

На правах рукописи

Закиров Рамиль Агзамович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЕЗОТХОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА  
МЕРНЫХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ  
И ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Челябинск

2007

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (г. Челябинск).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
Шеркунов Виктор Георгиевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Гун Геннадий Семенович,

кандидат технических наук, доцент  
Крайнов Василий Иванович.

Ведущее предприятие – ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»,  
г. Верхняя Салда.

Защита состоится 17 ноября 2007 г., в 14.00 часов, на заседании диссертационного совета Д212.298.01 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук, профессор

Мирзаев Д.А.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность работы.** В настоящее время, когда каждый производитель старается выпускать продукцию с наименьшими затратами, вырастает спрос на ресурсосберегающие технологии и оборудование для их осуществления.

Важнейшей операцией в технологической цепочке прокатного и кузнечно-штамповочного производства является операция получения мерных заготовок. Существует достаточно много способов разделения сортового проката. Всю их совокупность можно разделить на две группы.

К первой группе относятся способы, основанные на удалении тем или иным образом слоя металла из зоны реза (газовая резка, использование разного типа пил, абразивного и иного режущего инструмента и т.д.). К их недостаткам следует отнести относительно невысокую производительность и, что особенно важно, то, что часть металла попадает в безвозвратные отходы.

Во вторую группу входят безотходные способы, в основе которых лежит определенное внешнее силовое воздействие, приводящее к сдвигу разделяемых частей заготовки. Очевидно, что способы этой группы относятся к материалосберегающим, высокопроизводительным и, как следствие, более экономичным. Именно этим объясняется то внимание, которое уделяют ученые и производственники совершенствованию процессов безотходного получения мерных заготовок. Благодаря их усилиям эти способы нашли широкое применение в промышленности. Но, в то же время, анализ показал, что существуют перспективные способы пока не получившие должного развития. Объясняется такая ситуация тем, что отсутствуют исследования этих процессов, позволяющие научно-обоснованно проектировать технологию и назначать режимы деформации, не созданы работоспособные конструкции деформирующих устройств, не определены рациональные области их применения. К числу таких способов относится способ получения мерных заготовок из круглого проката, основанный на использовании процесса поперечной деформации, который и является объектом настоящего исследования. Актуальность темы диссертационной работы связана с поиском новых технических решений при производстве мерных заготовок из сортового проката круглого сечения. Важность выполнения такого исследования обусловлена тем обстоятельством, что оно обеспечивает научную базу для эффективного использования новых способов и устройств.

**Цель и задачи диссертационной работы.** Целью работы является совершенствование производства мерных заготовок из сортового проката круглого сечения на основе разработки и использования новых технологий и оборудования для поперечной деформации. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать математическую модель процесса получения мерных заготовок, отражающую специфику исследуемого процесса;
- на основе анализа результатов реализации математической модели установить характер взаимовлияния механических свойств деформируемого металла, характеристик очага деформации и параметров деформирующего агрегата;
- определить технологические условия, выполнение которых необходимо для осуществления разделения исходной заготовки;
- выполнить комплекс экспериментальных исследований с целью проверки полученных технических результатов;
- провести анализ качества поверхностей раздела полученных заготовок;
- разработать конструкцию инструмента и устройств, реализующий исследуемый процесс. Экспериментально исследовать работу созданного оборудования и предложить рекомендации по их промышленному использованию.

**Научная новизна работы,** полученная лично соискателем, заключается в следующем:

- разработана и экспериментально обоснована математическая модель, учитывающая деформационные, кинематические и энергосиловые особенности процесса поперечной прокатки, впервые примененного для разделения круглого сортового проката;
- выявлены условия, соблюдение которых необходимо для стабильного протекания процесса. Установлено, что для осуществления процесса к заготовке необходимо прикладывать внешний дополнительный момент. Получены аналитические выражения, позволяющие определить его величину в зависимости от параметров процесса и характеристик деформируемого металла. Из анализа кинематики процесса определено, что разделение заготовки должно произойти при ее вращении на угол не превышающий  $180^\circ$ . Это условие, в зависимости от механических свойств заготовки, обеспечивается углом наклона ножей  $13^\circ \dots 17^\circ 40'$ .
- разработан алгоритм реализации математической модели. Выполнен численный полный факторный эксперимент, анализ результатов которого позволил оценить взаимовлияние основных технологических параметров. В частности, установлено, что влияние коэффициента трения на контактной поверхности невелико. При изменении его значения с 0,05 до 0,15 (т. е. в 3 раза), величина требуемого дополнительного момента изменяется всего на 3...5%. Замечено, что влияние ширины рабочей поверхности деформирующего инструмента особенно заметно при холодной деформации. Так при увеличении отношения ширины ножей к диаметру разделяемой заготовки в 2,7 раза (с 0,6 до 1,4), дополнительный момент, необходимый для

осуществления процесса уменьшается  $\approx$  в 2 раза, а в случае тепловой деформации это влияние не столь значительно.

**Практическая значимость** диссертации определяется новыми техническими решениями, обеспечивающими возможность экономичного производства указанного вида продукции. Разработанный комплекс деформирующих установок, рабочего инструмента, вспомогательных устройств может быть использован как в условиях действующего, так и вновь организуемого производства. Новизна инженерных решений защищена восемью патентами Российской Федерации.

**Реализация работы.** Опытно-промышленная установка УРКП 1600 принята к изготовлению и последующему внедрению на ОАО «Уральская кузница» (г. Чебаркуль) и ОАО «Спецсталь» (г. Челябинск). Ряд материалов диссертации используются при чтении лекций по курсу «Специализированное кузнечно-штамповочное оборудование», курсовом и дипломном проектировании при подготовке инженеров по специальности 12.04.00 «Машины и технологии обработки металлов давлением» в Южно-Уральском государственном университете.

**Апробация работы.** Результаты исследований и конструкторско-технологических разработок доложены на Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии», г. Темиртау, Республика Казахстан, 2003 г.; на Международной научно-технической конференции «Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением», г. С-Петербург, 2005г.; на Международной научно-технической конференции «Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов», г. С-Петербург, 2005г.; на 1-й Российской научно-технической конференции «Кузнецы Урала 2005», г. Екатеринбург, 2005 г.; на ежегодных научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета 2004–2006 г. г.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликованы 16 печатных работ, в том числе 1 публикация в издании, включенном в список ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, приложений и изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 76 рисунков, 6 таблиц и список использованной литературы из 104 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

***Во Введении*** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследования, ее научная новизна и практическая значимость, приведено краткое содержание диссертации и показана взаимосвязь разделов.

**В первой главе**, являющейся обзорной, выполнен анализ работ, посвященных теории и практике производства мерных заготовок, показывается степень изученности рассматриваемого процесса и определяется перечень вопросов, подлежащих изучению. Для системного анализа способов и схем разделения сортового проката использована их классификация, опубликованная в работах Соловцова С.С. и Тимощенко В.А. и дополненная рядом ранее не учтенных способов. В качестве критериев классификации принята траектория смещения разделяемых частей относительно друг друга и степень ограничения перемещения металла в процессе деформации.

Такой подход позволил выполнить сравнительную оценку достоинств и недостатков, присущих каждому из рассмотренных способов.

Отмечено, что отечественные ученые и практики Е.А. Попов, В.Т. Мещерин, К.Н. Богоявленский, В.А. Тимощенко, С.С. Соловцов, В.Г. Кононенко, П.Е. Кислый, В.А. Скороход, А.З. Журавлев, Е.М. Третьяков и др. внесли весомый вклад в решение теоретических и практических проблем производства мерных заготовок. Изучение научно-технических и патентных источников позволило сделать заключение о том, что нет универсальных способов разделения проката. Поэтому, каждый занимает свою нишу в заготовительном производстве. В качестве критерия целесообразности использования того или иного способа выступают либо экономические, либо технологические аспекты. Изученность и конструкторско-технологическая проработка различных процессов не одинакова. Это обстоятельство зачастую является главной причиной того, что одни процессы широко применяются в промышленности, а другие продолжительное время остаются на уровне идеи. К таким малоизученным, но перспективным процессам получения мерных заготовок относится способ, основанный на использовании процесса поперечной деформации.

На основе выводов первой главы были сформулированы цели и задачи исследования, приведенные в общей характеристике работы.

**Вторая глава** посвящена разработке математической модели процесса разделения сортового круглого проката.

На рис. 1 изображена схема, поясняющая суть исследуемого способа. Рабочий инструмент 1 (традиционно при описании разделительных операций применяется термин «ножи») выполнен в виде плоских клиновых ножей, расположенных перпендикулярно продольной оси разделяемой заготовки 2. При движении ножей так, как это указано на рисунке, они обкатывают заготовку, заставляя ее вращаться и одновременно перемещают разделяемые части в плоскости раздела. Очевидно, что обладая своими особенностями, по сути процесс аналогичен поперечной прокатке (или вальцовке) в валках, диаметр которых значительно превосходит диаметр заготовки.

Выделены три стадии протекания процесса. На первой стадии площадь контакта между деформирующим инструментом и разделяемым металлом локализована в линию. По мере внедрения ножей возникает пластическая деформация местного характера – деформация смятия, что приводит к увеличению площади контакта за счет увеличения ее ширины. Дальнейшее развитие пластической деформации приводит к срезу в плоскости действия ножей.

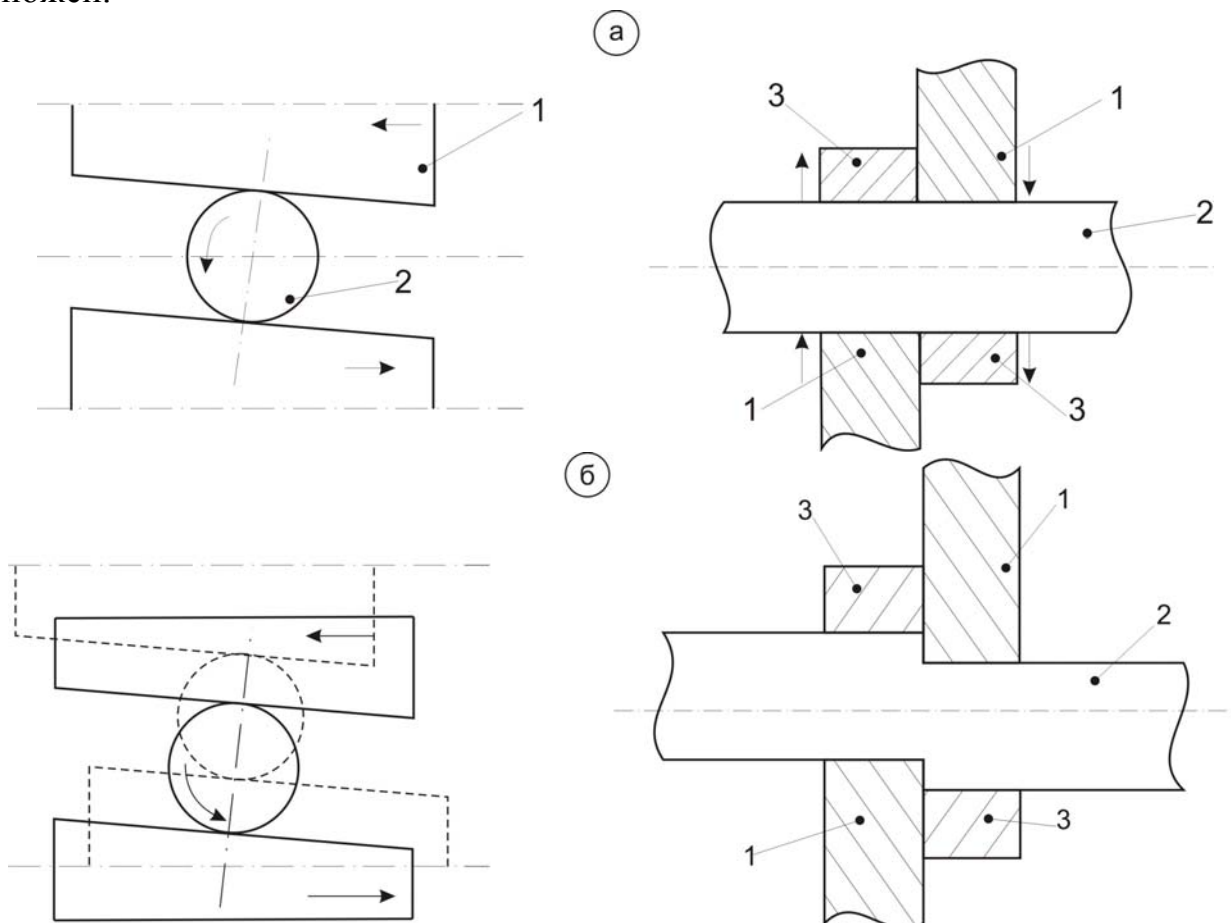


Рис. 1. Схема разделения круглого проката:  
а – исходное положение; б – промежуточное положение;  
1 – ножи; 2 – заготовка; 3 – прижимы

Согласно четвертой (энергетической) теории прочности, опасное состояние для сложного напряженного состояния при деформации пластичных материалов наступает при достижении следующего условия:

$$\sigma = \frac{p \cdot F_{см}}{F_{тек}} \leq [\tau],$$

где  $F_{тек}$  – текущая площадь раздела металла;

$F_{см}$  – площадь контакта инструмента и деформируемого металла;

$p$  – нормальные напряжения;

$[\tau] = 0,6[\sigma]$ ;

$[\sigma]$  – допустимое напряжение на растяжение.

Величина текущей площади раздела определяется зависимостью

$$F_{тек} = 4R_0^2 \cdot \arcsin \frac{\sqrt{R_0^2 - (V_n t \cdot \sin \alpha)^2}}{R_0} - 2V_n t \cdot \sin \alpha \sqrt{R_0^2 - (V_n t \cdot \sin \alpha)^2},$$

где  $R_0$  – радиус заготовки;

$\alpha$  – угол наклона рабочих поверхностей;

$V_n$  – скорость перемещения ножей;

$t$  – время.

В качестве базового условия используется закон сохранения энергии. Для рассматриваемого случая баланс энергии выражается следующим образом:

$$N_n + N_{кр} = N_\phi + N_{ср} + N_{ср} + N_{ТТ}, \quad (1)$$

здесь  $N_n$  – мощность, подводимая ножами;

$N_{кр}$  – мощность, подводимая за счет внешнего момента, приложенного к заготовке;

$N_\phi$  – мощность формоизменения;

$N_{ср}$  – мощность среза;

$N_{ср}$  – мощность сил сопротивления вращению заготовки;

$N_{ТТ}$  – мощность сил трения ножа о торец разделяемой заготовки.

В работе определены составляющие уравнения (1), которое после преобразований получено в виде

$$2(fk_v + tg\alpha)pl_k v_n + \frac{M}{R_0} k_v - \pi R_0^2 \left( \tau_s + \frac{1}{2} \rho \cdot l_0 \cdot f_1 \cdot k_v \right) - \sigma_s v_n \left( \sqrt{\frac{l_k^2}{(1-m)^2} + \frac{16}{3} R_0^2 - l_k \frac{m}{1-m}} \right) = 0, \quad (2)$$

здесь  $m = \sqrt{1 - \frac{l_k^2}{4R_0^2}}$ .

В равенстве (2) приняты следующие обозначения:

$f$  – коэффициент трения на контактной поверхности;

$k_v$  – коэффициент, учитывающий скольжение;

$v_n$  – ширина ножей;

$l_k$  – ширина площади контакта;

$\tau_s$  – напряжение среза;

$\rho$  – плотность материала;

$l_0$  – длина разделяемой штанги;

$\sigma_s$  – сопротивление деформации.

Поскольку равенство (2) содержит три неизвестные ( $p$ ,  $l_k$ ,  $M$ ), для его решения требуются еще два уравнения, связывающих эти параметры. В



качестве одного из них использовано условие минимума энергии, записанное в виде

$$\frac{\partial \Phi}{\partial a_i} = 0,$$

где  $\Phi$  – функционал, представляющий собой полную энергию деформации;  
 $a_i$  – варьируемый параметр, в нашем случае

$$a_i = a_i = \frac{l_k}{R_0}.$$

Третье уравнение получено как результат численного эксперимента при моделировании процесса с использованием программного комплекса DEFORM-3D, последующей статистической обработки результатов и корректировки полученного уравнения с использованием данных натурального эксперимента. Оно имеет вид

$$p = k_M \left( 1 - 3,54 \frac{l_k}{D_0} + 6,05 \frac{l_k^2}{D_0^2} \right) \cdot \sigma_s,$$

где  $D_0$  – диаметр разделяемой заготовки.

На рис. 2 приведены графики, иллюстрирующие некоторые результаты реализации математической модели.

Отмечено, что влияние коэффициента трения на контактной поверхности невелико. При изменении его значения с 0,05 до 0,15 (т.е. в 3 раза), величина требуемого дополнительного момента изменяется всего на 3...5%.

Влияние ширины рабочей поверхности деформирующего инструмента (т.е. параметра определяющего длину площади контакта) особенно заметно при холодной деформации. При увеличении отношения  $v_H/D_0$  в 2,7 раза (с 0,6 до 1,4) дополнительный момент, необходимый для осуществления процесса уменьшается примерно в 2 раза, а в случае теплой деформации это влияние не столь значительно.

Анализ результатов теоретического исследования позволяет определить два необходимых для осуществления процесса условия.

Во-первых, для стабильного протекания процесса требуется подводить в очаг деформации мощность не только со стороны рабочего инструмента, но и за счет внешнего момента, приложенного к исходной заготовке. Поскольку этот момент является управляемым параметром, то, варьируя его значение, можно изменять величину площади контакта и, следовательно, влиять на геометрию поперечного сечения.

Во-вторых, поскольку в процессе деформации происходит взаимное поперечное смещение разделяемых частей при одновременном их вращении вокруг оси заготовки, процесс должен быть завершен при повороте заготовки на угол не более  $180^\circ$ . Это требование определяет величину угла наклона рабочей части деформирующего инструмента. В случае идеальной

пластической деформации в плоскости раздела (т. е. скол отсутствует), величина угла  $\alpha$  должна быть не менее  $17^{\circ}40'$ .

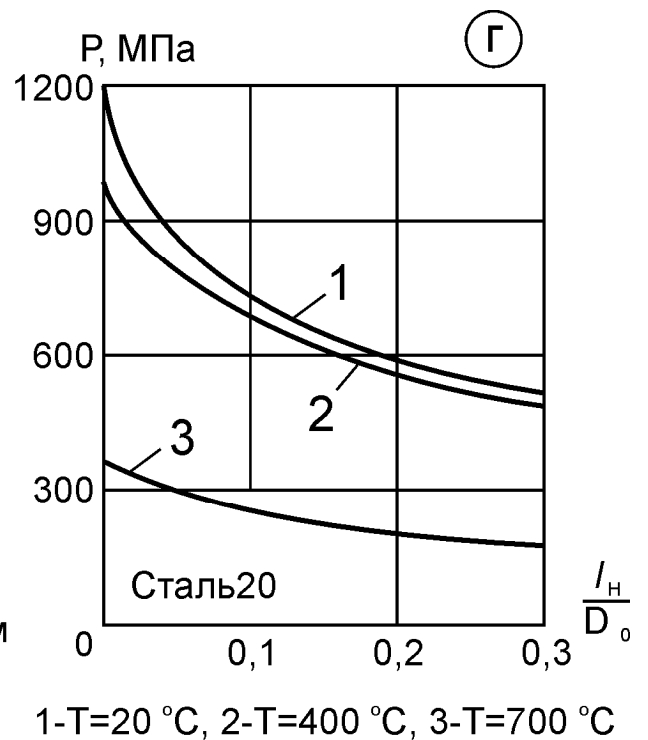
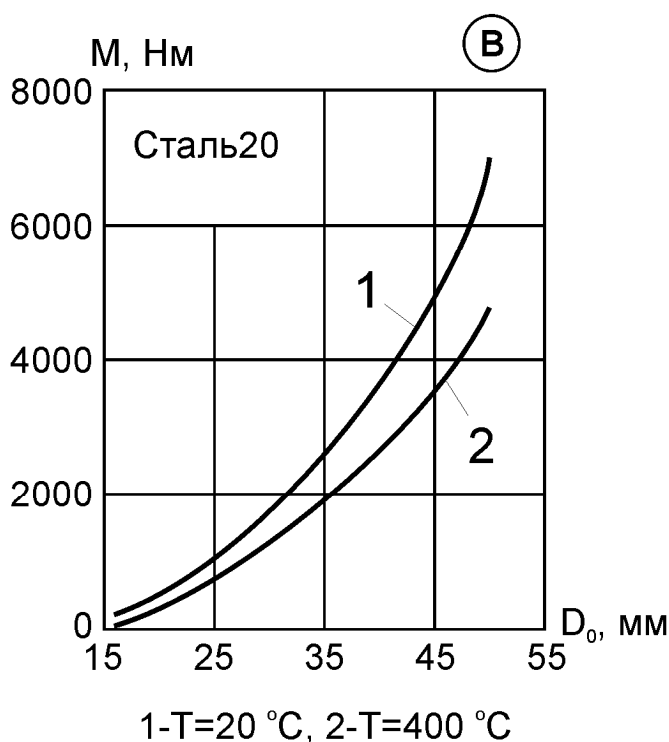
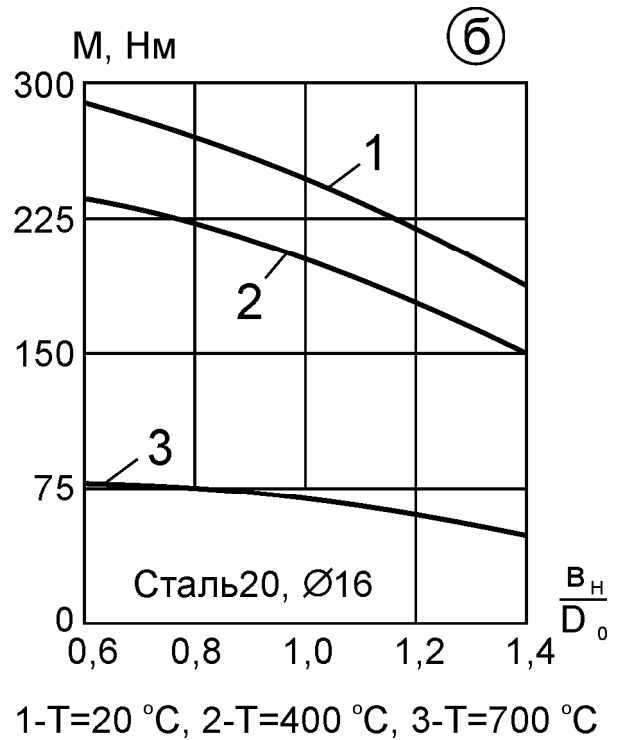
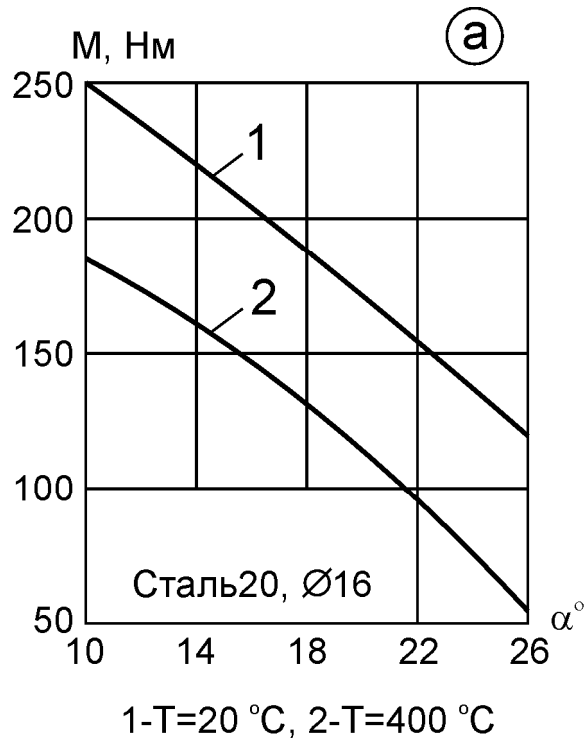


Рис. 2. Зависимость внешнего момента и нормальных напряжений от технологических параметров

*В третьей главе* изложена методика и представлены результаты экспериментальных исследований процесса разделения проката круглого сечения на опытной установке, оснащенной датчиками для измерения усилия отрезки, перемещения ножей и напряжений в станине (рис. 3, рис. 4).

В процессе исследований осуществлялось разделение стальных прутков круглого сечения в холодном и предварительно нагретом состояниях по различным механическим схемам отрезки открытым и не полностью закрытым с активным поперечным прижимом способами с использованием рабочего инструмента различной конструкции (цельные и составные, с гладкими рабочими поверхностями и с насечкой на прижимных плоскостях, с различными углами наклона рабочих поверхностей и др.) При проведении экспериментов были установлены геометрические и энергосиловые характеристики исследуемого процесса и проанализировано качество отрезанных заготовок.

Сопоставление осциллограмм, полученных при отрезке открытым и не полностью закрытым способами, показало, что характер изменения силовых характеристик при отрезке однотипных по свойствам и размерам прутков принципиальных различий не имеет.

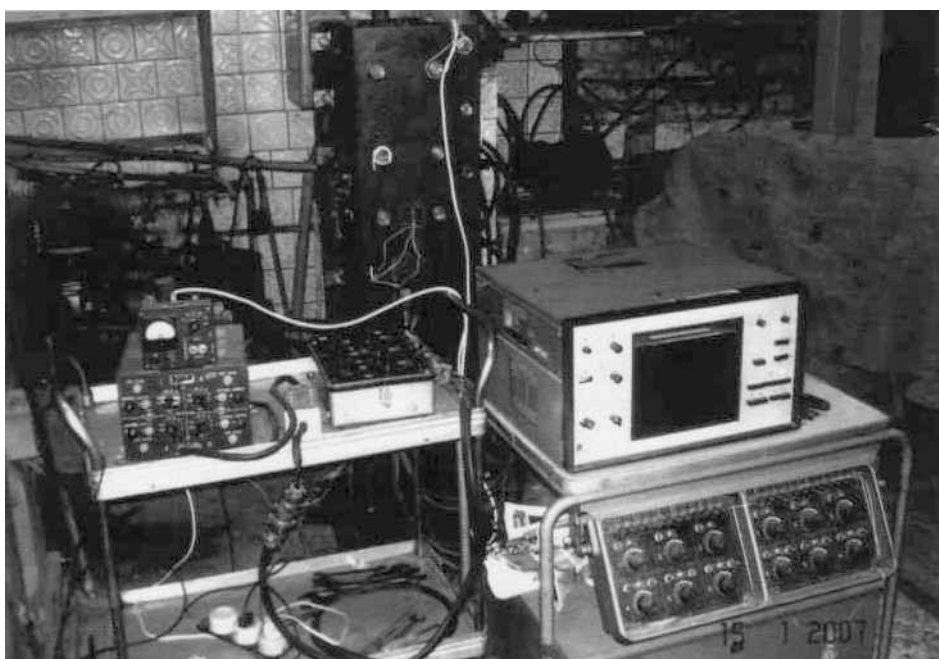


Рис. 3. Опытная установка с тензометрической аппаратурой

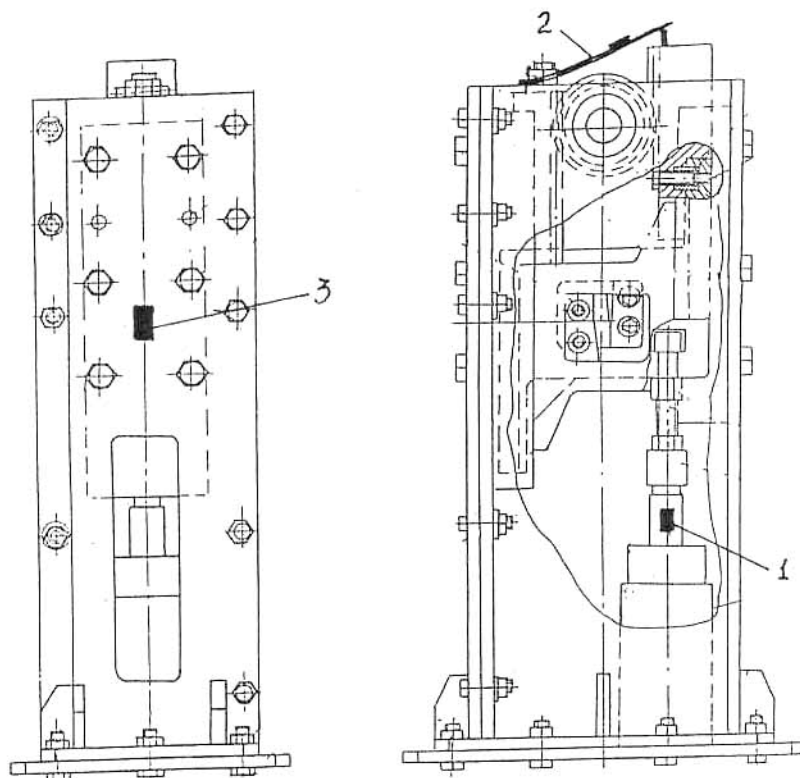


Рис. 4. Схема размещения датчиков замера:

1 – напряжения в станине; 2 – перемещения ножей; 3 – усилия отрезки

Форму кривой усилие–перемещение ножей и наибольшее значение усилия отрезки в обоих случаях определяет характеристика прочности разрезаемого металла, размер его поперечного сечения, температура предварительного нагрева проката и угол наклона режущих кромок ножей. При не полностью закрытом способе отрезки, благодаря наличию активного поперечного зажима падение технологического усилия на участке скола заготовки происходит более плавно. Значение усилия, при котором происходит окончательное отделение отрезаемой заготовки от прутка при резке плоскими клиновыми ножами меньше, чем при отрезке в обычных штампах или на сортовых ножницах. Это связано с тем, что упрочнение металла в зоне реза в процессе отрезки меньше благодаря постоянно изменяющейся точке контакта ножей и поверхности разрезаемого прутка при тангенциальном перемещении ножей.

По результатам исследований определены зависимости работы деформации от угла наклона рабочих плоскостей ножей, влияние температуры разрезаемого проката на усилие и работу деформации, энергозатраты при разрезке прутков для углеродистых, высокоуглеродистых и легированных марок сталей. В качестве иллюстрации, на рис. 5 представлены графики зависимости усилия отрезки от относительной деформации.

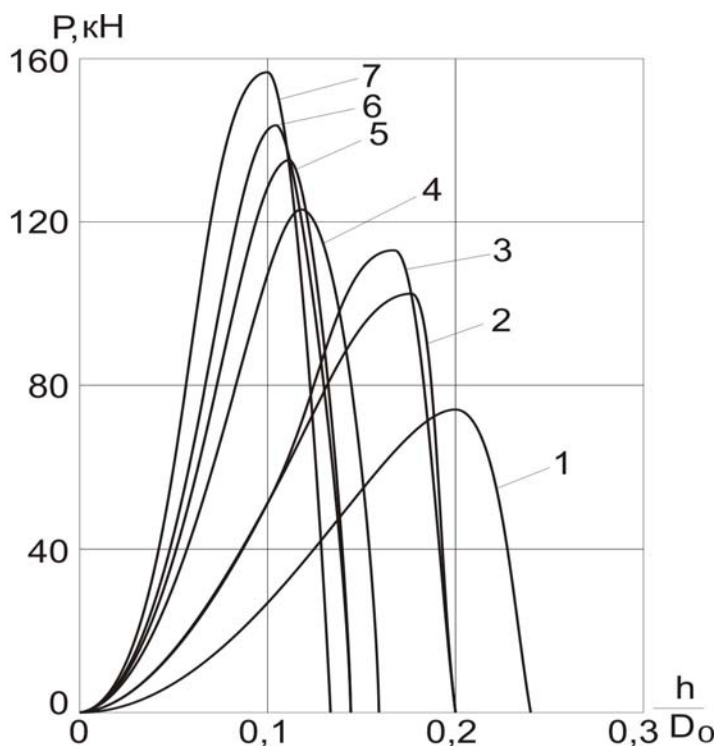


Рис. 5. Графики усилие отрезки – относительная деформация для сталей:  
 1) 20; 2) 45; 3) 40; 4) 60; 5) 65Г; 6) 40Х;  
 7) 40ХН2МА

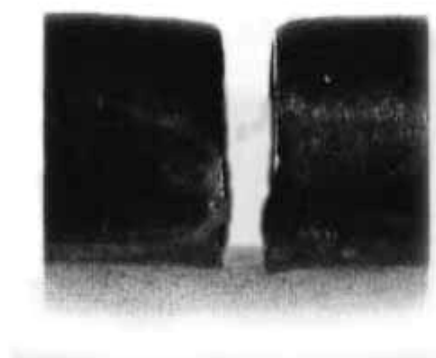


Рис. 6. Фотография бокового профиля торца

При исследовании качества заготовок, отрезанных от прутка был использован комплексный подход, при котором учитывали состояние поверхности среза, состояния металла при торцовых зонах и геометрическую точность.

Применительно к исследуемым механическим схемам отрезки принимались во внимание следующие факторы, влияющие на качество заготовок: механические свойства и качество поверхности разрезаемого проката, способ отрезки и геометрические параметры схемы отрезки, температура прутка, контактное трение, форма ножей и состояние режущих кромок.

Геометрическую точность определяли по абсолютным и относительным показателям результатов измерений утяжки продольной и поперечной, овальности, не параллельности торца и угла скоса, так, как это обычно делается на производстве при оценке точности отрезанных заготовок. В табл. 1 приведены показатели, характеризующие качество заготовки, полученные на опытной установке и обычным сдвигом.

Таблица 1

Сравнительные показатели, характеризующие точность заготовок

№ п/п	Показатели	Открытая отрезка на опытной установке		Открытая отрезка обычным сдвигом	
		Абсолютные значения	Относительные значения	Абсолютные значения	Относительные значения
1	Утяжка продольная	12 мм	0,85	14 мм	0,93
2	Утяжка поперечная	1,5 мм	0,1	3,0 мм	0,2
3	Вмятина продольная	10 мм	0,66	12 мм	0,8
4	Вмятина поперечная	0,5 мм	0,03	1,5 мм	0,1
5	Угол скоса торца	14°	–	23°	–
6	Ширина пластического пояска	4,0 мм	–	3,0 мм	–
7	Овальность торца	–	0,06	–	0,13

На рис. 6 приведена фотография торца заготовки полученной не полностью закрытым способом с активным прижимом в холодном состоянии на опытной установке.

Повысить плоскостность торцов, сократить образование на них дефектов и уменьшить угол скоса позволило выставление минимального осевого зазора между ножами и применение направляющих проводок.

Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований показало, что расчетные значения силовых параметров превышают реальные на 12...27%, что для инженерных расчетов можно считать приемлемым.

**Четвертая глава** посвящена разработке нового оборудования для реализации исследуемого процесса. В основу модели ножниц положена не полностью закрытая с активным поперечным зажимом механическая схема резки плоскими клиновыми ножами, совершающими тангенциальное движение (рис. 7).

В данной схеме резки под воздействием усилия  $P_{np}$  со стороны привода плоские клиновые ножи 1 и 2 совершают встречное движение в тангенциальном направлении, при котором происходит их сближение к центру разрезаемого прутка 3. В результате совместного сближения ножей и вращения прутка происходит постоянное смещение прикладываемого усилия реза  $P$  со стороны режущих кромок 4, 5 ножей 1, 2 по его периметру. В процессе разрезки прутка режущие кромки 4, 5 ножей 1, 2 внедряются в него, а выступы 6, 7 осуществляют поперечный зажим самого прутка и отрезаемой от него части с усилием  $Q$ .

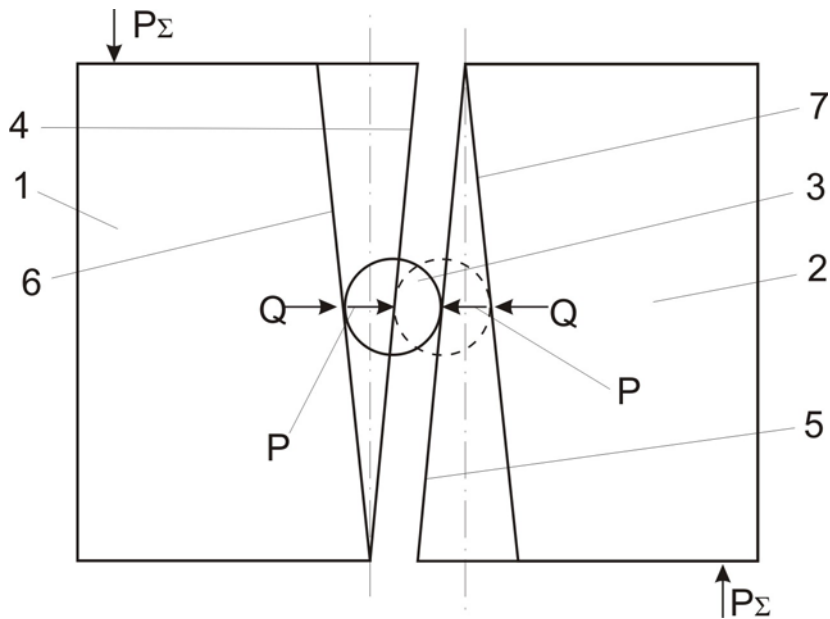


Рис. 7. Схема разделения проката

Наличие активного поперечного зажима стабилизирует положение прутка и отрезаемой от него части, что позволяет получать заготовки с достаточно плоскими и перпендикулярными к ее оси торцами.

На рис. 8 показана принципиальная схема опытной установки, которая включает в себя привод, выполненный в виде гидроцилиндра 1, деформирующий инструмент 2, 3 с рабочими 4, 5 и соответствующими им прижимными плоскостями 6, 7 для прижима прутка и отрезаемой заготовки, выполненные в виде выступов за одно целое с деформирующим инструментом, который перемещается в направляющих 8 и 9. Угол наклона прижимных плоскостей  $\alpha$  равен углу наклона рабочих плоскостей и направлен в противоположную им сторону. Синхронное и взаимосвязанное перемещение ножей осуществляется за счет оснащения их зубчатыми рейками 10, которые связаны между собой шестерней 11.

Установка работает следующим образом.

Пруток 12 подают на требуемую величину в зазор между деформирующим инструментом 2 и 3, который перед началом отрезки находится в соответствующих крайних положениях. Затем включается привод, который сообщает ему встречное движение. Деформирующий инструмент, вращая пруток, постепенно внедряется в него, вплоть до момента отделения отрезаемой заготовки, а наклонные плоскости 6 и 7 выступов на протяжении всего процесса отрезки обеспечивают прижим прутка и отрезаемой заготовки. По окончании отрезки, деформирующий инструмент возвращается в исходное положение и цикл повторяется.

Разработанная и изготовленная (рис. 9) опытная установка рассчитана на отрезку мерных заготовок из прутка диаметром до 40 мм и оснащена

гидроприводом с рабочим давлением жидкости 17 МПа. Габариты установки в плане 525x440 мм, высота 1070 мм.

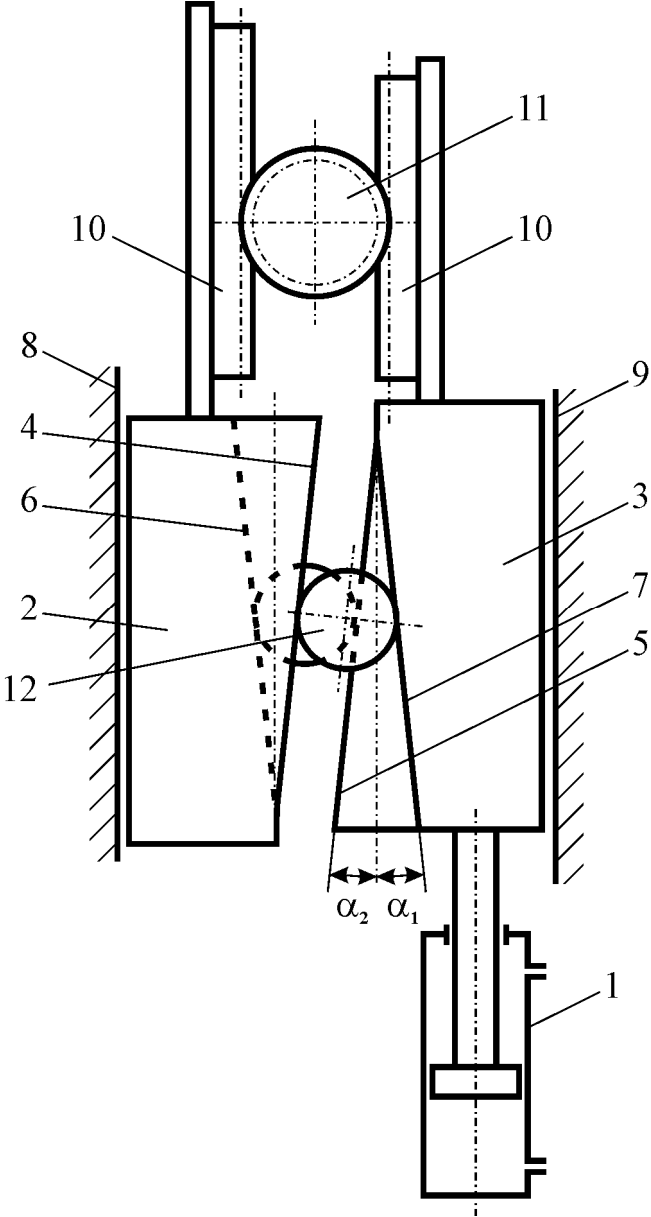


Рис. 8. Принципиальная схема опытной установки





Рис. 9. Общий вид установки с гидростанцией

Разработанная, изготовленная и всесторонне исследованная опытная установка послужила базой для создания опытно-промышленной конструкции установки УРКП 1600 для резки заготовок диаметром от 40 до 100 мм (табл. 2). Этот интервал диаметров для мерных заготовок в кузнечном производстве является одним из наиболее широко востребованным.

Таблица 2

Техническая характеристика опытно-промышленной установки УРКП 1600

№ п/п	Параметры	Единица измерения	Величина
1	Номинальное усилие	кН	1600
2	Ход ножей	мм	160
3	Число ходов ножей	мин <sup>-1</sup>	30
4	Диаметр разрезаемого проката	мм	40...100
5	Длина отрезаемой заготовки	мм	20...500
6	Предел прочности разрезаемого проката	МПа	до 450
7	Мощность двигателя	кВт	22
8	Габаритные размеры	мм	1880x1990x2600
9	Масса ножниц	т	10,6

Кинематическая схема установки приведена на рис. 10.

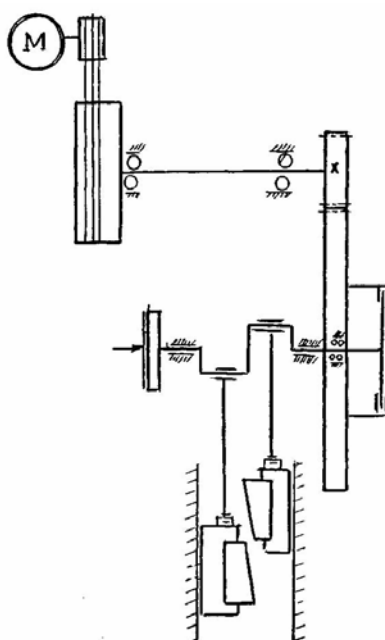


Рис. 10. Кинематическая схема установки УРКП 1600

На базе разработанной установки УРКП 1600 спроектирован механизированный комплекс, в который помимо собственно установки входят механизированный стеллаж СА-13, автоматизированный рольганг, индукционный нагреватель, счетчик заготовок и механизм отбраковки немерных концов. В главе также приводятся защищенные патентами РФ технические решения, направленные на расширение технологических возможностей, в частности: совмещение разделительной и формообразующей операций, вариант одновременного разделения нескольких заготовок, в том числе разного диаметра, конструкция сборного рабочего инструмента.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

В работе решена актуальная научно-техническая задача, имеющая важное народно-хозяйственное значение и состоящая в совершенствовании безотходного производства мерных заготовок из сортового проката круглого сечения.

В процессе теоретических, экспериментальных и конструкторских работ получены следующие основные результаты и сделаны следующие выводы.

1. На современном этапе развития промышленности ресурсосберегающие технологии и оборудование для их осуществления представляют особый интерес. Это объясняет то внимание, которое ученые и производственники уделяют совершенствованию процессов безотходного получения мерных заготовок, как одной из важнейших и обязательных

операций в технологической цепочке прокатного и кузнечно-штамповочного производств.

2. Анализ существующего положения в области производства мерных заготовок, выполненный на основе изучения научных, технических и патентных источников показал, что существуют перспективные способы, пока не получившие широкого применения, что вызвано отсутствием их должной научной проработки. К числу таких относится способ, основанный на использовании процесса поперечной вальцовки, который выбран в качестве объекта исследования.

3. Разработана математическая модель указанного способа, впервые учитывающая особенности его применения для обеспечения разделительных операций. В качестве базового условия использован закон сохранения энергии, записанный для системы деформируемый металл – рабочий инструмент. Модель позволяет определить необходимые геометрические и энергосиловые характеристики такие, как: давление металла на рабочий инструмент, величину дополнительного внешнего момента, величину деформации боковой поверхности заготовки. Выполнен анализ результатов реализации математической модели, впервые качественно и количественно определен характер взаимовлияния основных технологических параметров. Установленные зависимости определяют условия, соблюдение которых обеспечивает стабильное протекание процесса, в частности, показано, что разделение заготовки должно быть осуществлено при ее повороте на угол не более  $180^\circ$ . Полученная научная информация является основой для разработки соответствующих технических и технологических решений.

4. Экспериментальные исследования, проведенные как в лабораторных, так и в промышленных условиях на семи марках стали, показали:

- использование способа поперечной деформации обеспечивает разделение круглого сортового проката;

- сравнение показателей характеризующих точность заготовок, полученных на опытной установке свидетельствует, что даже при разделении прутка самым простым открытым способом, который при традиционной резке в штампах значительно искажает форму получаемых заготовок, обеспечивается высокая устойчивость разрезаемого прутка и повышаются показатели качества. Сравнительный анализ показал, что у заготовок, полученных на опытной установке овальность торца меньше в 2,2 раза, поперечная утяжка меньше в 2 раза, а угол скоса торца не превышает  $14^\circ$ , в то время как в сравниваемом варианте эта величина составляет  $23^\circ$  и более;

- экспериментально полученные данные свидетельствуют о достаточной сходимости с расчетными значениями энергосиловых параметров; расхождение результатов находится в диапазоне от 12 до 27%, что для инженерных расчетов можно считать допустимым.

5. Разработан защищенный патентами РФ комплекс технических решений, включающий в себя деформирующую установку, рабочий инструмент и вспомогательные устройства. В частности, разработана, изготовлена и всесторонне исследована опытная установка для резки прутков диаметром до 40 мм. Ее отличает простота конструкции, не требующая высокой квалификации от обслуживающего персонала, компактность, низкая металлоемкость. Она послужила базой для создания опытно-промышленной установки УРКП 1600, предназначенной для разделения круглого проката диаметром от 40 до 100 мм.

6. Опытно-промышленные установки УРКП 1600 приняты к изготовлению и последующему внедрению на ОАО «Уральская кузница» (г.Чебаркуль) и ОАО «Спецсталь» (г.Челябинск).

7. Ряд материалов диссертационной работы используется в лекционных курсах «Специализированное кузнечно-штамповочное оборудование», «Проектирование инструмента», в курсовых и дипломных проектах при подготовке инженеров по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением» в Южно-Уральском государственном университете.

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

1. Закиров, Р.А. Экспериментальное исследование разделения круглого сортового проката плоскими клиновыми ножами/ Р.А. Закиров // Заготовительные производства в машиностроении. – 2007.– №9.– С.54–56. (включен в список ВАК).

2. Закиров, Р.А. Новое оборудование для резки сортового проката / Р.А. Закиров // Наука и технологии. Серия: Технологии и машины обработки давлением: Избранные труды Российской школы. – М.: РАН, 2005. – С.134–137.

3. Трусовский, В.И. Развитие и совершенствование способов и механических схем резки / В.И. Трусовский, Р.А. Закиров // Наука и технологии. Серия: Технологии и машины обработки давлением: Избранные труды Российской школы. – М.: РАН, 2005. С.129–134.

4. Закиров, Р.А., Численное моделирование процесса разделения сортового проката плоскими клиновыми ножами. / Р.А. Закиров, В.И. Трусовский // Сб. тр. Международной науч.-техн. конф. «Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов». – С-Петербург, 2005.

5. Закиров, Р.А., Совершенствование и развитие производства заготовок из сортового проката. / Р.А. Закиров, В.И. Трусовский, В.Г. Шеркунов // Сб. научн. тр. Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие. – Екатеринбург, 2005. – С. 700–704.

6. Закиров, Р.А., Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния проката в очаге деформации при резке плоскими клиновыми ножами / Р.А. Закиров, В.И. Трусовский, П.А. Ческидов, В.Г. Шеркунов // Сб. научн. тр. Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие. – Екатеринбург, 2005. – С. 153–156.

7. Закиров, Р.А., Новая конструкция ножниц для резки сортового проката круглого сечения / Р.А. Закиров, В.И. Трусовский // Сб. научн.-техн. конф. «Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов ОМД». – С-Петербург. 2005.

8. Закиров, Р.А. Математическая модель разделения проката плоскими клиновыми ножами / Р.А. Закиров // Наука и технологии. Избранные труды Российской школы «К 70-летию Г.П. Вяткина». – М.: РАН, С. 20–21.

9. Патент РФ № 44565 на полезную модель. Ножницы для резки заготовок круглого сечения / В.И. Трусовский, Р.А. Закиров, В.Г. Шеркунов. – № 2004131711/22; заявл. 01.11.2004; опубл. 27.03.2005; Бюлл. №3.

10. Патент РФ № 2283732. Ножницы для резки заготовок круглого сечения / Р.А. Закиров. – №2005123270/02; заявл. 21.07.2005; опубл. 20.09.2006; Бюлл. №26.

11. Патент РФ № 2290281. Ножницы для резки заготовок круглого сечения / В.И. Трусовский, Р.А. Закиров. – №2005119351/02; заявл. 21.06.2005; опубл. 27.12.2006; Бюлл. №36.

12. Патент РФ № 2279953. Устройство для резки заготовок круглого сечения / В.И. Трусовский, Р.А. Закиров, Е.В. Патук. – №2005109210/02; заявл. 30.03.2005; опубл. 20.07.2006; Бюлл. №20.

13. Патент РФ № 43484 на полезную модель. Ножницы для резки заготовок круглого сечения / В.И. Трусовский, Р.А. Закиров, В.Г. Шеркунов. – №2004129103/22; заявл. 01.10.2004; опубл. 27.01.2005; Бюлл. №3.

14. Патент РФ № 2274520. Устройство для резки заготовок круглого сечения / В.И. Трусовский, Р.А. Закиров, В.Г. Шеркунов. – №2004129191/02; заявл. 04.10.2004; опубл. 20.04.2006; Бюлл. №11.

15. Патент РФ № 2277033. Устройство для резки заготовок круглого сечения / В.И. Трусовский, Р.А. Закиров, В.Г. Шеркунов. – №2004137787/02; заявл. 23.12.2004; опубл. 27.05.2006; Бюлл. №15.

16. Патент РФ № 2279952. Устройство для резки заготовок круглого сечения / В.И. Трусовский, Р.А. Закиров. – №2005109209/02; заявл. 30.03.2005; опубл. 20.07.2006; Бюлл. №20.

Закиров Рамиль Агзамович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЕЗОТХОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА  
МЕРНЫХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ  
И ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного университета

---

Подписано в печать 04.10.2007. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,16. Уч. изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 355/70

---

Отпечатано в типографии Издательства ЮУрГУ. 454080, г. Челябинск,  
пр. им. В.И.Ленина, 76.