

05.03.05
Ч-194

На правах рукописи

Чаплыгин Александр Борисович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА
АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ
АБРАЗИВНОЙ МАССЫ В ВАЛКОВЫХ СМЕСИТЕЛЯХ**

Специальность 05.03.05 – «Технологии и машины обработки давлением».

Технические науки

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Челябинск

2006

Работа выполнена в ГОУ ВПО Южно-Уральском государственном университете (г. Челябинск)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Шеркунов Виктор Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Мезин Игорь Юрьевич

кандидат технических наук
Мырнин Сергей Александрович

Ведущее предприятие – ЗАО «Росси» (г. Челябинск)

Защита состоится «21» сентября 2006 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.111.03 при Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, МГТУ, малый актовый зал.

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

Автореферат разослан «17» августа 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Жиркин Ю.В.

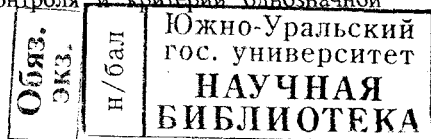
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Потребление абразивной продукции в ведущих зарубежных странах растет пропорционально увеличению внутреннего валового продукта. Это устойчивая мировая тенденция, обеспечивающая положительную динамику развития стратегически военных отраслей промышленности, включая машиностроение, металлургию, транспорт и т.д. Ожидается, что ежегодный рост общероссийского рынка абразивной продукции в ближайшей перспективе составит 3...4 %. В этой связи повышение качества, увеличение объемов выпуска готовой продукции, расширение сортамента, снижение расходов на всех этапах производства абразивного инструмента является актуальной проблемой машиностроительной отрасли промышленности.

В основе производства абразивного инструмента лежат процессы получения абразивных материалов, многокомпонентных связок, приготовления абразивных смесей и формования из них готовых изделий методами обработки материалов давлением. Качество абразивного инструмента, уступающее в настоящее время мировым стандартам, формируется на всех стадиях технологического процесса. Особое место в этом отношении занимает процесс приготовления абразивных смесей. Затраты на производство абразивных смесей и их качество в значительной мере определяют себестоимость и качество готовой продукции. Недостаточная изученность процесса валкового смешения в целом и механизма смешения в частности, отсутствие научно обоснованных методов прогнозирования качества смесей, а также надежных оперативных методов контроля качества смесей сдерживают разработку эффективных технических решений, которые бы позволили полнее реализовать потенциальные возможности процесса валкового смешения. Решению указанных вопросов и посвящена настоящая работа.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является повышение эффективности производства абразивных смесей. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать аналитический критерий завершенности процесса смешения для прогнозирования продолжительности операции до получения качественной смеси;
- разработать аналитическую методику прогнозирования результатов смешения при различных режимах макросмешения и оценить потенциальные возможности процесса смешения;
- разработать математическую модель процесса валкового смешения с учетом реальной картины течения материала в очаге деформации и случайной ориентации фрагментов полуфабриката перед поступлением их в смесительную зону;
- на основе вычислительных экспериментов установить взаимосвязь режимов смешения и параметров исходных компонентов смеси со структурой готовой смеси;
- разработать оперативные методы контроля и критерии однозначной статистической оценки качества смесей;



- экспериментально проверить основные теоретические предпосылки;
- дать научно–обоснованную оценку существующему производству абразивных смесей и разработать предложения по совершенствованию процесса и технологии валкового смешения.

Научная новизна работы.

– Установлена динамика формирования структуры смеси, представляющей механическую композицию вязкой и мелкодисперсной твердой фаз, под действием деформации сдвига;

– получена аналитическая взаимосвязь параметров структуры смеси с накопленной деформацией сдвига (вытяжкой слоев компонентов), определена критическая степень деформации, превышение которой не улучшает качество смеси;

– получены аналитические зависимости необходимого (для достижения качественной смеси) числа циклов от состава и ориентации фрагментов смеси перед входом в смесительную зону, включая оптимальную и случайную ориентацию, установлены потенциальные возможности процесса смешения;

– уточнен механизм валкового смешения на основе учета циркуляционной области очага деформации, установлена функциональная связь накопленной за цикл деформации сдвига с основными управляемыми параметрами процесса смешения, в частности на принципиальном уровне уточнена роль фрикции валков;

– установлены опытные зависимости результатов контроля качества смеси ультразвуковым импульсным и фотометрическим методами от условий испытаний, в частности показано влияние толщины образцов на скорость ультразвукового импульса;

– доказана зависимость известных статистических критериев качества смеси от масштаба проб, предложен критерий качества смеси, исключающий неоднозначную оценку ее качества.

Практическая ценность. Разработанные математические модели и программы их численной реализации позволяют прогнозировать результаты смешения и определять наиболее эффективные режимы технологического процесса.

На уровне изобретений разработаны технические предложения по интенсификации процесса смешения.

Разработаны методики практической реализации ультразвукового и фотометрического методов оперативного контроля качества смеси.

Ультразвуковой импульсный и фотометрический методы контроля качества абразивной смеси используются в ЗАО «Росси». Фотометрический метод используется также в лабораториях НИИАШ в исследовательских целях. Замена визуального контроля качества смеси научно обоснованными техническими методами исключает ошибки операторов при определении готовности смеси и завершения процесса смешения. Использование фотометрического метода в исследовательских целях существенно сокращает время исследований и позволяет получать уникальную информацию, недоступную другим методам.

Реализация рекомендованных режимов подрезки позволяет сократить продолжительность смещения не менее чем на 30%, что позволяет соответственно повысить производительность, уменьшить расход энергии, повысить срок службы валков в пересчете на объем произведенной продукции, а также снизить до минимума долю ручного труда. Ожидаемый экономический эффект составит не менее 527 тыс.руб.

Разработанные математические модели, программы расчета и рекомендации по практической реализации ультразвукового и фотометрического методов используются в учебном процессе на кафедре «Машины и технологии обработки материалов давлением» Южно-Уральского государственного университета

Апробация работы. Материалы диссертационной работы прошли апробацию на научно-технических конференциях:

- Международная научно-техническая конференция «Машиностроительная отрасль – будущее России», Москва, 2003;
- Международная научно-техническая конференция «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы», Волжский, 2003;
- Международная конференция по каучуку и резине, Москва, 2004;
- IV Международная специализированная выставка «Инструмент – 2004», С.-Петербург;
- Научно-техническая конференция «Современные технологии в машиностроении и автомобилестроении» Ижевск 2005;
- Международная научно-техническая конференция «Прогрессивные технологии и оборудование в машиностроении и металлургии» Липецк 2006;
- Ежегодные конференции ЮУрГУ (2003–2006 гг.).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 8 научных статьях и 3 патентах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 87 наименования и приложения. Работа изложена на 143 страницах машинописного текста без учета приложений, включая 50 рисунков и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении сформулирована цель работы, показана ее актуальность и практическая значимость.

В первой главе, являющейся обзорной, поясняется принципиальная сущность процесса валкового смещения, последовательность технологических операций, формулируются недостатки и проблемы, сопутствующие получению качественных абразивных смесей. На основе анализа известных работ показывается степень изученности процесса валкового смещения и определяется перечень вопросов, подлежащих изучению.

Известные работы посвящены моделированию кинематики течения материала в зазоре между валками, определению энергосиловых параметров процесса валкового смещения, моделированию механизма смещения и на этой основе прогнозированию результатов смещения. При этом все перечисленные

вопросы решаются для условий стационарного смещения, т.е. без учета подрезки. Кроме того не учитываются структурные особенности абразивной смеси, представляющей механическую композицию вязкой и мелкодисперсной твердой фаз.

Поле скоростей течения материала при валковом смещении характеризуется наличием противотока при входе в очаг деформации. В результате формируется циркуляционная область, в которой материальные частицы движутся по замкнутым траекториям. Роль циркуляционной области в механизме валкового смещения не установлена.

Важное значение имеет прогнозирование времени смещения до получения качественной смеси. Для этого должны быть определены соответствующие критерии завершения процесса смещения. Известный аналитический критерий – критическая деформация сдвига не учитывает структурных особенностей как исходных компонентов, так и готовой смеси.

Промышленное производство смесей, совершенствование процесса и технологии невозможно без надежного контроля качества смеси. Существующие методы контроля качества смесей носят косвенный характер, трудоемки и не лишены ряда других недостатков. Критерии качества смеси, которые получают в результате статистической обработки опытной информации, не дают однозначную оценку однородности смеси, так как зависят от масштаба проб.

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

Во второй главе обосновано, что процесс валкового смещения следует рассматривать как процесс, сочетающий макро и микросмещение. Макросмещение, характеризующееся механическим перемешиванием относительно крупных фрагментов полуфабриката смеси, обеспечивает квазироднородность смеси. При этом в объеме отдельных фрагментов смесь остается неоднородной. Микросмещение, осуществляемое в зазоре между валками под действием деформации сдвига, обеспечивает однородность смеси по объему отдельных фрагментов. Показана необходимость моделирования процесса смещения во взаимосвязи макро и микросмещения.

С целью обоснования критерия завершенности процесса смещения введено понятие идеальной структуры смеси. Рассмотрена динамика изменения структуры смеси при микросмещении от некоторого исходного состояния до структуры идеальной смеси. Установлено, что в общем случае могут иметь место три этапа смещения: этап сжатия слоев при неблагоприятной исходной ориентации компонентов; этап вытягивания слоев до толщины, равной среднему поперечному размеру дискретного элемента твердой фазы; и этап формирования вокруг дискретных элементов твердой фазы равномерной толщины слоя вязкой фазы.

Определены критические значения вытяжки слоев, пропорциональной накопленной деформации сдвига, и соответствующее число циклов, превышение которого не способствует улучшению качества смеси. Критические значения вытяжки (деформации сдвига) рекомендованы в качестве критериев завершения

процесса смешения. Рекомендованный критерий впервые учитывает структурные особенности как исходных компонентов, так и требуемой готовой смеси:

$$A = \frac{m_o}{a} \sqrt{1 + \frac{l}{\mu}}, \quad (1)$$

где m_o – толщина слоя твердой фазы в исходном состоянии;

a – средний по массе размер дискретного элемента твердой фазы;

μ – отношение объемов твердой и вязкой фаз.

После роспуска связки и распределения абразивного материала по поверхности связки получают двухслойную композицию полуфабриката, которая подрезкой измельчается на более мелкие фрагменты, периодически поступающие в очаг деформации для микросмешения. Фрагменты представляют разномерные плоские куски, состоящие из слоя твердой и вязкой фаз.

В основе механизма микросмешения лежит деформация сдвига, приводящая к вытяжке, утонению слоев компонентов смеси и увеличению их числа с каждым новым циклом (оборотом валков). Для расчета вытяжки слоев должна быть известна деформация сдвига за один цикл ζ , число циклов K и угол ориентации (β_o) фрагмента к направлению потока (рис.1). Для расчета вытяжки слоев и необходимого числа циклов получены формулы:

$$\lambda = \frac{\theta_k}{\theta_o} = \sqrt{(k\zeta \sin \beta_o - \cos \beta_o)^2 + (\sin \beta_o)^2}, \quad (2)$$

$$k = \frac{l}{\zeta \cdot \sin \beta_o} \cdot \left[\cos \beta_o + \sqrt{\lambda^2 - (\sin \beta_o)^2} \right], \quad (3)$$

где $\zeta = \frac{\Delta L}{h} = \frac{\Delta v \cdot \Delta t}{h}$; h – высота рабочего зазора смесителя;

v – различия продольных скоростей точек М и N (рис.1).

Исходя из предпосылок о возможном управлении исходной ориентацией компонентов смеси, выполнен анализ следующих вариантов процесса смешения:

1. Смешение при оптимальном значении β_o перед каждым циклом, обеспечивающим максимальную вытяжку в каждом цикле и, как следствие, минимальное число циклов при заданной суммарной вытяжке.

Анализ такого варианта позволяет установить потенциальные возможности процесса смешения, знание которых полезно для оценки реальных вариантов

процесса. Из условия $\frac{d\lambda}{d\beta_o} = 0$ находилась угол оптимальной ориентации, при

котором достигается максимальная вытяжка λ_j за один цикл. Тогда суммарная

вытяжка за K циклов составит

$$\lambda = (\lambda_j)^k, \quad (4)$$

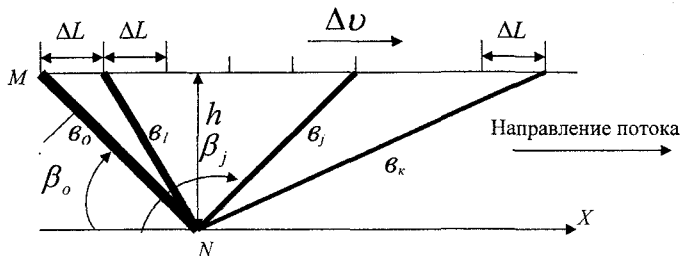


Рис.1. К расчету вытяжки слоя при деформации сдвига

а минимально необходимое число циклов определится по формуле

$$K_{min} = \frac{\ln \lambda}{\ln \lambda_j}. \quad (5)$$

2. Смещение при оптимальном значении β_0 только перед первым циклом, обеспечивающим минимальное число циклов для достижения заданной вытяжки слоев.

Оптимальный угол находился из условия $\frac{dk(\beta_0, \varepsilon_{xz}, \lambda)}{d\beta_0} = 0$. Вытяжка и число циклов (k_2) определялись соответственно по (2) и (3) при оптимальном значении β_0 .

3. Смещение со случайной ориентацией фрагментов смеси перед каждым циклом.

При нерегулируемом макросмещении фрагменты полуфабриката возвращаются в очаг деформации случайно ориентированными относительно направления потока. При этом в качестве случайных событий выступают значения углов β_0 перед каждым новым циклом. Очевидно, что β_0 является непрерывной случайной величиной, возможные значения которой принадлежат интервалу $[0, \pi]$. Полагая все значения β_0 равновероятными и разбив отрезок $[0, \pi]$ на ℓ интервалов, непрерывную случайную величину представили дискретной с конечным числом исходов (событий) β_{oi} :

$$\beta_{oi} = \pi \cdot \left(\frac{i-1}{\ell-1} \right), \quad (6)$$

где $1 \leq i \leq \ell$.

В результате имеем ℓ событий с вероятностью появления $m = \frac{k}{\ell}$.

Суммарная вытяжка за k циклов равна произведению вытяжек, полученных за каждый цикл:

$$\lambda = \prod_{i=1}^{\ell} (\lambda_i)^m, \quad (7)$$

где λ_i определяется по (2) при $\beta_o = \beta_{oi}$.

При неограниченном увеличении числа интервалов ($\ell \rightarrow \infty$) λ стремится к пределу, значение которого будет соответствовать суммарной вытяжке за K циклов при не дискретном, а непрерывном изменении случайной величины β_{oi} .

Для определения точного значения λ следует вычислить

$$\lambda = \lim_{\ell \rightarrow \infty} \prod_{i=1}^{\ell} (\lambda_i)^{\frac{k}{\ell}} \quad (8)$$

Необходимое число циклов при заданной суммарной вытяжке определится по формуле

$$k_3 = \frac{\ell \cdot \ln \lambda}{\sum_{i=1}^{\ell} \ln \lambda_i}. \quad (9)$$

4. Вариант процесса, представляющий некоторую комбинацию третьего варианта с другими вариантами.

В качестве показателя эффективности вариантов смешения принято отношение минимально возможного числа циклов (5), соответствующего виртуально возможному варианту смешения, к необходимому числу циклов

интересующего варианта $\left(\eta_j = \frac{k_{min}}{k_j} \right)$. Установлено, что потенциальные

возможности процесса смешения, рассмотренные выше варианты реализуют не более чем на 30% (рис.2).

На основе (2) и (3) с учетом (1) разработана методика расчета необходимого числа циклов для получения требуемой структуры смеси. Показано, что необходимое число циклов зависит от параметров исходных компонентов смеси, желаемой ее структуры и условий смешения. Особенно сильно на число циклов

(время смешения) влияет размер дискретного элемента твердой фазы и ориентация компонентов смеси перед каждым циклом. Этот вывод послужил основанием для исследования процесса диспергирования при смешении и поиска

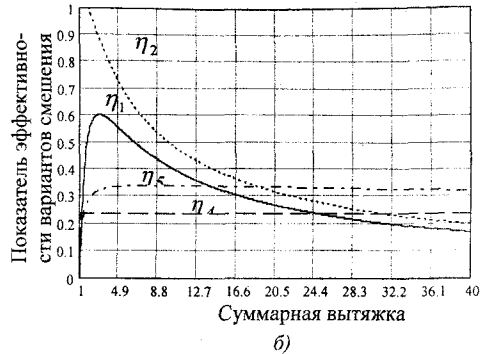
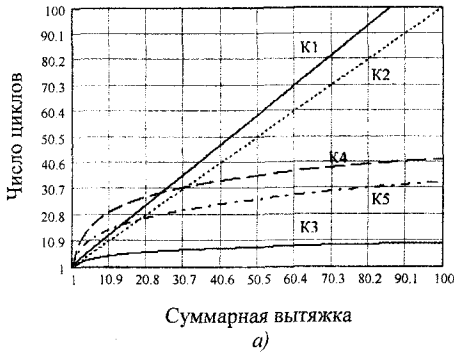


Рис.2. К анализу эффективности различных режимов смешения

технологических приемов и альтернативных подрезке способов макросмешения (раздел 3 и 4).

Представленные выше результаты свойственны любому процессу смешения, в основе которого лежит деформация сдвига, сопровождающаяся макросмешением.

Специфика валкового смешения состоит в геометрии смесительной зоны (очага деформации), прилипанию полуфабриката к поверхности валков, цикличности процесса микросмешения, особой кинематикой течения материала в очаге деформации, сопровождающейся наличием зоны циркуляционного течения,

и как следствие, неоднородной по объему деформацией сдвига (рис.3). Однородная деформация сдвига, лежащая в основе известных моделей, не приемлема для валкового смешения.

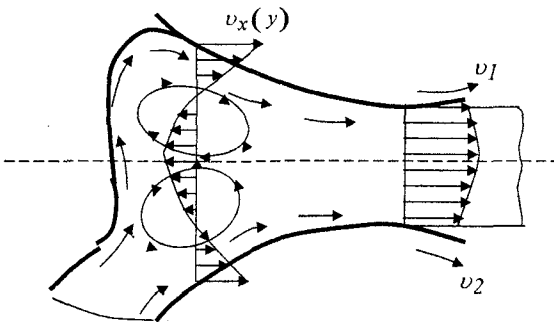


Рис.3. К анализу кинематики очага деформации при валковом

Получены формулы для расчета геометрических параметров очага деформации, включая несвойственные обычному процессу прокатки объем запаса, приведенное значение исходной толщины после роспуска связки и толщину компонентов полуфабриката после насыщения поверхностного

слоя связки абразивным материалом. Учитывая, что компоненты смеси

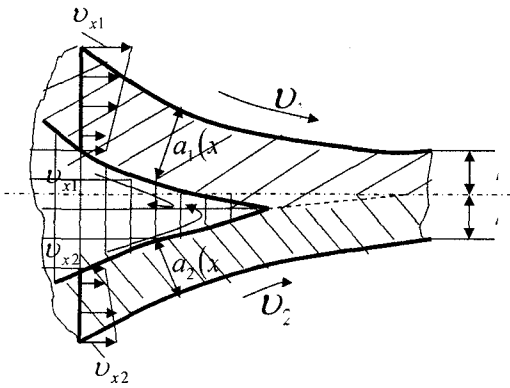


Рис.4. К анализу роли циркуляционной зоны в процессе смешения

границе с валками и с циркуляционной зоной.

В связи с этим деформация сдвига становится зависимой от геометрических параметров циркуляционной области и активных областей. Установлено, что учет циркуляционной области существенно увеличивает деформацию сдвига за один цикл (рис.5). На рис.5 ζ_1 и ζ_2 – деформации сдвига за один цикл в верхнем и нижнем активных слоях смесительной зоны (рис. 4), а ζ_0 – деформация сдвига, которая имела бы место без учета циркуляционной зоны, т.е. при однородном сдвиге.

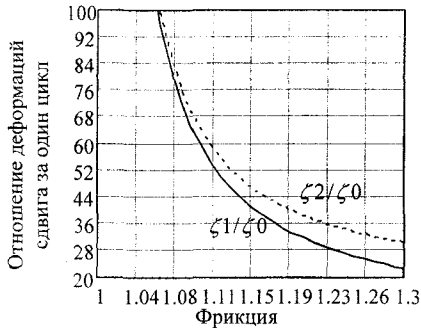


Рис.5. К оценке вариантов моделирования

решений, не учитывающих циркуляционную зону.

Деформации сдвига $\zeta = \frac{\zeta_1 + \zeta_2}{2}$, накопленная материальными

частицами за один цикл, зависит от основных параметров процесса (радиуса валков, толщин полосы на входе и выходе из очага деформации, окружной

перемещаются в циркуляционной области по замкнутым траекториям и по этой причине не выходят за ее пределы, предложена модель очага деформации (рис.4), включающая циркуляционную область как область пассивного смешения и две области активного смешения, прилегающие к валкам и имеющие суммарную толщину, равную толщине полосы на выходе из валков.

Деформация сдвига в активных областях является результатом различия продольных скоростей на

скорости валков и фрикции) и наряду с исходной ориентацией компонентов перед смещением играет определяющее значение в эффективности смещения.

Получена информация о взаимосвязи основных параметров процесса валкового смещения, включая параметры исходных компонентов смеси, требуемой ее структуры, параметры оборудования и управляемые параметры технологического процесса. Указанная информация явилась основой для разработки предложений по совершенствованию процесса смещения.

Аналитические выводы по всем аспектам процесса валкового смещения в качественном отношении хорошо согласуются с имеющейся опытной информацией. В количественном отношении теория дает заниженное число циклов, необходимое для получения качественной смеси, по сравнению с практикой. Выдвинуты гипотезы относительно возможных причин указанного различия: - деформация сдвига завышена, так как не учитывает упругое восстановление размеров полосы, - при смещении имеет место процесс диспергирования, приводящий к уменьшению размеров дискретных элементов твердой фазы и, как следствие, к увеличению времени смещения, - фактические режимы макросмещения (подрезки) отличаются от режимов, принятых в расчетах. Определены пути уточнения математической модели на основе опытной информации.

В третьей главе дана оценка существующих методов оперативного контроля качества сырых абразивных смесей. Предложены и исследованы два перспективных метода оперативного контроля качества сырых абразивных смесей: ультразвуковой и фотометрический.

При исследовании ультразвукового метода на базе прибора «Импульс» установлено влияние усилия прижатия источника и приемника импульса к поверхности испытуемого образца, а также толщины образца на скорость ультразвука. Для устранения указанных нежелательных явлений разработана установка для испытания образцов, обеспечивающая постоянство усилия прижатия и толщину образца в процессе измерения скорости ультразвукового импульса (рис.6).

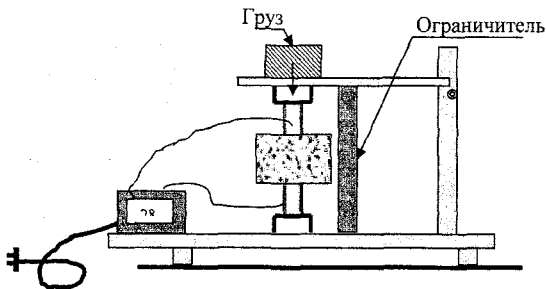


Рис.6. Установка для стабилизации усилия прижатия контактов и высоты образца

Многочисленные повторения опытов на установке (рис.6) и статистический анализ их результатов показали, что характер изменения скорости ультразвука подчиняется нормальному закону распределения. При этом почти со стопроцентной вероятностью ошибка измерений не превышает 3 %.

Установлена взаимосвязь скорости прохождения

ультразвукового импульса с содержанием абразивного зерна в испытуемом образце (рис.7)

Для удобства обработки результатов опытов получены уравнения регрессии

прямой и обратной зависимостей, наилучшим образом приближающие данные в смысле наименьших квадратов.

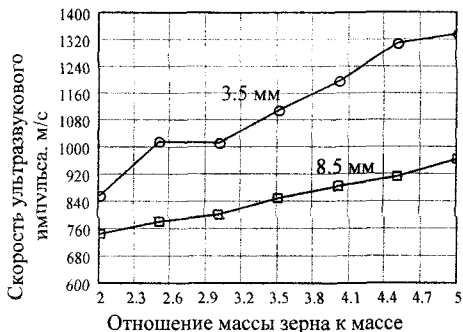


Рис.7. Зависимость скорости ультразвука от массовой доли зерна и связки

Для образцов толщиной 3.5 мм

$$C = 157.771 \cdot K_m + 564.486, \quad (10)$$

$$K_m = 0.00613 \cdot C - 3.345, \quad (11)$$

где C – скорость ультразвука, м/с,

K_m – отношение массы абразивного зерна к массе связки.

Для образцов толщиной 8.5 мм

$$C = 71.614 \cdot K_m + 594.05, \quad (12)$$

$$K_m = 0.014 \cdot C - 8.199, \quad (13)$$

По значениям K_m в образцах смеси, взятых с различных участков полосы, формируемой валковым смесителем, предлагается судить об однородности смеси.

Исследован фотометрический метод оценки качества смеси. В основе фотометрического метода лежит цифровая фотосъемка поверхности полуфабриката смеси и последующая компьютерная обработка цветового содержания снимка с помощью программ компьютерной графики. Установлено, что по мере повышения однородности смеси изменяется цветовое содержание снимка смеси, сопровождающееся уменьшением числа оттенков и полутонов, что подтверждают гистограммы, полученные в результате обработки снимков поверхности абразивной смеси после различного числа циклов смешения с помощью растрового редактора Adobe Photoshop.

Исследования показали высокую точность метода при съемке со штативом. Опробованы различные режимы съемки и сделаны соответствующие практические рекомендации. Метод рекомендован для глубокого (детального) анализа качества смесей в лабораторных условиях, а также для оперативной оценки однородности сырых абразивных смесей в производственных условиях.

Теоретически и экспериментально исследовано влияние масштаба проб на статистические критерии качества смесей. Установлено, что статистические критерии качества являются необходимыми, но недостаточными для однозначной оценки качества смеси. Из рис.8 следует, что одна и та же смесь, исследованная на пробах различного масштаба, имеет различные статистические характеристики. Результат оценки качества зависит от масштаба проб. При

большом масштабе проб смесь может быть оценена как однородная, а при малом – как неоднородная.

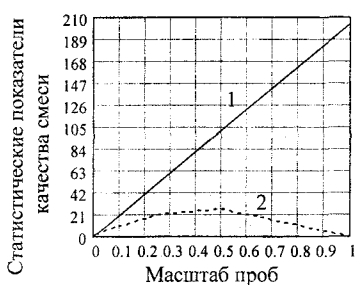
Введены понятия критического масштаба проб и глубины однородности смеси. Предложены критерии однозначной оценки качества смесей, предполагающие определение критического масштаба проб и дисперсию при масштабах проб, меньших критического.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований процесса валкового смешения.

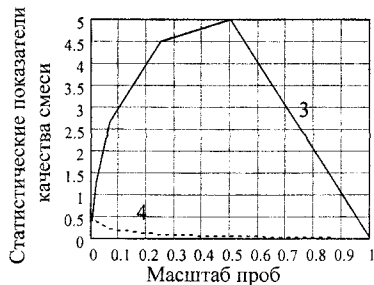
Установлено, что деформация абразивной смеси сопровождается значительной (до 30% и более) упругой составляющей, что снижает остаточную деформацию сдвига и, как следствие эффективность смешения (рис.9).

На основе экспериментальных данных получена зависимость коэффициента коррекции остаточной деформации сдвига позволившего уточнить математическую модель.

$$K_p = \left[1 - 0.705 \cdot \left(\frac{h_0 - h}{h_0} \right) + 0.316 \cdot \left(\frac{h_0 - h}{h_0} \right)^2 \right]^2.$$



а) Зависимость математического ожидания (1) и дисперсии (2) от масштаба проб



б) Зависимость среднего квадратического отклонения (3) и коэффициента вариации (4) от масштаба проб

Рис.8. Зависимость статистических показателей качества смеси от масштаба проб

Экспериментально изучен процесс диспергирования при смешении. Установлено, что среднемассовый размер абразивного зерна в процессе смешения уменьшается в 1.3 – 2.8 раза в зависимости от параметров исходного зерна (рис.10).

В математическую модель введен коэффициент диспергирования, что также позволило повысить точность прогнозирования результатов смешения. Исследовано влияние продолжительности (числа циклов) смешения на качество смеси. Установлено, что существует некоторое предельное число циклов, выше

которого качество смеси не улучшается (рис.11), что подтвердило теоретические предпосылки, сделанные во второй главе.

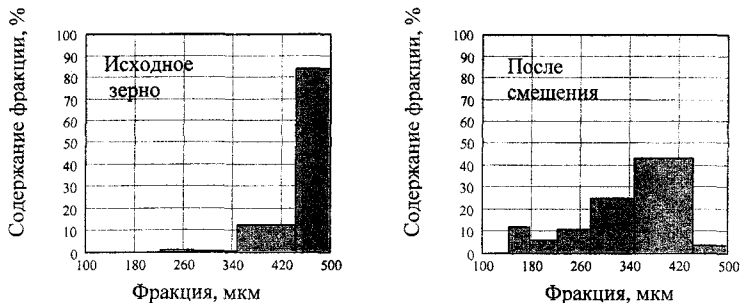


Рис.10. К анализу процесса диспергирования при смешении

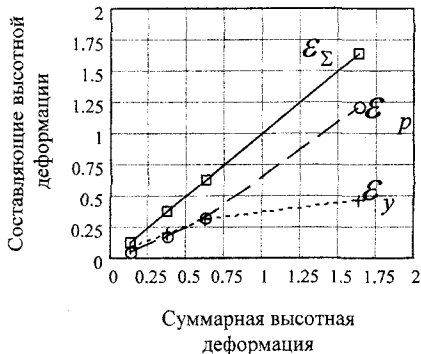


Рис.9. Зависимость упругой и остаточной деформаций от суммарной деформации

Исследовано влияние способа засыпки абразивного материала на качество операции макросмешения. Неравномерная по длине бочки валков и неравномерная во времени засыпка зерна ухудшает качество макросмешения и повышает износ валков, практически не влияя на результаты смешения в целом.

Исследовано влияние режимов подрезки (традиционного способа макросмешения) на качество смеси и необходимое время смешения (рис. 12). На рис.12 отношение ширины ножа (Δb) к ширине полосы (b) характеризует отношение подрезаемого объема полуфабриката к максимально возможному объему в единицу времени.

При малом объеме подрезки (верхняя кривая) качество смеси практически не изменяется. С увеличением объема подрезки примерно в три раза (нижняя кривая) наблюдается заметное повышение качества смеси уже после 15 циклов. Таким образом, от объема подрезки продолжительность смешения зависит весьма существенно. Этот вывод свидетельствует о необходимости совершенствования технологии подрезки. В работе сделаны соответствующие рекомендации. Исследованы нетрадиционные способы макросмешения, существо которых состоит в увеличении площади контакта между компонентами смеси перед поступлением ее в очаг деформации. В частности показано, что эффект макро-

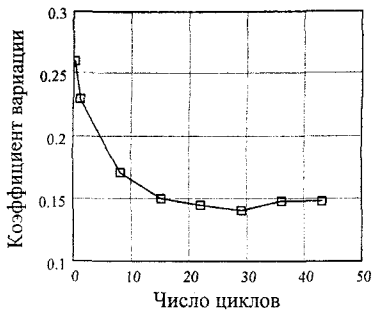


Рис.11. Зависимость качества смешения от числа циклов

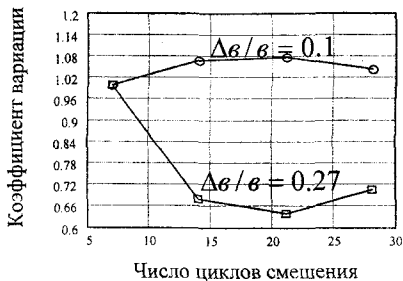


Рис.12. Влияние режима подрезки на качество смеси

смешения может быть повышен при формировании перед входом в валки на поверхности полуфабриката поперечных сквозных углублений. Способы защищены патентами РФ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Затраты на производство абразивных смесей и их качество в значительной мере определяют себестоимость и качество готовой продукции. Вместе с тем процесс приготовления смесей является узким местом в производстве абразивного инструмента, одной из наиболее трудоемких и энергоемких операций.

2. Недостаточная изученность процесса валкового смешения, отсутствие научно обоснованных методов прогнозирования качества смесей, а также надежных оперативных методов контроля качества смесей сдерживают разработку эффективных технических решений, которые бы позволили полностью реализовать потенциальные возможности процесса валкового смешения.

3. В основе валкового смешения лежит деформация сдвига в зазоре между валками, а также разрушение полуфабриката смеси после выхода из валков на более мелкие фрагменты и механическое перемешивание последних с последующим возвратом в зазор между валками. Эффективность смешения определяется совокупным действием указанных аспектов процесса смешения. Недостаток известных работ состоит в игнорировании этого принципиального положения.

4. Введены понятия микро и макросмешения, имеющие в своей основе различные механизмы. Деформация сдвига в зазоре между валками квалифицирована как операция микросмешения, а подрезка как операция макросмешения. Обоснована необходимость моделирования процесса смешения во взаимосвязи микро и макросмешения. Определена роль микро и макросмешения в формировании качества смеси. Показано влияние макросмешения на эффективность микросмешения.

5. Аналитическое прогнозирование времени смешения до получения смеси требуемого качества является одной из важнейших задач исследователей. Решение вопроса сдерживается отсутствием соответствующего критерия, который бы учитывал как исходное состояние полуфабриката смеси, так и качество готовой смеси.

6. Для решения проблемы, отмеченной в п.5, введено понятие идеальной структуры смеси. На основе анализа динамики изменения структуры смеси при микросмешении от некоторого исходного состояния до структуры идеальной смеси определены критические значения вытяжек слоев, пропорциональных накопленным деформациям сдвига, превышение которых не способствует улучшению качества смеси. Критические значения вытяжек (деформаций сдвига) рекомендованы в качестве критериев завершения процесса смешения. При этом учитывается исходное состояние компонентов смеси и требуемая структура готовой смеси.

7. Выполнен анализ влияния в принципе возможных вариантов макросмешения на эффективность микросмешения. В том числе рассмотрен вариант со случайной ориентацией фрагментов смеси, реализуемый на практике, и виртуально возможный вариант с оптимальной ориентацией фрагментов перед каждым циклом как эталон процесса смешения. Сравнение возможных вариантов смешения с идеальным вариантом позволило оценить их эффективность и выявить потенциальные резервы для совершенствования процесса смешения на основе разработки эффективных режимов макросмешения.

8. Разработана методика расчета необходимого числа циклов для получения требуемой структуры смеси. Показано, что необходимое число циклов зависит от параметров исходных компонентов смеси, желаемой ее структуры и условий смешения. Особенно сильно на число циклов (время смешения) влияет размер дискретного элемента твердой фазы и ориентация фрагментов полуфабриката смеси перед каждым циклом. Разработана методика расчета углов оптимальной ориентации фрагментов смеси при смешении.

9. В основе известных моделей механизма смешения лежит однородная деформация сдвига, неприемлемая для условий валкового смешения, характеризующегося сложной кинематикой течения материала в очаге деформации, в частности, сопровождающейся противотоком и наличием циркуляционной зоны.

10. Известные модели разработаны для стационарного режима микросмешения, предполагающего неизменность траекторий перемещения материальных частиц и заданную ориентацию компонентов смеси перед первым циклом. Модели не учитывают влияние результатов макросмешения на эффективность микросмешения.

11. Разработана математическая модель процесса валкового смешения, впервые учитывающая влияние циркуляционной области очага деформации на результаты смешения. Получена информация о взаимосвязи основных параметров процесса валкового смешения, включая параметры исходных компонентов смеси, требуемой ее структуры, параметры оборудования и управляемые параметры

технологического процесса. Указанная информация является основой для разработки технических и технологических решений по совершенствованию процесса смешения.

12. Аналитические выводы по всем аспектам процесса валкового смешения в качественном отношении хорошо согласуются с имеющейся опытной информацией. В количественном отношении теория дает заниженное число циклов, необходимое для получения качественной смеси, по сравнению с практикой.

13. Выдвинуты гипотезы относительно возможных причин некорректности математической модели и определены пути адаптации математической модели к условиям опыта. Уточнение математической модели осуществлено на основе учета упругой составляющей деформации сдвига и уменьшения размеров абразивных зерен в результате диспергирования при смешении.

14. Исследован ультразвуковой импульсный метод контроля качества не вулканизированной абразивной смеси. Определена точность метода. Впервые установлена зависимость скорости ультразвукового импульса от толщины образца и усилия прижатия контактов. Разработана методика исследований, устраняющая влияние нежелательных факторов на результаты измерений. Метод рекомендован в качестве оперативного метода определения однородности сырых абразивных смесей.

15. Исследован фотометрический метод контроля качества смесей. Определена точность метода. Показаны возможности метода. Метод рекомендован для глубокого (детального) анализа качества смесей, а также в качестве оперативного метода оценки однородности сырых абразивных смесей.

16. Исследовано влияние масштаба проб на статистические критерии качества смесей. Установлено, что статистические критерии качества являются необходимыми, но недостаточными для однозначной оценки качества смеси. Введены понятия критического масштаба проб и глубины однородности смеси. Предложен критерий однозначной оценки качества смесей.

17. Экспериментально подтверждены принципиальные теоретические положения, касающиеся зависимости качества смеси от числа циклов (времени смешения) и статистических показателей качества смеси от масштаба проб; на основе опытов получены уравнения регрессии для расчета остаточной деформации сдвига при смешении и усредненных по массе размеров абразивных зерен после смешения; экспериментально исследован существующий вариант макросмешения; проведена серия опытов, направленных на поиск альтернативных способов макросмешения.

18. Ультразвуковой и фотометрический методы используются для оперативного контроля качества смесей на ЗАО «Россия», для научных исследований в лабораториях НИИАШ, а также в учебном процессе.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения рекомендаций работы составит не менее 527 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Судаков Н.В., Марченко С.В., Гитенко С.Д., Чаплыгин А.Б. К вопросу интенсификации процесса приготовления абразивной формовочной смеси на вулканитовой связке // Теория, технология и оборудование для производства абразивного инструмента: Сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003.– С. 25–29.
2. Чаплыгин А.Б., Шеркунов В.Г. Моделирование процесса валкового смешения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. –Вып.5. –№5 (34). –С. 191–195.
3. Чаплыгин А.Б., Судаков Н.В., Шеркунов В.Г. Моделирование процесса получения абразивных смесей на валковых смесителях // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – Магнитогорск: МГТУ, 2005. – №3 (11). –С. 75–77.
4. Шеркунов В.Г., Чаплыгин А.Б., Циркулинский М.О., Дьяконов А.А. Фотометрический метод контроля качества абразивных смесей // Наука и технология. Избранные труды Российской школы. Серия «Технологии и машины обработки давлением. – М.: РАН, 2005. –С. 167–170.
5. Чаплыгин А.Б., Циркулинский М.О., Шеркунов В.Г. К вопросу оценки качества смеси с использованием программы Photoshop CS // Наука и технология. Избранные труды Российской школы. Серия «Технологии и машины обработки давлением. – М.: РАН, 2005. –С. 194–197.
6. Чаплыгин А.Б., Шеркунов В.Г., Марченко С.В. Разработка и исследование ультразвукового метода контроля качества абразивных смесей // Абразивное производство: Сб. науч. трудов – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – С. 29–38.
7. Чаплыгин А.Б., Шеркунов В.Г., Дьяконов А.А., Марченко С.В. Исследование влияния содержания абразивного зерна на скорость ультразвукового импульса // Абразивное производство: Сб. науч. трудов – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. –С. 38–41.
8. Марченко С.В., Чаплыгин А.Б. Исследование ультразвукового метода контроля механических характеристик абразивного инструмента // Абразивное производство: Сб. науч. трудов – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. –С. 106–117.
9. Пат. РФ № 2243879. Способ получения абразивных кругов на вулканитовой связке / Н.В. Судаков, В.Г. Шеркунов, А.Б. Чаплыгин и др.
10. Пат. РФ (пол. реш. по заявке 2004107081, пр.9.03.2004). Способ получения вулканитовой формовочной абразивной смеси / Н.В. Судаков, В.Г. Шеркунов, В.Н. Дятлов, А.Б. Чаплыгин и др.
11. Пат. РФ. (пол. реш. по заявке 2003133939, пр.21.11.2003). Способ получения вулканитовой формовочной абразивной смеси / В.Г. Шеркунов, В.Н. Дятлов, А.Б. Чаплыгин и др.