

**В. П. Лихошва, В. Л. Найдек, Е. А. Рейнталь, А. П. Шатрава,
Л. А. Бондарь**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СУСПЕНЗИОННЫХ РАСПЛАВОВ

Рассмотрены вопросы моделирования процесса формирования композиционных материалов на стадии жидкофазного состояния матрицы при введении в нее твердой порошковой составляющей. Сконструирован реактор смешения, определены его технологические параметры. Разработана методика формирования суспензионных расплавов заданного состава для получения композитов.

Розглянуто засади моделювання процесу формування композиційних матеріалів на стадії рідкофазного стану матриці при додаванні до неї твердої порошкової складової. Сконструйовано реактор змішування, визначені його технологічні параметри. Розроблено методику одержання суспензійних розчинів заданого складу з метою одержання композитів.

The questions of modeling process of obtaining of compound materials on the base of matrix in the liquid phase with introducing to it a solid power components are researched. Mixture plant was designed and it's technological parameters were defined. In order to obtain a compound materials with definite composition a method of reception of suspension fusions was elaborated.

Ключевые слова: композит, суспензионные расплавы, моделирование, технологические параметры.

В настоящее время созданию и получению композиционных материалов с уникальными свойствами уделяется огромное внимание как к материалам будущего. Свойства композиционных материалов определяются как свойствами материала матрицы композита, так и размерами, и свойствами композитной составляющей, а также их взаимосвязью [1]. К перечню таких материалов можно отнести и наноструктурные материалы [2].

Одним из перспективных методов получения композиционных материалов является метод формирования композита на стадии жидкофазного состояния матрицы и введения в нее твердой или жидкой композитной составляющей при последующем затвердевании с регулируемыми скоростями с целью сохранения структуры расплава в твердом состоянии. Для реализации поставленной задачи необходимо сформулировать условия получения суспензионных или эмульсионных расплавов и равномерного распределения композитной составляющей во всем объеме расплава. Особенно это касается вязких жидкостей. Так как для металлических расплавов вязкость изменяется с температурой, то, следовательно, необходимо учитывать температуру расплава при определении условий ввода композитной составляющей.

В настоящей работе рассмотрены вопросы моделирования процессов получения суспензионных расплавов на основе модельной жидкости и твердых порошковых материалов.

Выбор воды для моделирования процесса получения суспензии, а также циркуляции жидкости в ламинарном и вихревом потоках обусловлен, согласно критериям подобия Рейнольдса и Фруда, равенством кинематических вязкостей воды и металлического расплава вблизи температур плавления, а также на основе данных, представленных в работе [3]. В качестве композитной составляющей использовали порошок оксида железа фракции 100–200 мкм.

Разработана методика получения суспензий с равномерно распределенной твердой фазой в объеме жидкости или расплава. Для этих целей сконструирован реактор смешения, включающий емкость для перемешивания жидкости и твердых порошковых

материалов со сливной воронкой и насадком, а также узел вращения, обеспечивающий вариацию скоростей вращения от 20 до 200 об/мин. В реакторе смешения предусмотрены подача сыпучих ингредиентов в потоке транспортирующего газа, а также формирование дополнительного давления газа.

Геометрические размеры воронки, определяющие секундный расход жидкости (Q_c) рассчитывались по формуле, полученной на основе многочисленных экспериментальных исследований, для безнапорных и напорных потоков суспензии [4]

$$Q_c = 3 \cdot w \left[\sqrt{gD_{cp}} \lg \frac{R}{4D_{cp}} + W_{cp} p^{0,25} \left(\frac{R}{D_{cp}} \right)^{0,4} \right], \quad (1)$$

где w – площадь живого сечения; g – ускорение свободного падения; D_{cp} – средний диаметр твердых частиц; W_{cp} – средняя гидравлическая крупность взвешенных частиц; R – гидравлический радиус, $R = d_n/4$; d_n – диаметр насадка воронки; p – весовая консистенция смеси

$$p = 100 \frac{\gamma_c - \gamma}{\gamma_T - \gamma_c} \cdot \frac{\gamma_T}{\gamma}, \quad (2)$$

где γ_T – объемная масса твердой составляющей суспензии; γ – объемная масса воды; γ_c – объемная масса гидросмеси.

При значениях $1 < Re < 30$ ($0,1 < D < 0,6$ мм, D – диаметр частиц) для определения гидравлической крупности взвешенных частиц применяется формула Прандтля для гладких русел

$$W^{3/2} = \frac{gD^{3/2}}{11,2\sqrt{\nu}} \left(\frac{\rho_1}{\rho} - 1 \right), \quad (3)$$

где ρ_1 , ρ – плотности частицы и жидкости, а W_{cp} определяется по следующей зависимости:

$$W_{cp} = \frac{\sum W_i P_i}{100},$$

где P_i – процентное содержание отдельных фракций по массе.

Диаметр насадка воронки находим из выражения (1).

Процесс формирования металлических суспензий ограничен временным фактором, который определяется условиями затвердевания матрицы. Для ряда технологических процессов нижний предел секундного расхода расплава при разливке ограничен значением $4-5 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Исходя из вышеизложенного, секундный расход суспензии в модельных экспериментах и расчетах принят равным $4,23 \cdot 10^{-6}$ м³/с.

Расчеты показали, что при выбранном секундном расходе суспензии диаметр выходного отверстия насадка воронки d_n должен составлять $4 \cdot 10^{-3}$ м.

В данной работе проведены модельные эксперименты с использованием воды и суспензии на основе воды, содержащей 30 об.% твердой составляющей. При безнапорном течении суспензии в реакторе с теми же параметрами наблюдается увеличение времени ее протекания по сравнению с водой и, следовательно, уменьшение секундного расхода.

Полученные результаты теоретических расчетов были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований при безнапорном течении суспензии в реакторе смешения с заданными параметрами. Значение экспериментально измеренного расхода суспензии отличалось от теоретически рассчитанного в сторону увеличения. Расхождение значений расходов составило 11 %, что обусловлено отсутствием учета в теоретических расчетах уклона сливной установки (реактора смешения), который составляет 90°. Так как суспензия движется вертикально вниз, то она испытывает наименьшую силу сопротивления вследствие трения о стенки реактора (по сравнению с горизонтальным течением жидкости), поэтому время слива, а следовательно, и секундный расход больше соответствующего теоретического значения.

С целью повышения однородности суспензии, улучшения распределения порошкового материала (композитной составляющей) в объеме матричной модельной жидкости, получения на выходе из установки суспензии с равномерно распределенной твердой фазой в жидкости дополнительно накладывається вращение реактора смешения.

Визуальные наблюдения процесса формирования суспензии с дополнительным перемешиванием дают основание предполагать, что необходимо наложение вращения реактора смешения. Частицы порошка, поток которого подавался вертикально по центру, под действием центробежных сил равномерно распределялись в объеме жидкости и на выходе из насадка получали суспензию с хорошо распределенной твердой составляющей.

Зависимость времени слива суспензии (t) от угловой скорости вращения реактора смешения (ω) представлена на рис. 1.

Наложение вращения и дальнейшее увеличение скорости вращения реактора смешения приводит к постоянному росту времени слива воды.

Однако время слива суспензии изменяется неоднозначно. При отсутствии внешних воздействий оно является максимальным. С наложением и дальнейшим повышением скорости вращения реактора до области значений (вблизи 100 об/мин) время слива суспензии уменьшается. Дальнейшее увеличение угловой скорости вращения приводит к его к росту.

Для уменьшения времени слива суспензии до значения, соответствующего требуемому значению ее секундного расхода, необходимо наложение дополнительных внешних сил.

Одной из мер повышения секундного расхода суспензии является создание дополнительного давления газа над поверхностью жидкости.

Расчет необходимого давления газа проведен на основе выражения для напора суспензии (H) перед насадком воронки диаметра d_n , представленного в работе [4],

$$H = \frac{8Q_c^2}{g \cdot \mu^2 \cdot \pi^2 \cdot d_n^4}, \quad (4)$$

где μ – коэффициент расхода, принимается равным 0,9.

На рис. 2 представлены кривые зависимости времени слива (t) воды и суспензии от секундного расхода потока ускоряющего газа (Q_y), построенные на основе экспериментально полученных данных. При отсутствии дополнительного давления газа на поверхность воды или суспензии время слива их существенно различается. С увеличением расхода газа (Q_y) время слива (t) воды и суспензии уменьшается, однако если для воды оно уменьшается незначительно, то для суспензии – более чем в 3 раза.

Следовательно, с использованием дополнительного давления газа и наложением вращения реактора можно управлять процессами формирования и слива суспензий. В связи с этим проведены исследования по определению времени слива модельных жидкостей под действием давления потока ускоряющего газа в условиях вращения реактора смешения.

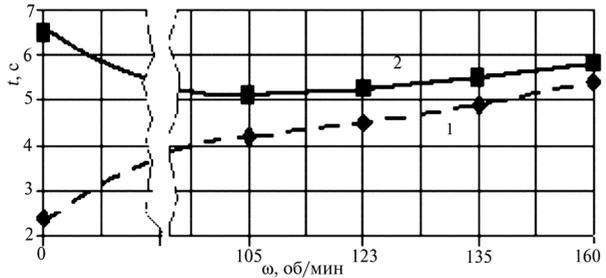


Рис. 1. Изменение времени (t) слива воды и суспензии от скорости вращения реактора смешения: 1 - вода; 2 - суспензия

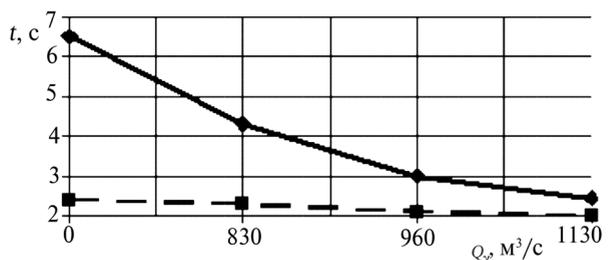


Рис. 2. Изменение времени слива воды и суспензии от расхода ускоряющего газа

Экспериментальные зависимости времени слива (t) воды (рис. 3, *a*) и суспензии (рис. 3, *б*) от угловой скорости вращения реактора смешения (ω) при изменении внешнего давления газа (Q_y) дают возможность определить оптимальные параметры внешних воздействий.

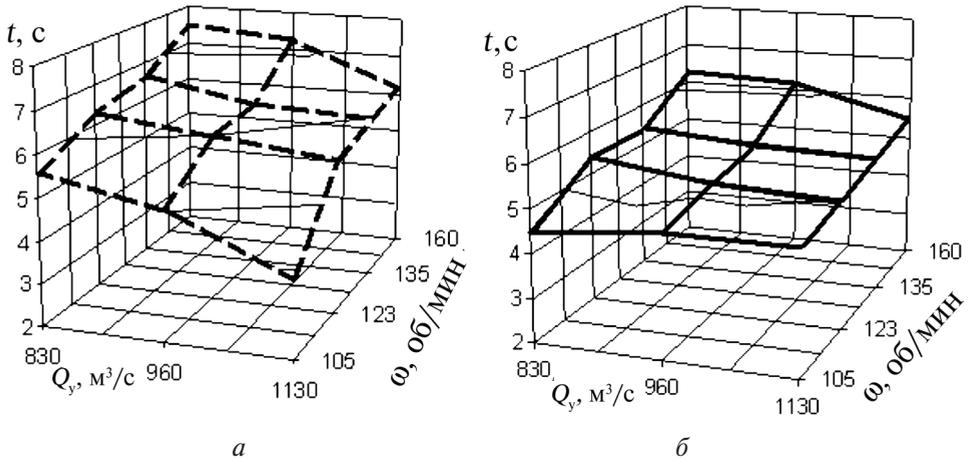


Рис. 3. Зависимости времени слива от скорости вращения реактора смешения и расхода ускоряющего газа: *a* - вода; *б* - суспензия

Установлено, что при неизменных параметрах реактора смешения и времени слива необходимость увеличения скорости перемешивания для формирования суспензии с равномерным распределением включений в объеме жидкости требует повышения давления ускоряющего газа.

Для данных геометрических и технологических параметров реактора смешения и регламентированного секундного расхода выбор режимов обработки с целью формирования суспензии может быть достигнут путем одновременного варьирования значений скорости вращения и расхода газа.

Таким образом, для оптимизации процессов формирования суспензии с заданными процентным содержанием твердой фазы в жидкости; дисперсностью частиц; их распределением и временем слива суспензии необходимым условием является использование внешних воздействий, а именно перемешивания и дополнительного давления газа.



Список литературы

1. *Найдек В. Л., Лихошва В. П.* Лазерная наплавка аморфных и композиционных покрытий // Актуальные проблемы современного материаловедения. - Киев: Академперіодика, 2008. - Т. 1. - С. 185-212.
2. *Бондарь М. П., Корчагин М. А., Ободовский Е. С. и др.* Мезоструктурный материал с включениями, содержащими нанокристаллические частицы, полученный квазидинамическим методом пресования // Физическая мезомеханика. - 2008. - Т. 11, № 6 - С. 87-94.
3. *Переломы В. А., Найдек В. Л., Петров Г. Ф., Ковальчук В. М., Гончар Б. С.* Вихревая струя расплава и взаимодействие с ванной. Сообщение 1 // Процессы литья. - 1990. - № 1. - С. 10-13.
4. *Мхитарян А. М.* Гидравлика и основы газодинамики. - Киев: Гостехиздат, 1959. - 279 с.

Поступила 15.01.2009