

УДК 621.744.4

**ИСАГУЛОВ А.З.,
КУЛИКОВ В.Ю.,
АНТИПОВА А.С.,
СВИЧ Н.А.**

Исследование реологических свойств трехфазных гетерогенных систем

Одним из представителей гетерогенных дисперсных сред являются песчано-смоляные смеси. Подобные смеси широко используются на практике в металлургии, строительстве, литейном производстве. Построение математических моделей смесей и процессов уплотнения для описания напряженно-деформированного состояния проводится в целях выбора рациональных схем и режимов уплотнения, позволяет управлять структурой форм. Вследствие этого появляется возможность регулирования свойств форм, таких как плотность, газопроницаемость.

В связи с этим исследования, направленные на совершенствование технологических процессов в металлургии и литейном производстве, в частности, получение прочных и плотных песчано-смоляных форм при снижении содержания связующего в смеси, не ухудшающих при этом других параметров, являются актуальными.

Повышение прочности оболочковых форм позволит снизить расход связующего. При этом следует обратить внимание на то, чтобы не происходило снижения других механических и технологических показателей оболочковой формы.

Сокращение расхода смолы для изготовления оболочковых форм приведет к сокращению затрат на производство форм.

Известно, что реология устанавливает взаимосвязь между силами, действующими на тело, и вызванными ими деформациями. Аксиомой реологии является положение о том, что любой реальный материал обладает комбинацией фундаментальных свойств трех идеальных материалов: упругого, вязкого и пластического.

Материалом, из которого изготавливаются оболочковые формы, является смесь сухого кварцевого песка с терморезактивной смолой, например, пульвербакелитом.

Песчано-смоляная смесь обладает упруговязко-пластичными свойствами, то есть является реологическим телом.

В настоящее время существуют различные устройства для определения реологических свойств материалов. Известно устройство на трехосное сжатие [1], которое состоит из двух подвижных и двух неподвижных стенок. Однако при использовании этого устройства возникают значительные внешние трения стенок. Известно устройство на одноосное сжатие и последующий срез [1]. Однако недостатком прибора является необходимость ступенчатого нагружения образца. Также существует прибор для определения реологических свойств песчано-глинистой смеси при объемном сжатии, изготовленный на базе прибора для

определения реологических параметров формовочных смесей. Однако этот прибор используется лишь для определения реологических свойств песчано-глинистых смесей, то есть напряжение в образце задается только механическим нагружением.

В то же время песчано-смоляные смеси в процессе формообразования подвергаются дополнительно термическому воздействию, смола плавится и вязкость смеси меняется. Таким образом, меняется одна из фундаментальных характеристик. В результате появляется возможность испытания дисперсных материалов, в том числе песчано-смоляных смесей, испытывающих одновременно механические и термические нагрузки.

Устройство для определения реологических свойств трехфазных дисперсных систем (рисунок 1) представляет собой цилиндрический сосуд 1 с крышкой 5, на которой монтируется электронагреваемая пластина 13 для нагрева песчано-смоляной смеси и изменения её вязкости. Внутри сосуда в резиновой оболочке 2 помещается навеска формовочной смеси 3. Внутри оболочки и снаружи ее помещаются тензометрические датчики давления 7, 9. Для выхода внутрипорового воздуха и газов, образующихся в результате плавления смолы, служит кран 6. Принадлежностью прибора является сосуд 10 с жидкостью 12, на поверхности которой свободно плавает поплавок 11, закрепленный на конце хвостовика индуктивного датчика перемещения 8. Сверху сосуд закрыт крышкой, к которой крепится корпус датчика перемещения. В полость между корпусом и резиновой оболочкой в сосуд заливается жидкость. Корпус и сосуд соединены трубопроводом 13 большого сечения. Температура нагрева смеси регистрируется с помощью датчика 4. Датчики связаны с реостатным сопротивлением, с которых сигнал передается на осциллограф.

Таким образом, использование такого устройства для определения реологических свойств трехфазных гетерогенных смесей позволит:

- испытывать материалы, подвергающиеся одновременно механической и термической нагрузкам (такие как песчано-смоляные смеси);
- обеспечит всестороннее сжатие смеси и одностороннее термическое воздействие.

К основным функциям, которые характеризуют реологические свойства сжимаемых упругих вязко-пластичных сред и входят в систему уравнений, описывающих напряженно-деформационное состояние, относятся зависимости [2, 3]:

- модуля пластичности λ от плотности смеси δ ;
- модуля пластичности λ от среднего нормального напряжения σ_{cp} ; интенсивности касательных напряжений

T от интенсивности деформаций \dot{T} , где $T=f(\dot{T})$,

$$T = \sqrt{\frac{1}{6} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]},$$

$$\dot{T} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot [(\dot{\varepsilon}_1 - \dot{\varepsilon}_2)^2 + (\dot{\varepsilon}_2 - \dot{\varepsilon}_3)^2 + (\dot{\varepsilon}_3 - \dot{\varepsilon}_1)^2]},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – компоненты тензора напряжений;
 $\dot{\varepsilon}_1, \dot{\varepsilon}_2, \dot{\varepsilon}_3$ – компоненты тензора скоростей деформации;
 - среднего нормального напряжения от средней скорости деформации:

$$\sigma_{cp} = f(\dot{\varepsilon}),$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2 + \dot{\varepsilon}_3),$$

$$\sigma_{cp} = \frac{1}{3} \cdot (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3),$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot T}{\dot{T}}.$$

Эти зависимости определяются из экспериментов на трёхосное сжатие.

В ходе экспериментов установлено, что при постоянном среднем нормальном напряжении интенсивность T роста касательных напряжений в смеси уменьшается по мере увеличения скоростей их нагружения. Аналогичная зависимость существует и для зависимости T от среднего нормального напряжения σ_{cp} . Определено, что чем больше σ_{cp} , тем больше T (рисунок 2). Исследования проводились со смесями,

содержащими 5 % (сплошная линия) и 7 % (пунктирная линия) пульвербакелита (II).

При $\sigma_{cp} = 0$ определяется напряжение чистого сдвига или коэффициент сцепления. При использовании смесей с большим количеством связующего понижается интенсивность касательных напряжений. Это происходит из-за того, что такие смеси имеют меньшую динамическую вязкость.

Значительный рост скорости объёмной деформации ε_V в первоначальный момент происходит вследствие того, что воздух внутри пор песчано-смоляной смеси играет роль смазки.

В результате экспериментов определено, что с увеличением времени твердения смеси скорость объёмной деформации снижается. Смесь на основе песков разной фракции более прочная и имеет меньшую объёмную деформацию и скорость объёмной деформации.

Испытания по определению зависимости модуля пластичности от плотности смеси показали, что с увеличением плотности значение модуля пластичности резко возрастает. Значения компонентов напряжений в направлении главных осей $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ и деформации $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, а также скорости деформаций $\dot{\varepsilon}_1, \dot{\varepsilon}_2, \dot{\varepsilon}_3$ получали из осциллограмм.

Таким образом, усовершенствован прибор для определения реологических параметров трехфазных гетерогенных смесей, испытывающих одновременно механические и термические напряжения.

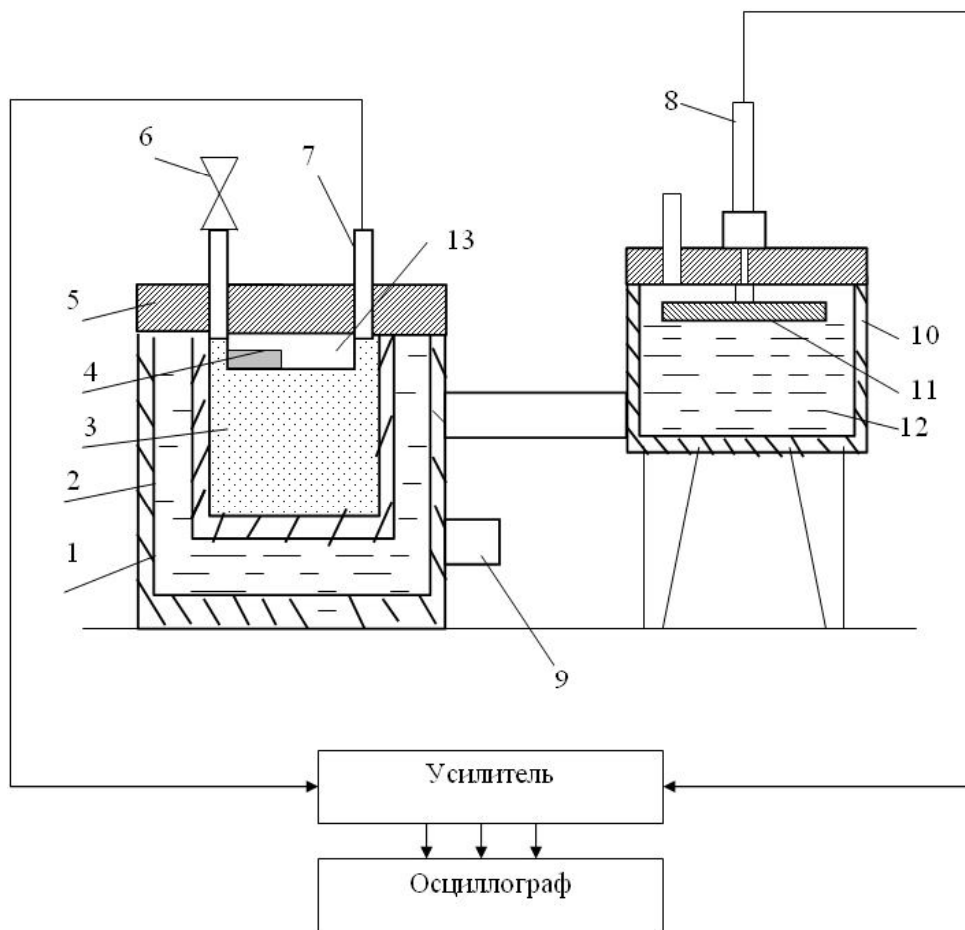


Рисунок 1 – Прибор для определения реологических свойств

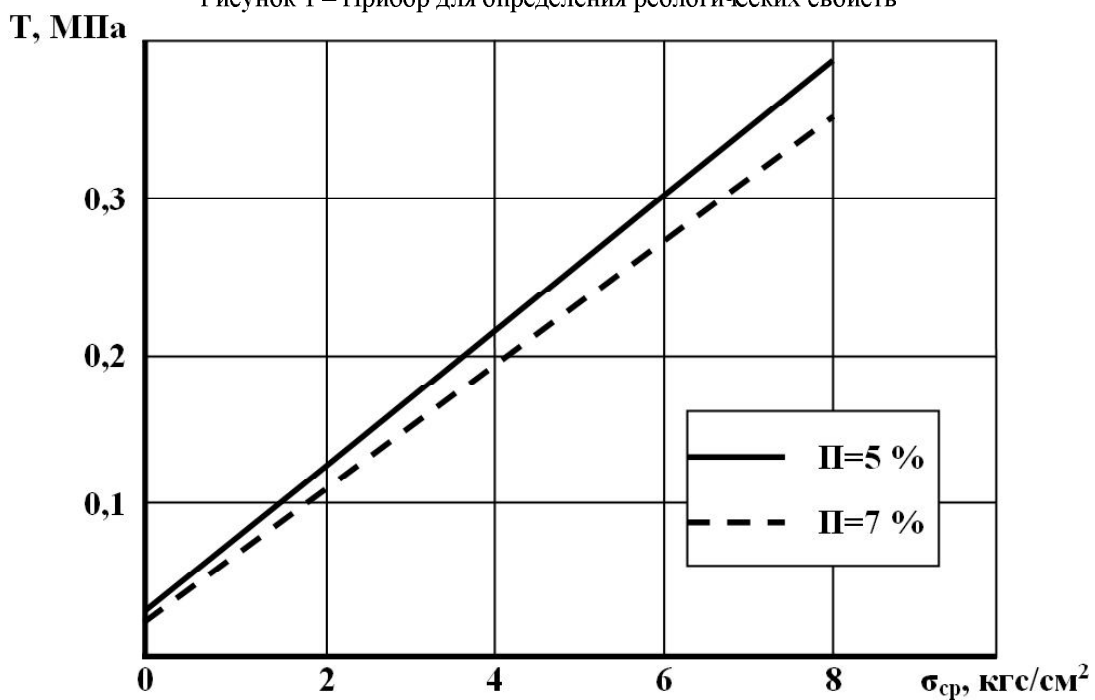


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности касательных напряжений от среднего нормального напряжения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев И.В., Исагулов А.З., Дайкер А.А. Динамические и импульсные процессы и машины для уплотнения литейных форм. Алматы: Гылым (Наука), 1998. 47 с.
2. Матвеев И.В., Исагулов А.З., Юсуфович А.Б. Реологические исследования формовочных смесей // Автомобильная промышленность. 1980. № 10. С. 28-30.

3. Матвеев И.В., Шеклеин Н.С., Кузембаев С.Б. Реологические и математические основы динамических и импульсных методов уплотнения: учеб. пособие. М.: Завод-вуз, 1986. 98 с.

УДК 622.342
ТУРСУНБАЕВА А.К.

Биогеотехнология благородных металлов из забалансовых руд и техногенных отходов горной промышленности

При переработке забалансовых руд и металлосодержащих пород вскрыши, горной массы отвалов и хвостохранилищ горно-добывающих и перерабатывающих предприятий, руд со сложным вещественным составом, а также комплексного сырья с тонкой вкрапленностью ценных компонентов, являющихся труднообогатимыми, применяют бактериальное выщелачивание, которое, разделив на процесс самого выщелачивания, миграции и осаждения металлов, рассматривают в аспекте двух направлений [1]:

1. Микроорганизмы разрушают кристаллическую решетку упорных руд, содержащих металл в виде тончайшей эмульсионной вкрапленности в арсенопирите и пирите, и вскрывают золото и серебро, обеспечивая доступ к нему растворителей. В результате достигается высокая степень извлечения металла, до 90 %, тогда как без предварительной бактериальной обработки выщелачивание золота не превышает 30-50 %.

2. Продукты метаболизма бактерий и сами микроорганизмы выполняют роль золоторастворяющих реагентов [2].

В процессе бактериального выщелачивания происходит окисление минералов, предполагающее наличие противоположного процесса – восстановления на окислителе, находящемся в электролите (ион Fe^{3+} и др.) и потребляющем электроны окислителей реакции. В бактериальном варианте таким потребителем электронов является клетка микроорганизма, стимулирующая процесс химического окисления минерального сырья. В результате микроорганизм выступает в роли окислителя, а с точки зрения электрохимической модели процесса выщелачивания – катода. Минерал, становясь донором электронов для бактерии, занимает в этой системе анодную позицию интенсивного окислителя и обеспечивает его разрушение. Мембрана клетки бактерий обладает цитохромом, имеющим сульфатредуктазную систему, участвующую вместе с сульфатионом в синтезе ферментов аденозинфосфосульфата (АФС), являющегося акцептором электронов. Сульфатредуцирующие процессы в клетке могут быть представлены реакцией:



Сульфатредуцирующие бактерии добывают электроны для восстановительных реакций путем окисления в рудах и растворах органических веществ. При изучении биохимического состава продуктов метаболизма золоторастворяющих бактерий установлено наличие значительного количества аминокислот, белков и пептидов, также обладающих высокой золоторастворяющей способностью. Связь в аминокислотном

комплексе золота осуществляется за счет электростатического притяжения ионов Au^+ и Au^{3+} , ионизированных в щелочной среде карбоксилатом и их донорно-акцепторным взаимодействием с атомами азота аминогруппы. Наиболее прочные комплексы золота образует с аспаргином и гистидином. В кислой среде аминокислоты восстанавливают ионные формы золота до металлов.

Для бактериального выщелачивания металлов применяли лабораторные штаммы бактерий *Thiobacillus ferrooxidans* (Th. ferrooxidans), выделенных из карьерных вод Коунрадского месторождения [3], которые выращивались в среде следующего состава, г/л: серная кислота – 2-5; железный купорос – 15-20; сульфат аммония – 0,5-1; фосфорнокислый калий – 0,5; сульфат магния – 0,5. Для аэрации воздух подавали из компрессора в количестве 1 объем среды в час. В исследованиях использовано кислотостойкое оборудование и агитаторы с объемом 0,5 до 20 литров. В растворах выщелачивания определялось содержание As, Sb, Fe^{3+} , Fe^{2+} , H_2SO_4 , pH и количество бактерий Th. ferrooxidans; в растворах цианирования – Au, NaCN, NaOH; в твердом остатке – Au, Ag, As, Fe, S. Кроме того, твердые материалы до и после бактериальной обработки анализировали на рудные и нерудные минералы и на структурные изменения состава твердых материалов. При исследованиях выполняли следующие технологические операции:

- промывка отходов цианирования от следов флотореагентов и других примесей, отрицательно влияющих на жизнедеятельность бактерий (Т:Ж = 1:5; H_2SO_4 – 1-2 %; Т – 15-25 °С; время агитации – 1ч);

- бактериальное вскрытие золота из промытого кека при соотношении твердой фазы к жидкой 1:5; pH раствора 1,5-2, содержании Fe^3 в растворе до 4-8 г/л и количестве бактерий Th. ferrooxidans до 10^6 - 10^8 кл/мл при продолжительности агитации до 5-7 суток;

- промывка кека после бактериальной обработки до нейтральной pH и защелачивание до pH раствора 10;

- извлечение золота из кеков биовыщелачивания цианированием при соотношении твердой фазы к жидкой 1:4, 0,1-0,5 % раствором гидроксида натрия, содержащим 0,1-0,2 % цианистого натрия продолжительностью 24 часа.

Лабораторные исследования проводили с кеком цианирования руд Васильковского месторождения, содержащих до 2,5 % мышьяка, 0,3 % сурьмы и 13,62 г/т золота. Мышьяк в пробе находился в составе арсенопирита, сурьма в антимоните, а железо в арсенопирите и пирите. Образцы исследований массой по 100 г