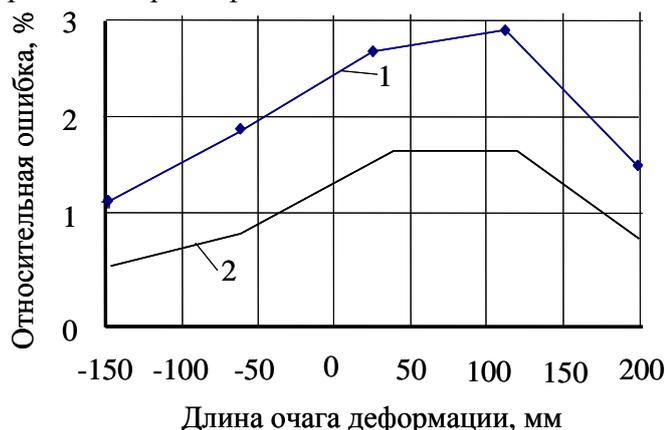


Рис. 6. Распределение относительной ошибки числа шагов 1 и параметра Одквиста 2

Исследование режимов прошивки заготовок на математической модели

Кинематические особенности при прошивке заготовок в станках разных типов

Для сравнения, были проведены расчеты без учета меридиональных углов и с их учетом: рассчитаны геометрические характеристики очага деформации и параметры циклического формоизменения в точке встречи заготовки с оправкой *B*, в пережиме валков *C*, в точке схода гильзы с рабочего участка оправки *D* (см. рис. 4).

В табл. 3 приведены следующие параметры: ширина контактной поверхности b_k , меридиональные углы по заготовке (ψ_k – угол встречи с заготовки с поверхностью валка, ψ_M – угол отрыва заготовки от поверхности валка, $\Delta\psi$ – разница меридиональных углов), N и Λ_Σ – число шагов и накопленная степень деформации сдвига до рассматриваемых сечений.

Таблица 3

Сравнение расчетных параметров на станках разной конструкции

Вид валка	Бочка			Гриб			Чашка		
	0			-7,0			+7,0		
Угол раскатки $\beta, ^\circ$									
Сечение	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
χ	-96,44	0	63,56	-97,27	0	62,73	-95,59	0	64,41
ψ_k	-19,39	-22,25	-15,11	15,72	13,16	20,74	-55,07	-57,43	-49,44
ψ_M	-2,69	-0,55	1,97	30,92	33,27	35,68	-36,36	-32,97	-31,47
$\Delta\psi$	16,70	19,32	13,13	15,20	20,10	14,93	18,71	24,46	17,97
b_k	15,59	19,32	15,99	14,26	18,01	14,04	17,45	21,97	17,03
N^*	6,16	14,99	18,56	5,38	12,69	15,63	4,96	12,10	15,12
	6,58	15,96	20,08	6,94	16,35	20,41	6,33	15,63	19,84
**	6,92	6,47	8,19	28,92	28,84	30,58	27,44	29,17	31,22
Λ_Σ^*	1,78	17,03	20,61	2,38	17,41	21,10	1,39	14,70	17,99
	1,93	14,83	18,31	1,84	17,27	20,85	1,55	12,94	16,26
**	8,26	12,92	11,16	22,78	0,80	1,18	10,83	11,97	9,62

* - расчетные выражения без учета меридиональных углов (знаменатель), с учетом (числитель);

** - разность параметров циклического формоизменения, %, рассчитанных по выражениям без учета и с учетом меридиональных углов.

Сравнивая полученные значения, можно заметить, что ранее выявленная тенденция о влиянии конструктивной схемы на накопленную степень деформации сдвига сохраняется: в стане с чашевидными валками она наименьшая, а в стане с грибовидными валками – достигает наибольших значений. При расчете без учета меридиональных углов количество шагов от схемы расположения валков изменялось незначительно и могло доходить до $\pm 4\%$ относительно бочковидного стана.

С учетом всех кинематических характеристик наблюдается интересная тенденция по изменению количества шагов. Во-первых, при сравнении разница в количестве шагов может достигать 30%. Во-вторых, при сравнении количества шагов, рассчитанных по методике, предложенной в данной работе, можно заметить, что в стане с бочковидными валками наблюдается возрастание по сравнению со станами с грибовидными и чашевидными валками (14 - 18%).

С учетом меридиональных углов, рассчитанных в данной работе, накопленная степень деформации сдвига может отличаться на 28%. Также более выраженную картину видим и при сравнении станов с разным расположением валков (бочковидным, чашевидным и грибовидным) по накопленной степени деформации она составляет 33%.

Малые и средние трубопрокатные агрегаты России и Украины

Для анализа работы разных агрегатов использовали опубликованный в литературе коэффициент сравнения

$$k_{cp} = \frac{\sigma_{s1} \Lambda_1}{\sigma_{s2} \Lambda_2},$$

где индексы «1» и «2» указывают на параметры двух сравниваемых станов или режимов.

Коэффициент учитывает термомеханические условия (через структурно-чувствительное свойство – сопротивление деформации σ_s) и деформационно-кинематические особенности (через накопленную степень деформации сдвига Λ).

Методика расчета σ_s основывается на экспериментальных данных исследования процессов деформации и эмпирической зависимости Хайдука М.:

$$\sigma_s = \sigma_{s0} \cdot A_1 \cdot e^{-m_1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot A_3 \cdot \dot{\varepsilon}^{m_3},$$

где $A_1, A_2, A_3, m_1, m_2, m_3$ – коэффициенты, учитывающие свойства материалов и влияние температуры T , степени ε и скорости $\dot{\varepsilon}$ деформации на каждом шаге подачи; σ_{s0} – сопротивление деформации при $T = 1000^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 0,1$ и $\dot{\varepsilon} = 1 \text{ c}^{-1}$.

Степень деформации ε определяли, как истинное обжатие в сечениях B и C для сплошной заготовки и при раскатке на оправке по формулам:

$$\varepsilon = \ln \frac{R_{i-1} \xi_{i-0,5}}{R_i}, \quad (15)$$

$$\varepsilon = \ln \frac{S_{i-1}}{S_i}, \quad (16)$$

где R_i, R_{i-1} – радиусы заготовки перед носком оправки и в сечении, отстоящем на шаг подачи; $\xi_{i-0,5}$ – коэффициент овализации в сечении отстоящем от сечения i на половину шага подачи; S_i, S_{i-1} – толщина стенки гильзы в сечениях пережима валков и отстоящем на шаг подачи.

Среднюю скорость деформации за один цикл обжатия определяли по выражению

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\tau_d}, \quad (17)$$

где τ_d – время деформации на шаге, которое может быть найдено по формуле

$$\tau_d = \frac{\tau_{ц} \omega_i n}{2\pi}, \quad (18)$$

$\tau_{ц}$ – время цикла (для двухвалкового стана цикл будет составлять время полуоборота заготовки); n – число валков.

В свою очередь время цикла $\tau_{ц}$ находим через скорость вращения гильзы

$$\tau_{\text{ц}} = \frac{1}{n u_{\Gamma}}, \quad (19)$$

$$u_{\Gamma} = \frac{u_{\text{в}} m_{\text{ц}} \eta_{\Gamma}}{i}, \quad (20)$$

где $u_{\text{в}}$ – скорость вращения вала; i – отношение диаметра заготовки к диаметру вала в рассматриваемом сечении; $m_{\text{ц}}$ – направляющий косинус окружной скорости; η_{Γ} – коэффициент тангенциальной скорости.

Три сравниваемых прошивных стана имеют разные настройки, углы подачи и раскатки и калибровки инструмента: стан 220 ОАО ПНТЗ имеет бочковидные валки, стан 30-102 ОАО ПНТЗ – чашевидные, стан 140 НТЗ – грибовидные. Также эти станы работают на разных углах подачи, соответственно: 8-10; 9-13; 9-12 град., при разной скорости вращения валков.

Общим для этих трех станом является частичное совпадение сортаментных возможностей, поэтому их можно сравнивать при одинаковых и близких диаметрах заготовок и гильз. При сравнении были выбраны режимы из таблиц прокатки, в которых используется заготовки диаметром 150 мм для получения тонкостенных и толстостенных гильз следующих размеров: стан 220 $D_{\Gamma} \times S_{\Gamma} = 153 \times 19$ и 155×9 ; стан 30-102 - 148×19 ; стан 140 - 148×19 и 154×9 .

Сначала сравнили эти станы при работе на заводских углах подачи (табл. 4), затем было проведено сравнение при работе на угле подачи 9 град (см. табл. 4). Для более объективной картины были выбрано по два режима для получения толстостенной и тонкостенной гильзы (верхняя и нижняя строчки в табл. 4). Так как прошивной стан 30-102 имеет ограниченный сортамент гильз, был взят только один режим получения толстостенной гильзы.

Таблица 4

Сравнение станом по параметрам циклического формоизменения

Стан	Угол подачи α , град	Число циклов			Накопленная степень деформации			Температура, °С	Скорость вращения валков, об/мин	Сопротивление деформации, МПа		Коэффициент сравнения	
		$N_{\text{В}}$	$N_{\text{С}}$	N_{F}	$\Lambda_{\text{В}}$	$\Lambda_{\text{С}}$	Λ_{F}			$\sigma_{\text{с}}^{\text{в}}$	$\sigma_{\text{с}}^{\text{с}}$	$k_{\text{срВ}}$	$k_{\text{срС}}$
220	10	<u>7,03</u>	<u>12,0</u>	<u>16,5</u>	<u>5,95</u>	<u>12,25</u>	<u>15,2</u>	1250	<u>100</u>	<u>47,4</u>	<u>68,5</u>	<u>2,25</u>	<u>1</u>
		13,6	22,8	28,0	9,54	19,2	24,1		95	45,2	73,4	1,178	1
	<u>8,01</u>	<u>13,6</u>	<u>18,6</u>	<u>6,25</u>	<u>12,6</u>	<u>15,7</u>	<u>100</u>		<u>44,2</u>	<u>66,4</u>	<u>1,26</u>	<u>1</u>	
	14,2	25,6	31,2	10,3	20,5	23,3	95		44,2	69,3	1,05	1	
30-102	13	4,96	10,03	14,0	2,52	8,74	11,3	1220	120	49,8	80,1	1	0,83
	9	8,59	15,9	22,0	4,71	11,0	13,0		120	46,5	74,5	1	0,98
140 (НТЗ)	11	<u>6,7</u>	<u>11,4</u>	<u>16,0</u>	<u>4,69</u>	<u>11,1</u>	<u>14,8</u>	1225	<u>100</u>	<u>53,4</u>	<u>80,5</u>	<u>1,99</u>	<u>1,06</u>
		11,1	19,7	26,0	6,82	16,7	22,2		100	53,7	83,2	1	0,97
	<u>8,50</u>	<u>14,09</u>	<u>20,0</u>	<u>5,33</u>	<u>12,4</u>	<u>15,0</u>	<u>100</u>		<u>50,1</u>	<u>77,03</u>	<u>1,22</u>	<u>1,14</u>	
	14,5	24,8	32,0	8,72	19,1	23,1	100		49,8	79,7	1	1,07	

По накопленной деформации (см табл. 4) максимальную проработку структуры по всем сечениям удалось получить на стане 220, что вызвано особенностями его калибровки и хорошо коррелируется с количеством шагов. Минимальная проработка структуры получена на стане 30-102 (толстостенные трубы) и стане 140 (тонкостенные трубы).

При сравнении разных станом по деформационно-кинематическому показателю Λ даже при одинаковом угле подачи выводы являются только качественными, так как имеются отличия в калибровке инструмента, в скорости вращения валков и других параметров. Если все характеристики стана и параметры режимов были одинаковы, то это был бы один стан, один режим и сравнения были бы излишни.

В действительности из-за имеющихся отличий параметры циклического формоизменения будут разными. Например, это степень и скорость деформации, температура. В таком случае нужно при сравнении вводить коэффициент несоответствия, который было предложено определять через отношение сопротивлений деформаций σ_s сопоставляемых станом или режимом.

За моделируемый стан в сечении *B* был принят стан 30-102 (толстостенные гильзы) и стан 140 (тонкостенные гильзы). В сечении *C* за моделируемый был взят стан 220. В итоге минимальное значение k_{cp} в сечениях *B* и *C* удалось получить на стане 30-102 (толстостенные гильзы) и 140 (тонкостенные гильзы).

Сравним эти три стана при одинаковых углах подачи (см. табл. 4).

Если при рабочих углах подачи наблюдалось минимальное число шагов на стане 30-102, то на «выровненном» угле подачи картина меняется на противоположную. Объяснить это можно калибровкой валков прошивного стана (самый маленький угол конусности на входе – 2,33 град). Для тонкостенных труб максимальное число шагов получено на стане 140, что также можно объяснить его калибровкой и установкой оправки. Максимальная проработка структуры (параметр Одквиста) получен на стане 220.

За моделируемый стан в сечении *B* был принят стан 30-102 (толстостенные гильзы) и стан 140 (тонкостенные трубы). В сечении *C* за моделируемый был взят стан 220. В итоге минимальное значение k_{cp} в сечениях *B* и *C* удалось получить на стане 30-102 (толстостенные гильзы) и 140 (тонкостенные гильзы).

Кинематические особенности при работе прошивного стана на «подъем-посад»

Для сравнения на математической модели с учетом кинематических параметров и оценки влияния меридиональных углов на ПЦФ были взяты три режима на «подъем-посад» (табл. 5). На этих режимах были рассчитано распределение числа шагов и накопленной степени деформации сдвига по длине очага деформации в зависимости от угла раскатки.

Таблица 5

Режимы прошивки заготовок
(толщина стенки гильз 67 мм, обжатие перед носком оправки $u_0 = 6\%$)

№	Диаметры, мм		Расстояние между валками b , мм	Обжатие в пережиме валков u_{II} , %	Отношения		Коэффициент вытяжки μ
	заготовки D_3	гильзы D_{II}			X/D_3 (см. рис. 1)	длины оправки к диаметру $L_p/d_{опр}$	
1	400	450	360	10	0,52	2,04	1,58
2	400	400	360	10	0,52	1,25	1,81
3	400	360	335	16	0,46	1,92	2,06
4	360	360	317	12	0,5	1,78	1,66
5	360*	360	317	12	0,54	1,64	1,66
6	360	400	317	12	0,52	2,38	1,46

* Все режимы кроме № 5 были получены на угле подачи $\alpha = 8^\circ$, режим №5 $\alpha = 14^\circ$

Также было проведено сравнение с данными, полученными без учета кинематических параметров. Относительная разница при расчете числа шагов при учете кинематики составляет от 1,5 до 6,3%. Относительная разница по накопленной степени деформации при учете кинематики до точки *B* составляет 5-6%, до точки *C* – 7-8%, на выходе очага деформации 10-11%.

Если принять данные, полученные Романцевым Б. А. и Марченко К. Л. по коэффициенту тангенциальной скорости, для станом разных типов получим в числе шагов разницу до 10%, в накопленной деформации сдвига до 15%.

При моделировании задача была сформулирована следующим образом: на прошивном стане агрегата Северского трубного завода требовалось получить гильзы диаметром 360, 400 и 450 мм с толщиной стенки 67 мм, из заготовок диаметром 360 и 400 мм. В табл. 5 приведены использованные при сравнении режимы прошивки заготовок. Их подбирали из таблиц прокатки таким образом, чтобы можно было получить гильзу на действующем прошивном стане. Стоит отметить режим № 3: при получении гильзы на посад было выбрано повышенное обжатие в пережиме валков (16%).

Было проведено исследование влияния угла подачи и схемы расположения валков в пространстве на параметры циклического формоизменения. Оправки подбирали таким образом, чтобы обеспечить одинаковые условия по параметрам конечного формоизменения в сечении B перед носком оправки, как наиболее опасном с точки зрения образования внутренних дефектов на поверхности гильзы.

На рис. 7 показаны зависимости накопленной степени деформации сдвига от угла раскатки. Большинство зависимостей от угла раскатки β имеют общую черту: значение накопленной степени деформации сдвига уменьшается с увеличением угла раскатки, т.е. на грибовидных станах проработка структуры выше, чем на чашевидных.

Относительное расположение кривых объясняется значительным влиянием поперечной деформации в результате деформации заготовки из эллипса в эллипс на каждом шаге подачи. При большем коэффициенте овализации и большем числе циклов эта связь еще более заметна.

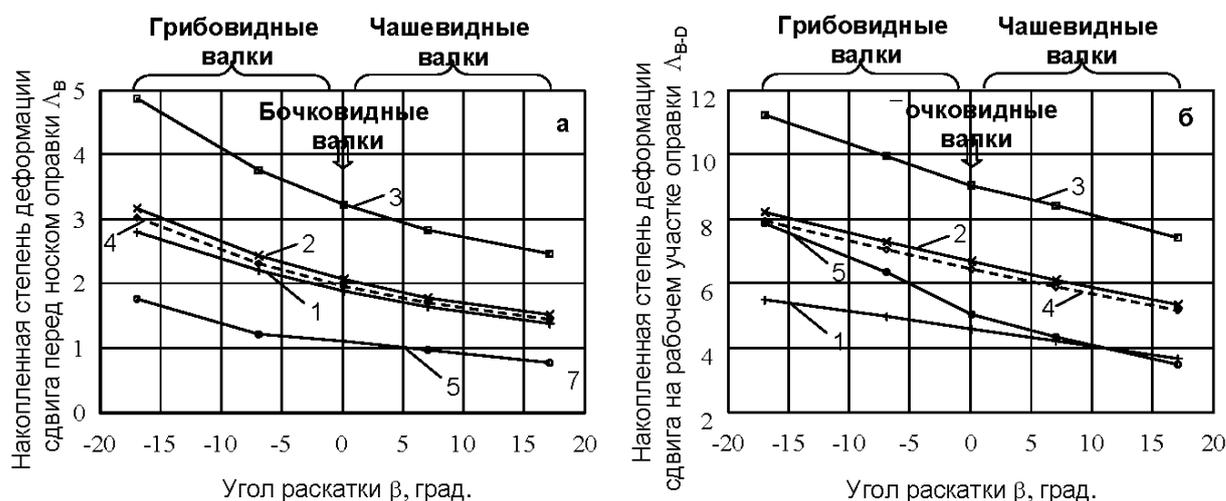


Рис. 7. Зависимость накопленной степени деформации сдвига Λ_{Σ} перед носком оправки в сечении B (а) и на рабочем участке оправки $B - D$ (б) от схемы расположения валков: 1 – угол подачи $\alpha = 8^\circ$ режим прошивки № 1 (см. таблицу); 2 – № 2; 3 – № 3; 4 – № 4; 5 – угол подачи $\alpha = 14^\circ$ режим прошивки № 5; обозначение сечений см. на рис. 4

Разработка практических рекомендаций

Сравнение современных прошивных станов на заводах России и Казахстана

Для сравнения были выбраны режимы прошивки для получения наиболее «массовых» размеров труб, на рассматриваемых станах (табл. 6).

Из особенностей заводских режимов (см. табл. 6) следует отметить различные суммарные вытяжки (1,586; 1,64; 2,696; 2,059). Это приводит к разной длине шага подачи в сечении входа A и разному числу шагов подачи до граничных точек B , C , D и F .

Большое количество шагов на прошивном стане Челябинского завода вызвано малым углом подачи. Количество шагов может изменяться, если взяты разные диаметры гильз и толщина стенок, это видно на примере прошивного стана Павлодарского завода – для расчета взят режим с малой толщиной стенки гильзы и самым большим коэффициентом вытяжки.

Таблица 6

Заводские режимы настройки

Завод (фирма) \ Параметр	Диаметр заготовки, D_3 , мм	Размер гильзы $D_r \times S_r$, мм	Расстояние между валками b , мм	Диаметр оправки, d_0 , мм	Обжатия, %		Отношение X/D_3	Угол подачи α , град
					u_0	u_{II}		
Челябинский (ЭЗТМ)	430	450x80	385	275	7.5	10.5	0.44	4.15
Северский (ЭЗТМ)	360	360x67.5	325	214	5,4	10	0.4	8
Павлодарский (Daniely)	300	328x29	270	260	6	10	0.61	8
Таганрогский (SMS-Meer)	300	328x38	270	235	8.5	10	0.72	10

Как можно увидеть (см. табл. 6), параметры настройки заводских режимов существенно отличаются. Для более адекватного сравнения четырех прошивных станов был выбран «модельный» режим прошивки заготовки диаметром 325 мм в гильзу 350x50 мм, который можно осуществить на всех рассматриваемых станах. Для этого случая были подобраны обжатия в пережиме u_{II} и перед носком оправки u_0 , приведенные в табл.7. Как можно заметить длина оправки подбиралась под заданное обжатие перед носком оправки u_0 .

Таблица 7

Сравнение четырех «больших» прошивных станов ТПА
(угол подачи 10° , диаметр оправки $d_0=235$ мм)

Завод \ Параметр	Расстояние между валками b , мм	Обжатия, %		Отношение X/D_3
		u_0	u_{II}	
Челябинский	292	5,5*	10	0,34
		5		0,32
Северский	286	5,9	12	0,42
		5		0,35
Павлодарский	292	6,3	10	0,58
		5		0,47
Таганрогский	286	5	12	0,44
		5		10

* числитель – диаметр заготовки $D_3 = 325$ мм, знаменатель – $D_3 = 300$ мм, расстояние между валками указано для диаметра заготовки 325 мм.

При сравнении станов разных заводов на одном режиме и угле подачи, суммарная вытяжка составляла 1,5, длина шага подачи на входе и выходе (в точках А и F) равнялась соответственно 50 и 75 мм. Но из-за неодинаковой калибровки валков и длины оправки – количество шагов и накопленная степень деформации сдвига в граничных точках была разная. На стане Северского завода снова были получены оптимальные значения, как по числу шагов подачи, так и по накопленной степени деформации сдвига. При этом следует заметить, что рекомендуется увеличивать проработку структуры при использовании непрерывнолитых заготовок из углеродистых сталей, но одновременно не следует увеличивать количество циклов до носка оправки для недопущения «разрыхления» осевой зоны заготовки и последующего образования внутренних плен.

По сравнению с другими станами на прошивном стане Северского завода получена минимальная проработка литой структуры до носка оправки (рис. 8) и достигается ее максимальное значение на выходе.

После уменьшения диаметра заготовки до 300 мм отмечено небольшое снижение количества циклов до носка оправки, что положительно сказывается на процессе

прошивки. Накопленная степень деформации сдвига существенно не изменилась, по-прежнему наибольшая проработка структуры наблюдается на стане Северского завода.

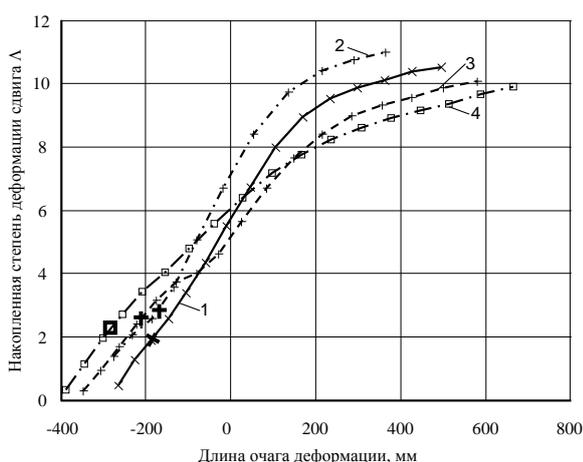


Рис. 8. Распределение накопленной степени деформации сдвига по длине очага деформации:

1 – прошивной стан Челябинского завода; 2 – Северского; 3 – Павлодарского; 4 – Таганрогского; «маркерами» показано положение сечение **B** в очаге деформации

Как меры по совершенствованию режимов прошивки на рассматриваемых станах можно рекомендовать (если это осуществимо в технологическом процессе): изменение углов конусности и подачи; использование более длинных оправок; получение заданных размеров гильз из заготовки большего диаметра; применение повышенных обжатий в пережиме валков. Например, применение заготовки 400 мм вместо 360, сделанное на Северском заводе, является оправданным с точки зрения производительности.

По результатам сравнения четырех прошивных станков, было выявлено, что станы Павлодарского и Таганрогского заводов дают наименьшую проработку структуры по сравнению со станом Северского завода и проектным станом Челябинского завода.

Для увеличения проработки структуры обычно рассматривают изменение угла подачи. Возьмем для примера прошивной стан Таганрогского завода и изменим угол с 10 до 8 град. (см. табл. 7 $D_3=300$ мм). Из-за изменения фактического угла конусности, меняется и обжатие перед носком оправки u_0 с 5 до 6%. При таком изменении угла подачи число шагов увеличится практически в полтора раза (от 1,3 до 1,5 раз на разных участках очага деформации). Накопленная степень деформации увеличится в 1,2 раза.

Изменение обжатия в пережиме и коэффициента овализации так же можно рекомендовать для увеличения проработки структуры.

Использование станков разных типов при работе на «подъем-посад»

Рассматривая деформацию на участке *B-D* с точки зрения проработки литой структуры заготовок по параметру Одквиста, можно сделать вывод, что более предпочтительны для этой задачи станы с грибовидными валками. В условиях больших углов подач их преимущество еще значительнее. Для некоторых режимов значения на угле подачи 14° больше, чем на угле подачи 8° (кривые 4 и 5), что одновременно положительно сказывается на проработке структуры и производительности стана. В общем случае для непрерывнолитых заготовок из углеродистых сталей необходимо уменьшать углы подачи и раскатки и увеличивать отношение $D_3/D_Г$.

Поясним представленные общие рекомендации. Например, при получении тонкостенных гильз (работа на «подъем») можно установить угол подачи $\alpha = 8^\circ$, тогда число циклов при раскатке на оправке $N_D-N_B = 13$.

Увеличение числа циклов в раскатной части при прошивке на подъем способствует лучшей проработке литой структуры металла и улучшает геометрию гильзы.

С увеличением коэффициента вытяжки и отношений $D_3/D_Г$ возрастают число циклов и накопленная степень деформации сдвига как в сечении B , так и в сечении D . Это может вызвать появление или вскрытие имеющихся дефектов на наружной поверхности. Данное заключение согласуется с экспериментальными данными ОАО «ПНТЗ». Поэтому рекомендации по ведению процесса прошивки при разных конструктивных схемах, отношениях $D_3/D_Г$ следует выбирать с учетом качества наружной поверхности исходных заготовок.

При прошивке на "подъем" необходимый угол подачи, определяющий оптимальное число циклов перед носком оправки, меньше необходимого угла подачи при прошивке "размер в размер" и при "посаде".

Прошивка толстостенных гильз ($D_Г/S_Г < 7$) при прокатке на "посад" необходимый угол подачи должен быть увеличен (на $2...3^\circ$) по сравнению с режимами "подъема" и "размер в размер". При этом число циклов на раскатной части будет несколько меньше, чем при других вышеупомянутых режимах.

Проработка структуры (коэффициент Оквиста) в зоне раскатки увеличивается с увеличением тонкостенности гильзы и уменьшением угла раскатки.

Для лучшей проработки структуры металла прошивку гильз целесообразно осуществлять по грибовидной схеме, что согласуется с мировыми тенденциями при выборе типа стана (ЭЗТМ, SMS-MEER, Danieli).

Совершенствование режимов на стане агрегата 159-426 Волжского трубного завода

По данным таблиц прокатки прошивного стана Волжского трубопрокатного завода была построена факторная плоскость параметров конечного формоизменения u_0-u_n (рис. 9). Размещение режимов и выделение зон сделаны по известной в литературе методике. Все режимы, удовлетворяющие требованиям по рекомендациям u_0 , u_n , и X/D_3 , показаны заштрихованной областью 2. Несколько режимов из заводской таблицы прокатки приведены в табл. 8. Эти режимы не соответствуют рекомендуемым значениям обжатий. Стоит отметить, что в заводских режимах прошивки используются большой коэффициент овализации – до 1,2 (рекомендуемый в литературе 1,05-1,08), и большие коэффициенты раскатки k_n .

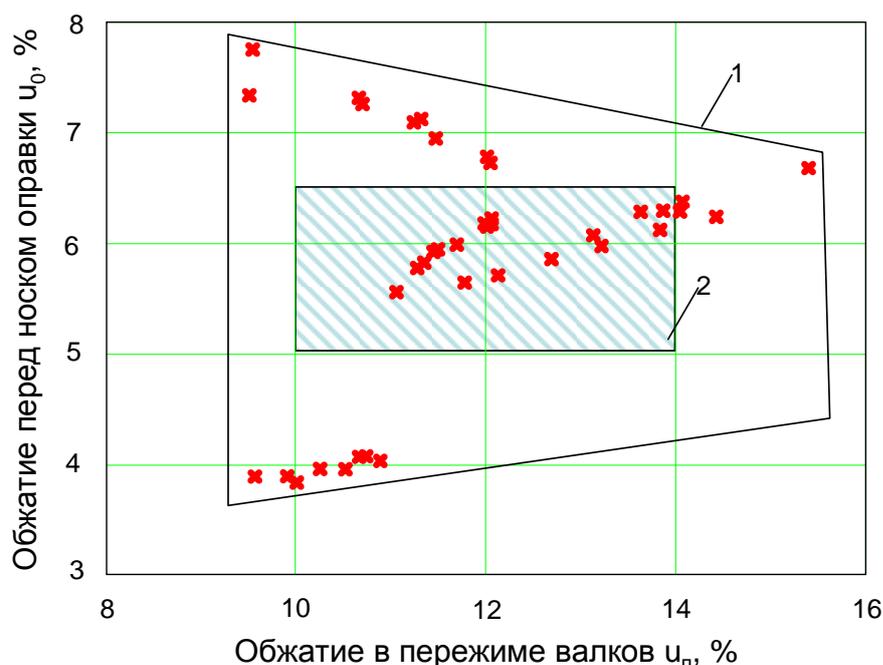


Рис. 9. Схема расположения заводских режимов прошивного стана ВТЗ:
1 – область существующих режимов; 2 – область режимов, обеспечивающих оптимальные условия прошивки и минимальную склонность к образованию дефектов

Таблица 8

Пример заводских режимов прошивки, требующих перенастройки

N	Диаметр заготовки, мм	Диаметр гильзы, мм	Толщина стенки гильзы, мм	Диаметр оправки, мм	Расстояние между валками, мм	Расстояние между линейками, мм	Выдвижение оправки за пережим, мм	Угол подачи, град	Скорость вращения валков об/мин	Обжатие в пережиме валков i_n , %	Обжатие в перед носком оправки i_0 , %	Коэффициент раскатки k_n	Отношение X/D_3
1	260	257	25,5	186	220	257,5	204	11	118	15,4	6,67	20	0,51
2	260	281	34	195	230,8	257,5	88	11	118	11,2	7,09	18	0,56
3	260	281	42	188	235,2	257,8	38	11	118	9,5	7,75	9	0,45
4	410	426	30,5	330	365,4	406,6	282	8	108	10,9	4,03	35	0,33
5	410	426	38	320	368	406,7	249	8	108	10,2	3,96	30	0,31

Используя блок схему перенастройки режимов прошивного стана предложенную Титовой С. В., произвели перенастройку (табл. 9).

Целью предлагаемых режимов прошивки (см. табл. 9) было перераспределить параметры циклического формоизменения для большей проработки структуры. На математической модели МЭИ были рассчитаны параметры циклического формоизменения в граничных точках, для сравнения (табл. 10).

Таблица 9

Предлагаемые режимы прошивки

N	Диаметр заготовки, мм	Диаметр гильзы, мм	Толщина стенки гильзы, мм	Диаметр оправки, мм	Расстояние между валками, мм	Расстояние между линейками, мм	Угол подачи, град	Скорость вращения валков об/мин	i_n , %	i_0 , %	Коэффициент раскатки k_n	Отношение X/D_3
1	260	257	25,5	195	232	250	11	118	10,8	5,4	11	0,55
2	260	281	34	195	232	250	11	118	10,8	5,7	18	0,56
3	260	281	42	180	232	250	11	118	10,8	6,2	17	0,54
4	410	426	30,5	340	365	394	8	108	10,9	5,2	26	0,55
5	410	426	38	330	368	397	8	108	10,2	5,3	20	0,57

Таблица 10

Параметры циклического формоизменения

N	Коэффициент овализации ξ_n	Вытяжка μ_F	Число шагов				Накопленная степень деформации сдвига			
			N_B	N_C	N_{B-D}	N_F	Λ_B	Λ_C	Λ_{B-D}	Λ_F
1	1,17*	2,9	7,7	15,8	9,1	21,2	2,4	8,4	7,1	11,0
	1,08		3,5	10,5	7,6	14,2	3,2	14,7	12,0	18,5
2	1,11	2,0	5,6	8,9	6,0	14,9	2,2	4,9	6,5	10,3
	1,08		6,3	10,2	7,0	16,1	3,3	6,2	7,0	15,1
3	1,1	3,1	5,9	9,3	7,2	16,5	2,3	5,2	6,8	11,7
	1,08		6,8	11,5	8,1	17,8	3,5	6,6	7,7	16,4
4	1,12	3,5	5,4	16,1	13,4	22,3	2,4	11,6	11,3	16,1
	1,08		6,3	17,2	12,7	24,5	2,6	12,4	12,5	18,8
5	1,11	2,8	4,4	12,9	10,4	18,8	2,5	10,5	10,3	14,7
	1,08		6,7	13,5	9,9	19,66	2,9	9,4	11,2	16,1

* Заводские режимы - верхняя строчка; предлагаемые – нижняя.

Перераспределение числа шагов и накопленной степени деформации по длине очага было произведено изменением диаметра оправки, расстояния между валками и линейками.

Анализ полученных настроек (см. табл. 10) показал, что достигнуто уменьшение коэффициента овализации и рекомендуемых обжатий i_n и i_0 при значениях $X/D_3 < 0,6$.

Существующие режимы 4 и 5 в табл. 8 способствовали ухудшению вторичного захвата.

Таким образом режимы, требовавшие корректировки (см. табл. 8), после исправлений отвечают требованиям по параметрам u_0 , u_n и X/D_3 и будут находиться в области 2 на рис. 9.

Основные выводы

1. Через параметры скрещивания предложены формулы для расчета коэффициентов скорости в осевом и тангенциальном направлении движения заготовки и в направлении вращения вала по всей контактной поверхности прошиваемых заготовок в станах разных типов.
2. Разработана методика и аналитические выражения для определения коэффициентов деформации по трем осям с проверкой условия постоянства объемов для каждого объема подачи при единичных обжатиях.
3. С использованием промышленных экспериментов и обработки темплетов заторможенных заготовок сделана оценка точности аналитического описания поперечных сечений прошиваемой заготовки.
4. Выполнено совершенствование математической модели процесса прошивки за счет учета особенностей кинематики станов разных типов и уточнения определения коэффициентов деформации по трем осям.
5. На основании проведенных исследований процесса прошивки определено влияние конструктивной схемы действующих станов в России и в Украине на параметры циклического формоизменения, позволившие оценить проработку структуры непрерывнолитых заготовок и разработать методику сравнения режимов.
6. Предложены режимы использования станов для работы на «подъем» и «посад» и даны рекомендации по их применению при прошивке заготовок из сталей с различной исходной пластичностью.
7. Проведено сравнение современных четырех прошивных станов России и Казахстана, предназначенных для изготовления труб большого диаметра из непрерывнолитых заготовок. Выявлено преимущество стана конструкции ЭЗТМ по сравнению со станами фирм SMS-Meer и Daniely. Предложены рекомендации по изменению параметров настройки и калибровки инструмента для повышения эффективности работы стана.
8. Проведен анализ режимов формоизменения на новом прошивном стане агрегата 59-426 Волжского трубного завода и разработаны рекомендации для улучшения условий вторичного захвата и снижения склонности к дефектообразованию.
9. Получены заключения Днепропетровского и Челябинского трубных заводов об экономической целесообразности практических рекомендаций. Личный вклад автора составляет 320 тыс. руб./год.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:
в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Голубчик, Р. М. Моделирование формоизменения при прошивке заготовок в косовалковых станах. [Текст]/ Р. М. Голубчик, Д. В. Меркулов, Е. Д. Клемперт, М. В. Чепурин, М. В. Новиков, И. А. Татаркин. // Черные металлы. – 2008. – № 11. – С. 11-15.
2. Голубчик, Р. М. Получение труб большого размера на заводах России и Казахстана. [Текст]/ Р. М. Голубчик, Д. В. Меркулов, М. В. Чепурин, И. А. Татаркин, А. В. Канский. // Черные металлы. – 2011. – № 4, – С. 18-22.
3. Голубчик, Р. М. Эффективные режимы прошивки заготовок в станах различного конструктивного исполнения. [Текст]/ Р. М. Голубчик, Д. В. Меркулов, М. В. Чепурин, И. А. Татаркин. // Сталь. – 2011. – № 3. – С. 50-57.
4. Новодережкин, В. П. Коэффициенты осевой и тангенциальной скорости по длине очага деформации при винтовой прокатке. [Текст]/ В. П. Новодережкин, Р. М. Голубчик, Д.

В. Меркулов, М. В. Чепурин, И. А. Татаркин. // Производство проката. – 2011. – № 5. – С. 23-29.

статьи в изданиях, не входящих в перечень ВАК РФ, труды конференций

5. Голубчик, Р. М. Совершенствование математической модели процесса прошивки заготовок. [Текст]/ Р. М. Голубчик, Е. Д. Клемперт, Д. В. Меркулов, М. В. Чепурин, М. В. Новиков, И. А. Татаркин. //Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 11. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології». – 2008. – С. 61-70.
6. Тартаковский, Б. И. Сравнение прошивных станов Синарского и Челябинского заводов по параметрам циклического формоизменения. [Текст]/ Б. И. Тартаковский, М. М. Фадеев, Д. В. Меркулов, М. В. Новиков, М. В. Чепурин, И. А. Татаркин. // Там же. – С. 212-215.
7. Голубчик, Р. М. Сравнение прошивных станов ОАО «ПНТЗ» по параметрам циклического формоизменения. [Текст]/ Р. М. Голубчик, Е. Д. Клемперт, Д. В. Меркулов, М. В. Чепурин, М. В. Новиков, И. А. Татаркин. // Труды научно-технической конференции «Трубы Украины 2008», «Современные тенденции производства сварных и бесшовных труб: технология и оборудование». – Киев. – 2008 г. – С. 18-24.
8. Меркулов, Д. В. Особенности проработки структуры при прошивке непрерывнолитых заготовок в станах разного конструктивного исполнения. [Текст]/ Д. В. Меркулов, Е. Д. Клемперт, Е. К. Медведев, М. В. Чепурин, И. А. Татаркин, А. С.Стещенко. // Труды XIV Международной научно-практической конференции “Трубы - 2009”. Сборник докладов. – Челябинск: ОАО “РосНИТИ”. – 2009 г. – С. 375-381.
9. Голубчик, Р.М. Оптимизация отношения диаметра заготовки к диаметру гильзы при прошивке заготовок в станах различного конструктивного исполнения. [Текст]/ Р. М. Голубчик, Б. И. Тартаковский, Д. В. Меркулов, Е. Д. Клемперт, М. В. Чепурин, Е. К. Медведев, И. А. Татаркин, М. М.Фадеев. // Там же, С. 299-304.
- 10.Меркулов, Д. В. Сравнение процесса прошивки заготовок из коррозионно-стойких сталей при постоянной вытяжке. [Тезисы доклада]/ Д. В. Меркулов, Е. Д. Клемперт, М. В. Чепурин, Е. К. Медведев, И. А. Татаркин. // Труды международной технической конференции «Прогрессивные технологии пластической деформации». –М.: МИСиС. – 2009. – С. 477-478.
- 11.Чепурин, М. В. Сравнение прошивных станов для получения труб большого диаметра. [Тезисы доклада]/ М. В. Чепурин, Д. В. Меркулов, И. А. Татаркин, А. В. Канский. // Сборник трудов третьей всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». – М.: МГТУ. – 2010, – С. 98-99.
- 12.Новодережкин, В. П. Распределение коэффициентов осевой и тангенциальной скорости по длине очага деформации. [Текст]/ В. П. Новодережкин, Р. М. Голубчик, Д. В. Меркулов, М. В. Чепурин, И. А. Татаркин, А. В. Канский. // Труды VIII международного конгресса прокатчиков. -М.: ООО “Объединение прокатчиков, корпорация производителей черных металлов”. – 2010, – С. 517-522.
- 13.Голубчик, Р. М. Сравнение современных прошивных станов России и Казахстана при производстве труб большого диаметра. [Текст]/ Р. М. Голубчик, Д. В. Меркулов, М. В. Чепурин, И. А. Татаркин, А. В. Канский. // Там же, С. 357-361.

Подписано в печать _____ Зак. _____ Тир. _____ П.л. _____

Полиграфический центр МЭИ (ТУ)

Красноказарменная ул., д. 13