

3 (шток) по наружной фаске. Режущие пластины 2 настроены на размер, обеспечивающий деформирование роликами 5 при обкатывании слоя металла в пределах 0,3 – 0,5 мм «на сторону» в зависимости от требуемого качества обработки.

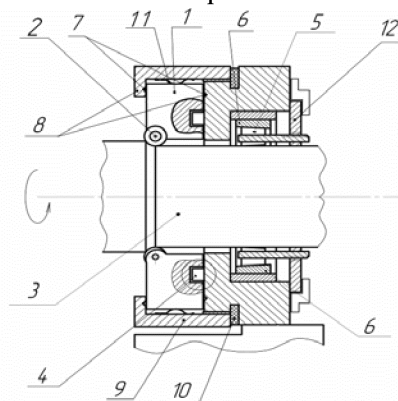


Рисунок 1 – Комбинированное устройство для обработки резанием и ППД с плавающим резцовым блоком

При взаимодействии пластин 2 с обрабатываемой поверхностью детали 3 (штока) плавающий диск 1 самоустанавливается по обрабатываемой поверхности детали, что обеспечивается его смещением относительно неподвижных штифтов 4, установленных в корпусе устройства. Такое смещение возможно за счет зазора между штифтами 4 и отверстиями в плавающем диске 1. При этом смещение возможно под любым углом к оси обрабатываемой детали (штока) 3. Плавающий диск 1 сохраняет свое сориентированное положение по обрабатываемой поверхности детали (штока) 3 на протяжении всей последующей обработки.

Скольжение торцов плавающего диска 1 относительно корпуса и поджимной гайки обеспечивается за счет шариков 7, размещенных в канавках 8 треугольной формы, сформированных на торце корпуса устройства и внутреннем торце гайки 9.

Исходное положение плавающего диска 1 в соосном состоянии с осью корпуса перед началом обработки обеспечивается пружинами 11, расположенными на внутреннем диаметре гайки 9 или на наружном диаметре плавающего диска 1.

Выводы

При обработке заготовок со значительными погрешностями в продольном сечении возможна неравномерная нагрузка на резцы и их поломка. Использование конструкции комбинированного устройства с плавающим многорезцовым блоком исключает подобные возможности и позволяет вести обработку с увеличенными по сравнению с другими устройствами подачами, устанавливаемыми с учётом имеющегося в головке количества режущих элементов, что обеспечивает повышение производительности обработки.

Литература

1. Патент на полезную модель № 111052. Авторы Пини Б.Е., Анкин А.В., Максимов Ю.В., Ветрова Е.А. Устройство для комбинированной обработки резанием и ППД с регламентированным усилием обкатывания.
2. Холодное колибрование зубьев цилиндрических колес с предварительной стабилизацией припуска под обработку. / Черепяхин А.А., Виноградов В.М. М., ОАО «Машиностроение», «Упрочняющие технологии и покрытия», № 1, 2009.

Расширенные операционные характеристики сканирующего магнитоконтроля ферропримесей формовочных смесей

д.т.н. проф. Сандуляк А.В., к.т.н. доц. Сандуляк А.А., Куренков Е.П., Сандуляк Д.А., Голованов А.В.

Университет машиностроения
8(495) 223-05-23, доб. 1589

Аннотация. Приводятся результаты многократного сканирующего магнито-

контроля ферропримесей формовочных смесей при осуществлении большого и очень большого числа операций контроля. Выявлен «излом» каждой из массово-операционных характеристик такого контроля, объясняющийся наглядно иллюстрируемым пооперационным сужением спектра крупности ферропримесей. Показана и с использованием оригинальных расчетных моделей количественно оценена принципиальная (определяющая объективность данных контроля) роль второго, функционально экстраполируемого участка этой характеристики.

Ключевые слова: сканирующий магнитоконтроль, «излом» массово-операционной характеристики, экстраполяционный прогноз, гистограммы спектра крупности

1. Особенности магнитоконтроля ферропримесей ФС, массово-операционная характеристика как основа контроля

В [1, 2] изложены результаты апробации нового для формовочной смеси (ФС) метода контроля железосодержащих примесей – магнитоконтроля. Ориентированный на выявление магнитоактивной фракции этих примесей, т.е. примесей, обладающих ферро- и ферритмагнитными свойствами (именно из-за этого часто называемых ферропримесями), он основывается на проведении многократно повторяемых операций их магнитного выделения из одной и той же пробы ФС – с получением данных операционных масс m выделяемых ферропримесей как первичной информации для нахождения их общей массы и массовой доли.

В [1] для этих целей использовалась опытная модель двухбарабанного магнитного сепаратора, при этом одна операция контроля соответствовала одному пропусканию анализируемой массы пробы ФС через сепаратор (одному циклу). В [2] для этих же целей использовался часто применяемый в лабораторной практике постоянный подковообразный магнит, которым осуществлялось ручное «сканирование» пробы анализируемой среды, предварительно рассредоточенной в виде тонкого слоя на горизонтальной поверхности [3-7]. Такому контролю подвергаются, в частности, пищевые продукты, строительные материалы (обычно – три операции [3-5, 7] и шесть [6] операций): по суммарной массе выделенных ферропримесей определяется их концентрация (массовая доля) в пробе анализируемой среды той или иной массы. При этом одна операция такого сканирующего магнитофореза – это два взаимно перпендикулярных сканирования, естественно, при полном поочередном «охвате» (параллельными перемещениями магнита) полем магнита всей анализируемой массы пробы. При магнитоконтроле ферропримесей ФС периодическое снятие выделяемого осадка этих примесей (посредством предварительно надеваемых на полюса магнита пленочных оболочек [3-7] – для облегчения разобщения осадка примесей и магнита) производилось не после завершения всей многопроходной операции двойного сканирования слоя анализируемой пробы [3-7], а после каждого прохода [2]. Это обусловлено тем, что ФС характеризуется сравнительно большим присутствием ферропримесей; быстро накапливаясь, они образуют многослойный осадок, все более препятствующий (как «шунт-экран») их захвату [2].

Оба подхода к магнитоконтролю, повторим, основывались на получении операционных (не собираемых вместе, как это обычно делается) масс m выделенных ферропримесей и представлении их в виде зависимости от порядкового номера n операции.

При реализации *первого* подхода [1] выяснилось, что операционная масса m выделяемых ферропримесей хотя и уменьшается от операции к операции, остается далекой от нулевого значения, даже при осуществлении шести операций-циклов. Свидетельствуя о наличии неучтенной остаточной массы ферропримесей, это одновременно означает, что величина массовой доли ферропримесей, вычисляемая по результатам такого ограниченного числа операций-циклов, должна восприниматься только как предварительная, нуждающаяся в обязательном уточнении. Получаемая же массово-операционная (m от n) характеристика, поиск аналитического вида которой мог бы способствовать этому уточнению (посредством ее объективной экстраполяции), к сожалению, оказалась для этой цели «короткой» [1].

При реализации *второго* подхода [2] число операций практически удвоено, а именно доведено до $n=11$. Хотя и такое число операций тоже не привело к «полной выборке» ферро-

примесей (рисунок 1а), оно, тем не менее, позволило решить главный вопрос, а именно дало достаточно «протяженную», позволяющую установить вид соответствующей функции зависимости m от n [2]. А это – ключевой шаг для ее объективной экстраполяции [2, 8, 9] и, как следствие, для определения истинной массы ферропримесей, содержащейся в анализируемой пробе, включая прогнозную оценку их остаточной массы.

2. Варианты определения масс ферропримесей в пробе на основе реально ограниченной массово-операционной характеристики их магнитоконтроля

Итак, получаемая опытная (с точки зрения достижения полной выборки ферропримесей – всегда незавершенная) зависимость операционных масс m выделяемых ферропримесей от порядкового номера n операции должна интерпретироваться аналитически, на основании чего (с учетом экстраполяции) осуществимым становится расчет истинной массы ферропримесей, содержащейся в анализируемой пробе ФС. Это иллюстрируется любой из опытных m, n -зависимостей, в частности на примере массово-операционной характеристики, полученной в [2] (рисунок 1а).

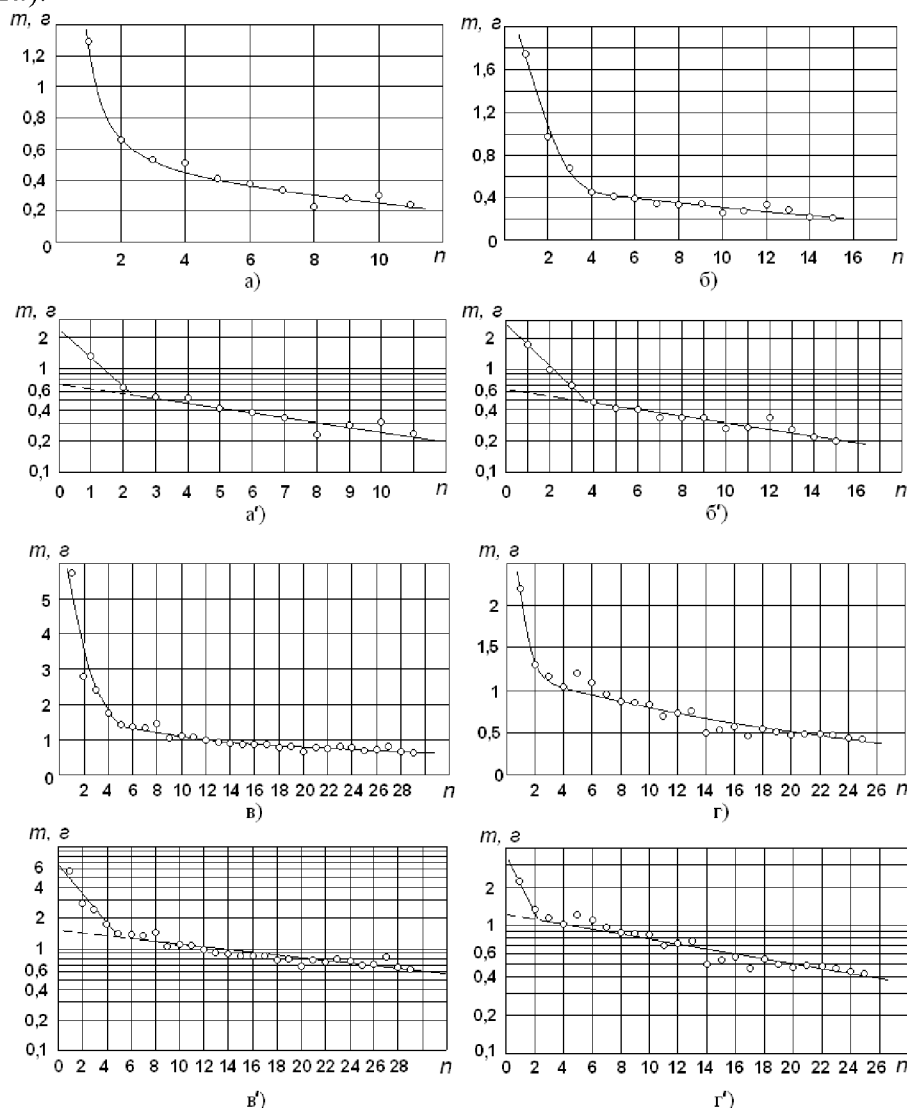


Рисунок 1 – Операционные характеристики (в обычных и полулогарифмических координатах) масс, выделяемых при магнитоконтроле ферропримесей различных формовочных смесей: а) ФС № 1 – по данным [2], б) ФС № 2, в) и г) ФС №3 и ФС №4

Так, она, будучи изображенной в полулогарифмических координатах (для выявления ее возможного экспоненциального вида), преобразуется в кусочно-линейную, с четко проявляющим себя «изломом» (рисунок 1а'). Ее первый, сравнительно круто нисходящий участок содержит весьма ограниченное число данных (2-3), а второй (после «излома», $n \geq 3$), более пологий участок благодаря соответствию показательной функции [2]:

$$m = a \cdot \exp(-k \cdot n) \quad (1)$$

может быть объективно экстраполирован вплоть до $n \rightarrow \infty$ (при соответствующих, легко определяемых эмпирических параметрах a и k ; для данных рисунка $1a^1$ [2]: $a=0,72$ и $k=0,094$).

Именно этот второй участок, функционально интерпретированный выражением (1), выступает базовым для нахождения любого текущего значения m (при $n \geq 3$), в том числе за пределами фактических экспериментов, и, что весьма важно для нахождения суммарных масс ферропримесей. А это, кроме массы $m_{1...n}$ ферропримесей, выделяемой ограниченным числом n операций, также общая масса $m_{1... \infty}$ этих примесей в анализируемой пробе (фактически выделенная и остаточная, т.е. теоретически: от $n=1$ вплоть до $n \rightarrow \infty$). Тогда легко определяются и массовая доля (концентрация) ферропримесей, и степень их выделения (выборки) как $c = m_{1... \infty} / M$ и $m_{1...n} / m_{1... \infty}$, где M – масса пробы анализируемой среды.

Значения же ключевых параметров – масс $m_{1...n}$ и $m_{1... \infty}$ – можно найти по одному из описанных ниже вариантов.

Первый вариант. Ели бы начальные операционные массы (в данном случае две: m_1 и m_2) фиктивно «ложились» на экстраполированный влево второй, пологий участок (рисунок $1a^1$), то расчет суммарной массы сводился бы к определению суммы непосредственно вытекающих из дискретной зависимости (1) членов характерной для данного случая убывающей геометрической прогрессии операционных масс [2, 9, 10]. Так, при ее первом члене $m_1 = a \cdot \exp(-k)$ и знаменателе $q = \exp(-k)$ значения $m_{1... \infty}$ и $m_{1...n}$ можно вычислять по формулам [2, 8-10]:

$$m_{1... \infty} = a / (\exp k - 1), \quad m_{1...n} = a [1 - \exp(-k \cdot n)] / (\exp k - 1) < m_{1... \infty}. \quad (2)$$

Поскольку фактические данные m_1 и m_2 превышают на Δm_1 и Δm_2 их фиктивные значения, выражения (2) записываются с учетом Δm_1 и Δm_2 (как поправок) [2], например:

$$m_{1... \infty} = \Delta m_1 + \Delta m_2 + a / (\exp k - 1). \quad (3)$$

В частности, использование в [2] расчетной формулы (3) позволило установить значение всей массы ферропримесей, содержащейся в пробе ФС массой $M = 40g$: $m_{1... \infty} = 7,9g$, а отсюда – их массовую долю $c = 0,197$ (19,7%). Эта величина почти в 4 раза выше соответствующего нормативного значения (не более 5% железосодержащих примесей ФС в пересчете на оксид железа [11-13]). И если вести речь о применении магнитных сепараторов для удаления ферропримесей из данной ФС, то эффективность их работы должна быть не менее 75%.

Второй вариант. Опять-таки, принимая во внимание, что круто нисходящий участок зависимости m от n (рисунок $1a^1$) содержит весьма ограниченное число опытных данных (m_1 и m_2) и никак не «участвует» в дальнейшей экстраполяции принципиального здесь пологого участка этой зависимости, можно записать очевидное выражение:

$$m_{1... \infty} = m_1 + m_2 + m_{3... \infty}, \quad (4)$$

когда к непосредственным опытным значениям m_1 , m_2 прибавляется расчетная величина $m_{3... \infty}$ – общая масса ферропримесей, вычисляемая для пологого участка зависимости m от n (включая, разумеется, и ту ее экстраполируемую часть при $n > 11$, которая находится за пределами фактических опытов). Для расчета этой массы ($m_{3... \infty}$) можно использовать обе формулы (2), прибегая к разнице $m_{1... \infty} - m_{1...n} = m_{n... \infty}$ и полагая здесь (как и ранее), что второй, пологий участок как бы единственный и начинается не с $n=4$, а с $n=1$:

$$m_{3... \infty} = m_{1... \infty} + m_{1...2} = a \cdot \exp(-k \cdot n) / (\exp k - 1) = a \cdot \exp(-k \cdot 2) / (\exp k - 1), \quad (5)$$

где: $m_{1...2}$ – та фиктивная масса ферропримесей, которая должна была бы принадлежать этому второму, условно единственному полному участку (с характерными для него значениями a и k).

Тогда с учетом (5) расчетная формула (4) для данного случая приобретает вид:

$$m_{1...∞} = m_1 + m_2 + a \cdot \exp(-k \cdot 2) / (\exp k - 1), \quad (6)$$

являясь альтернативой формуле (3).

Расчет с привлечением данных [2] (рисунки 1а, 1а¹) показывает, что полученное по формуле (6) значение $m_{1...∞}$, как и ожидалось, практически идентично значению, полученному по формуле (3). А это свидетельствует о взаимной эквивалентности обеих этих формул.

3. Результаты магнитоконтроля ферропримесей ФС при большом числе операций такого контроля

Дискутируя по вопросу о часто регламентируемом, том или ином ограниченном числе операций [3-7] (для получения как бы окончательных результатов магнитоконтроля), стоит обратить внимание на те же данные [2] (рисунки 1а, 1а¹), где совокупная масса ферропримесей, выделенная даже после 11-ти операций, составила $m_{1...11} = m_1 + m_2 + \dots + m_{11} = 5,17g$. Это, отметим, практически в 1,5 раза меньше в сравнении с вычисленной по (3) и (6) потенциальной массой $m_{1...∞}$ – при степени выборки ферропримесей всего лишь $m_{1...11} / m_{1...∞} = 0,65$ (65%).

Следовательно, принцип «достаточности» того или иного числа операций (например, 3-6 [3-7]) магнитоконтроля не должен основываться на фактически ложном представлении о возможности как бы прямого достижения состояния полной выборки ферропримесей. Однако такого принципа все же следует придерживаться, но совершенно в ином смысле. Число операций должно быть достаточным в том смысле, чтобы получаемая опытная m, n -зависимость была в необходимой мере протяженной, позволяющей установить ее достоверную (для объективной прогнозной экстраполяции вплоть до $n \rightarrow \infty$) аналитическую функцию: в целях использования описанного выше опытно-расчетного метода магнитоконтроля.

И, разумеется, решение об использовании данного опытно-расчетного метода контроля ферропримесей ФС можно считать исчерпывающе обоснованным лишь в случае, если есть уверенность в «неизменности хода» второго, пологого участка зависимости m от n . Поэтому специального обсуждения (и сопровождения соответствующими экспериментальными данными) требует вопрос о возможном наличии на массово-операционной зависимости (m от n) еще одного, «отдаленного излома». Если же он есть, то это должно означать, что за наблюдаемым пологим участком (рисунок 1а¹) расположится следующий, еще более пологий участок, который, возможно, и следует экстраполировать (устремляя именно его в ∞). Естественно, это потребует внесения коррективов в расчет.

Для того чтобы подтвердить или опровергнуть наличие второго «излома», необходимо выполнить опыты с увеличенным числом операций магнитоконтроля ферропримесей ФС.

На рисунке 1б показана полученная массово-операционная характеристика магнитоконтроля ферропримесей в еще одной пробе формовочной смеси (ФС № 2). Но, в отличие от описанных выше опытов, число операций увеличено здесь до $n=15$ (разумеется, подобное и большее число операций имеет смысл осуществлять лишь в исследовательских целях).

Тем не менее, как и в предыдущем случае, здесь проявляются те же закономерности многооперационного магнитоконтроля. Так, и при увеличенном числе операций достаточно полная выборка ферропримесей не обеспечивается (рисунок 1б), поэтому высказанное выше замечание (об асимптотическом приближении операционных значений m к своему пределу – нулевому значению: $m \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$) подтверждается в полной мере. И еще: полученная операционная зависимость (рисунок 1б) в полулогарифмических координатах (рисунок 1б¹) тоже линеаризуется. Как и в предыдущих опытах (рисунок 1а¹), она приобретает кусочно-линейный вид – со сравнительно круто нисходящим и пологим участками, «стыкующимися» здесь в точке «излома» $n=4$, причем без видимых признаков второго «излома».

Следовательно, описанный выше подход к расчету ключевых параметров магнитоконтроля, например второй, может быть применен и к рассматриваемому случаю. Здесь круто нисходящий участок зависимости m от n (рисунок 1б¹) тоже содержит весьма ограниченное число опытных данных (лишь три: m_1 , m_2 и m_3) и никак не «участвует» в ее дальнейшей

экстраполяции. Базовым же для расчета по-прежнему остается единственный пологий участок зависимости m от n (рисунок 1б¹). Тогда, поступая аналогично получению (4-6), можно записать, что здесь общая масса присутствующих в ФС № 2 ферропримесей:

$$m_{1...∞} = m_1 + m_2 + m_3 + m_{4...∞} = m_1 + m_2 + m_3 + a \cdot \exp(-k \cdot 3) / (\exp k - 1). \quad (7)$$

Вычисление по этой формуле при установленных значениях $a=0,62г$ и $k=0,073$ (для пологого участка) дают значение $m_{1...∞}=9,98г$; при массе пробы $M=60,1г$ массовая доля ферропримесей составляет $c=0,197$ (19,7%).

Уместно сравнить полученное значение $m_{1...∞}$ со значением, получаемым при реализации всех 15-ти операций. Совокупная масса ферропримесей $m_{1...15} = m_1 + m_2 + ... + m_{15} = 7,23г$ оказалась в 1,38 раза меньше по сравнению с оговоренной, фактически присутствующей массой $m_{1...∞}$, при этом степень выборки ферропримесей составила $m_{1...15} / m_{1...∞} = 0,72$ (72%).

Что же касается итогового контрольного параметра – массовой доли (концентрации) ферропримесей – то, исходя из полученного значения $m_{1...∞}=9,98г$, при массе пробы $M=60,1г$ она составляет в ФС №2 $c=0,166=16,6\%$. Эта величина в 3,3 раза превышает указанный выше норматив (5%). Следовательно, применение магнитных сепараторов для очистки данной ФС тоже крайне необходимо, причем с эффективностью не менее 70%.

4. Результаты магнитоконтроля ферропримесей ФС при весьма большом числе операций контроля

Отсутствие на полученной выше массово-операционной характеристике (рис.1б¹) второго «излома» и соответственно третьего участка тоже может быть связано с недостаточным (для проявления этих особенностей) числом опытов-операций.

На рисунках 1в и 1в¹ показана (как и ранее, в обычных, а для функциональной легализации – в полулогарифмических координатах) массово-операционная характеристика магнитоконтроля ферропримесей в еще одной пробе формовочной смеси (ФС № 3). Особенность этой характеристики в том, что она в данном случае получена при весьма большом числе операций: $n=29$.

Тем не менее, и здесь, подобно предыдущим опытам (рисунки 1а¹, 1б¹), закономерности многооперационного магнитоконтроля сохраняются. Так, даже при столь большом числе операций ($n=29$) полная выборка ферропримесей не обеспечивается (рисунок 1в), при этом в полулогарифмических координатах (рисунок 1в¹) полученная зависимость m от n тоже линейризуется всего лишь двумя участками с точкой «излома», приходящейся здесь на $n=5$. Отсутствие же другой «точки излома» свидетельствует о неизменности хода второго, пологого участка получаемой при магнитоконтроле зависимости m, n -зависимости и тем самым – справедливости рассматриваемых расчетных моделей.

Для дальнейшего анализа полученных данных (рисунки 1в, 1в¹) опять-таки необходимо принять во внимание, что первый, круто нисходящий участок зависимости m от n (рисунок 1в¹) содержит и здесь весьма ограниченное число опытных данных (m_1, m_2, m_3 и m_4), предшествующих экстраполируемому последующему (как это видно на рисунке 1в¹ – по-прежнему одноличному) полугому участку зависимости m от n . Значит, можно и здесь поступить аналогично получению (4-6), записав, что общая масса присутствующих в ФС № 3 ферропримесей:

$$m_{1...∞} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_{5...∞} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + a \cdot \exp(-k \cdot 4) / (\exp k - 1). \quad (8)$$

Значение общей массы $m_{1...∞}$ присутствующих в данной пробе ФС № 3 ($M=158г$) ферропримесей, вычисленное по этой формуле при установленных значениях $a=1,6г$ и $k=0,034$ (для пологого участка), составляет $m_{1...∞}=53г$, при этом их массовая доля ($c=0,335=33,5\%$) почти в 7 раз превышает соответствующий норматив (5%). Следовательно, данная ФС также крайне нуждается в применении магнитных сепараторов для ее очистки, причем, если ориентироваться на норматив, с эффективностью более 85%.

Располагая такой существенно расширенной массово-операционной характеристикой (рисунки 1б, 1б¹) и подчеркивая еще раз тщательность попыток прямой полной выборки ферропримесей, можно, как и ранее, сравнить определяемое потенциальное значение масс ферропримесей $m_{1...∞}$ со значением, получаемым при реализации всех операций (в данном случае – 29-ти: $m_{1...29} = m_1 + m_2 + ... + m_{29} = 35,32$). Так, $m_{1...∞}$ в 1,5 раза выше, чем $m_{1...29}$, при этом степень выборки ферропримесей составила $m_{1...29} / m_{1...∞} = 0,67$ (67%).

Изложенные выше принципиальные результаты исследования, касающиеся закономерностей многооперационного магнитоконтроля, полностью подтверждаются почти аналогичной расширенной ($n=25$) массово-операционной характеристикой (ФС № 4), показанной на рисунках 1з и 1з¹ как в обычных, так и в полулогарифмических координатах. Во-первых, и здесь, тоже при весьма большом числе операций ($n=25$), полная выборка ферропримесей не обеспечивается (рисунок 1б), в связи с чем концепцию асимптотического приближения операционных значений m к своему нулевому пределу ($m \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$) можно считать универсальной. Во-вторых, в полулогарифмических координатах (рисунок 1з¹) полученная зависимость тоже линеаризуется всего лишь двумя участками с точкой «излома», приходящейся здесь на $n=2$, при этом другая «точка излома» отсутствует. А это окончательно снимает сомнение в неизменности хода второго, пологого участка получаемой при магнитоконтроле зависимости m от n , одновременно свидетельствуя о справедливости рассматриваемых расчетных моделей.

Дальнейший анализ полученных данных (рисунки 1з, 1з¹) остается, разумеется, прежним с той лишь особенностью, что первый, круто нисходящий участок зависимости m от n (рисунок 1з¹) содержит всего лишь два опытных значения (m_1 и m_2), предшествующие экстраполируемому последующему (как это видно на рисунке 1з¹ и что нелишне отметить еще раз – одноличному) пологому участку зависимости m от n . Тогда для получения расчетной формулы общей массы присутствующих в ФС № 4 ферропримесей можно воспользоваться подходом, аналогичным получению (4-7), в частности формулой (6), записанной именно для такого случая.

Так, при установленных значениях $\alpha=1,252$ и $k=0,046$ (для пологого участка) значение общей массы $m_{1...∞}$ присутствующих в пробе ФС № 4 ($M=1282$) ферропримесей, вычисленное по формуле (6), составляет $m_{1...∞}=27,82$. Значит, их массовая доля ($c=0,217=21,7\%$) в 4,3 раза превышает соответствующий норматив (5%). Следовательно, данная ФС также крайне нуждается в применении магнитных сепараторов для ее очистки, причем, если ориентироваться на норматив, с эффективностью не менее 77%.

Располагая такой существенно расширенной массово-операционной характеристикой (рисунки 1з, 1з¹) и подчеркивая еще раз тщательность попыток прямой полной выборки ферропримесей, можно, как и ранее, сравнить определяемое потенциальное значение масс ферропримесей $m_{1...∞}$ со значением, получаемым при реализации всех операций (в данном случае – 25-ти: $m_{1...25} = m_1 + m_2 + ... + m_{25} = 19,52$). Так, $m_{1...∞}$ в 1,43 раза выше, чем $m_{1...25}$, при этом степень выборки ферропримесей составила $m_{1...25} / m_{1...∞} = 0,7$ (70%).

5. Гистограммы распределения ферропримесей ФС по размерам. О причине «излома» массово-операционной характеристики

Сам вид массово-операционных характеристик ферропримесей ФС (на рисунке 1, в полулогарифмических координатах: кусочно-линейный, по сути – двухэкспоненциальный) свидетельствует о том, что фракция ферропримесей любой из ФС состоит, в свою очередь, условно из двух подфракций [14].

При этом первый участок отражает закономерность пооперационного выделения преимущественно первой, «легковыделяемой» подфракции и частично второй, «трудновыделяемой» подфракции, а второй участок – почти только второй подфракции [14] (практически в отсутствие уже выделенной первой подфракции).

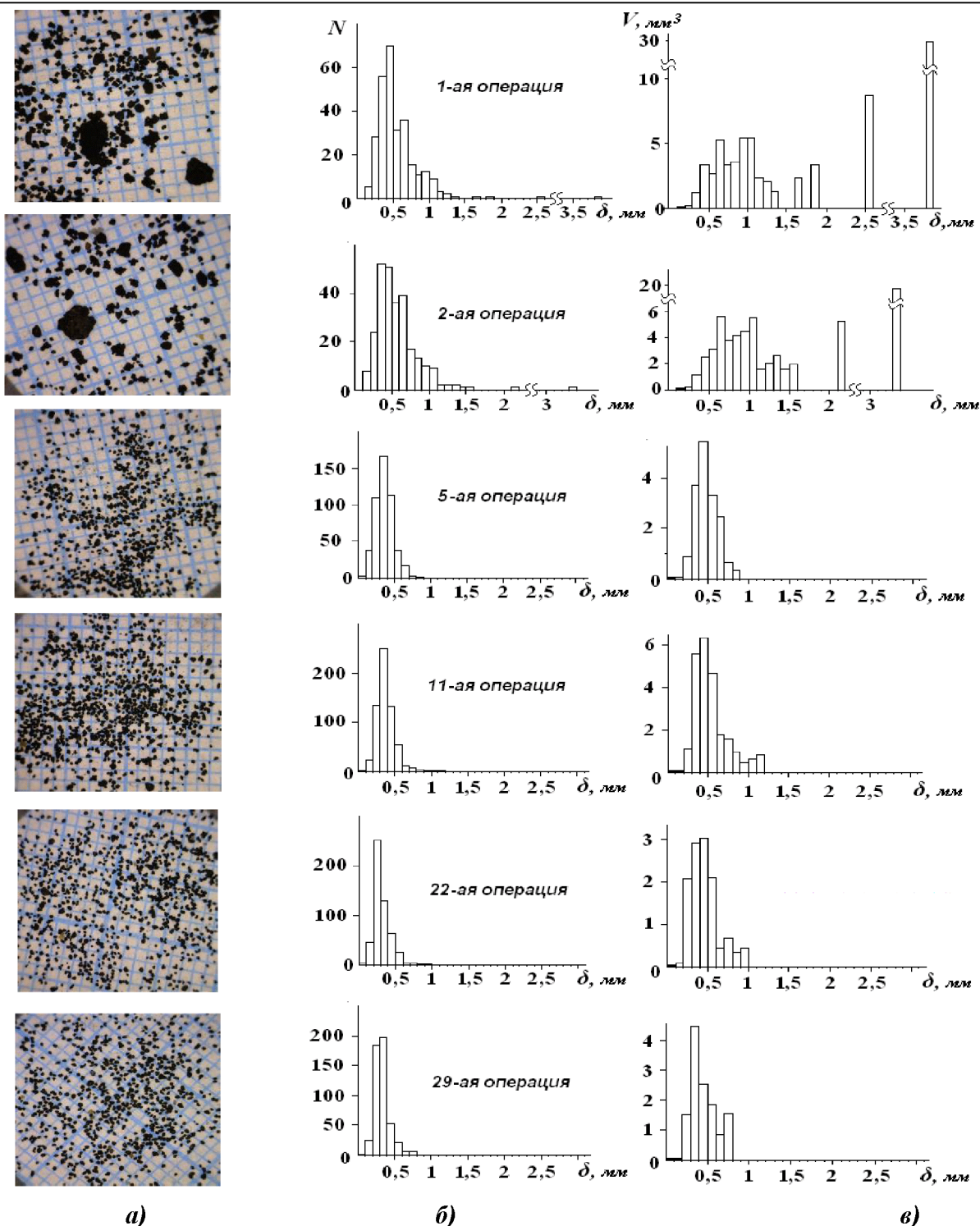


Рисунок 2 – Иллюстрации ферропримесей ФС № 3, выделенных при осуществлении операций магнитоконтроля (а), гистограммы распределения их количества (б) и объема (в) по размерам; ячейка сетки на фото: 1х1 мм

Это доказывают и прямые данные по дисперсному составу ферропримесей, в частности ФС № 3, выделенных отдельно в каждой из нескольких характерных операций. Для получения этих данных осуществлялась микроскопия ферропримесей (рисунок 2а), выделенных в 1-ой и 2-ой операциях (первый участок массово-операционной характеристики, рисунок 1в¹), «переломной» 5-ой, а также в 11-ой, 22-ой и 29-ой операциях (второй участок этой характеристики). Получаемую статистическую информацию представляли в виде наглядных гистограмм распределения их количества N по размерам δ (рисунок 2б).

И такие гистограммы, судя по заметному отличию первых двух из них от последующих

(рисунок 2б), действительно подтверждают сказанное.

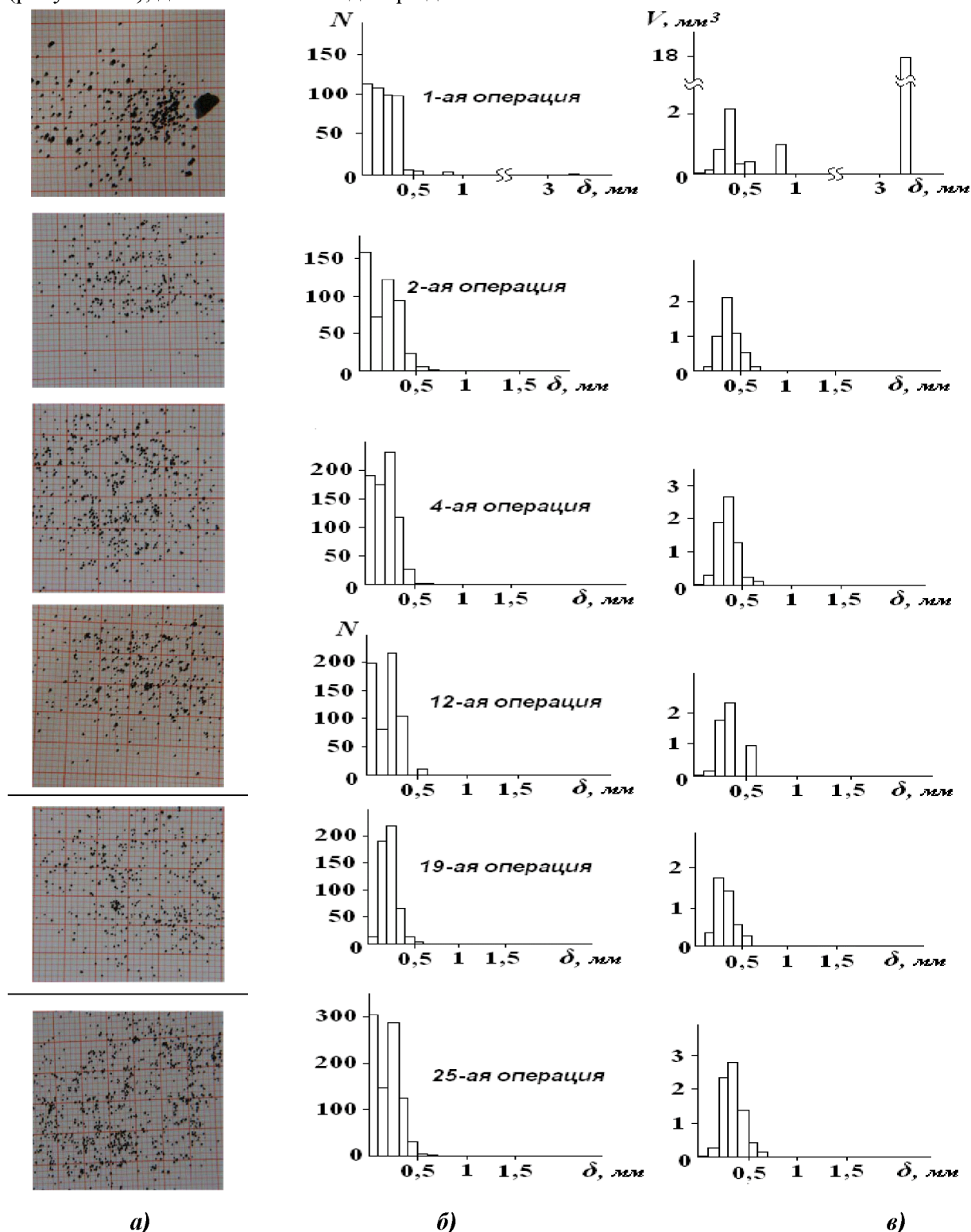


Рисунок 3 – Иллюстрации ферропримесей ФС № 4, выделенных при осуществлении операций магнитоконтроля (а), гистограммы распределения их количества (б) и объема (в) по размерам; ячейка сетки на фото: 1х1 мм

Более того, это подтверждение становится особенно наглядным, если, исходя из обычных гистограмм (рисунок 2б), перейти к гистограммам распределения объема V ферропримесей по размерам δ , которые напрямую характеризуют «представительство» частиц тех или иных размеров в их совокупном объеме (а с учетом усредненной плотности – в их совокупной массе и концентрации). Для перехода к таким гистограммам (рисунок 2в) следует в пер-

вом приближении уподобить ферропримеси с тем или иным средним размером δ (для каждого i -го интервала гистограммы: δ_i), например частицам-шарам.

Тогда интервальные составляющие искомым гистограмм (рисунок 2в) – это совокупные объемы $V_i = (\pi/6) \cdot \delta_i^3 \cdot N_i$ того количества N_i ферропримесей, которое принадлежит определенному интервалу размеров.

И действительно, с позиций таких гистограмм (рисунок 2в), которые свидетельствуют о столь явном отличии между крупностью ферропримесей (ФС № 3), выделенных в операциях, относящихся и к первому, и ко второму участкам m, n -зависимости (рисунок 1в^I), можно окончательно убедиться в полной корреляции данных на рисунках 1в^I и 2в.

Сказанное выше подтверждается также соответствующими данными, полученными с использованием ФС № 4 (рисунки 3 и 1з^I).

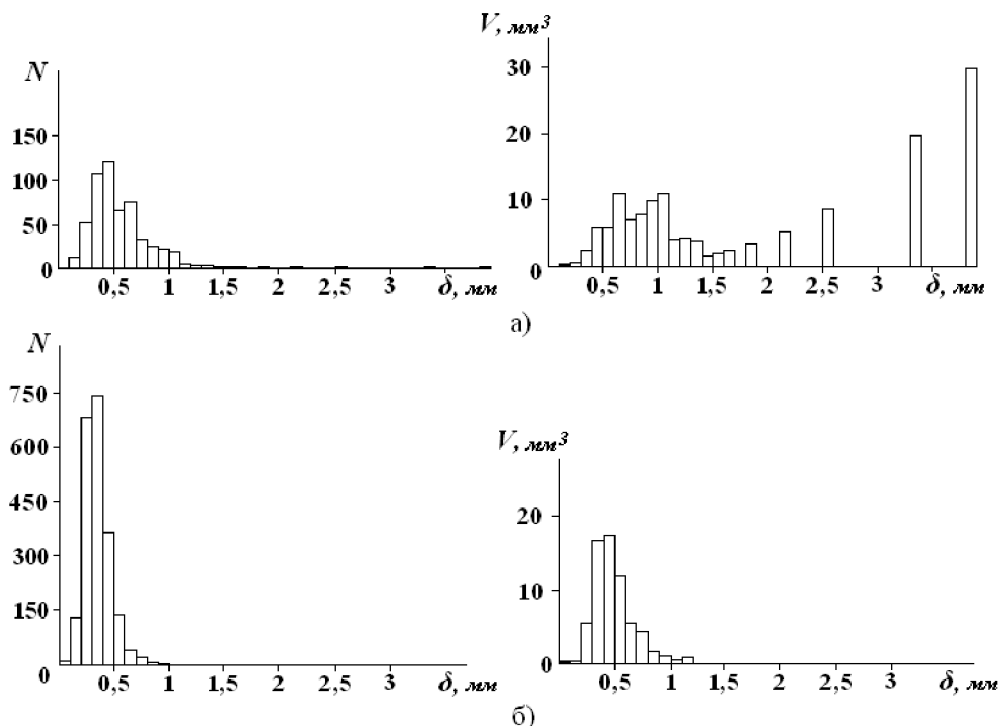


Рисунок 4 – Сводные (по данным рисунка 2) гистограммы распределения количества и объема выделенных ферропримесей ФС № 3 по размерам: а) 1-ая и 2-ая операции, «относящиеся» к первому участку m, n -зависимости на рисунке 1в^I, б) 5-ая, 11-ая, 22-ая и 29-ая операции, «относящиеся» ко второму участку этой зависимости

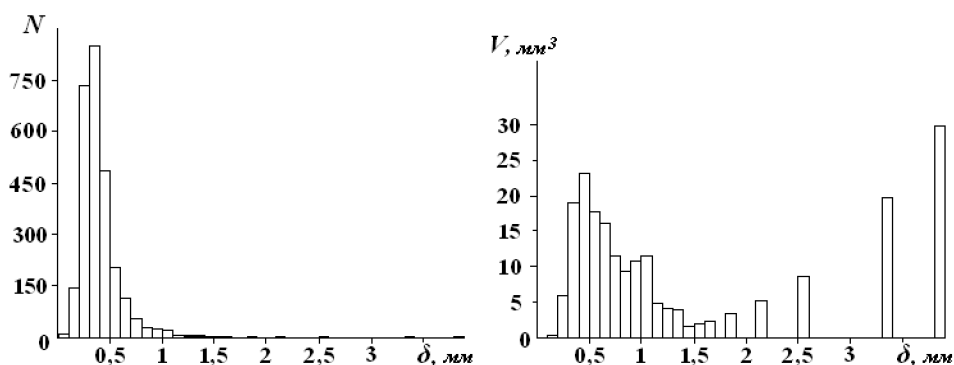


Рисунок 5 – Объединенные (по данным рисунков 2 и 4 все анализируемые операции): гистограммы распределения количества и объема выделенных ферропримесей ФС № 3 по размерам

О выраженном избирательном выделении ферропримесей (в частности, с преимущественным захватом в первых операциях наиболее крупных из них, относящихся к «легковываемой» подфракции), можно также дополнительно судить, используя показательный пример

ФС № 3: по сводным гистограммам ферропримесей (рисунок 4) – отдельно для первого и второго участков m , n -зависимости (рисунок 1б¹).

Общее же представление о дисперсном составе ферропримесей в ФС, например, в ФС № 3, может быть получено, если все секционные гистограммы, представленные на рисунке 2б и на рисунке 2в (или, что то же – на рисунке 4), объединить.

Такие гистограммы (рисунки 5а, 5б) показывают, что при довольно широком спектре размеров δ феррочастиц (до 4мм) подавляющее их количество N – это частицы размерами не более 0,2-0,7мм, а что касается фактического «представительства» ферропримесей тех или иных размеров (по преимущественному вкладу в суммарный объем), то очевидной становится доминирующая роль частиц размерами более 0,2-1,4мм, даже при некотором наличии и намного более крупных частиц.

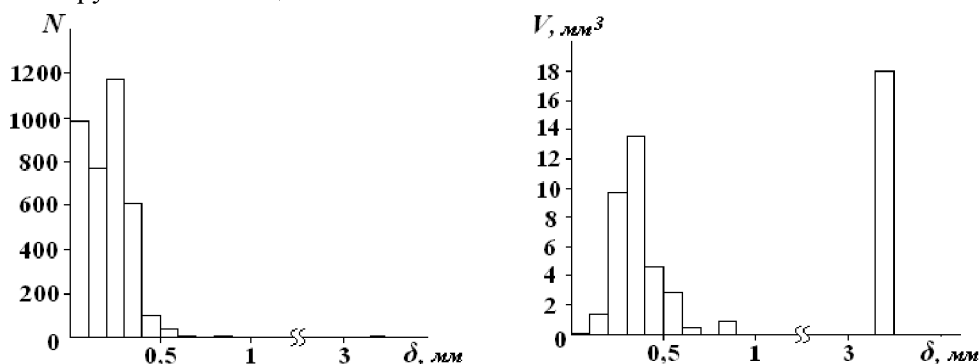


Рисунок 6 – Объединенные (по данным рисунка 3 все анализируемые операции): гистограммы распределения количества и объема выделенных ферропримесей ФС № 4 по размерам

Немного иная картина наблюдается для ферропримесей ФС № 4 (рисунки 6а, 6б): здесь при подавляющем количестве N ферропримесей размерами до 0,4мм наибольший вклад в их объем вносят частицы размерами 0,2-0,6мм.

Выводы

1. Многочисленными экспериментами установлено, что при реализации повторяемого сканирующего магнитоконтроля ферропримесей проб различных формовочных смесей типичным является кусочно-линейный вид характеристики такого контроля (в полулогарифмических координатах – два нисходящих участка: начальный крутой и последующий пологий, модельная экстраполяция которого решает вопрос учета остатка ферропримесей), сохраняющийся для сколь угодно большого числа операций.
2. Иллюстрациями ферропримесей и их статистической обработкой с получением соответствующих гистограмм распределения по размерам показано, что появление «излома» этой принципиальной характеристики обусловлено сужением спектра крупности ферропримесей за счет преимущественного магнитного захвата более крупных ферропримесей в первых операциях магнитофреза.

Литература

1. Сандуляк А.В., Сандуляк А.А., Самохин В.В. и др. Контроль ферровключений в формовочной смеси полициклической магнитной тест-сепарацией. // Литейное производство, 2011, № 1, с. 15-19.
2. Сандуляк А.В., Сандуляк А.А., Самохин В.В. и др. Магнитный сканирующий контроль содержания ферровключений в формовочной смеси. // Литейщик России, 2011, № 4, с. 36-39.
3. ГОСТ 20239-74. Мука, крупа и отруби. Метод определения металломагнитной примеси. Стандартинформ, 2007.
4. ГОСТ 15113.2-77. Концентраты пищевые. Методы определения примесей и зараженности вредителями хлебных запасов.
5. Сандуляк А.А., Полисмакова М.Н., Ершова В.А., Сандуляк А.В. Контроль ферропримесей пищевых сред: недостатки и основные концепции совершенствования нормативно-

- метрологической базы. // Хранение и переработка сельхозсырья, 2011, № 1, с. 60-66.
6. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. Определение содержания металлопримесей в вяжущем.
 7. ГОСТ 25216-82. Тальк и талькомагнезит. Метод определения железа.
 8. Сандуляк А.А., Полисмакова М.Н., Ершов Д.В. и др. Функциональная экстраполяция массово-операционной характеристики магнитофореза как основа прецизионного метода контроля феррочастиц. // Измерительная техника, 2010, № 8, с. 57-60.
 9. Сандуляк А.А., Полисмакова М.Н., Свистунов Д.И. и др. Контроль ферропримесей пробами, «экстраполируемыми» операциями магнитофореза. // Известия МГТУ «МАМИ», 2010, № 1(9), с. 148-158.
 10. Сандуляк А.В., Пугачева М.Н., Сандуляк А.А. и др. Способ определения концентрации магнитовосприимчивых примесей в текучей среде. Патент РФ 2409425, 2009.
 11. ГОСТ 23409.2-78. Пески формовочные. Смеси формовочные и стержневые. Метод определения окиси железа.
 12. ГОСТ 29234.7-91. Пески формовочные. Метод определения оксида железа (III). Издательство стандартов, 1992.
 13. ГОСТ 3594.14-93. Глины формовочные огнеупорные. Метод определения оксида железа (III). Издательство стандартов, 1994.
 14. Сандуляк А.А., Сандуляк Д.А., Полисмакова М.Н. и др. Контроль феррофракции сред: особенности массово-операционной характеристики ее магнитофореза, двухэкспоненциальная модель. // Известия МГТУ «МАМИ», 2010, № 2 (10), с. 140-146.

Некоторые аспекты обеспечения надёжности подшипников коленчатого вала

к.т.н. Белоконь К.Г., д.т.н. Никишин В.Н., Сибиряков С.В.
 Камская государственная инженерно-экономическая академия, г. Наб. Челны,
 НПО «Турботехника», Моск. обл., г. Протвино
sibiryakov57@mail.ru, 985-770-02-40

Аннотация. Дана краткая история проблемы нарушения плотности посадки вкладышей подшипников коленчатого вала, приведены результаты анализа отказов подшипников двигателей КамАЗ-740 в эксплуатации, приведены результаты стендовых испытаний, сделан анализ публикаций по проблеме, предложен механизм нарушения плотности посадки шатунных вкладышей и уточнена методика расчёта их посадки.

Ключевые слова: вкладыши подшипников коленчатого вала, нарушение плотности посадки, методика расчёта

Вопрос об обеспечении работоспособности подшипников коленчатого вала сегодня приобретает важное значение, т. к. в современном двигателестроении наблюдается тенденция к росту уровня форсировки по среднему эффективному давлению цикла, что ведёт к возрастанию механических и тепловых нагрузок на подшипники. При этом существуют достаточно жёсткие требования к весовым и габаритным характеристикам двигателей, особенно транспортного и сельскохозяйственного назначения [1].

При оценке работоспособности подшипников рассматриваются, как правило, две причины отказов: повышенный износ и усталостное разрушение антифрикционного покрытия вкладышей. При этом предполагается, что посадка вкладышей в постели подшипников обеспечивает отсутствие взаимных перемещений, т. е. деформирование их как одного целого. Хотя, как показано в работе [2], недостаточная жёсткость кривошипной головки шатуна приводит к фреттинг-коррозии стальной основы вкладыша (рисунок 1).

Микрометраж вкладышей выявил изменение геометрических размеров, определяющих посадку вкладышей в постели: высоты линии разёма (h) и диаметра в свободном состоянии