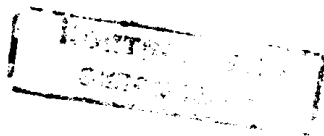


05.03.05

П121



На правах рукописи

ПАВЛОВ Виктор Андреевич

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПРОЦЕССОВ
ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ
ВУЛКАНИТОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Специальность 05.03.05 –
«Технологии и машины обработки давлением»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Магнитогорск
2001

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный консультант — доктор технических наук, профессор Шеркунов В.Г.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Гун Г.С.;

доктор технических наук, профессор Никитин Г.С.;

доктор технических наук, профессор Паршин В.С.

Ведущее предприятие — ОАО Абразивный завод «Ильич» (г. Санкт-Петербург).

Защита состоится « » _____ 2001 г., в _____ ч, на заседании диссертационного совета Д 212.111.03 в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.Н. Носова (455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Магнитогорского государственного технического университета им. Г.Н. Носова.

Автореферат разослан « » _____ 2001 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
профессор



Ю.В. Жиркин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Абразивный инструмент в виде точильных кругов, вырезанных из горных пород, известен с глубокой древности. Однако, качество таких кругов зависит от содержания корунда в горных породах. Поэтому стремление к повышению качества абразивного инструмента привело в конце XIX века к изобретению способов получения искусственных шлифовальных материалов и формования из них со связкой процессами обработки давлением шлифовальных кругов.

Поскольку абразивная обработка материалов получает все более широкое применение в металлообработке, машиностроении и других отраслях промышленности не только для получения заданных точности размеров деталей и шероховатости их поверхностей, но и для замены операций, выполняемых на металлорежущих станках, то требуется постоянное расширение сортамента инструмента и повышение его качества.

Как известно проблема повышения качества продукции — многогранная проблема, включающая вопросы стандартизации, теории, экономики, метрологии, кадров, конструкторской и технологической подготовки производства, организационного и технического его управления и многие другие.

В России в конце 80-х годов было организовано современное крупномасштабное производство шлифовального абразивного инструмента на вулканитовой связке.

Аналогов такому производству в мире не существовало, поэтому большая часть оборудования была разработана впервые или позаимствована из других отраслей промышленности. Прежде всего, это относится к валковому оборудованию для смешения связки и абразивной смеси, а также к поточно-механизированным линиям (ПМЛ), включающим как обычные прокатные клетки дуо, так и оригинальные клетки трио специальной конструкции, вырубные и формовочные прессы.

Технология получения вулканитовой связки, абразивной смеси и заготовок абразивных кругов на ПМЛ путем прокатки из вулканитовых абразивных смесей листов, вырубки из них кольцевых полуфабрикатов и прессования из пакетов заготовок остается до сих пор опытно-промышленной. К основным недостаткам существующих технологий, оборудования и технологической оснастки относятся: недостаточная теоретическая и экспериментальная обоснованность основных процессов обработки давлением исходных материалов и абразивных вулканитовых смесей и отсутствие их системного анализа, а также несоответствие качества заготовок и готового вулканитового инструмента международным стандартам по качеству и, прежде всего, международному стандарту ИСО 9002.

Для повышения качества вулканитового инструмента необходимо, прежде всего, решить вопросы разработки новой нормативно-технической документации (ГОСТов и ТУ), соответствующей международным стандартам, повысить показатели качества по назначению инструмента, его надеж-

ности, по экономному использованию сырья, технологичности получения заготовок и абразивных кругов.

Указанные показатели качества вулканитового инструмента могут быть повышены в первую очередь за счет разработки новой теории процессов ОМД, а также за счет совершенствования существующей технологии изготовления инструмента и модернизации основного оборудования, разработки и освоения принципиально новых прогрессивных процессов обработки вулканитовых абразивных смесей давлением, оборудования и технологической оснастки для их осуществления.

Цель и задачи работы. Целью выполненной работы является развитие теории и практики процессов обработки давлением в производстве вулканитового инструмента. Эта цель может быть достигнута на основе системного экспериментального и теоретического анализа свойств гетерогенной вулканитовой связки с твердыми недеформируемыми включениями в виде абразивных зерен разной формы, математического моделирования процесса валкового приготовления смеси, прокатки листовых полуфабрикатов и принципиально новых прогрессивных процессов и устройств для получения заготовок абразивных кругов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить анализ существующего состояния производства вулканитового абразивного инструмента;
- построить математическую модель взаимодействия высокоэластичной гетерогенной основы, обладающей пластичными и вязкими свойствами, с недеформируемыми твердыми включениями, имеющими разную форму;
- изучить реологические свойства и сопротивление деформации структурно-неоднородных материалов с твердыми включениями;
- исследовать процесс валкового приготовления вулканитовой абразивной смеси, осуществляемой путем сдвиговой прокатки с охватом вулканитовой связкой или абразивной смесью одного из валков, построить математическую модель этого совершенно не изученного процесса;
- экспериментально изучить принципиально новые процессы обработки давлением абразивных смесей, листовых полуфабрикатов, листов и кольцевых заготовок;
- на основе полученных теоретических исследований разработать, проверить и освоить новые прогрессивные технологии, оборудование и инструмент для получения абразивных вулканитовых кругов повышенного качества.

Научная новизна. Предложены гипотезы, открывающие перспективу совершенствования и разработки новых методов аналитического определения сопротивления деформации структурно-неоднородных материалов

(СНМ): гипотеза о пропорциональности сопротивления деформации СНМ сопротивлению деформации основы и коэффициенту межфазового взаимодействия; гипотеза о формировании поля скоростей СНМ около опорного; гипотеза об универсальном показателе формы.

На основе оригинальных гипотез, подтвержденных опытом, разработана методика аналитического определения эффективных реологических характеристик СНМ с вязкой основой и жесткими недеформируемыми включениями.

Впервые теоретически и экспериментально получена информация о взаимосвязи параметров структуры, включая форму мелкозернистой твердой фазы (МТФ), с сопротивлением деформации СНМ.

По результатам вычислительного эксперимента получено уравнение регрессии для определения сопротивления деформации особого класса СНМ, характеризующегося вязкой основой и жесткими включениями.

Впервые показана взаимосвязь площади поверхности МТФ с динамикой теплообмена между МТФ и жидкостью, имеющими различные температуры в исходном состоянии, которая послужила основой для разработки способа и устройства измерения площади поверхности МТФ и усредненного по массе показателя формы твердых включений.

Впервые получена информация о показателях формы шлифматериалов различных марок.

Созданы научные основы процесса валкового смещения, реализованные в математических моделях, алгоритмах и программах расчета параметров процесса деформации при смещении.

Впервые получена информация о фактической геометрии очага деформации при смещении, характеризующейся наличием циркуляционной зоны перед входом в валки.

Впервые определено поле скоростей течения материала при валковом смещении с учетом фактической геометрии очага деформации.

Впервые установлена взаимосвязь основных управляющих параметров с интенсивностью скоростей деформаций сдвига, качественно характеризующей эффективность смещения.

Впервые сделана количественная оценка геометрии фактического очага деформации при прокатке листовых заготовок из абразивных смесей. Установлено, что зона внеконтактной деформации перед входом в валки может достигать размеров, соизмеримых с геометрическим очагом деформации.

Впервые получена информация о контактных напряжениях трения покоя при смещении и прокатке заготовок из абразивных смесей с учетом фактических условий на контуре.

Практическая ценность работы. Разработанные методики определения эффективных реологических характеристик СНМ могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и учебных целях.

Обобщение класса СНМ на основе единого уравнения регрессии позволяет сократить объем трудоемких экспериментальных исследований сопротивления деформации.

Разработанные методика и устройство для определения площади поверхности МТФ могут быть рекомендованы для практического использования в различных областях промышленности.

Полученная информация о показателях формы различных марок шлифматериалов дополняет имеющуюся справочную информацию новой характеристикой.

Разработанные теоретические основы процесса валкового смещения и полученная информация о взаимосвязи его параметров могут быть использованы в качестве базы для оптимизации процесса валкового смещения.

На уровне изобретений получены новые составы смесей и новые типы листовых заготовок из возвратных отходов. Предложен способ перевода части безвозвратных отходов в возвратные. Усовершенствованы процессы прокатки листовых полуфабрикатов и листов, как из исходных смесей, так и смесей, полученных из отходов, что позволило повысить качество проката, уменьшить допускаемые отклонения его размеров, как по высоте, так и по ширине. При этом возвратные и безвозвратные потери исходных материалов уменьшились почти в два раза.

Созданы новые способ и устройства, а также освоена технология вырубки бездефектных кольцевых заготовок повышенного качества.

Разработан комплекс мероприятий и новая НТД, позволяющие повысить показатели качества вулканитовых кругов по их назначению, надежности в процессе эксплуатации, экономному использованию исходного сырья и технологичности получения связки, смеси, листов и заготовок.

Новизна предложенных, опробованных и освоенных технологических решений, оригинальных устройств и оснастки подтверждена получением 36 патентов РФ.

Высокая эффективность освоения нового сортамента инструмента, новых технологий получения полуфабрикатов и готовых изделий позволила получить суммарный экономический эффект (в ценах 2001 г.), равный 2 937 775 рублей.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на следующих семинарах, конференциях и конгрессах: научно-технических конференциях Челябинского политехнического института (ЧГТУ, ЮУрГУ) в 1982—2001 г.г.; научно-технической конференции «Теория и технология процессов пластической деформации», г. Москва, 1996 г.; Межгосударственной научно-технической конференции «Проблемы развития металлургии Урала на рубеже XXI века», г. Магнитогорск, 1996 г.; научно-технической конференции «Современные технологии в машиностроении», г. Пенза, 1997 г.; Всероссийской научно-технической конференции «Новые материалы и технологии», г. Москва, 1997 г.; Международном конгрессе «EURO-MAT-97», Голландия, 1997 г.; Всероссийской научно-

технической конференции «Совершенствование процессов и оборудования кузнечно-штамповочного производства», г. Нижний Новгород, 1997 г.; Международной научно-технической конференции «Управление инвестиционными процессами в экономике», г. Челябинск, 1997 г.; Международной научно-технической конференции «Проблемы пластичности в технологии», г. Орел, 1998 г.; Международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии обработки материалов», г. Минск, 1998 г.; Международной научно-технической конференции «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы», г. Волжский, 1998 г.; Международной научно-технической конференции «От булата до современных материалов», г. Златоуст, 1999 г.; Международной научно-технической конференции «Теоретические проблемы прокатного производства», г. Днепропетровск, 2000 г.; Международной научно-технической конференции «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы», г. Волжский, 2000 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы: монография, 2 книги, 40 статей и получено 36 патентов РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 132 наименований, 7 приложений, изложена на 265 страницах, машинописного текста, содержит 101 рисунок и 29 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации представлено современное состояние абразивного производства на предприятиях России, Европы и Америки, выполнен его критический анализ, поставлена цель исследований и сформулированы теоретические и практические задачи.

Проанализирован сортамент вулканитового инструмента, выпускаемого отечественными предприятиями по ГОСТ 2424-83, ГОСТ 21963-82 и ТУ на шлифовальные, полировальные и отрезные круги общего и специального назначения. Анализ показал, что НТД устарела, а выпускаемые по ней круги не отвечают современным требованиям к их качеству. Узок марочный состав вулканитовых связок, абразивных смесей и сортамент выпускаемого инструмента. Абразивные круги отличаются повышенной неоднородностью твердости, прочности, плотности, структуры и других характеристик.

Приведены результаты изучения существующих технологий приготовления связок, абразивных смесей, получения листовых полуфабрикатов, листов и кольцевых заготовок кругов, показавшие, что указанные технологии отличаются большими потерями исходных материалов, высокой трудоемкостью процессов изготовления инструмента и низким его качеством по пока-

зателям технологичности изготовления. Валковое оборудование для приготовления смеси и ПМЛ для прокатки листов отличаются низкой производительностью, высокой энергоемкостью и требуют для своего размещения больших производственных площадей. Полученные на этих ПМЛ прокат имеет низкую точность размеров и большое количество дефектов. В процессе вырубки из него кольцевых заготовок от 30 до 70% поверхности листов уходит в возвратные отходы. Сам процесс безматричной вырубki также не обеспечивает получение бездефектных заготовок кругов нужной точности. Поэтому после операции вулканизации заготовки кругов подвергают механической обработке, что существенно (более, чем на 30%) увеличивает трудоемкость изготовления инструмента и приводит к безвозвратным потерям в среднем более 30% исходных материалов.

Таким образом, существующие технологии и имеющиеся на заводах России оборудование не обеспечивают получение вулканизованного инструмента по показателям назначения, надежности, использования сырья и технологичности изготовления требованиям, не только регламентируемых международными стандартами, но даже отечественным ГОСТ 15467-79.

В главе показано, что важное значение при создании принципиально новых высокоэффективных технологий получения смесей, листовых заготовок, проката и заготовок кругов имеют теоретические и экспериментальные исследования реологических свойств СНМ, в том числе абразивных вулканизованных смесей, и таких процессов обработки давлением как валковое смешение исходных гетерогенных материалов, основа которых имеет пластичные или вязкие свойства с жесткими включениями, как получение на смешительных вальцах листовых заготовок и получение из них на станах дуо листов.

В последние годы выполнен значительный объем исследований по изучению реологических свойств смесей и процесса плоской прокатки. Но, к сожалению, пока нет исследований по определению влияния жестких включений на реологические свойства смесей, совершенно не изучен процесс валкового смешения СНМ и процесс прокатки листовых заготовок при охвате смесью одного из валков вальцев. Все изложенное выше и определило цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава диссертации посвящена разработке методики аналитического определения сопротивления деформации СНМ с вязкой основой и жесткими недеформируемыми включениями, которые могут иметь различную дисперсность, объемную долю и форму.

В основу методики положен ряд гипотез, позволяющих обобщить материалы, отличающиеся параметрами МТФ, указанного класса.

Гипотеза о пропорциональности сопротивления деформации СНМ сопротивлению деформации основы и коэффициенту взаимодействия основы с недеформируемыми включениями, представляющему отношение мощности, необходимой для деформации СНМ, к мощности, необходимой для деформации равноценного объема материала основы.

Гипотеза о механизме формирования поля скоростей при деформации СММ, полагающая, что поле скоростей СММ формируется около опорного, которое имело бы место в случае однородной деформации образца из материала основы. При этом в области дискретных элементов твердой фазы поле скоростей имеет возмущения, т.е. неоднородно. Характер и степень неоднородности зависят от объемной доли, дисперсности, формы включений и условий контактного взаимодействия основы с включениями (скольжение, прилипание и т.п.).

Гипотеза о механизме влияния формы дискретных включений на сопротивление деформации СММ, допускающая, что эффект влияния пропорционален показателю формы включений, представляющему отношение площади поверхности включения к площади поверхности сферы равного объема с радиусом r . Практическая значимость гипотезы состоит в возможности обобщения результатов теоретического анализа, полученных на основе математических моделей для простых форм включений, на случай любых форм включений.

Получены формулы для определения показателя формы правильных геометрических фигур, допускающие возможность варьирования показателя формы в широком диапазоне путем изменения соотношения размеров фигуры.

Для прямоугольной призмы показатель формы

$$k_{\phi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{4}{3} \frac{\pi}{\alpha\beta\gamma}\right)^2 (\alpha\beta + \beta\gamma + \gamma\alpha)}, \quad (1)$$

где α, β, γ — отношение длин ребер.

Для цилиндра

$$k_{\phi} = (1 + \beta) \sqrt{\left(\frac{4}{3\beta}\right)^2}. \quad (2)$$

Здесь β — отношение высоты к радиусу цилиндра.

Идеализация фактической фигуры включения прямоугольной призмой может быть рекомендована при решении задач в декартовой системе координат, а цилиндром — при решении задач в цилиндрической системе координат.

Рис.1 показывает изменение показателя формы призмы при варьировании отношения ее высоты к длине ребра основания, а рис.2 — изменение показателя формы цилиндра при варьировании отношения высоты к радиусу. В первом случае (рис.1) при $\beta \ll 1$ получим показатель формы тонкой пластины, а при $\beta \gg 1$ — показатель формы стержня прямоугольного сечения. Во

втором случае (рис.2) при $\beta \ll 1$ — показатель формы тонкого диска, а при $\beta \gg 1$ — стержня круглого сечения.

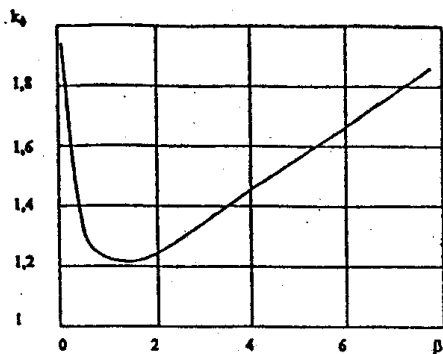


Рис. 1. К анализу показателя формы прямоугольного параллелепипеда ($\alpha=\gamma=1$)

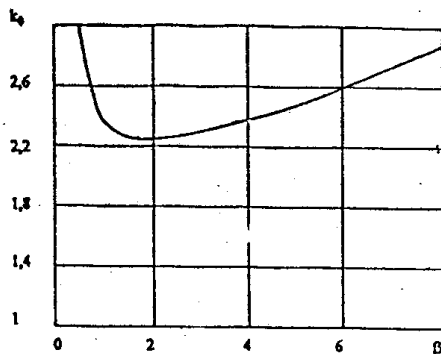


Рис. 2. К анализу показателя формы цилиндра

На основе общепринятого положения о квазиоднородной структуре коэффициент взаимодействия основы с недеформируемыми включениями определялся для представительного элемента среды со среднестатистическими параметрами структуры (рис.3). При этом в качестве дискретного включения была взята прямоугольная призма, позволяющая, как уже отмечалось, варьировать показатель формы изменением соотношения ее размеров.

Опорное поле скоростей, соответствующее однородной деформации основы, описывалось зависимостями:

$$v_x = V_u \frac{x_j}{h}, \quad v_z = -V_u \frac{z_j}{h}, \quad (3)$$

где V_u — скорость инструмента при сжатии образца,
 h — половина высоты образца;

x_j, z_j — координаты центра тяжести включения.

Рассмотрены два случая. В первом случае полагали материал основы идеально пластичным, а на контакте основы с жестким включением допускали скольжение. Во втором случае материал основы полагали вязким, а на контакте с жесткими включениями допускали прилипание. Использовали разрывной вариант решения, разбив представительный элемент на три блока (рис.3).

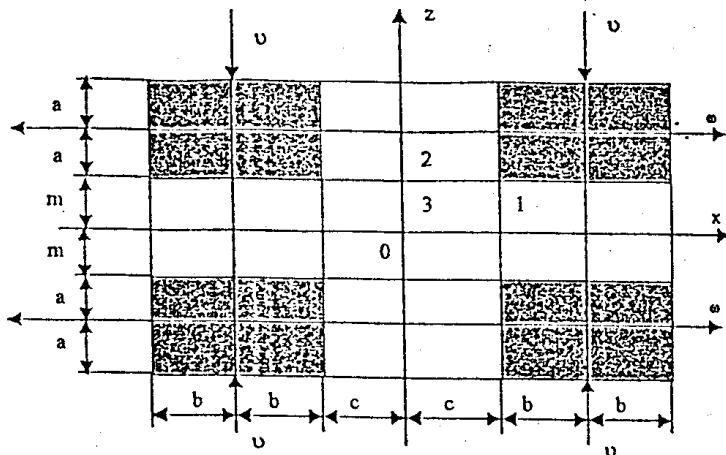


Рис. 3. Представительный элемент среды

Для первого случая поле скоростей описывалось зависимостями:

Блок 1

$$v_x = \frac{v}{m}(c + b - x) + \omega, \quad v_z = \frac{v}{m}z, \quad (4)$$

где $v = \frac{V_*}{h}(m + a)$, $\omega = -\frac{V_*}{h}(c + b)$.

Блок 2

$$v_x = \omega \frac{x}{c}, \quad v_z = \frac{\omega}{c}(m + a - z) + v. \quad (5)$$

Блок 3

$$v_x = \left(v \frac{b}{m} + \omega \right) \frac{x}{c}, \quad v_z = \left(\frac{\omega}{c}a + v \right) \frac{z}{m}. \quad (6)$$

По известным методикам определяли мощности, необходимые для деформации СНМ в рамках представительного элемента, и мощности, необходимые для деформации только материала основы такого же объема. В результате получена аналитическая зависимость для определения коэффициента взаимодействия К:

$$K = \frac{4b|v| + 4a|\omega| + 2\left|v\left(b + \frac{\omega}{v}m\right)\right| + f\left|\frac{\omega}{c}a^2\right| + f\left|\frac{v}{m}b^2\right| + \frac{1}{2}\frac{am}{c}|\omega| + \frac{1}{2}\frac{bc}{m}|v|}{2(c + 2b)(m + 2a)}, \quad (7)$$

где f — коэффициент трения на контакте основы с включением,

$$\bar{v} = \frac{v}{V_v/h}, \quad \bar{\omega} = \frac{\omega}{V_v/h}.$$

Для случая вязкой основы и прилипания поле скоростей представляли следующими зависимостями.

Блок 1

$$v_x = \omega - \frac{3}{2} v \frac{b}{m} \left(1 - \frac{z^2}{m^2} \right) \left(\frac{x}{b} - \frac{c}{b} - 1 \right), \quad v_z = \frac{3}{2} v \left(1 - \frac{1}{3} \frac{z^2}{m^2} \right) \frac{z}{m}. \quad (8)$$

Блок 2

$$v_x = \frac{3}{2} \omega \left(1 - \frac{1}{3} \frac{x^2}{c^2} \right) \frac{x}{c}, \quad v_z = v - \frac{3}{2} \omega \frac{a}{c} \left(1 - \frac{x^2}{c^2} \right) \left(\frac{z}{a} - \frac{m}{a} - 1 \right). \quad (9)$$

Блок 3. Кинематически возможное поле скоростей задавали с помощью функции тока, которая была представлена полиномом третьей степени относительно координат x и z . В результате получены следующие зависимости

$$v_x = \beta_1 x + \beta_2 x^3 + 3\beta_3 xz^2, \quad v_z = -\beta_1 z - \beta_3 z^3 - 3\beta_2 x^2 z. \quad (10)$$

Коэффициенты β_i находили из граничных условий и условия неразрывности нормальных составляющих скоростей на границах блоков:

$$\beta_1 = \frac{V_v}{h} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{b}{c} - \frac{1}{2} \frac{a}{m} - 2 \frac{ab}{mc} \right), \quad \beta_2 = \frac{1}{2} \omega \frac{a}{mc^3}, \quad \beta_3 = -\frac{1}{2} v \frac{b}{cm^3}. \quad (11)$$

Определение мощностей и коэффициента взаимодействия достигалось численными методами на ЭВМ. На рис. 4 и 5 в качестве примера показаны зависимости коэффициента взаимодействия с параметрами структуры.

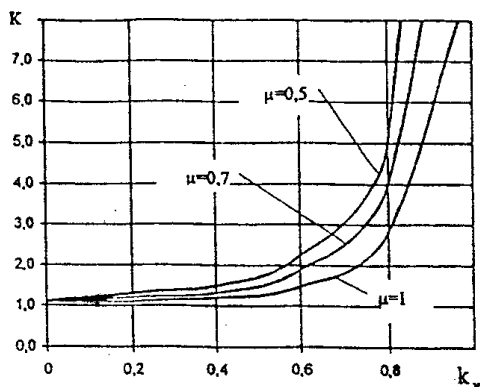


Рис. 4. Влияние объемной доли включений на коэффициент взаимодействия

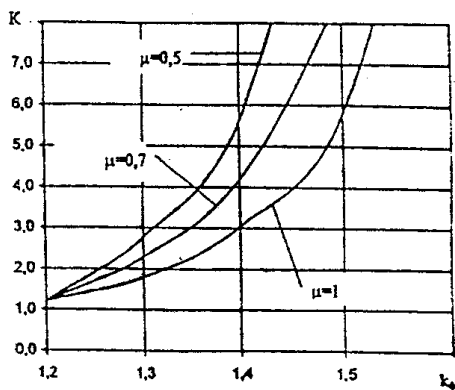


Рис. 5. Влияние показателя формы на коэффициент взаимодействия

На основе вычислительного эксперимента и соответствующей обработкой результатов получено уравнение регрессии, связывающее коэффициент взаимодействия с параметрами структуры СНМ:

$$K = \exp[k_v(\alpha_1 k_\phi + \alpha_2)], \quad (12)$$

где α_1 и α_2 — параметры, зависящие от реологических свойств материала основы.

При известном K сопротивление деформации СНМ определяли по формуле

$$\sigma_s = K\sigma_{s0},$$

где σ_{s0} — сопротивление деформации материала основы.

По результатам параметрического анализа сделаны следующие выводы.

1. Эффект взаимодействия основы с недеформируемыми включениями, а следовательно и сопротивление деформации СНМ существенно зависит как от реологических характеристик основы, так и параметров структуры материала.

2. С повышением показателя формы, объемной доли включений и дисперсности МТФ эффект взаимодействия, а следовательно и сопротивление деформации СНМ растут.
3. С увеличением сопротивления смещению основы относительно недеформируемых включений (коэффициента внутреннего трения) эффект взаимодействия растет.
4. Параметры структуры определяют геометрию межзеренных каналов и общую площадь поверхности взаимодействия основы с включениями МТФ. Показано, что среднее по объему сечение (в плоском варианте – толщина каналов) и площадь контактного взаимодействия основы с МТФ могут выступать в качестве обобщенных универсальных показателей структуры, поскольку они зависят от формы, объемной доли и дисперсности МТФ. Это положение может быть использовано для дальнейшего развития теории деформации СНМ.

Третья глава диссертации посвящена экспериментальному подтверждению теоретических положений второй главы, разработке метода экспериментального определения площади поверхности МТФ и показателя формы, а также исследованию реологических характеристик различных марок абразивных смесей, отличающихся объемной долей, дисперсностью и формой включений МТФ.

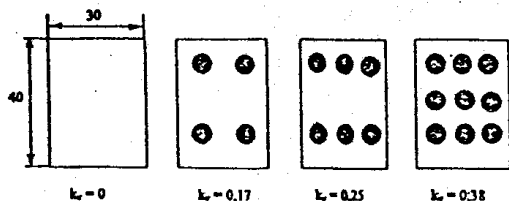


Рис. 6. Образцы с различной объемной долей включений

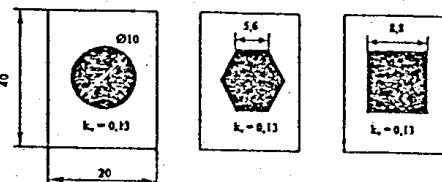


Рис. 7. Образцы с включениями различной формы

Опыты по исследованию влияния объемной доли и формы включений на сопротивление деформации СНМ проводились на свинцовых образцах. В качестве включений использовались стальные штифты с различной формой поперечных сечений (рис.6 и 7). Изготовленные по схеме рис.6 и 7 прямоугольные образцы СНМ и образцы, изготовленные только из материала основы (свинца), сжимались на прессе в условиях близких к плоской деформации. По отношению усилий, необходимых для деформации, определяли коэффициент взаимодействия. Результаты экспериментальных исследований подтвердили принципиальные теоретические положения (рис.8 и 9).

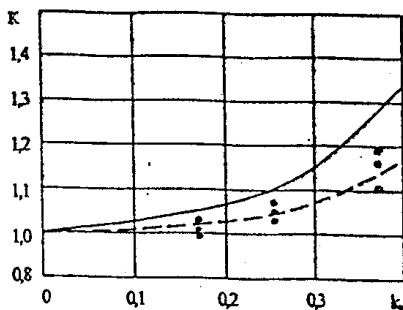


Рис. 8. Зависимость коэффициента взаимодействия от k ,

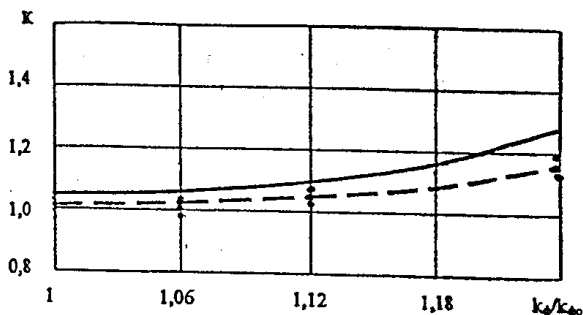


Рис. 9. Зависимость коэффициента взаимодействия от k_f/k_{f0}

Для практической реализации методики аналитического определения сопротивления деформации, представленной во второй главе, необходимо знать параметры МТФ реальных смесей. Проблема состоит в определении показателя формы неправильных геометрических фигур абразивных зерен. Решение проблемы предполагает экспериментальное исследование площади поверхности МТФ с последующим определением среднестатистического показателя формы.

В основу известных методов исследования площади поверхности МТФ положены такие физические явления как адсорбция газа твердыми телами; теплота смачивания, выделяемая твердым телом, помещенным в жидкость; химосорбция и т.п.

Названные методы носят полумперический характер, требуют для обработки опытной информации привлечения сложного математического аппарата, вносящего неизбежные погрешности в конечные результаты. Методы трудоемки, требуют сложного и точного экспериментального оборудования, нуждаются в специальной подготовке испытуемых твердых тел (нагрев, откачка и т.п.). Точность методов низкая, на что указывается во многих работах.

Ограниченные возможности известных методов послужили основанием для разработки нового метода. В основе предложенного в работе метода определения площади поверхности МТФ лежит теплообмен между твердой и жидкой фазой, имеющими в исходном состоянии различную температуру. По динамике теплообмена, зависящей от площади S поверхности МТФ, последнюю предлагается рассчитывать по формуле

$$S = k \frac{W_2 \rho_2}{\Delta T(0)} \operatorname{tg} \beta(0). \quad (14)$$

Здесь $k = \frac{C_2}{\alpha}$, C_2 — удельная теплоемкость жидкости; α — коэффициент теплопроводности; W_2 — объем жидкости; ρ_2 — плотность жидкости; $\Delta T(0)$ — разница температуры жидкой и твердой фазы в начальный момент времени ($\tau = 0$); $\text{tg}\beta(0)$ — тангенс угла наклона касательной (см. рис. 10).

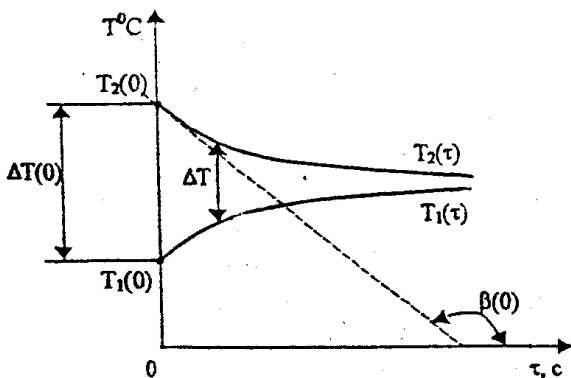


Рис.10. Качественный характер изменения температуры жидкой и твердой фаз

Известно, что теплофизические характеристики (C_2 , α) не являются константами. При выводе (14) из соображений простоты C_2 и α приняты постоянными. Некорректность выбора параметра k в формуле (14) может отразиться на точности определения площади поверхности МТФ. Для решения этой проблемы предлагается параметр k определять для конкретных условий испытания, используя в качестве твердой фазы эталонные образцы с известной площадью поверхности и изготовленные из того же материала, что и подлежащая испытанию МТФ. С учетом сказанного из (14) следует

$$k = \frac{S_0 \Delta T(0)}{W_2 \rho_2 \text{tg}\beta_0(0)}, \quad (15)$$

где $\beta_0(0)$ — угол наклона касательной для эталонного образца при $\tau = 0$; S_0 — площадь поверхности эталонного образца.

Подстановка (15) в (14) дает

$$S = \frac{S_0}{\text{tg}\beta_0(0)} \text{tg}\beta(0) = q \cdot \text{tg}\beta(0), \quad (16)$$

где q — коэффициент, зависящий от теплофизических свойств испытуемого материала и характеристик прибора. Определяется опытным путем.

Среднестатистическое значение показателя формы (k_f) дискретных составляющих МТФ определялось следующим образом

$$s = \frac{S}{n}, \quad v = \frac{V}{n} = \frac{m}{\rho \cdot n}, \quad (17)$$

где n — число дискретных включений в испытуемой массе m МТФ, устанавливаемое опытным путем; ρ — плотность материала твердой фазы; s, v — среднестатистические значения площади поверхности и объема одного дискретного включения.

Радиус сферы с равным объемом

$$r = \sqrt[3]{\frac{3v}{4\pi}} \quad (18)$$

и площадь поверхности сферы

$$s_0 = 4\pi r^2. \quad (19)$$

Принципиальная схема опытной установки, разработанной для реализации предложенного метода, показана на рис.11.

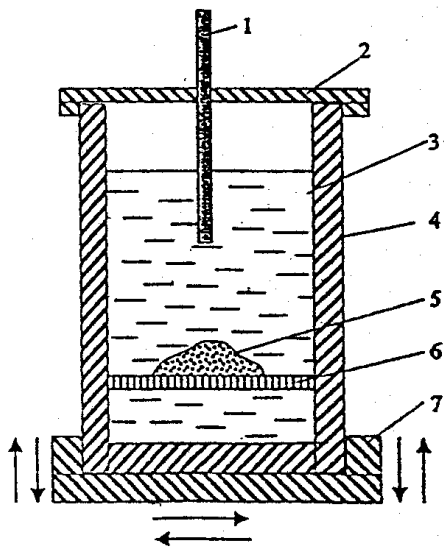


Рис. 11. Принципиальная схема установки: 1 — термометр; 2 — крышка; 3 — жидкость; 4 — сосуд; 5 — мелкозернистая твердая фаза; 6 — сетка; 7 — устройство, обеспечивающее смешение жидкости

Результаты апробации способа и устройства на эталонных образцах приведены на рис.12 и 13. В качестве эталонного образца использовали шар из углеродистой стали радиусом 10 мм, а испытуемые образцы, равного объема и изготовленные из того же материала, имели форму куба, цилиндра и диска. Фактическая площадь поверхности испытуемых образцов была наперед известна, что и позволило оценить точность экспериментальных данных и, следовательно, возможности метода и устройства.

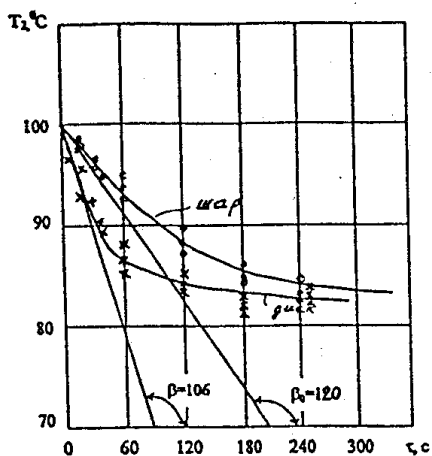


Рис. 12. К испытанию прибора на эталонных образцах

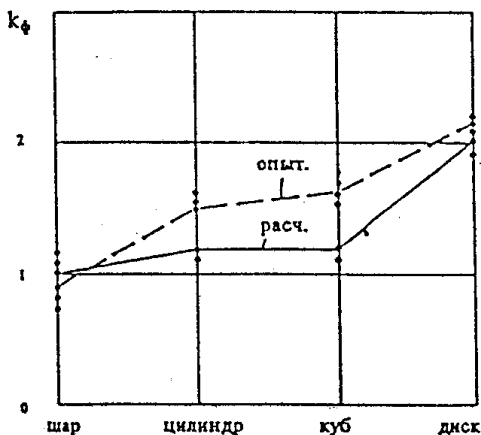


Рис. 13. Результаты экспериментальных исследований

Из рис.13 видно, что опытные данные достаточно хорошо согласуются с фактическими. Ошибка не превышала $\pm 18\%$, что следует считать удовлетворительным по сравнению с другими методами.

В табл.1 показаны результаты исследования показателя формы абразивных материалов.

Таблица 1

Показатель формы различных марок абразивного зерна

№	Марка зерна	Зернистость	k_ϕ	Отклонение от среднего по 3 опытам, %
1	14А	10	1,47	$\pm 23,6$
2	14А	30	1,63	$\pm 18,4$
3	14А	50	1,59	$\pm 18,2$
4	24А	20	3,31	$\pm 21,7$
5	25А	40	3,04	$\pm 16,4$
6	рубленый	20	2,42	$\pm 18,8$

Для определения сопротивления деформации СНМ по формуле (13) кроме параметров структуры необходимо знать сопротивление деформации основы, т.е. вулканитовой связки. Вулканитовая связка характеризуется ярко выраженными вязкими свойствами. Для определения зависимости сопротивления деформации вулканитовой связки от скорости деформации использовался пластометр, применяемый в резинотехнической промышленности для исследования пластометрических характеристик каучуков и резины (рис.14). Для решения задач диссертации была осуществлена модернизация пластометра, позволившая синхронно фиксировать на осциллограмме текущую высоту образца и соответствующее ей время.

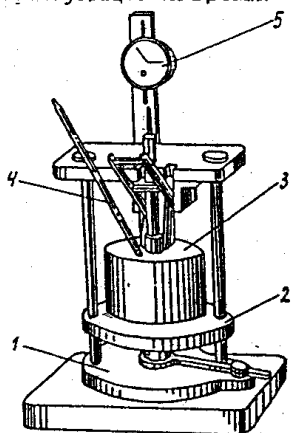


Рис. 14. Схема пластометра: 1 — неподвижная плита; 2 — подвижная плита; 3 — груз; 4 — термометр (или термopара); 5 — индикатор часового типа

Экспериментальное определение зависимости сопротивления материала от скорости деформации на модернизированном пластометре осуществлялось следующим образом. Сжатие образца в течение 2-3 минут осуществлялось статической нагрузкой, обеспечиваемой грузом 3 (рис.14). По результатам осциллографической записи строили кривую зависимости текущей высоты образца от времени. Кривую аппроксимировали кубическим полиномом. Определяли скорость перемещения груза

$$v(\tau) = \frac{dh(\tau)}{d\tau} = a_1 + 2a_2\tau + 3a_3\tau^2 \quad (20)$$

и скорость однородной линейной деформации

$$\xi(\tau) = \frac{v(\tau)}{h(\tau)}. \quad (21)$$

Для условий одноосного сжатия рассчитывали интенсивность скоростей деформаций сдвига

$$H(\tau) = 2|\dot{\xi}(\tau)|. \quad (22)$$

Из условия постоянства объема определяли текущую площадь контакта материала с образцом

$$S(\tau) = \frac{S_0 h_0}{h(\tau)}. \quad (23)$$

Рассчитывалось среднее нормальное контактное напряжение, отождествляемое с сопротивлением деформации основы

$$\sigma_{\text{ср}}(\tau) \approx P_{\text{с}}(\tau) = \frac{P}{S(\tau)}, \quad (24)$$

где P — усилие, создаваемое грузом.

По формулам (22 и 24) получали вектор значений H и $\sigma_{\text{ср}}$, соответствующий одинаковым значениям времени τ . Взаимосвязь H и $\sigma_{\text{ср}}$ аппроксимировали зависимостью

$$\sigma_{\text{ср}} = \mu H = (\mu_0 \cdot H^{\frac{1-n}{n}}) \cdot H, \quad (25)$$

где μ_0 — коэффициент вязкости при $H = 1 \text{ с}^{-1}$ и комнатной температуре (20°C); n — константа материала.

В результате обработки опытной информации получили значения $\mu_0 = 0,148$ и $n = 0,096$. Отклонение от среднего значения по результатам пяти опытов не превышало $\pm 7\%$.

В табл.2 представлены итоговые результаты определения сопротивления деформации различных марок абразивных смесей.

**К оценке расчетных данных сопротивления
деформации абразивных смесей**

Марка смеси	Скорость деформации, с ⁻¹	Результаты расчета по методике автора (МПа)	По данным работы [14] (МПа)
14А 12-Н СМ	1	0,67	0,70
	2	0,89	0,90
	3	1,02	0,88
	4	1,08	1,05
	5	1,13	1,1
14А 25-Н СМ	1	0,65	0,71
	2	0,90	0,92
	3	0,97	0,96
	4	1,05	1,03
	5	1,15	1,11
14А 12-Н СТ	1	0,85	0,90
	2	1,12	1,25
	3	1,50	1,54
	4	1,77	1,76
	5	2,10	2,0
14А 25-Н СТ	1	1,26	1,30
	2	1,64	1,75
	3	2,00	2,10
	4	2,50	2,4
	5	2,70	2,6

Четвертая глава посвящена разработке математических моделей процесса валкового смешения и прокатки листовых заготовок из абразивных смесей.

Известные математические модели процесса валкового смешения получены на основе ряда допущений принципиального характера с точки зрения корректного описания механизма смешения. Процесс валкового смешения характеризуется большими углами захвата. При этом существует избыточный объем (запас) материала по сравнению с пропускной способностью межвалкового зазора, что приводит к появлению области внеконтактной деформации, выходящей за пределы геометрического очага деформации. В области внеконтактной деформации формируется циркуляционная зона, имеющая определяющее значение в плане эффективности смешения. В известных работах область деформации ограничена геометрическим очагом деформации (область $\pi\pi$ -ЕЕ), лежащим в пределах контакта материала с валками (рис.15).

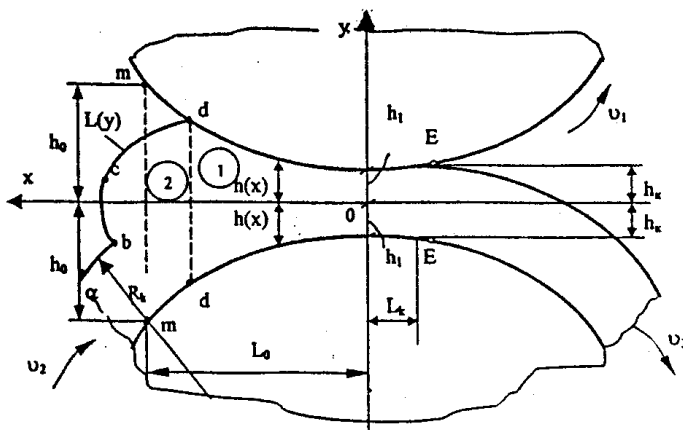


Рис. 15. Качественная картина фактической геометрии очага деформации

В известных работах напряжения σ_{xz} на контакте с валками отождествляются с напряжениями трения. Такое допущение приемлемо лишь при малых углах захвата. Перечень приближений, используемых в известных работах при анализе процесса смещения, можно было бы продолжить.

Перед смещением осуществляют завалку вулканитовой связки в межвалковый зазор, роспуск связки на медленно вращающийся валок и подачу абразивного зерна (рис.16 и 17). После указанных подготовительных операций осуществляется процесс смещения.

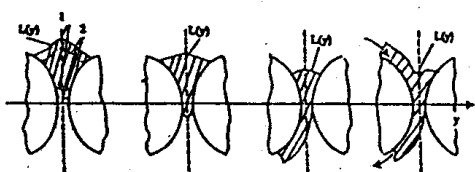


Рис. 16. Качественная картина динамики формирования очага деформации из связки

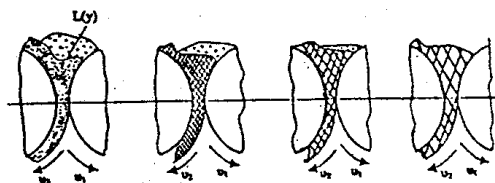


Рис. 17. К анализу процесса смещения связки с абразивным зерном

Получены формулы для определения минимально необходимого объема связки, обеспечивающего замкнутость кольца, опоясывающего медленно вращающийся валок, а также для расчета геометрических параметров очага деформации перед смещением, которые зависят от секундного расхода материала, подлежащего определению. Положение контура $L(y)$ (рис. 18) неизвестно.

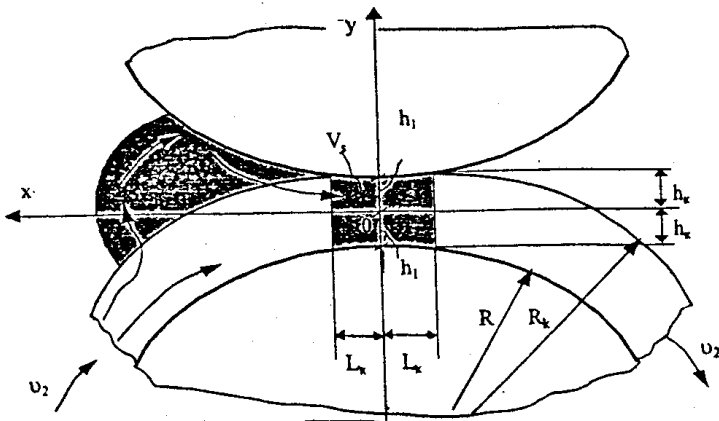


Рис. 18. Фактический очаг деформации при смешении

Использовали разрывной вариант решения. Фактический очаг деформации разбили на две области — область 1, находящуюся в контакте с обеими валкам и область 2, имеющую контакт с ведомым валком и свободный от внешних нагрузок контур $L(y)$ (рис. 18). В области 1 для условий прилипания кинематически возможное поле скоростей представили непрерывными функциями:

$$v_x = v_{x0} + \left(1 - \frac{y^2}{h^2}\right) \left[\frac{3C}{4h} - \frac{3}{4}v_2(1+f)\cos\alpha + a_1 h^3 \frac{y}{h} + a_2 x h^3 \frac{y}{h} \right], \quad (26)$$

$$v_y = -\frac{1}{2}v_2(1+f) \left[\frac{f-1}{f+1} \left(\frac{\cos\alpha}{h}\right)' \frac{y^2}{2} + (\cos\alpha)' y \right] - \frac{2}{3}h'\lambda \frac{y^3}{h^3} - \lambda' \left(y - \frac{1}{3} \frac{y^3}{h^2} \right) + f(x). \quad (27)$$

Для определения поля скоростей и положения контура $L(y)$ в области 2 использовали метод конечных элементов (МКЭ).

При реализации МКЭ в задачах пластического течения сжимаемого материала существует проблема корректного удовлетворения условия несжимаемости. В этой связи известны различные варианты реализации МКЭ. В частности, вариант использования нелинейных полиномов для описания поля скоростей в рамках треугольного элемента. При этом выполнение условия несжимаемости достигается ценой разрыва нормальных и касательных составляющих вектора скоростей по границам смежных элементов, что следует считать серьезным недостатком. В связи с этим в рамках треугольного элемента поле скоростей задавали линейными полиномами, не удовлетворяющими условию несжимаемости. Вариационное уравнение принципа виртуальных скоростей записывали для сжимаемого материала, т.е. с учетом мощности изменения объема

$$\delta \left\{ \frac{1}{2} \int_V (\mu H^2 + k \xi^2) dV \right\} = 0, \quad (28)$$

где ξ — скорость объемной деформации.
В (28) полагали, что гидростатическое давление

$$\sigma = \bar{k} \xi, \quad (29)$$

где \bar{k} — модуль объемной деформации или штрафной коэффициент.

Принято, что при увеличении \bar{k} сопротивление объемной деформации будет расти и при определенном значении \bar{k} экстремум функционала будет достигаться при значении ξ , близком к нулю, что и обеспечит удовлетворенные условия несжимаемости.

Указанная концепция была апробирована на тестовом примере осадки прямоугольной заготовки, для которой известно точное решение. Показано, что с увеличением \bar{k} скорость ξ экспоненциально приближается к нулю, с высокой точностью удовлетворяя условию несжимаемости.

Неизвестный контур $L(y)$ задавали полиномом вида

$$L(y) = x(y) = L_0 + a_0 + a_1 y + a_2 y^2. \quad (30)$$

В котором один из коэффициентов находился из условия постоянства объема очага деформации, а два других выражались через координаты точек b и d (рис.18). Таким образом, задача сводилась к определению двух координат точек, узловых скоростей и секундного расхода.

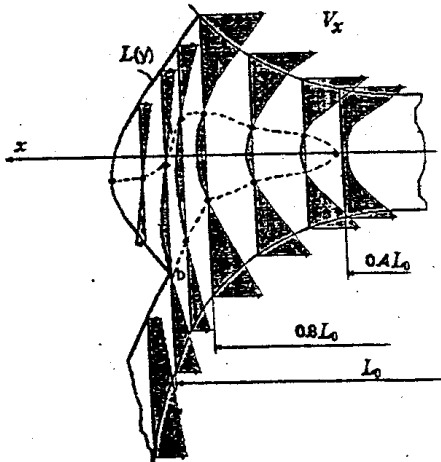


Рис. 19. Фактическая геометрия очага деформации и кинематика течения материала в циркуляционной зоне ($f=1$; $n=1,1$; $\mu_0=0,15$; $h_0=117,6$; $h_1=10$; $L_0=139$ мм; $k_s=1,5$)

Неизвестные параметры находились из вариационного уравнения принципа виртуальных скоростей.

Некоторые результаты численной реализации математической модели представлены на рис.19.

Характерным для процесса смешения с большим соотношением h_0/h_1 является наличие области противотока-циркуляционного ядра (рис. 19). В зависимости от условий деформации протяженность указанной области и ее положение могут быть различными. В частности, при наличии фрикции ядро незначительно смещается к медленно вращающемуся валку (рис.20).

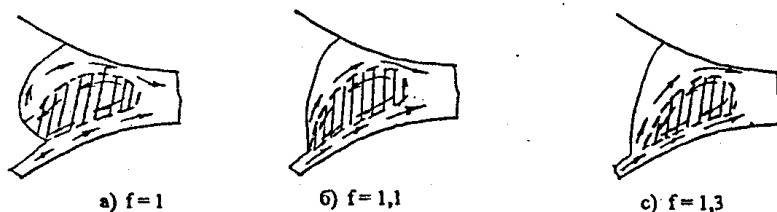


Рис. 20. Возможные варианты циркуляционного ядра

Форма контура $L(y)$, согласуясь с законом наименьшего сопротивления, также изменяется с изменением условий деформации.

Оценка средней по объему интенсивности скоростей деформаций сдвига, характеризующей в определенной мере эффективность смешения, показывает, что значения N зависят от основных потенциально возможных управляющих параметров: зазора между валками, величины запаса и фрикции валков (рис. 21...23). Заметим, что фрикция валков влияет на N несущественно. Вместе с тем из опыта известно, что эффект смешения существенно зависит от соотношения скоростей вращения валков. Противоречие устраняется, если полагать, что фрикция валков способствует смене траекторий движения материальных частиц, что в конечном итоге и определяет эффект смешения.

Практический интерес представляет целенаправленное управление формой контура, так как последняя влияет на N , а следовательно и эффект смешения.

Анализ взаимосвязи параметров процесса смешения по результатам расчета показал, что секундный расход в основном зависит от h_1 , h_0 , n , причем зависимости близки к линейным. В связи с этим был осуществлен вычислительный эксперимент, по результатам которого получено уравнение регрессии

$$k_{c0} = 1,346 - 0,132n - 0,024h_1 + 1,273 \cdot 10^{-3}h_0 + 0,011nh_1 - 8,667 \cdot 10^{-4}nh_0 + 1,033 \cdot 10^{-4}h_1h_0 - 3,333 \cdot 10^{-3}nh_1h_0, \quad (31)$$

где $k_{c0} = c/c_0 = c/2h_1v$.

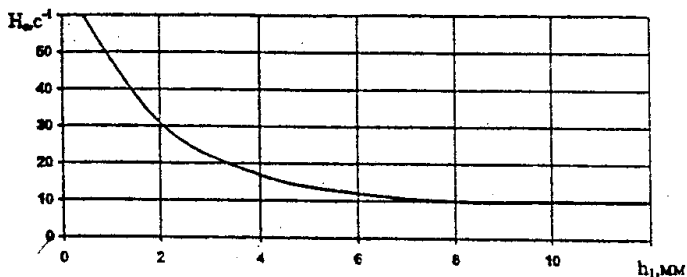


Рис. 21. Влияние зазора между валками на интенсивность скоростей деформации сдвига

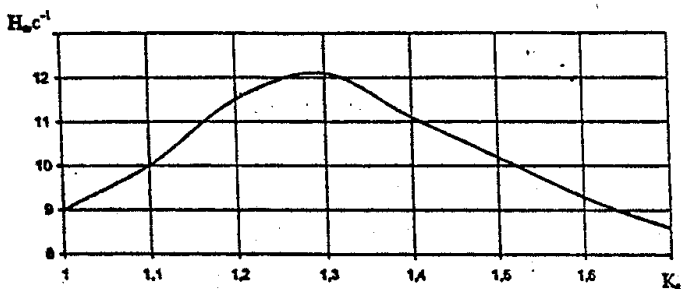


Рис. 22. Влияние коэффициента запаса материала на интенсивность скоростей деформации сдвига

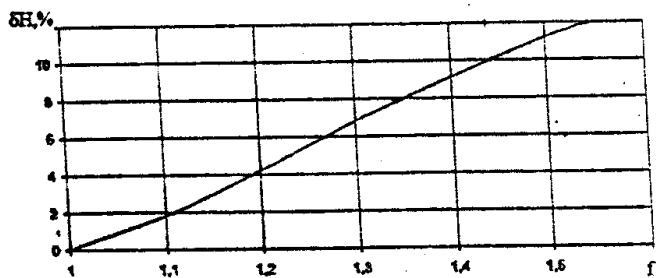


Рис. 23. Влияние трения на интенсивность скоростей деформации сдвига

Использование (31) в качестве исходного приближения при реализации разработанной программы примерно на порядок сокращает время расчета.

Полученная информация о взаимосвязи параметров процесса смещения является основой для оптимизации его режимов. Актуальность решения этой задачи усугубляется тем обстоятельством, что повышению эффективности смещения сопутствует рост энергозатрат.

После смещения листовая заготовка поступает на прокатные станы для получения листов требуемых размеров. Отходы производства в виде кусковой массы также перерабатываются на прокатных станах. В последнем случае прокатка может характеризоваться большими разовыми обжатиями. Существующие математические модели, как отмечалось выше, некорректно учитывают контактное трение и вовсе не учитывают внеконтактную деформацию.

В основе разработанной математической модели, алгоритма и программы расчета параметров процесса прокатки лежит энергетический метод и вариационный принцип виртуальных скоростей. Использован разрывной вариант решения. Очаг деформации представлен двумя областями: областью внеконтактной деформации и областью, находящейся в контакте с вальками. В указанных областях поле скоростей описано непрерывными функциями. В области контакта с вальками аналогично процессу смещения, а во внеконтактной области следующими зависимостями:

$$v_x = v_0(1 - \phi(x)) + \phi(x)v_{x|_{x=0}}, \quad (31)$$

где
$$\phi(x) = 1 + 2\frac{x}{L} + \frac{x^2}{L^2};$$

$$v_y = \frac{2v_0}{L}\left(1 + \frac{x}{L}\right)y - \frac{2}{L}\left(1 + \frac{x}{L}\right)\int v_{x|_{x=0}} dy + f(x), \quad (32)$$

где

$$\int v_{x|_{x=0}} dy = \frac{v_2}{2} \left[(f-1)\frac{y^2}{2h_0} + y(f+1) \right] \cos \alpha(0) + \frac{3}{4} \left(y - \frac{y^3}{3h_0^2} \right) \left[\frac{c}{h_0} - v_2(1+f) \cos \alpha(0) \right],$$

$$f(x) = -\frac{2v_0}{L} \left(1 + \frac{x}{L} \right) y(x) + \frac{2}{L} \left(1 + \frac{x}{L} \right) \left\{ \frac{v_2}{2} \left[(f-1)\frac{y^2(x)}{2h_0} + (f+1)y(x) \right] \cos \alpha(0) + \right.$$

$$\left. + \frac{3}{4} \left[y(x) - \frac{y^3(x)}{3h_0^2} \right] \left[\frac{c}{h_0} - v_2(1+f) \cos \alpha(0) \right] \right\}. \quad (33)$$

Зависимости (32) и (33) удовлетворяют условию несжимаемости и граничным условиям на свободном контуре. Задача свелась к определению секундного расхода материала и длины внеконтактной зоны из условия экстремума функционала принципа виртуальных скоростей.

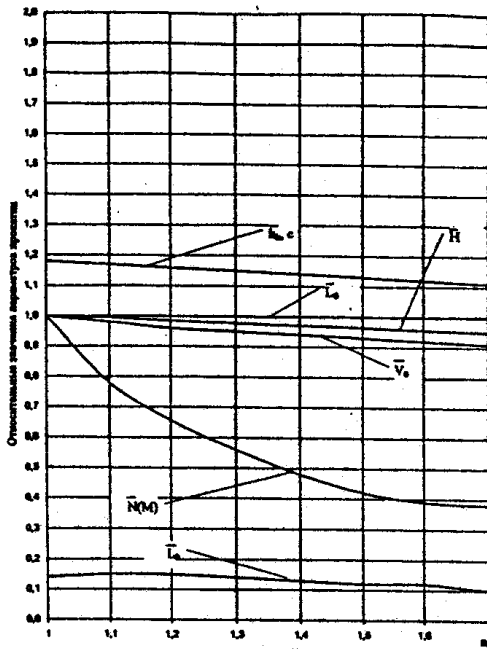


Рис. 28. Влияние скорости прокатки на параметры процесса

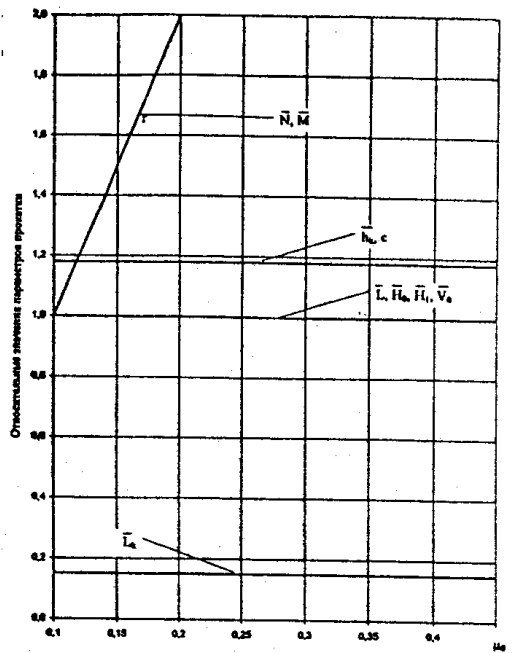


Рис. 29. Взаимосвязь исходной толщины полосы с процессом прокатки

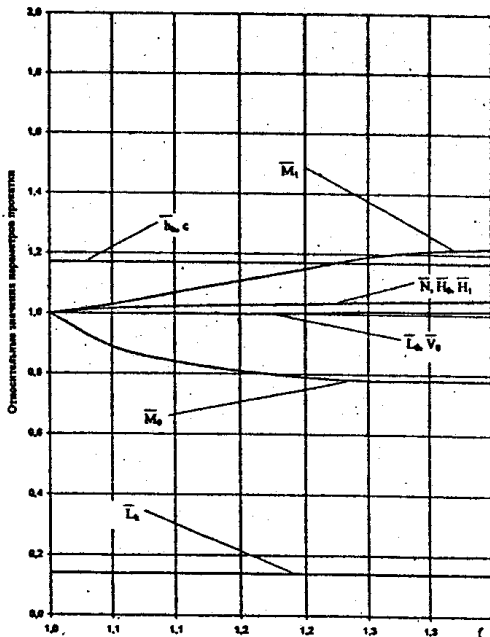


Рис. 30. Взаимосвязь параметров процесса прокатки с величиной межвалкового зазора

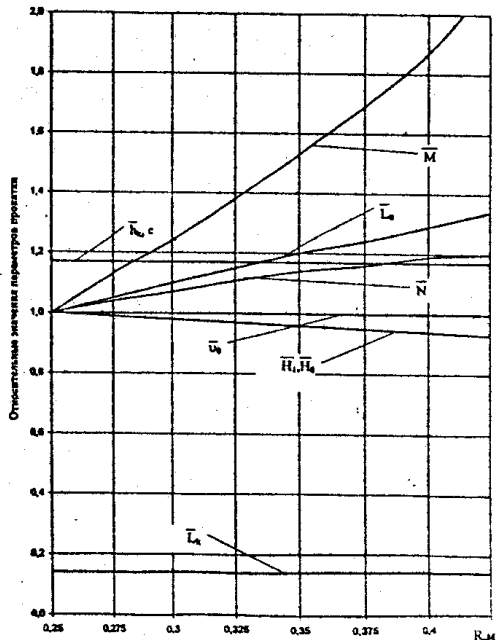


Рис. 31. Характер распределения напряжений контактного трения

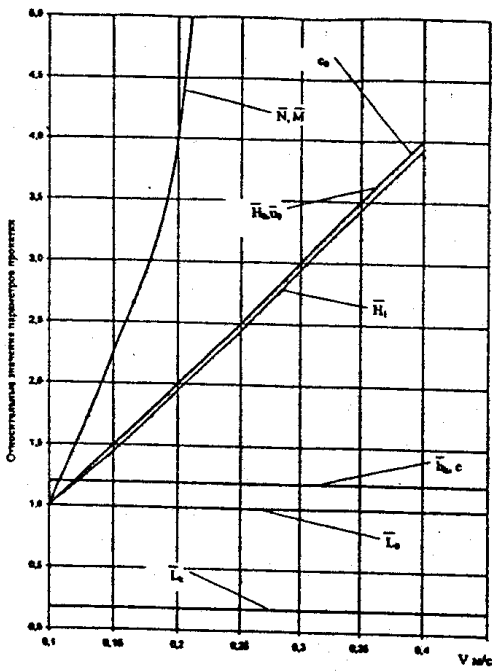


Рис. 28. Влияние скорости прокатки на параметры процесса

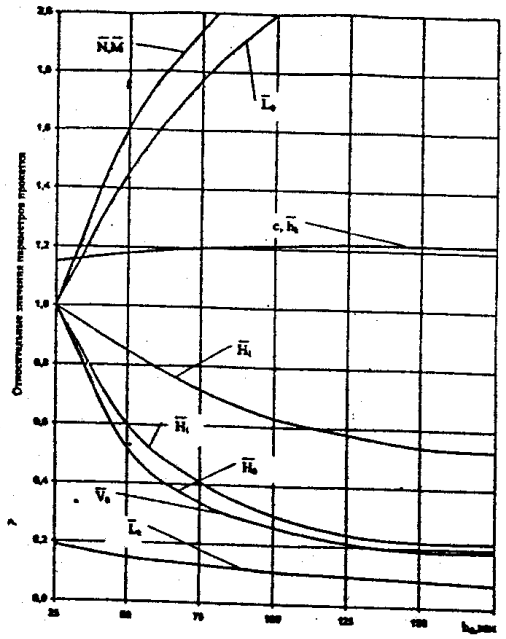


Рис. 29. Взаимосвязь исходной толщины полосы с параметрами процесса прокатки

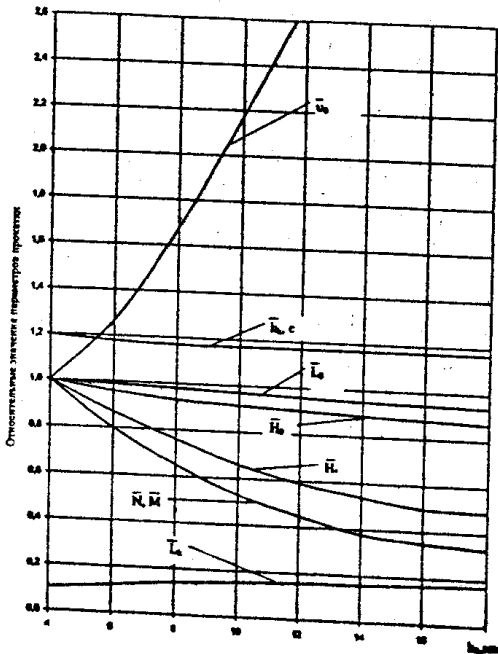


Рис. 30. Взаимосвязь параметров процесса прокатки с величиной межвалкового зазора

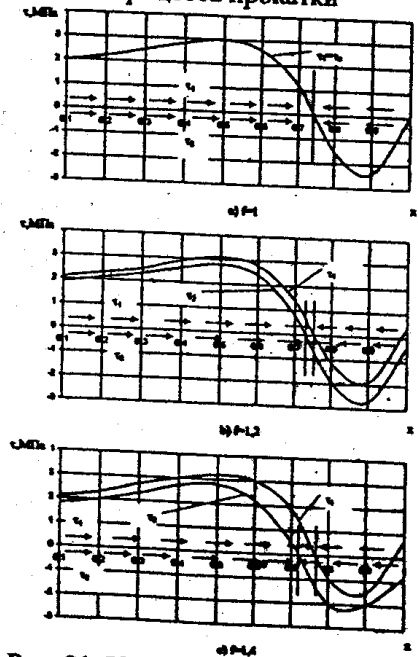


Рис. 31. Характер распределения напряжений контактного трения

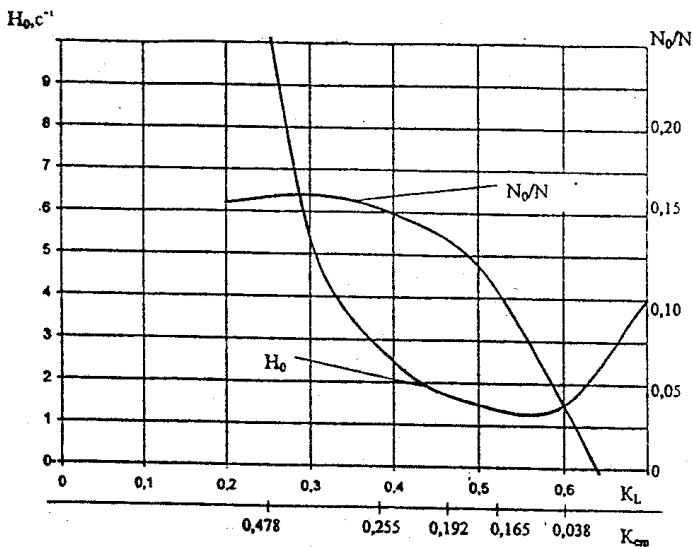


Рис. 32. К оценке влияния внеконтактной области деформации на параметры процесса прокатки

На рис.24...30 показана взаимосвязь параметров процесса прокатки, а на рис. 31 эпюры контактных напряжений трения.

Анализ показал, что внеконтактная область деформации при значительных обжатиях соизмерима с геометрическим очагом деформации (рис.32). Энергосиловые параметры, определенные с учетом внеконтактной области выше, чем без учета последней на 5-15%.

Кинематика течения материала показана на рис.33. Как и при смешении может иметь место область противотока – циркуляционное ядро.

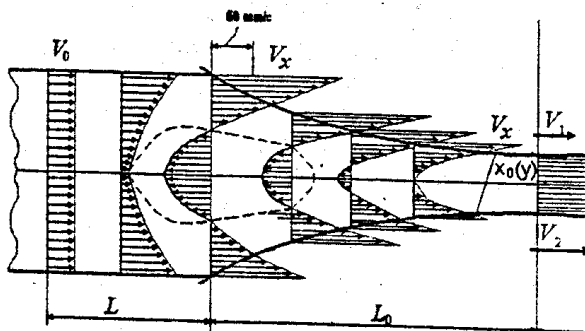


Рис. 33. Кинематика течения материала при прокатке ($f=1,4$; $h_0=100$ мм; $h_1=10$ мм; $v=200$ мм/с)

При прокатке с фрикцией эпюры напряжений трения несимметричны. В этом случае появляется незначительной протяженности смешанная зона (рис. 31).

Для сокращения времени расчета на основе вычислительного эксперимента и регрессионного анализа получено уравнение для определения протяженности внеконтактной области деформации:

$$k_L = 0,582 + 0,855k_{cm} - 10,201k_{cm}^2 + 14,469k_{cm}^3. \quad (34)$$

Пятая глава посвящена разработке технологий получения нового сорта мента абразивного инструмента, прогрессивных технологий получения связок, смесей, листовых полуфабрикатов, листов, кольцевых заготовок и кругов повышенного качества на основе выполненных теоретических, экспериментальных исследований, принципиально новых способов обработки давлением и устройств для их осуществления.

На уровне изобретений получены новые составы вулканитовых абразивных смесей (пат. РФ №2070508, №2157750), позволившие значительно повысить за счет увеличения коэффициента шлифования надежность инструмента, области его применения за счет производства мелко- и микрозернистых кругов. Промышленное освоение технологии получения инструмента с новыми составами смесей позволило получить экономический эффект, равный 851248 руб.

Новые конструкции инструмента включают: отрезные круги с двухсторонним поднутрением (пат. РФ № 2138386), позволяющие на 30% снизить расход электроэнергии при отрезке заготовок, а также повысить их качество за счет исключения образования прижогов и заусенцев; тонкие (высотой 0,3 мм) и сверхтонкие (высотой 0,1 мм) отрезные круги (пат. РФ №2104145 и др.), снижающие в 5...10 раз потери в процессе отрезки заготовок от таких металлов как золото, платина, вольфрам, молибден, германий и др.; армированные отрезные круги (свид. на полезную модель РФ №16470), позволяющие в несколько раз увеличить производительность процесса отрезки за счет увеличения прочностных свойств круга. Освоение технологий получения кругов новых конструкций дало экономический эффект в сумме 983642 руб.

Прогрессивные технологии получения вулканитовых связок и абразивных смесей основаны на новом способе валкового смешения каучука с порошковыми ингредиентами или связки с абразивными зёрнами. Суть нового способа смешения заключается в том, что связка 3 (рис. 34, а) распускается на валке 1, вращающегося со скоростью $\omega_1 < \omega_2$, затем на запас связки 5 подается первая порция зерна 6. Зерно внедряется в наружную поверхность связки, подвергающуюся за счет трения валков интенсивной сдвиговой деформации.

После приготовления полуфабриката смеси 4 (рис. 34, б) он с помощью ножа 7 срезается с валка 1 и за счет изменения соотношения скоростей валков (ω_1 становится больше ω_2) подается на валок 2. После охвата валка 2 подается вторая порция зерна которое внедряется в поверхность, ранее прилипавшую к валку 1.

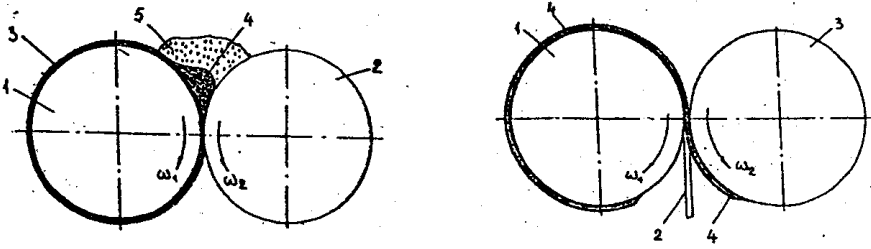


Рис. 34. Схема нового процесса смешения: а — смешение связки с зерном на валке 1; б — срезание полуфабриката с валка 1

Для оценки эффективности нового способа смешения были выполнены исследования равномерности распределения твердых включений в смеси. Исследования выполнены на приборе, фиксирующем магнитную проницаемость, а в качестве твердых включений использовали порошок карбонильного Fe. Исследования показали, что на кругах номенклатурной группы 313-53 брак по разновысотности и неуравновешенности массы снизился почти в 8 раз.

Прогрессивные технологии получения листовых полуфабрикатов основаны на приготовлении смеси (по новому способу) и листовых полуфабрикатов на одном устройстве (рис. 35).

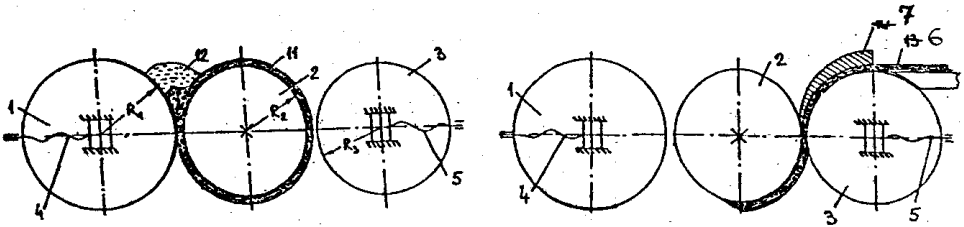


Рис. 35. Схема нового процесса получения листовых полуфабрикатов: а — получение смеси; б — получение листового полуфабриката

Особенность нового способа получения листовых полуфабрикатов заключается в том, что абразивная смесь готовится на валках 1 и 2 (рис. 35, а), затем готовая смесь 6, охватывающая валок 2, срезается с помощью ножа 7, одновременно играющего роль направляющей проводки, и прокатывается в листовой полуфабрикат или готовый лист (рис. 35, б). При получении кругов малой (0,1...5,0 мм) и средней (6...50 мм) высоты полуфабрикат необходимо подвергать дальнейшей прокатке в клетях дуо, а при получении кругов

большой высоты (>50 мм) полуфабрикат является готовым листом. Устройство для получения готовых листовых полуфабрикатов или листов, как видно из рис. 36, имеет три рабочих валка, причем валки 1 и 3 снабжены механизмами регулировки их положения. На основе этих новых процессов и устройств разработаны принципиально новые конструкции ПМЛ, предназначенные для получения заготовок отрезных кругов (рис. 36), кругов средней высоты и высоких кругов.

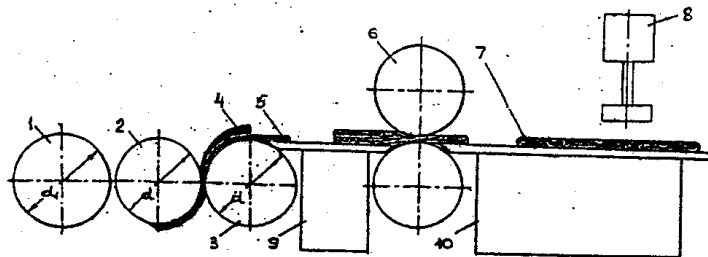


Рис. 36. Новая ПМЛ для получения заготовок отрезных кругов: 1 и 2 — валки для смешения смесей; 2 и 3 — валки для прокатки листовых полуфабрикатов; 4 — нож; 6 и 7 — промежуточная и чистовая клетки дуо; 8 — вырубной пресс; 9, 10 и 11 — промежуточные и выходной столы

Такие ПМЛ по сравнению с существующими, как показали опытные исследования, позволяют:

- экономить исходные материалы;
- повысить качество листового проката за счет замены исходных заготовок в виде высокопористой кусковой массы на листовые высокоплотные полуфабрикаты;
- увеличить производительность процессов получения кругов и повысить качество по технологичности изготовления инструмента;
- снизить металлоемкость основного оборудования, расход электроэнергии и потребность в производственных площадях.

Поскольку листовые полуфабрикаты имеют высокую плотность, то можно увеличить их высоту. Это даст возможность отказаться от пакетной прокатки при получении листов высотой 5...15 мм и в два раза уменьшить количество кольцевых полуфабрикатов в пакетах, предназначенных для получения высоких кругов, т.е. в два раза уменьшить брак по расслоям.

В настоящее время выполнен монтаж новой ПМЛ, предназначенной для получения отрезных кругов. Все новые линии будут снабжены специальными устройствами для автоматического нанесения талька на прокат. Работоспособность таких устройств (пат. РФ №2149748) проверена на существующих ПМЛ. Опыт эксплуатации такого устройства показал, что по сравне-

нию с ручной операцией нанесения талька на прокат расход талька сокращается в 12...14 раз.

Для эффективного использования возвратных отходов получены новые составы кусковой исходной массы, одна из них содержит куски исходной смеси, измельченный облой и высечки с которых удален тальк (пат. РФ №2127185), а вторая, кроме того, содержит стружку от обточки «сырых» заготовок. Известные и новые составы исходной массы используются для прессования листовых заготовок в пресс-форме (пат. РФ №2108227), для выдавливания слоистых листовых заготовок из контейнера (пол. реш. от 4.07.2001 г. по заявке №2000107550) и прокатки листовых полуфабрикатов по новому способу на клетях трио усовершенствованной конструкции (пат. РФ №2122935, № 2151052). На рис. 37. показаны новый способ и устройство для получения слоистых заготовок.

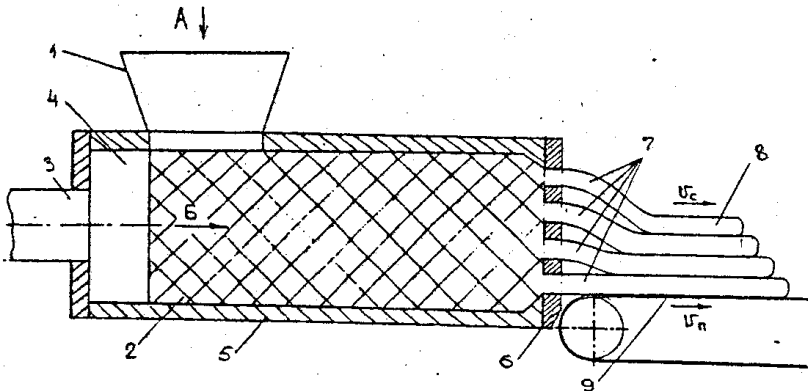


Рис. 37. Схема выдавливания слоистых заготовок

Новые составы исходных масс, новые способы и устройства для прессования и выдавливания листовых заготовок и новые способ и устройство для прокатки листовых полуфабрикатов проверены в опытных и промышленных исследованиях. На основе указанных изобретений и результатов их реализации разработаны опытно-промышленные и промышленные технологии переработки возвратных отходов.

На основе ряда изобретений (пат. РФ №2104145, №2126740 и др.) усовершенствован процесс прокатки листов на клетях дуо. Повышена точность их высотных размеров, устранены дефекты кромок и повышена точность размеров листов по ширине.

От промышленного освоения новых прогрессивных технологий получения исходных масс, заготовок, листовых полуфабрикатов и листов повышенного качества получен суммарный экономический эффект, равный 679318 руб.

Разработаны новый способ и новые устройства (пат. РФ №2108228, №2127164, №2149073 и др.) позволяющие увеличить точность высотных размеров вырубленных кольцевых заготовок, уменьшить величину эластиче-

ского восстановления размеров заготовок после вырубki и устранить искажение их геометрической формы, т.е. овальность и выпуклость.

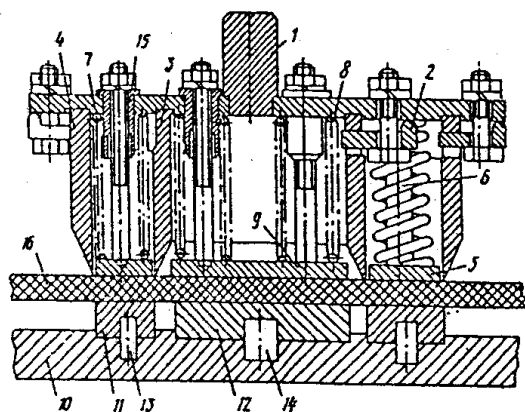


Рис. 38. Конструкция нового устройства для вырубki заготовок

Конструкция этого устройства представлена на рис. 38. Устройство состоит из оправки 1 на которой посредством креплений 2 смонтированы режущие элементы 3 и 4, выполненные в виде колец, встроенных одно в другое, выталкивателя 5 вырубаемой заготовки, подпружиненного упругими элементами 6 и 7, смонтированного между упомянутыми режущими элементами, подпружиненного упругими элементами 8 выталкивателя высечки 9, жесткой (стальной) подложки 10. На подложке 10 смонтированы сменные кольцевая матрица 11 и расположенная внутри нее матрица в форме диска 12, закрепленных на подложке посредством штифтов 13 и 14 соответственно. Крепление выталкивателей 5 и 9 в оправке 1 осуществлено посредством стержней и направляющих фланцевых втулок 15. Высота кольцевой матрицы 11 и матрицы в форме диска 12 превышает рабочий ход ножей. Наружный диаметр кольцевой матрицы 11 на величину зазора меньше внутреннего диаметра ножа 4. А внутренний диаметр кольцевой матрицы на величину зазора меньше наружного диаметра ножа 3.

В процессе работы описанное устройство, как показали промышленные исследования, при соответствующей настройке выступа между режущими кромками ножей 3 и 4 и поверхностью выталкивателя 5 позволяет перед вырубкой калибровать заготовку по высоте. Замена процесса безматричной вырубki на матричную позволяет повысить качество торцов заготовок. Заусенцы и вырывы на заготовках отсутствуют. Исключение контакта режущих кромок ножей с подложкой резко (в несколько десятков раз) увеличивает их стойкость. После вырубki не требуется выполнять ручные операции отделки заготовок от облоя и высечек.

Промышленное освоение новой технологии и новых устройств для вырубки кольцевых заготовок, разработанных на основе указанных изобретений, позволило получить экономический эффект в сумме 423567 руб.

Шестая глава посвящена разработке новой технологической и НТД, и оценке повышения качества вулканитового инструмента, полученного по новым высокоэффективным технологиям и с применением принципиально новых устройств, по показателям назначения, надежности, полезного использования исходных материалов и технологичности изготовления смесей, листов, заготовок и готовых изделий.

Внесены изменения в комплекты документов на типовые документов на типовые технологические процессы производства шлифовальных и полировальных кругов. Разработаны новые комплекты документов на мелкозернистые, микрозернистые круги, а также на отрезные круги (с поднутрением, рифлением и армированные круги). Подготовлены и направлены в Госстандарт РФ предложения в проект нового стандарта на отрезные круги.

Выполнен анализ разработок, позволяющих повысить качество вулканитового абразивного инструмента по показателям назначения. Так, области использования отрезных кругов расширены за счет новых составов смесей, кругов с поднутрениями, рифлениями, тонких и особотонких кругов. Точность размеров и формы кругов повышены за счет освоения новых прогрессивных технологий и устройств. Новые составы смесей позволили также освоить производство кругов с более широким марочным составом шлифовальных материалов (электрокорунд белый, карбид кремния черный и зеленый) и более широким диапазоном их зернистостей.

Проанализированы разработки диссертации, направленные на повышение качества инструмента по показателям надежности. Абразивная способность повышена за счет расширения марочного состава шлифовальных материалов. Коэффициент шлифования увеличен за счет использования абразивных смесей, содержащих пигмент железистоокисный, а также за счет использования шлифовальных материалов с повышенной абразивной способностью. Шероховатость поверхностей обработанных шлифованием деталей существенно понижена за счет использования мелкозернистых шлифовальных и полировальных кругов.

Выполнен анализ разработок, позволяющих повысить качество инструмента по показателям полезного использования исходного сырья и полуфабрикатов. Разработки диссертации позволяют в два раза и более сократить потери исходных материалов и потери полуфабрикатов, прежде всего потери листов в виде облоя и высечек при получении из них кольцевых заготовок. Так, возвратные потери за счет использования прогрессивных технологий прокатки и вырубки, сокращены в среднем с 64,0 до 37,4 %. А безвозвратные потери в среднем сокращены с 32,5 до 16,0 %.

Проанализированы разработки, позволяющие повысить качество инструмента по показателям технологичности его изготовления. Так, удельная трудоемкость приготовления связки и смеси уменьшается на 30%. За счет ис-

включения из технологии процесса черновой прокатки из кусковой смеси листовых полуфабрикатов и освоения принципиально новых ПМЛ удельная трудоемкость получения листов уменьшается в 3...5 раз. За счет освоения процесса матричной вырубки удельная трудоемкость операций уменьшается почти в два раза. Повышение качества, точности размеров и допускаемых их отклонений размеров заготовок позволяет примерно на 30% снизить удельную трудоемкость процессов механической обработки заготовок. Таким образом, внедрение в производство новых технологий и устройств позволило повысить качество полуфабрикатов и изделий и получить экономию в ценах 2001 г., равную почти 3 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение состояния производства вулканитового инструмента на предприятиях России, Европы и Америки показало, что по сортаменту, выпускаемых кругов, составам исходных материалов, технологиям и оборудованию для производства полуфабрикатов и изделий абразивная промышленность России не достигла пока зарубежного уровня.

Существующее производство не позволяет получать абразивный инструмент высокого качества, как по показателям назначения, надежности, так и по показателям полезного использования сырья и технологичности получения полуфабрикатов и изделий. Главной причиной низкого качества инструмента является отсутствие глубоких теоретических и экспериментальных исследований таких процессов формования, как валковое смешение связки с абразивным зерном, прокатка из полученной смеси листов и вырубка из листов кольцевых заготовок, а также разработок по новым высокоэффективным технологиям.

Итогом настоящей работы является решение научно-технической проблемы совершенствования теории и практики производства абразивного инструмента на основе системного анализа свойств СНМ, математического моделирования процессов валкового приготовления смесей и прокатки из них листов, а также разработка новых технологий и устройств.

В работе выполнены исследования по теоретическому определению сопротивления деформации СНМ, прежде всего состоящих из гетерогенной каучуковой основы и твердых включений в виде абразивных зерен разной геометрической формы и разного объема. Предложены и обоснованы новые показатели структуры указанных материалов, создана математическая модель взаимодействия материала основы, имеющей упругие, пластичные или вязкие свойства, с недеформируемыми включениями простой или сложной геометрической формы. Выполнено обобщение модели на СНМ с произвольными геометрической формой и объемом жестких включений.

Проведены эксперименты по определению структуры и реологических свойств вулканитовых абразивных смесей. Исследован показатель формы зерен твердой фазы, установлено его влияние на реологию СНМ. Изучены из-

вестные способы определения поверхностей мелкозернистых твердых тел, предложен новый оригинальный способ и устройство для определения площадей поверхностей твердых тел сложной геометрической формы. Способ проверен на эталонных образцах и установлены показатели формы. Определены реологические свойства вулканитовых связок и сопротивление деформации СНМ с вязкой основой и жесткими включениями.

Впервые теоретически и экспериментально исследован процесс валкового смещения связки с абразивными зернами, выполненный при охвате связкой одного из валков. Дана оценка известных представлений о механизме валкового смещения, установлены основные факторы процесса и критерии его эффективности. Определены параметры геометрического очага деформации объема связки, необходимой для эффективного смещения, установлены геометрические параметры очага деформации перед охватом связкой одного из валков. Установлены параметры фактического очага деформации при смещении с учетом «запаса» связки перед геометрическим очагом деформации. Построены кинематически возможные поля скоростей для областей «запаса» связки и очага деформации. Построена математическая модель процесса валкового смещения. Реализация модели методом конечных элементов (МКЭ) позволила определить касательные напряжения в фактическом очаге деформации на валках вращающихся с разной скоростью, а также установить взаимосвязи основных параметров, определяющих процесс смещения.

Как частный вариант общей модели построена модель процесса плоской прокатки. В результате ее реализации установлены геометрические, кинематические и энергосиловые параметры процесса прокатки листовых полуфабрикатов.

На уровне более чем 30 изобретений создан комплекс принципиально новых способов, устройств и ПМЛ для получения новых составов смесей, нового сортамента инструмента, в процессах валкового смещения листовых заготовок повышенного качества, в процессах прокатки на оригинальных устройствах и ПМЛ листов высокой точности размеров и в процессах выруб-ки на новых матричных штампах кольцевых заготовок высокого качества. На основе указанных способов и устройств разработаны высокоэффективные технологии получения листовых заготовок, листов и кольцевых заготовок шлифовальных, полировальных и отрезных кругов высокого качества на вулканитовой связке. Эффективность новых технологий подтверждена промышленным освоением или промышленным опробованием большинства разработок.

Так, освоение новых составов абразивных смесей, нового сортамента кругов позволило повысить качество инструмента по показателям назначения и показателям надежности. Новые способы получения смесей, листовых заготовок, листов, кольцевых заготовок и готовых кругов как из «свежих» исходных материалов, так и из возвратных отходов позволили повысить показатели качества инструмента по показателям технологичности и трудоемкости его изготовления.

Основные положения диссертации изложены в 79 публикациях, основными из которых являются следующие:

книги:

1. Павлов В.А. Теория и технология прокатки вулканитовых абразивных смесей. — Челябинск: ЮУрГУ, 1999. — 309 с.
2. Производство абразивных отрезных кругов на вулканитовой связке / Барков Л.А., Павлов В.А., Чаплыгин Б.А. и др. — Челябинск: Изд. ЧГТУ, 1997. — 145 с.
3. Производство вулканитовых абразивных кругов / Чаплыгин Б.А., Павлов В.А., Дятлов В.Н. и др. / Под ред. Павлова В.А. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998. — 332 с.

статьи:

4. Petrosyn S.L., Lung B.A., Pavlov V.A. Joint Venture set up // Stankoimport Review. — № 104—105, 1992. — P.31.
5. Основные уравнения теории прокатки уплотняемых материалов / Л.А. Барков, Б.А. Чаплыгин, В.А. Павлов и др. // Проблемы развития металлургии Урала на рубеже XXI века: Сб. науч. трудов — Магнитогорск: Изд. МГМА, 1996. — С. 113—118.
6. Прокатка порошковых композиций / Л.А. Барков, Б.А. Чаплыгин, В.А. Павлов и др. // Там же. — С. 119—125.
7. Павлов В.А., Дятлов В.Н., Чаплыгин Б.А. Российские предприятия — производители абразивов и инструмента на их основе // Информационный бюллетень. — Челябинск: Изд. ПФГ АЗУ, 1996. — №2. — С. 3—4.
8. Павлов В.А., Дятлов В.Н., Чаплыгин Б.А. Производство абразивных материалов и инструмента ведущими фирмами Европы // Машины и технология обработки давлением порошковых и композиционных материалов: Сб. науч. трудов. — Челябинск: Изд. ЧГТУ — УралНИИАШ, 1997. — С. 3—11.
9. Абразивная резка материалов / Л.А. Барков, В.А. Павлов, Б.А. Чаплыгин и др. // Там же. — С. 12—27.
10. Павлов В.А., Дятлов В.Н., Чаплыгин Б.А. Состояние производства абразивных материалов и инструмента на предприятиях России и Урала // Там же. — С. 28—38.
11. Павлов В.А. Сортамент абразивного отрезного инструмента в России // Там же. — С. 38—52.
12. Трусовский В.И., Шеркунов В.Г., Павлов В.А. Исследование процессов прокатки вулканитовых абразивных масс на поточно-механизированной линии №2 ЗАО «Росси» // Там же. — С. 53—62.
13. Павлов В.А., Дятлов В.Н. Валки для вальцевания и каландрования абразивной вулканитовой массы // Там же. — С. 73—78.

14. Шеркунов В.Г., Трусовский В.И., Павлов В.А. Промышленные исследования процессов вальцевания и каландрования на линии № 3 АО «Росси» // Там же. — С. 79—83.

15. Барков Л.А., Павлов В.А. Исследование износа валков при вальцевании и каландровании пластин из вулканитовой абразивной массы // Там же. — С. 94—102.

16. Чаплыгин Б.А., Дятлов В.Н., Павлов В.А. Исследование пластических и эластических свойств вулканитовых пластин перед каландрованием // Там же. — С. 102—111.

17. Трусовский В.И., Павлов В.А., Чаплыгин Б.А. Анализ технологии вырубki заготовок абразивных кругов на вулканитовой связке // Там же. — С. 118—122.

18. Прогрессивная оснастка для формования заготовок абразивного инструмента / Л.А. Барков, В.А. Павлов, Б.А. Чаплыгин и др. // Современные технологии в машиностроении: Тр. конференции. — Пенза: Изд. Приволжского дома знаний, 1997. — С. 32—35.

19. Трусовский В.И., Павлов В.А., Чаплыгин Б.А. Совершенствование процессов вырубki заготовок из неметаллических материалов // Совершенствование процессов и оборудования КШП: Тр. конференции. — Нижний Новгород: Изд. НГТУ, 1997. — С. 50—51.

20. Чаплыгин Б.А., Дятлов В.Н., Павлов В.А. Сопротивление деформации и относительное эластическое восстановление вулканитовых абразивных смесей и полуфабрикатов при формовании // Машины и технология обработки материалов давлением: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998. — С. 7—10.

21. Павлов В.А. NORTON — крупнейший в мире производитель абразивных материалов и инструмента // Там же. — С. 3—7.

22. Павлов В.А., Чаплыгин Б.А., Шеркунов В.Г. Очаги деформации при двухвалковом каландровании абразивных вулканитовых листов // Там же. — С. 24—30.

23. Павлов В.А., Чаплыгин Б.А. Физико-механические свойства вулканитовых абразивных масс // Там же. — С. 49—54.

24. Павлов В.А. Новая технология прокатки вулканитовых заготовок с устранением дефектов на боковых кромках // Там же. — С. 64—72.

25. Дятлов В.Н., Павлов В.А. Новая технология вырубki и прессования заготовок высоких абразивных кругов // Там же. — С. 101—105.

26. Павлов В.А. Абразивная промышленность развитых стран Европы // Машины и технология обработки материалов давлением: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. — С. 3—8.

27. Павлов В.А. Вулканитовый инструмент ирландской фирмы RADIANC // Там же. — С. 8—17.

28. Экспериментальное исследование параметров прокатки вулканитовых абразивных смесей / В.Г. Шеркунов, В.И. Трусовский, В.А. Павлов и др. // Там же. — С. 54—60.

29. Чаплыгин Б.А., Павлов В.А. Математическая модель и принципиальные особенности процесса прокатки пористого упруго-вязкого материала с наполнителем из твердых включений // Там же. — С. 60—67.

30. Павлов В.А., Трусовский В.И., Гитенко С.Д. Повышение качества и эффективности производства абразивных кругов на вулканитовой связке // Там же. — С. 67—71.

31. Щепетов Е.Г., Павлов В.А. Гибкая технология поиска аналогов технических решений по устранению дефектов при всеобщем управлении качеством // Там же. — С. 183—186.

32. Павлов В.А., Щепетов Е.Г. Функционально-параметрический анализ процессов в структуре управления качеством // Там же. — С. 190—194.

33. Трусовский В.И., Павлов В.А. Исследование процесса прокатки вулканитовых листов // Машиностроитель. — 2000. — № 12. — С. 8—10.

34. Павлов В.А. Прокатка листов повышенной точности и улучшенного качества из вулканитовых абразивных смесей // Производство проката. — 2000. — №6. — С. 43—48.

35. Павлов В.А., Барков Л.А. Проблемы качества при производстве вулканитового абразивного инструмента // Абразивный инструмент и металлообработка: Сб. науч. трудов. — Челябинск: Изд. ЦНТИ, 2001. — С. 6—11.

36. Павлов В.А., Белов А.В. К вопросу о корректной реализации метода конечных элементов в задачах анализа деформированного состояния несжимаемой среды // Там же. — С. 18—24.

37. Павлов В.А. Поточно-механизированная линия с устройством для нанесения талька на прокат // Там же. — С. 30—33.

38. Барков Л.А., Павлов В.А., Трусовский В.И. Расширение сортамента и повышение качества отрезного вулканитового инструмента // Там же. — С. 78—84.

39. Павлов В.А., Гитенко С.Д., Марченко С.В. Новые конструкции абразивного отрезного инструмента на вулканитовой связке // Инструмент Сибири. — 2001. — №2. — С. 9—10.

патенты:

40. Пат. РФ №2070508. Масса для изготовления абразивного отрезного круга / В.А. Павлов, Б.А. Чаплыгин, В.Ф. Романенко и др. // Б.И. — №35. — 1996.

41. Пат. РФ №2095230. Пресс-форма для формования шлифовальных кругов на вулканитовой связке / Павлов В.А., Барков Л.А., Дятлов В.Н. и др. // Б.И. — №31. — 1997.

42. Пат. РФ №2096166. Способ формования абразивного инструмента / Барков Л.А., Павлов В.А., Трусовский В.И. и др. // Б.И. — №32. — 1997.

43. Пат. РФ №2100185. Пресс-форма для прессования тонких изделий из порошкового материала / Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №36. — 1997.

44. Пат. РФ №2101165. Устройство для вырубki абразивных кольцевых заготовок на вулканитовой связке / Трусовский В.И., Павлов В.А., Барков Л.А. и др. // Б.И. — №1. — 1998.
45. Пат. РФ №2102223. Устройство для изготовления заготовок абразивного инструмента на органической связке / Барков Л.А., Трусовский В.И. Павлов В.А. и др. // Б.И. — №2. — 1998.
46. Пат. РФ №2102224. Пресс-форма для формования рифленых шлифовальных кругов / Барков Л.А., Трусовский В.И., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №2. — 1998.
47. Пат. РФ. №2103155. Штамп для вырубki кольцевых заготовок абразивных кругов на вулканитовой связке / Трусовский В.И., Павлов В.А., Барков Л.А. и др. // Б.И. — №3. — 1998.
48. Пат. РФ №2104145. Способ и устройство для производства абразивного инструмента на вулканитовой связке / Чаплыгин Б.А., Дятлов В.Н., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №4. — 1998.
49. Пат. РФ №2107609. Способ производства абразивного инструмента и устройство для его осуществления / Барков Л.А., Трусовский В.И., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №9. — 1998.
50. Пат. РФ. №2108227. Способ производства абразивного инструмента / Трусовский В.И., Павлов В.А., Барков Л.А. и др. // Б.И. — №10. — 1998.
51. Пат. РФ №2108228. Способ и штамп для производства заготовок абразивных кругов на вулканитовой связке / Трусовский В.И., Павлов В.А., Барков Л.А. и др. // Б.И. — №10. — 1998.
52. Пат. РФ №2113975. Способ производства абразивного инструмента на вулканитовой связке / Барков Л.А., Павлов В.А., Трусовский В.И. и др. // Б.И. — №18. — 1998.
53. Пат. РФ №2122935. Способ и устройство для прокатки листа из вулканитовой абразивной смеси / Барков Л.А., Павлов В.А., Шеркунов В.Г. и др. // Б.И. — №34. — 1998.
54. Пат. РФ №2126740. Способ изготовления абразивного инструмента на вулканитовой связке / Барков Л.А., Павлов В.А., Чаплыгин Б.А. // Б.И. — №6. — 1999.
55. Пат. РФ №2127164. Ножевой штамп / Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №7. — 1999.
56. Пат. РФ №2127185. Способ производства абразивных кругов на вулканитовой связке / Барков Л.А., Дятлов В.Н., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №7. — 1999.
57. Пат РФ №2127426. Способ испытания свойств каучукосодержащих смесей / Барков Л.А., Павлов В.А., Дятлов В.Н. // Б.И. — №7. — 1999.
58. Пат. РФ №2138386. Пресс-форма для производства отрезных абразивных кругов / В.И. Трусовский, В.А. Павлов, Л.А. Барков и др. // Б.И. — №27. — 1999.
59. Пат. РФ №2138387. Способ производства абразивного инструмента / Барков Л.А., Павлов В.А., Трусовский В.И. и др. // Б.И. — №27. — 1999.

60. Пат. РФ №2147984. Заготовка для производства абразивного инструмента и устройство для ее получения /Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №12. — 2000.
61. Пат. РФ №2148249. Составной валковый торсиметр / Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №12. — 2000.
62. Пат. РФ №2149073. Штамп вырубной / Трусовский В.И., Дятлов В.Н., Павлов В.А. // Б.И. — №14. — 2000.
63. Пат. РФ №2149096. Способ производства абразивных кругов и устройство для его осуществления / Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №14. — 2000.
64. Пат. РФ №2149748. Поточно-механизированная линия для производства абразивных кругов на вулканитовой связке / Трусовский В.И., Дятлов В.Н., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №15. — 2000.
65. Пат. РФ №2149749. Способ формования заготовок абразивного инструмента / Барков Л.А., Трусовский В.И., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №15. — 2000.
66. Пат. РФ №2149750. Способ формования заготовок абразивного инструмента и устройство для его осуществления / Барков Л.А., Дятлов В.Н., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №15. — 2000.
67. Пат. РФ №2151052. Трехвалковый каландр для прокатки листов из вулканитовых абразивных смесей. / Барков Л.А., Трусовский В.И., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №17. — 2000.
68. Пат. РФ №2155671. Способ формования абразивных кругов на вулканитовой связке/ Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А./ Б.И. — №25. — 2000.
69. Пат. РФ №2156684. Устройство для прессования заготовок абразивных кругов/ Осинцев А.А., Барков Л.А., Павлов В.А. // Б.И. — № 27. — 2000.
70. Пат. РФ №2157750. Масса для изготовления абразивного инструмента / Гитенко С.Д., Морозова А.Г., Павлов В.А. и др. // Б.И. — №29. — 2000.
71. Св. на полезную модель РФ №16470. Отрезной круг на вулканитовой связке / Павлов В.А., Гитенко С.Д., Марченко С.В. и др. // Б. — №1. — 2001.
72. Пат. РФ №2164858. Способ формования абразивных кругов на вулканитовой связке / Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А. и др. // Б.И. — № 10. — 2001.
73. Пол. реш. от 30.05.2001 по заявке №2000104726. Универсальный ножевой штамп / Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А. и др.
74. Пол. реш. от 28.06.2001 по заявке №2000106712. Способ формования абразивных кругов на вулканитовой связке / Трусовский В.И., Барков Л.А., Павлов В.А. и др.
75. Пол. реш. от 3.07.2001 по заявке №2000107551. Пресс-форма для формования заготовок абразивных кругов на вулканитовой связке / Дятлов В.Н., Павлов В.А., Трусовский В.И. и др.

76. Пол. реш. от 4.07.2001 по заявке №2000107550. Способ получения заготовок из вулканитовой массы и устройство для его осуществления / Павлов В.А., Барков Л.А., Трусовский В.И. и др.