

На правах рукописи



ОНУЧИН АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ И  
ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Специальность 05.16.05 - "Обработка металлов давлением"

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 2013

Работа выполнена на кафедре технологии и оборудования трубного производства (ТОТП) в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор **Гончарук Александр Васильевич**

**Официальные оппоненты:**

<b>Котенок Владимир Иванович</b>	доктор технических наук, начальник отдела деталепрокатных станов АХК ВНИИМЕТМАШ им. А.И. Целикова
<b>Минтаханов Михаил Алексеевич</b>	кандидат технических наук, начальник конструкторского бюро перспективного проектирования ОАО «ЭЗТМ»

**Ведущая организация:**

**ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»**

Защита состоится «10» апреля 2013 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.09 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по адресу:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского технологического университета «МИСиС».

Автореферат разослан «7» марта 2013 года

Справки по телефону: (495) 955-01-27

e-mail: [irina@pdss.misis.ru](mailto:irina@pdss.misis.ru)

Ученый секретарь

диссертационного совета



Ионов С.М.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность работы.**

В настоящее время в машиностроении существенно возросла потребность в полых осесимметричных деталях со сложным профилем внутренней и наружной поверхности. На данный момент подобные детали получают из сплошных заготовок либо полностью механической обработкой, либо с предварительными операциямиковки или штамповки, что во всех случаях предопределяет заведомо низкий коэффициент использования металла и сравнительно низкую производительность.

Изготовление полых заготовок методамиковки или штамповки сопровождается повышенной разностенностью полуфабрикатов рассматриваемых деталей, что приводит к увеличению припусков на механическую обработку и существенно повышает как время производства единицы продукции, так и расходный коэффициент. В некоторых случаях в промышленности используются сплошные валы и оси, хотя рациональная конструкция предполагает наличие осевой полости.

На данный момент получение экономичных осесимметричных полых заготовок деталей машиностроения со сложным профилем сдерживается как отсутствием технологических процессов, так и компактного автоматизированного оборудования для их реализации.

Таким образом, актуальной является задача по разработке эффективной технологии и оборудования для производства точных полых стальных осесимметричных заготовок деталей машиностроения со сложным профилем.

### **Цели и задачи работы.**

Целью работы является исследование процесса винтовой прокатки и разработка на его основе технологии получения полых осесимметричных заготовок и оборудования для их изготовления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести анализ и выбрать рациональные схемы прошивки заготовки в толстостенную гильзу и последующего ее профилирования;

$$\frac{D}{S}$$

- изучить процессы прошивки и профилирования в заданном диапазоне  $\frac{D}{S}$  и разработать эффективные калибровки технологического инструмента;
- усовершенствовать методику расчета площади контактной поверхности металла с валком при прошивке толстостенных заготовок и их раскатке, используемую для создания рациональной конструкции рабочих клеток прокатных станов;
- разработать методику построения профиля рабочего вала при прошивке и раскатке в станах винтовой прокатки с помощью САПР SolidWorks;
- разработать конструкцию рабочих клеток для профилирования заготовок деталей буровых замков;
- разработать и реализовать технологию производства полых профилированных заготовок применительно к деталям буровых замков.

#### **Научная новизна:**

- определены рациональные схемы винтовой прошивки и профилирования и технологические режимы их осуществления, обеспечивающие получение точных толстостенных полых заготовок;
- усовершенствована методика расчета площади контактной поверхности при прошивке толстостенных заготовок и их профилировании, адекватность которой подтверждена экспериментально;
- получены новые зависимости изменения кинематических параметров и разностенности толстостенных гильз с  $2,5 < D/S < 4,5$  при прошивке в двух- и трехвалковых станах;
- разработана методика построения профиля рабочего вала на основе формы очага деформации при прошивке и раскатке в станах винтовой прокатки с помощью САПР SolidWorks;
- разработан и исследован новый способ получения осесимметричных заготовок методами винтовой прокатки.

## **Реализация результатов работы:**

По разработанной методике расчета профиля рабочего валка спроектированы, изготовлены и внедрены калибровки рабочих валков для станов винтовой прокатки ТПА 40-80 компании “Сечанг Стил” (республика Корея), ТПА 70-270 ОАО “Выксунский металлургический завод”, АЛПБЗ ОАО “Орский машиностроительный завод”, министан РСР 8-40 ОАО “Очерский машиностроительный завод”.

По усовершенствованной методике расчета энергосиловых параметров проведен расчет усилий, возникающих в процессе прошивки и профилирования в трехвалковых станах винтовой прокатки при получении точных заготовок деталей бурового замка и на их основе спроектированы конструкции валковых узлов и рабочих клеток профилировочных станков.

Разработан и запатентован способ получения заготовок деталей буровых замков винтовой прокаткой (патент РФ № 2299104).

Результаты работы используются в учебном процессе в рамках курса “Технология трубного производства”, при подготовке курсовых и дипломных проектов выпускных работ студентами, обучающимися по специальности 150400 “Обработка металлов давлением” и направлению “Металлургия”.

## **Методы исследований и достоверность полученных результатов.**

В работе использованы современные методы исследования и обработки полученных результатов на основе методов планирования эксперимента и математической статистики.

Для исследования процессов прошивки и профилирования в трехвалковых станах винтовой прокатки выбран экспериментальный метод прямого физического моделирования.

Использовались так же методы построения геометрических моделей валков и конструкции рабочих клеток с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) *SolidWorks*.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы теоретически и подтверждены практически, базируются на

данных, достоверность которых подтверждается использованием современных технических средств и оборудования, применением экспериментальных и теоретических методов исследования, результатами математической обработки данных с использованием вычислительной техники, промышленным апробированием.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения диссертации доложены и обсуждены на: международной, межвузовской научно-технической конференции “64-ые дни науки студентов МИСиС” (Москва, 2009); международной, межвузовской научно-технической конференции “65-ые дни науки студентов МИСиС” (Москва, 2010); 5-ой международной научно-практической конференции "Достижения ученых XXI века" (Тамбов, 2010); международной научно-технической конференции "ПАВЛОВСКИЕ ЧТЕНИЯ" (Москва, 2010); международной молодежной научно-практической конференции “Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа по обработке металлов давлением имени профессора А.Ф. Головина” (Екатеринбург, 2012).

**Публикации.** По теме работы опубликовано 4 статьи в рецензируемых журналах, получен 1 патент РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, изложена на 130 странице машинописного текста, включающего 59 рисунков, 10 таблиц и библиографический список из 127 наименований отечественных и зарубежных авторов.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

**Во введении** дано обоснование актуальности темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна, практическая значимость и приведена структура диссертации.

**В первой главе** проводился анализ опубликованных работ по проблеме изготовления полых изделий, имеющих форму коротких тел вращения: втулки, оси, штифты и другие аналогичные детали. Большинство перечисленных изделий изготавливаются штамповкой на прессах и молотах, ковкой, а в некоторых случаях механической обработкой из сплошных заготовок и труб. Штамповка заготовок, хотя и является универсальным процессом, характеризуется низкой стойкостью и сложностью технологического инструмента, высоким расходным коэффициентом, недостаточной автоматизацией вспомогательных операций.

Фундаментальные исследования процесса прокатки в винтовых калибрах, выполненные во ВНИИМЕТМАШе и ряде других организаций, завершились успешным внедрением в промышленность новых технологических процессов и оборудования для производства осесимметричных заготовок переменного сечения, в том числе с наружными ребрами. Перспективность развития прокатки в винтовых калибрах подтверждается так же работами, проводимыми за рубежом.

В то же время есть потребность в деталях машиностроения (оси, валы, втулки) с отношением длины к диаметру детали  $\frac{L}{D}$ , для получения которых известная технология прокатки кольцевых заготовок не может быть рекомендована в силу громоздкости оборудования, так как на длину бочки вала должно приходиться 3-4 длины требуемых заготовок.

Рассмотрены работы по анализу схем прошивки на станах винтовой прокатки.

В большинстве из них исследования проводились для длинных заготовок  $\left(\frac{L}{D} > 10\right)$  и прошивка велась в гильзу с  $\frac{D}{S} > 4$ . Тогда как значительное количество полых валов и осей изготавливаются из особотолстостенных труб  $\left(2,5 < \frac{D}{S} < 4,5\right)$ , что требует проведения дополнительных исследований.

На основании проведенного обзора научно-технической литературы сформулированы основные задачи исследования.

Выбрать рациональную схему технологических операций для создания инновационной технологии производства заготовок деталей машиностроения со сложным профилем вращения. Поскольку процесс винтовой прокатки отличается универсальностью, высокой степенью автоматизации и обеспечивает хорошее качество внутренней и наружной поверхности изделия, а также высокие физико-механические свойства, предложено использовать его в качестве базового для разработки технологии, включающей прошивку сплошной заготовки в гильзу и профилирование ее по наружной и внутренней поверхности в станах винтовой прокатки.

Для выбора рациональных технологических режимов винтовой прокатки необходимо исследовать формоизменение металла в нестационарных стадиях прошивки и профилирования и разработать эффективные калибровки технологического инструмента.

Разработать методику расчета площади контактной поверхности металла с валком при прошивке толстостенных заготовок и их раскатке для создания эффективной конструкции рабочих клеток прокатных станов.

На основе исследования формоизменения металла в очаге деформации разработать методику построения профиля рабочего вала при прошивке и раскатке в станах винтовой прокатки с помощью САПР SolidWorks.

Во второй главе приведены результаты экспериментальных исследований процесса прошивки заготовок на опытно – промышленных станах МИСиС – 130Д и МИСиС – 130Т, направленных на выявление рациональной схемы прошивки

коротких  $\left(\frac{L}{D} < 10\right)$  толстостенных  $\left(2,5 < \frac{D}{S} < 4,5\right)$  гильз с низкой разностенностью (менее ) и высоким качеством наружной поверхности в связи с отсутствием в ранее проведенных исследованиях информации о влиянии различных технологических факторов на кинематические параметры и точность прошиваемых гильз при отношении  $\frac{D}{S}$  в пределах 2,5 ... 4,5 .



С учетом технических характеристик оборудования и условий проведения эксперимента были выбраны основные факторы и пределы их изменения (таблица 1).

Таблица 1. Факторы эксперимента и пределы их изменения

Факторы	Обозначения	Пределы изменения факторов	
		МИСиС-130Д	МИСиС-130Т
Угол подачи, град.	$\beta$	9, 12, 15, 18, 21	9, 12, 15, 18, 21
Отношение диаметра к толщине стенки гильзы (Диаметр оправки, мм)	$\frac{D}{S} (d)$	2,5; 3,5; 4,5 (22, 48, 61)	2,5; 3,5; 4,5 (22, 48, 61)

Заготовки из стали 40ХН диаметром 110 мм и длиной 300 мм с величиной неперпендикулярности торцев до 3 мм нагревали в камерной электрической печи сопротивления с карбидокремневыми нагревателями в течение 80 минут до температуры 1180°С и прошивали на сферических оправках, изготовленных из стали 30ХГСН2А. Длина консольной части оправочного стержня составляла 320...360 мм. Время транспортировки заготовки от печи до входной стороны прошивного стана составляло 6...8 с.

Валки изготовлены из стали 45, твердость рабочей поверхности составляла НВ 190-195. В качестве направляющего инструмента при прошивке на двухвалковом стане использовали линейки. Материал линеек – высоколигированный сплав бидулоид с твердостью HRC 54-58. Исследования проводили на основе методов планирования эксперимента с использованием матрицы 4×3×3. В качестве факторов, определяющих уровень точности и значение основных кинематических параметров процесса, приняли: отношение диаметра к толщине стенки гильзы, длину исходной заготовки, обжатие в пережиме, которые варьировали на трех уровнях, фактор угол подачи – на пяти с проведением дополнительных экспериментов. Величина коэффициента овализации в сечении пережима составляла 1,12.

При заданной величине обжатия заготовки в пережиме по мере увеличения угла подачи для компенсации искажения очага деформации увеличивали выдвижение носка оправки за пережим, что обеспечивало одинаковые значения  $\frac{D}{S}$  гильзы при различных  $\beta$ .

В ходе исследований определяли основные кинематические параметры, такие как: коэффициент осевой скорости, коэффициент тангенциальной скорости и шаг винтовой линии на наружной поверхности гильз.

Значительное влияние на интенсификацию процесса прошивки оказывает коэффициент осевой скорости. Значение коэффициента рассчитывали по традиционной методике в сечении выхода из очага деформации. Эксперимент показал, что с увеличением отношения  $D/S$  от 2,5 до 4,5 при прошивке гильз на двухвалковом стане ( $U_{\text{П}} = 10\%$ ) коэффициент осевой скорости  $\eta_0$  при угле подачи  $\beta = 9^\circ$  снижается с 0,91 до 0,75, или на , а на трехвалковом стане при аналогичных параметрах настройки очага деформации зафиксировано снижение  $\eta_0$  с 1,16 до 1,01, или на . Следовательно, интенсивность снижения параметра  $\eta_0$  в данных условиях настройки станов в 1,5 раза больше в двухвалковом стане. Наряду с этим уровень абсолютных значений  $\eta_0$ , характеризующих скорость истечения металла в осевом направлении, при прошивке в трехвалковом стане выше соответствующего уровня  $\eta_0$  в двухвалковом стане, особенно при прошивке гильз с отношением  $D/S = 4,5$  (рисунок 1).

Данная картина зависимости  $\eta_0$  от  $D/S$  объясняется тем, что для уменьшения толщины стенки применяют оправки, отличающиеся не только наружным диаметром, но и длиной их рабочей части, причем оправкам большего диаметра соответствует большая их длина. В связи с этим при постоянном значении обжатия заготовки в пережиме валков  $U_{\text{П}}$  установка оправки в калибре осуществлялась таким образом, что оправке большего диаметра соответствовала большая величина ее выдвижения за пережим валков и меньшее расстояние от сечения контакта заготовки с поверхностью рабочих валков до носика оправки.

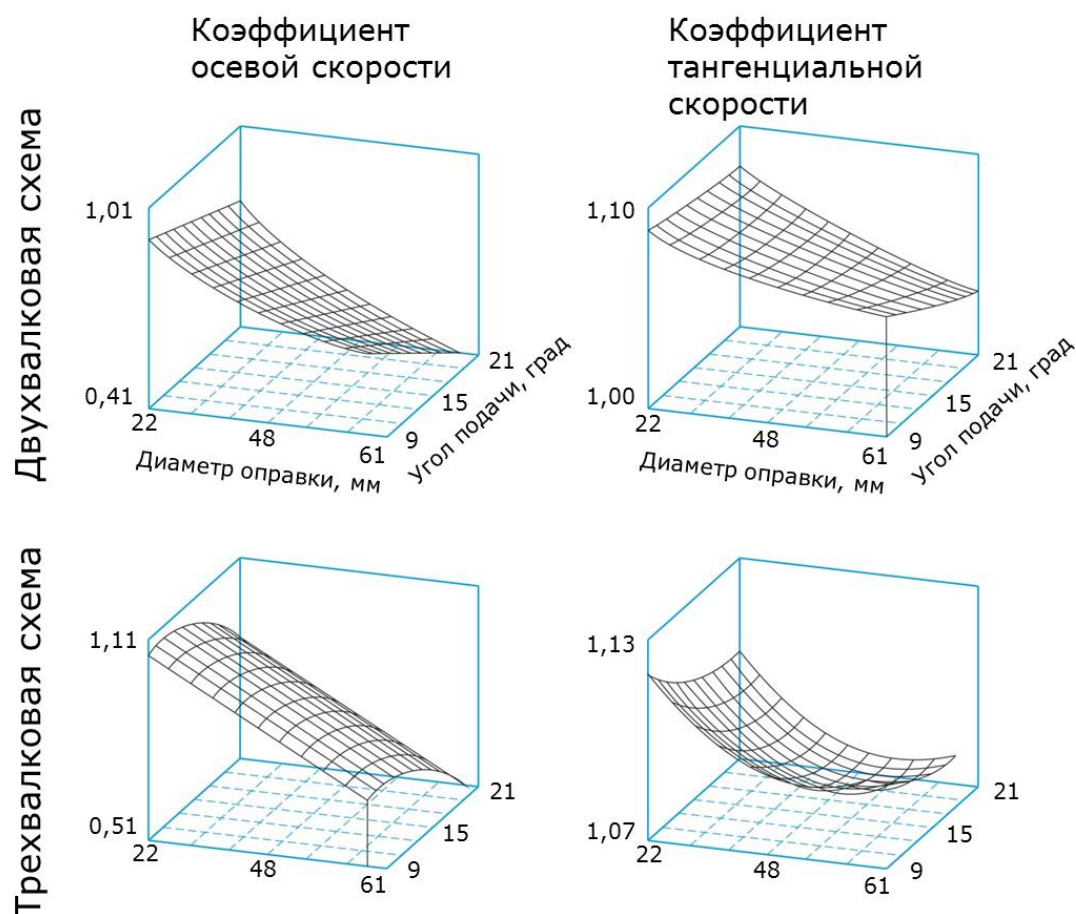


Рисунок 1 – Зависимость кинематических параметров процесса прошивки от угла

подачи и отношения  $\frac{D}{S}$

Таким образом, при прошивке заготовок на оправках большего диаметра не только увеличивалось сопротивление истечению металла в осевом направлении за счет увеличения площади поперечного сечения оправки, но и уменьшался запас тянущих сил на участке первичного захвата заготовки. В связи с этим, поскольку запас тянущих сил трения в трехвалковом стане на 30 – 40% выше по сравнению с двухвалковым станом, прошивку заготовок с отношением  $\frac{D}{S} = 2,5-4,5$  эффективнее осуществлять в трехвалковом стане.

Одним из определяющих технологических показателей процесса прошивки помимо производительности является величина разностенности, особенно для особотолстенных ( $\frac{D}{S} = 2,5-4,5$ ) труб машиностроительного сортамента и заготовок деталей машиностроения.

Зависимость разностенности переднего конца гильз от отношения  $\frac{D}{S}$  при прошивке на двухвалковом стане отличается от разностенности переднего конца

гильз, полученных на трехвалковом стане. Так, при увеличении  $\frac{D}{S}$  с 2,5 до 4,5 мм при  $\beta = 9^\circ$  уменьшается с 15,6 до 11,4%, а при  $\beta = 21^\circ$  - возрастает от 20,6 до 31,6%. В случае прошивки на трехвалковом стане, соответственно снижается с 10,9 до 6,6% и с 12,1 до 7,9%.

Снижение ( $\beta = 9^\circ$ ) при увеличении  $\frac{D}{S}$  объясняется, главным образом, достаточным соответствием продольного профиля оправки профилю утяжки переднего торца заготовки, что обеспечивает благоприятные условия центрирования оправки во время вторичного захвата, а также значительной геометрической жесткостью стержня (повышающейся при увеличении  $\frac{D}{S}$ ) и эффектом самоцентрирования оправки в очаге деформации, особенно при малых углах подачи ( $\beta = 9^\circ$ ).

При  $\beta = 21^\circ$  эффект самоцентрирования оправки снижается, глубина утяжки уменьшается, поэтому, с одной стороны, ухудшается жесткость центрирования оправки заготовкой во время вторичного захвата и увеличивается возможность отклонения и разворота оправки относительно оси прошивки, с другой стороны, снижается коэффициент запаса устойчивости стержня из-за роста осевого усилия металла на стержень.

Снижение при увеличении  $\frac{D}{S}$  связано, прежде всего, с геометрической жесткостью стержня, увеличение которой (за счет диаметра оправки-стержня) сопровождается увеличением коэффициента запаса устойчивости стержня.

Формирование разностенности переднего конца гильзы происходит в течение неустановившегося периода процесса прошивки – заполнения очага деформации, характеризующегося увеличением осевого усилия металла на оправку и на валок с нулевого до максимального значения, увеличением площади контакта металла с рабочим инструментом и изменением абсолютных значений проекции вектора скорости металла на осевое и тангенциальное направления за короткий интервал времени. Оправка, по мере внедрения в заготовку, испытывает нарастающие по абсолютной величине осевые нагрузки, влияющие на параметры изгиба стержня.

Смещение оправки относительно оси заготовки, а также ее разворот на некоторый угол в условиях действия смещающих сил приводит к повышенной разностенности переднего конца гильзы.

Анализ разброса значений разностенности задних концов гильз () показал некоторое превышение этих показателей у гильз, прокатанных на двухвалковом стане в исследуемом интервале отношений  $\frac{D}{S}$ , над разностенностью гильз с трехвалкового стана. При этом уровень разностенности гильз, прошитых с отношением  $\frac{D}{S}$  равным 2,5, в исследуемом диапазоне обжатий в пережиме выше разностенности гильз, полученных с отношением  $\frac{D}{S}$  равным 4,5 (рисунок 2).

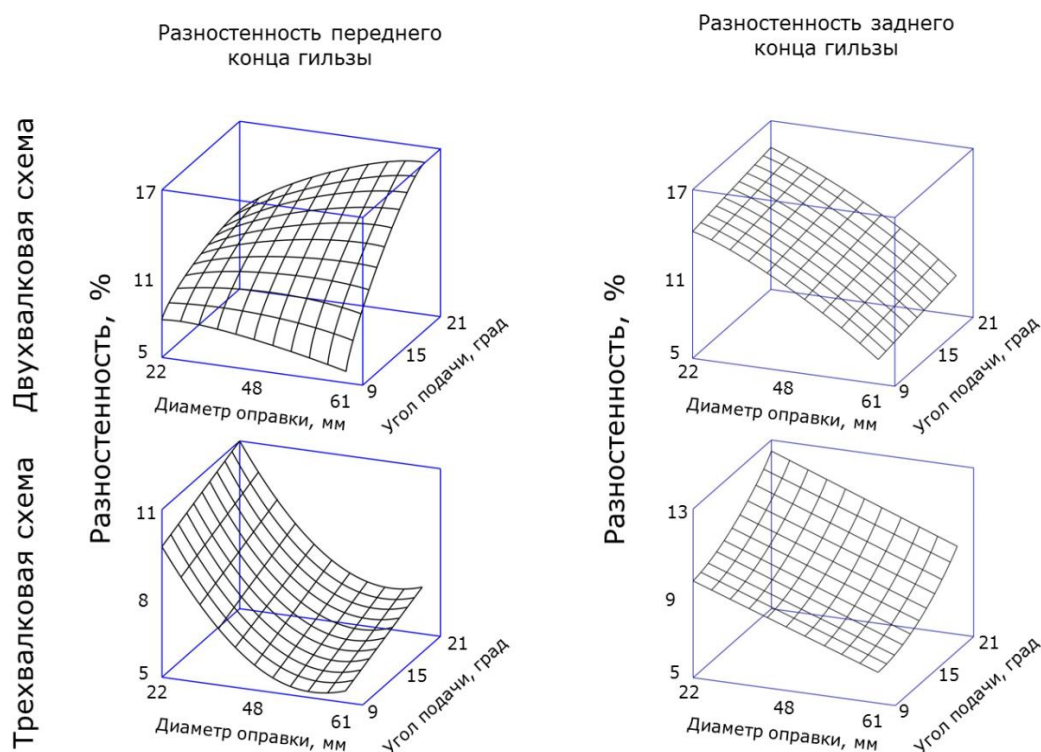


Рисунок 2 – Влияние угла подачи и отношения  $\frac{D}{S}$  на разностенность гильз

При прошивке оправка смещается в ослабленную зону металла. Однако если в двухвалковом стане оправка самоцентрируется по оси прокатки, то в трехвалковом – она смещается с оси прокатки в кольцевую зону. Наиболее явно такие тенденции проявляются в стационарной стадии процесса прошивки, которая при прошивке толстостенных коротких заготовок практически полностью отсутствует.

Таким образом, полученные результаты позволяют сформулировать основные выводы, связывающие диапазон изменения геометрических параметров гильз с заданным уровнем их разностенности, соответствующим типом стана (двух- или трехвалковый) и величиной угла подачи его рабочих валков.

Рекомендуется осуществлять прошивку коротких ( $\frac{L}{D} \leq 9,5$ ) толстостенных ( $2,5 \leq \frac{D}{S} < 4,5$ ) точных ( ) гильз на трехвалковом стане с углами подачи  $\beta = 9 \dots 12^\circ$ .

В третьей главе раскрывается суть методики, позволяющей рассчитать площадь контакта металла с валком при прошивке в стане винтовой прокатки.

Традиционно расчеты энергосиловых параметров винтовой прокатки выполняются по методике А.И. Целикова, в основу которой положено определение геометрии проекции контактной поверхности металла с валком по контрольным сечениям. Как правило, расчеты по этой методике дают заниженные на 20 – 30% значения по сравнению с измеренными при проведении экспериментов, значения площади контактной поверхности, так как не учитывается увеличение ширины контактной поверхности при овализации заготовки в очаге деформации. Для учета этого фактора А.З. Глейберг предложил эмпирическую зависимость, учитывающую эту особенность процесса. Однако использование этой формулы дает значительно завышенные результаты. Позднее Я.С. Финкельштейном была предложена эмпирическая формула для определения площади поверхности контакта металла с валком, учитывающая параметры процесса прошивки, однако определение этих параметров в реальном процессе весьма затруднительно и существенно усложняет порядок расчета. Кроме того, в известных методиках не учитывается искажение очага деформации при развороте валков на угол подачи и раскатки.

В связи с этим была разработана методика расчета площади контактной поверхности металла с валками для прокатки толстостенных гильз с учетом изменения конфигурации рабочего инструмента на каждом цикле обжатия заготовки в очаге деформации и предложена аналитическая формула для учета изменения ширины контактной поверхности на каждом цикле выполняемого расчета.



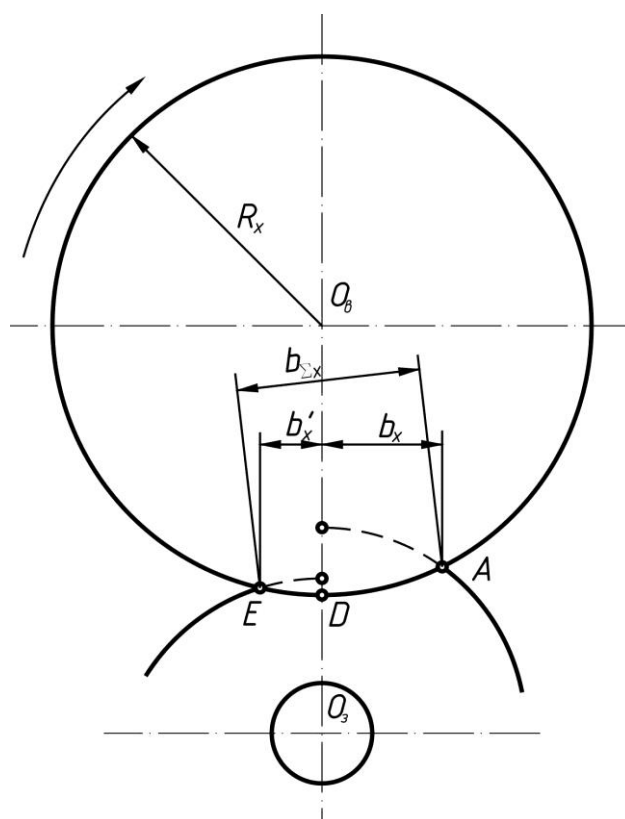


Рисунок 3 - Схема к определению граничных точек контактной поверхности металла с валком

При винтовой прокатке толстостенных гильз отрыв металла от валков происходит, как показано на рисунке 3, таким образом, что точки отрыва металла от валков (точка E, рис. 3) не совпадают с точками, где расстояние от поверхности валка до оси заготовки имеет наименьшее значение (точка D, рис. 3).

Указанное смещение обуславливает формоизменение металла на последующем цикле обжатия заготовки.

На основе анализа кинематики винтовой прокатки П. К. Тетерин предложил, соотношение между скоростью валка и скоростью заготовки на контактной поверхности

$$\overline{v_y} = \overline{w} - \overline{u_y},$$

где

$\overline{v_y}$  — вертикальная составляющая окружной скорости заготовки;

$\overline{u_y}$  — вертикальная составляющая окружной скорости и валка;

$\overline{w}$  — поступательная скорость перемещения точек поверхности валка в направлении нормальном оси прокатки о.

Предположим, что окружные скорости заготовки и валка в точке отрыва Е одинаковы, т.е.  $v = u$ . Исходя из этого условия и согласно рисунку 3, принимая во внимание известные соотношения, и произведя соответствующие преобразования, получим

$$b_{\Sigma x} = \sqrt{2R_X^2 - 2 \left[ \sqrt{(R_X^2 - b_X^2)(R_X^2 - b_X'^2)} - b_X b_X' \right]}.$$

где

$R_X$  — радиус валка в сечении x;

$b_X$  — ширина дуги контакта от точки контакта заготовки с валком (точка А, рис. 3) до точки, лежащей на линии, соединяющей ось валка с осью заготовки (точка D, рис. 3);

$b_X'$  — ширина дуги контакта от точки D (рис. 3) до предполагаемой точки отрыва металла от валка (точка Е, рис. 3).

Каждое сечение характеризуется частным обжатием, диаметрами валка и заготовки, а так же шагом подачи (расстоянием до следующего сечения).

Значения шагов подачи и частных обжатий по длине очага деформации определяем по известным формулам с учетом его искажения при развороте валка на углы подачи и раскатки.

После определения величин шагов подачи ( $L_i$ ) и ширины контактной поверхности на данном шаге, можно составить схему пятна контакта и определить его площадь  $F$ . Суммарная площадь будет равна сумме площадей трапеций ( $A_i$ ),

основаниями которых будут являться длины дуг контакта  $S_i$ , а высотами – шаги подачи.

Для апробации разработанной методики был проведен эксперимент по прошивке заготовок Ø60-65 мм из стали 45 в гильзы Ø60-65 мм с толщиной стенки 5-7 мм. Результаты замеров площади контактной поверхности, проведенных на заготовках, заторможенных в стане в процессе прошивки, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Экспериментальные и расчетные размеры контактной поверхности

Угол подачи, град	Экспериментальные данные, см <sup>2</sup>	Результаты расчета, см <sup>2</sup>
12	25,2	25,4
18	25,3	25,5
24	25,6	26,0
30	27,0	27,9

Сравнительный анализ показал, что отклонения полученных результатов расчета от экспериментальных данных составляет не более 3%.

**В четвертой главе** рассматриваются методики расчета калибровок валков для различных станов винтовой прокатки и алгоритмы их реализации.

До настоящего времени расчеты калибровок осуществляются по методике, разработанной И.Н. Потаповым и В.Г. Ольховым и усовершенствованной для обжимных станов С.П. Галкиным и В.К. Михайловым с использованием итерационного метода решения системы алгебраических уравнений для определения координат точек поверхности валка при симметричной настройке стана винтовой прокатки, когда смещение и эксцентриситет равны нулю. Обычно выбирают систему координат заготовки  $oxuz$  таким образом, что начало координат  $o$  совпадает с центральной точкой очага деформации, ось  $ox$  совпадает с осью симметрии стана и направлена по ходу прокатки, а ось  $ou$  совпадает с осью барабана одного из валков и направлена к барабану. Ось  $oz$  направлена так, чтоб она составляла с осями  $ox$  и  $ou$  прямоугольную правую систему координат. Выбирается также система координат валка  $OXYZ$  таким образом, что начало координат  $O$  совпадает с центральной точкой валка, а ось  $OX$  совпадает с осью валка и направлена по ходу прокатки. Оси  $OY$  и  $OZ$  направлены так, чтобы после поворотов получившейся системы координат сначала на

угол раскатки  $\delta$  вокруг оси  $OZ$  и потом на угол подачи  $\beta$  вокруг оси  $OY$  она стала сонаправленной с системой координат  $oxyz$ . Обозначив расстояние между точками  $o$  и  $O$  через  $P$ , связь между координатами  $X, Y, Z$  и  $x, y, z$  выражается следующим образом:

$$\begin{cases} X = x \cdot \cos \beta \cdot \cos \delta - (y - P) \cdot \sin \delta + z \cdot \sin \beta \cdot \cos \delta; \\ Y = x \cdot \cos \beta \cdot \sin \delta + (y - P) \cdot \cos \delta + z \cdot \sin \beta \cdot \sin \delta; \\ Z = z \cdot \cos \beta - x \cdot \sin \beta. \end{cases}$$

При известной форме очага деформации, профиль которого описывается зависимостью  $r=r(x)$ , где  $r$  – радиус заготовки в очаге деформации в сечении  $x$ , калибровку валка можно характеризовать зависимостью  $R=R(X)$ , где  $R$  – радиус валка в сечении  $X$ , перпендикулярном оси вращения валка. Радиус валка  $R$  есть кратчайшее расстояние от оси вращения валка до поверхности заготовки.

Таким образом, зная угол подачи  $\beta$ , угол раскатки  $\delta$ , расстояние  $P = |oO|$  и геометрию очага деформации по приведенным формулам можно построить зависимость  $R=R(X)$  и оценить калибровку рабочего валка.

Однако вычисления, выполненные с использованием этого метода, дают погрешность, приемлемую для проектирования очага деформации (калибровки валка) прошивного стана, но для построения профиля валков калибровочных или профилировочных станов величина погрешности превосходит допуски на диаметральные размеры прокатываемых заготовок.

В связи с этим для получения сложного профиля валков профилировочных станов заготовок деталей буровых замков была применена графо-аналитическая методика построения, реализованная с помощью САПР-программы *SolidWorks*. В отличие от аналитического метода получаемые результаты имеют наглядное представление и могут интерактивно пересчитываться при оперативном изменении параметров системы валок – заготовка.

Была создана программа на основе разработанной методики. В качестве исходных данных для расчета калибровки валка необходимо указать форму очага деформации и взаимное расположение осей валка и заготовки. После обработки расчетные данные передаются в таблицу *MS Excel*, в которой происходит накопление

данных экспериментов, а так же в подготовленный шаблон файла формата САПР-программы *SolidWorks*, где после перестроения получаем искомый непрерывный профиль валка. Учитывая возможности программы, были реализованы варианты решения обратной задачи – расчета формы очага деформации, а также трехмерное построение системы валков и заготовки, которую впоследствии можно использовать в инженерных программных комплексах, таких как DEFORM, Abaqus. Эта методика с одинаковым успехом может применяться как для трехвалковых так и для двухвалковых станов винтовой прокатки. Результаты расчета профиля валка представляются в виде программы – задания для станка с ЧПУ и рабочих чертежей.

Методика была реализована для построения калибровок валков нескольких станов винтовой прокатки и успешно себя зарекомендовала, в число станов, на которых применяется инструмент, спроектированный по данной методике, входят: ТПА 70–270 ОАО «Выксунский металлургический завод», АЛПБЗ ОАО «Орский машиностроительный завод», стан РСП 8–40 ОАО «Очерский машиностроительный завод», ТПА 40-80 «Сечанг» (Корея).

**В пятой главе** приводятся этапы проектирования стана и конструкции рабочих клеток для профилирования заготовок деталей буровых замков.

В работе использован системный подход С.П. Галкина и Б.А. Романцева к созданию конструкции рабочей клетки на основе разработки единой конструкторско – технологической системы “очаг деформации металла – рабочая клетка – стан”, обеспечивающей получение изделий с заданными характеристиками.

Методика проектирования прокатных клеток согласно разработанной системе может быть условно разделена на следующие этапы:

1. Выбор взаимного расположения осей валков и заготовки. Определение параметров очага деформации и энергосиловых параметров.
2. Выбор рациональной конструкции опорных элементов валкового узла.
3. Определение принципиальной схемы механизма установки валкового узла и разработка его конструкции.
4. Создание замкнутого силового контура станины рабочей клетки,

обеспечивающего минимальные перемещения рабочих валков под заданной нагрузкой.

5. Разработка технического проекта с учетом условий эксплуатации прокатного стана.
6. Расчет напряжений и деформаций в станине рабочей клетки с применением МКЭ.
7. Корректировка конструкции станины для снятия пиковых напряжений.
8. Рабочее проектирование.

В основу новых конструкций клеток были положены следующие принципы: использование станины закрытого типа, расположение рабочих валков при постоянных углах подачи и раскатки, вывод исполнительного механизма установки валков из под прямого действия усилия прокатки.

На рисунке 4 в эскизном варианте представлена разработанная рабочая клетка для профилирования заготовок деталей бурового замка.

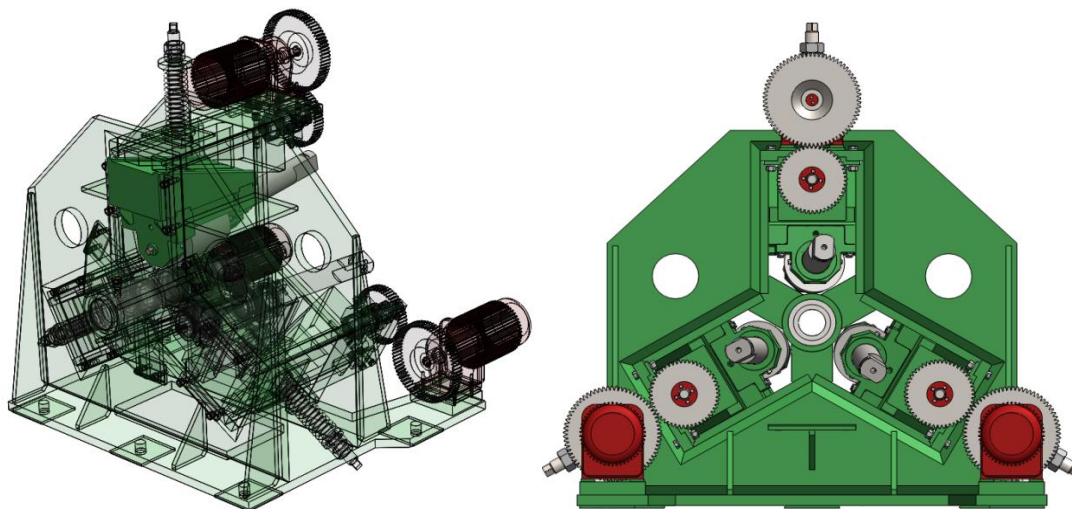


Рисунок 4 - Общие виды клетки профилировочного стана со станиной закрытого типа  
и клиновыми нажимными механизмами

На основании изложенного подхода были сконструированы новые рабочие клетки винтовой прокатки прутков повышенной точности из высокопрочных сталей и сплавов и экономичных заготовок деталей машиностроения: “10...40”, “40...130”, “60...160П”, “Д40...80”.

**Шестая глава** посвящена разработке промышленной технологии и проектированию производственного участка для изготовления точных полых осесимметричных заготовок деталей буровых замков серии ЗП.

Разработанный технологический процесс включает следующие основные операции (рисунок 5): предварительную подготовку заготовки к прошивке (поз. 1, 2), нагрев исходных заготовок (поз. 3), прошивку заготовок в трехвалковом стане винтовой прокатки при углах подачи  $10 - 12^\circ$ , с обжатием по диаметру  $8 - 10\%$  в гильзу с отношением  $2,5 < \frac{D}{S} < 4,5$  (поз. 4), профилирование по наружной и внутренней поверхности в трехвалковом стане винтовой прокатки с углом раскатки  $6^\circ$  при угле подачи  $3^\circ$  на оправке (поз. 5, 6).

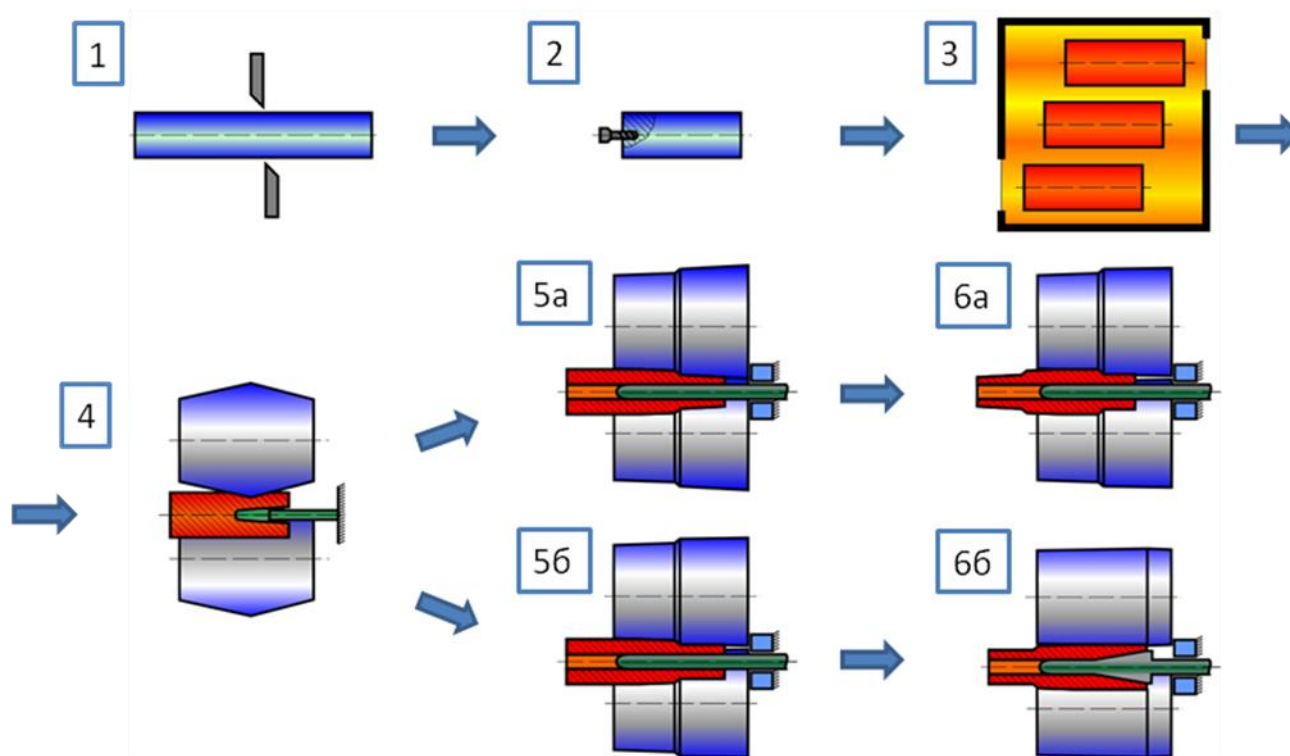


Рисунок 5 - Технологическая схема производства заготовок деталей буровых замков

Для реализации разработанной технологической схемы была спроектирована автоматизированная поточная линия по производству заготовок деталей буровых замков.

На участке предварительной подготовки штанги разрезают на мерные заготовки дисковой пилой, для повышения точности прошиваемых гильз и улучшения условий вторичного захвата на передний торец заготовки наносят зацентровочное отверстие.

Нагрев заготовок осуществляют в газовой или индукционной печи, в случае использования последней необходимо термостатирование заготовок перед прошивкой в электро- или газовой печи в течение 3...7 минут в зависимости от диаметра для выравнивания температуры по сечению. По достижении необходимой температуры заготовки поступают в приемный желоб входной стороны прошивного стана винтовой прокатки. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований процесса прошивки в качестве прошивного средства выбран трехвалковый стан, обеспечивающий в заданном диапазоне отношения  $\frac{D}{S}$  получение гильз повышенной точности с высоким качеством внутренней и наружной поверхности. Из желоба входной стороны заготовки толкателем подаются в очаг деформации, образованный тремя рабочими валками, центры которых расположены симметрично относительно оси прошивки через  $120^\circ$ .

Прошита гильза попадает на выходную сторону стана, откуда ее транспортируют на входную сторону первого профилировочного стана, где происходит профилирование переднего конца гильзы. Процесс окончательного формирования конфигурации изделия осуществляется последовательно за два перехода валками, спрофилированными негативно форме наружной поверхности готового изделия. Одновременно происходит профилирование внутренней поверхности по форме оправки. Как только заготовка в очаге деформации передним торцом касается специального упора, происходит ее выталкивание из очага деформации в направлении, противоположном направлению прокатки, в результате чего профилированию подвергается только определенный участок гильзы, контактирующий с валками.



При возникновении затруднений с прерыванием процесса прокатки в аварийных ситуациях в конструкции клетки предусмотрена возможность быстрого подъема верхнего вала за счет специального выполнения нажимного механизма.

После первого профилирования с помощью качающегося стола заготовка передается на входную сторону второго профилировочного стана, в котором происходит профилирование заднего конца гильзы по аналогичной технологии.

Прокатанные изделия охлаждают до температуры  $40 \dots 60^{\circ}\text{C}$  и передают на участок контроля геометрических размеров и визуального осмотра наружной и внутренней поверхности.

### **Выводы:**

1. Проведен анализ двух- и трехвалковой схем прокатки и выбраны рациональные режимы прошивки ( $U_1\P = 10\%, \beta = 12( )$ ) заготовки в толстостенную гильзу ( $2,5 < \frac{D}{S} < 4,5$ ) на трехвалковом стане винтовой прокатки и ее профилирования ( $U_1\P = 2 - 4\%, \beta = 3( )$ ).

2. Проведено исследование процессов прошивки и профилирования в заданном диапазоне  $\frac{D}{S}$  в очаге деформации в двух- и трехвалковом станах и разработаны эффективные калибровки технологического инструмента для этих станов, позволяющие повысить точность и качество получаемой гильзы.

3. Усовершенствована методика расчета площади контактной поверхности металла с валком при прошивке коротких толстостенных заготовок и их раскатки, обеспечивающая повышенную точность расчетов.

4. Разработана универсальная методика построения профиля рабочего вала на основе геометрии очага деформации при прошивке и раскатке в станах винтовой прокатки с помощью САПР SolidWorks, с помощью которой выполнены рациональные калибровки технологического инструмента, обеспечивающие повышение точности геометрических размеров изделий.

5. На основании данных полученных по вышеупомянутым методикам была спроектирована и реализована рациональная конструкция рабочих клеток прокатных станов закрытого типа с клиновыми нажимными механизмами.

6. Разработана и реализована технология для производства точных профилированных заготовок деталей буровых замков на предприятии ОАО «Орский машиностроительный завод».

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

1. Жигулев Г.П., Фартушный Р.Н., Онучин А.Б. Моделирование и экспериментальное исследование зацентровки и калибровки заготовок в стане винтовой прокатки. «Известия вузов. Черная металлургия», М.: 2008, № 3, с.40-44.

2. Опыт прокатки труб на калибровочном стане винтовой прокатки ТПА 70-270 ОАО «Выксунский металлургический завод» и совершенствование калибровки рабочих валков / В.Я. Зимин, В. П. Пахомов, А.Б. Онучин, Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Е.А. Давыдова //Производство проката. – 2011. – №2 – С. 11-14.

3. Аналитический метод расчета площади контактной поверхности металла с валками при винтовой прокатке / А. Б. Онучин, Б. А. Романцев, А. В. Гончарук, Д. И. Латкин // Производство проката – 2010. – №6 – С. 25-29.

4. Исследование напряженно-деформированного состояния и прогнозирование долговечности станины шаропрокатного стана / А. В. Белевич, А. В. Аборкин, Д. М. Бабин, А. Б. Онучин // Производство проката – 2010. – №11 – С. 45-47.

5. Способ прокатки труб на оправке. Патент РФ №2438808. 10.01.2012. / Романцев Б.А., Рассказов В.В., Онучин А.Б. и др.