

этом максимальное изгибное напряжение у основания зуба последней передачи меньше, чем у первой. Это говорит о снижении изгибной прочности отдельного зуба с $\varepsilon > 2$.

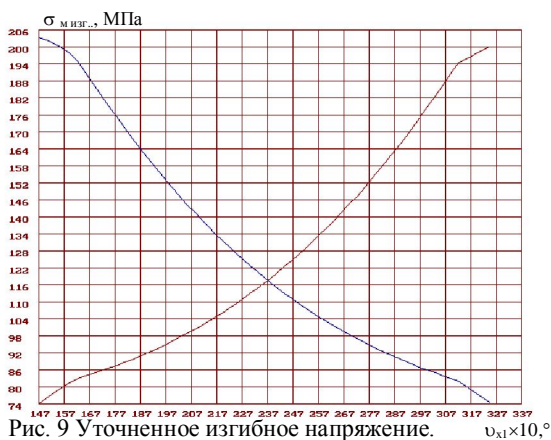


Рис. 9 Уточненное изгибное напряжение.

Полученные результаты дают наглядное представление о влиянии погрешности изготовления на форму и величину функции нагружения зуба передачи по профилю и показывают, что изменение величины зазора существенно изменяет как величину, так и место приложения нагружающего фактора, определяющего выход передачи из строя. Максимальные контактные напряжения, вычисленные по формуле Герца, не соответствуют

полюсу зацепления в обоих случаях. При определении изгибных напряжений, для передачи с $\varepsilon > 2$ максимум нагружения приходится при приложении силы в точке, отличной от вершины зуба.

Проведенный анализ выявил преимущества передачи с $\varepsilon > 2$ по сравнению со стандартной исходной передачей с $\varepsilon < 2$, при изготовлении их по 7 степени точности. На основании представленного материала и других расчетов, проведенных авторами, с большой долей достоверности можно обобщить сделанный вывод на весь диапазон эвольвентных прямозубых передач.

Список литературы: 1. Айрапетов Э.Л., Генкин М.Д. Деформативность планетарных механизмов. М., 1973. 2. Генкин В.Д., Мишарин Ю.А. Прямозубая эвольвентная передача с коэффициентом перекрытия больше двух // Вестник машиностроения. 1960. №3. С.13-17. 3. Вулгаков Э.Б., Ананьев В.М., Голованов В.В. и др. Виброактивность зубчатых передач с $\varepsilon_{\alpha} > 2$ // Вестник машиностроения. 1974. №6. С.26-31. 4. Вулгаков Э.Б., Ананьев В.М. Зубчатые передачи с $\varepsilon_{\alpha} > 2$ и $\alpha_w > 20^{\circ}$ // Вестник машиностроения. 1975. №8. С.24-27. 5. Вулгаков Э.Б. и др. Авиационные зубчатые передачи и редукторы. Справочник. М., 1981. 6. Вулгаков Э.Б. Зубчатые передачи с улучшенными свойствами. М., 1974. 7. Кудрявцев В.Н. Детали машин. Ленинград, 1980.

Сдано в редакцию 24.05.07

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ТЯЖЕЛОСРЕДНЫХ СЕПАРАТОРАХ

Савицкий Л.В. (Институт Якутннпроалмаз, г. Мирный, Россия)

In given article are considered questions, connected with determination the most significant factor, rendering essential influence upon process of the extraction diamond from conversion ore. The Influence specified factor can be determined on the known analytical expressions theoretically or experimental. The known analytical expressions are received for ideal conditions and calculations on this formula bring about significant inaccuracy. The experimental studies allow to get the heuristic models of the processes for condition data of the usages and elaborate the analytical models of the calculation.

Наиболее эффективным гравитационным процессом извлечения алмазов из алмазосодержащего сырья является тяжелосредная сепарация, позволяющая произвести первичную концентрацию полезного компонента в широком диапазоне крупности или произвести перерешивку концентрата менее эффективных процессов с целью получения более кондиционного продукта для последующих доводочных операций. За короткое время установки тяжелосредной сепарации (ТСС) были внедрены на пилотной фабрике №15 Нюрбинского ГОКа (июль 1999 года), на фабрике №3 Мирнинского ГОКа (декабрь 2000 года), на фабрике №14 Айхальского ГОКа (февраль 2001 года), на фабрике №16 Нюрбинского ГОКа (июль 2003 года), на фабрике №8 Айхальского ГОКа (август 2005 года). В настоящее время тяжелосредное обогащение освоено практически всеми обогатительными фабриками АК «АЛРОСА». Опыт их эксплуатации в различных условиях показал, что на показатели тяжелосредного обогащения оказывают существенное влияние различные факторы, такие как: стабильность производительности по исходному продукту, поддержание заданной вязкости и плотности суспензии, потери утяжелителя в процессе обогащения и регенерации суспензии, влияние показателей надежности тяжелосредных установок на эффективность их работы, свойства используемых для приготовления суспензии компонентов.

Влияние указанных факторов может быть определено теоретически по известным аналитическим выражениям или экспериментально. Известные аналитические выражения получены для идеальных условий и расчеты по этим формулам приводят к значительным погрешностям. Экспериментальные исследования позволяют получить эвристические модели процессов для данных условий эксплуатации и уточнить аналитические модели.

Для выполнения экспериментальных исследований в условиях обогатительных фабрик АК «АЛРОСА» при участии автора были разработаны программа и методика их выполнения. Программой исследований процесса тяжелосредного обогащения предусмотрено:

- измерить на действующих установках ТСС производительность, плотность пульпы, плотность и вязкость суспензии, потери утяжелителя, гранулометрический, минералогический составы и влажность исходного материала, свойства технологической воды (Eh, Ph).

Для определения указанных в программе параметров ТСС методикой проведения экспериментальных исследований предусмотрено измерить следующие величины:

1. Производительность, которая определяется косвенным путем измерением массы загружаемого на тяжелосредную установку исходного материала с помощью конвейерных весов и уменьшением полученного значения на процент естественной влажности этого материала;
2. Влажность исходного материала определяется как разность между его массой в естественных условиях и массой сухого материала, отнесенная к массе сухого материала [1];
3. Плотность пульпы определяется по удельной массе твердой фазы пульпы, отнесенной к массе жидкой фазы пульпы;
4. Общие удельные потери ферросилиция при обогащении кимберлитов в тяжелосредном гидроциклоне определяются по сумме потерь утяжелителя, которые получены вследствие неполной отмывки его от продуктов обогащения и недоизвлечения при магнитной сепарации;

5. Гранулометрическая и минералогическая характеристики исходного продукта определяется на основе анализа его ситового состава;
6. Вязкость суспензии определяется косвенным методом по скорости потока путем пересчета вязкости от скорости по известным аналитическим выражениям;
7. Свойства технологической воды определяются по величине окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и щелочности среды (pH) путем непосредственного их измерения [2].

Масса загружаемого исходного материала действующих тяжелосредних установок определяется взвешиванием автоматическими весами. Проверка правильности работы автоматических весов определяется по анализу гранулометрического состава и расчету процентного отношения величины продуктивного класса ко всему поступающему на тяжелосреднюю сепарацию материалу. При этом тарировка весов выполняется в следующей последовательности:

- оборудуются места отбора проб;
- щелевым пробоотборником отбираются частные пробы массой m_i ;
- частные пробы суммируются, определяется общая масса пробы, которая относится ко времени, в течение которого эта проба была отобрана, а производительность находится по формуле:

$$Q = k_{проб} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (1)$$

где:

Q – производительность, т/ч;

$k_{проб}$ – коэффициент пробоотбора, учитывающий размерность единиц измерения;

m_i – масса частной пробы, кг;

n – количество частных проб;

t_i – время отбора частной пробы, с.

- определяется влажность продукта по формуле

$$W = (m_{вл} - m_{сух}) / m_{сух} * 100\%, \quad (2)$$

где:

W – влажность материала, %;

$m_{вл}$ – масса влажного материала, кг;

$m_{сух}$ – масса сухого материала, кг;

- проводится окончательный расчет производительности тяжелосредней сепарации по сухому продукту

$$Q_{сух} = Q - Q * W, \quad (3)$$

где:

$Q_{сух}$ – производительность по сухому продукту;

Q – производительность, определяемая по формуле (1), т/ч;

W – влажность материала, доли единицы.

Закрупнение и замельчение поступающего на тяжелосреднее обогащение исходного материала, а также продуктов разделения, для которых известен максимальный размер частиц, проводится по анализу гранулометрического состава, уточненная масса пробы для которого находится из выражения:

$$Q = 0,02 \cdot (D_{\max})^2 + 0,5 \cdot D_{\max}, \quad (4)$$

где:

Q – масса пробы, кг;

D_{\max} – максимальный диаметр зерна в пробе, мм.

Последовательность отбора проб аналогична отбору проб при определении производительности и тарировке автоматических весов, но общая масса пробы определяется по сухому материалу, проводится сухой рассев, масса каждого из классов, полученных после отсева, относится к общей массе пробы, а содержание определенного класса рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{m}{\sum_{i=1}^n m_i} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где:

C – содержание определяемого класса крупности, %;

m_i – масса частной пробы, кг;

n – количество частных проб;

m – масса пробы определенной крупности, кг.

Плотность готовой среды (то есть кондиционной суспензии, подаваемой в обогатительное оборудование) имеет определяющее значение и регулируется автоматически системой контроля плотности, в которой используется, как правило, радиоизотопный плотномер, установленный на выходе из насоса для готовой среды. Сигнал от него передается в контур управления для выдачи задания клапану регулирования на подачу воды. Принцип управления плотностью готовой среды состоит в том, что готовая среда должна иметь плотность немного большую, чем требуется, а добавление воды в линию всасывания насоса регулирует плотность. Для проверки правильности работы автоматического регулятора плотности проводится контроль плотности вручную, который осуществляется в следующем порядке:

- 1) из потока кондиционной суспензии отбирается суспензия в объеме, равном 1 литр;
- 2) на специальных весах, имеющих шкалу, на которой отражена плотность суспензии в зависимости от веса одного литра;
- 3) в зависимости от величины расхождения со значением плотности, определяемой автоматически (расхождение не должно превышать $0,05 \text{ г/см}^3$), определяется правильность работы автоматического плотномера.

В центробежном поле реальная плотность разделения зависит от реологических параметров используемой в процессе суспензии, поэтому экспериментальное определение плотности разделения является актуальной задачей, решаемой при участии автора на действующих установках тяжелосредного обогащения с помощью проведения трассерного контроля. Более подробно применение трассерного контроля описано в [3], основными моментами его проведения являются:

- обычно используются трассеры различной фиксированной плотности от 2,6 до 3,6 г/см^3 , каждой из которой соответствует свой цвет.
- из трассеров различной плотности по 50-100 штук составляется контрольная партия, которая загружается в смесительную камеру в циркулирующую суспензию без подачи руды.

- выборка трассеров после разделения в гидроциклоне производится на отмывочных грохотах. Затем имитаторы сортируются по плотности (по определенному цвету), определяется извлечение для каждой плотности.

На основании полученных результатов строятся кривые обогатимости – кривые Тромпа, по которым определяется плотность разделения и находится среднее вероятное отклонение.

Так как при существующем уровне аппаратуры для оперативного контроля реологии процессов, имеющих место при тяжелосреднем обогащении в гидроциклонах, нет возможности произвести ее точную характеристику, то соответствие вязкости суспензии требуемым технологическим режимам непосредственно в гидроциклоне может быть оценена обеспечением на входе в гидроциклон определенного значения давления.

Давление на входе в гидроциклон пропорционально так называемой постоянной гидроциклона:

$$P = D_{\text{вн}} \times \rho \times 9,81 \times D_{\text{const}}, \quad (6)$$

где:

- P – давление на входе в гидроциклон, кПа;
- $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр гидроциклона, м;
- ρ – плотность суспензии, т/м³;
- 9,81 – постоянная силы тяжести, м/с²;
- D_{const} – постоянная для обеспечения управления (при эксплуатации значение $D_{\text{const}}=12-15$ означает, что гидроциклон эксплуатируется при надлежащем давлении).

Измерение давления осуществляется с помощью манометров, данные измерений которых фиксируются в специализированных базах данных. Таким образом, анализ этих данных позволяет определить соответствие эксплуатационных параметров работы тяжелосреднего гидроциклона технологическим картам.

Потери утяжелителя определяются в следующем порядке:

1. определяется выход соответствующего продукта;
2. от исследуемого продукта магнитными методами отделяются частицы утяжелителя;
3. известными методами утяжелитель отделяется от содержащихся в нем шламов и других магнитных минералов;
4. масса чистого утяжелителя относится к исходной производительности аппарата.

Для определения степени влияния минералогического состава обогащаемого тяжелосредней сепарацией материала на потери утяжелителя определяется содержание магнитных минералов в исходном материале и продуктах разделения. Магнитные свойства руды определяются магнитным анализом, сущность которого заключается в разделении рудного материала в магнитном поле на фракции, содержащие минералы с различными магнитными свойствами – магнитную и немагнитные фракции. Магнитный анализ выполняется в сухом виде с помощью лабораторного сепаратора с регулируемым магнитным полем, а при небольших весах проб с помощью магнита Сочнева. Небольшие веса проб для магнитного анализа могут быть получены квартованием. Такие пробы материала, рассыпанные монослоем на бумаге, вытягиваются магнитом Сочнева, основной особенностью которого является различие напряженности магнитного поля с различных сторон, что позволяет отделить не только магнитные минералы, но и разделить их на сильномагнитные и слабомагнитные. Недостатком определения магнитных свойств таким образом является наличие операций перечистки, поскольку, в магнитную фракцию увлекается часть немагнитных минералов, а в немагнитной фракции остается часть магнитных.

Исходя из того, что плотность и давление являются регулируемыми параметрами, а вязкость является функцией градиента скорости, возможно определение вязкости расчетным путем по градиенту скорости внутри обогатительного аппарата $\mu = grad(v)$.

Определяя скорость суспензии в гидроциклоне, в качестве исходных данных принимаются следующие величины: объемная производительность насоса подачи питания и развиваемое им давление на входе в гидроциклон, площадь сечения входного патрубка. Скорость потока на входе в гидроциклон определяется по формуле:

$$v = \frac{3600 \cdot Q}{S}, \quad (7)$$

где:

- v – скорость на входе в гидроциклон, м/с;
- Q – производительность (подача) насоса, м³/ч;
- S – площадь входного патрубка, м².

Аппаратное обеспечение проводимых исследований включает: мерные емкости для определения влажности и насыпного веса исследуемых продуктов, виброгрохот с набором стандартных сит для проведения ситового анализа, лабораторный магнитный сепаратор с регулируемым магнитным полем в пределах 1000-2000 Тл, плотномеры и манометры, входящие в состав тяжелосредних установок, специальные приборы для измерения окислительно-восстановительного потенциала и щелочности среды.

Реология движения суспензии внутри обогатительного аппарата определяется конструктивными параметрами. Экспериментальным путем определено, что определенным конструктивным параметрам соответствует характер построенных кривых. Существенное изменение характера этой кривой указывает на отклонение динамики потока суспензии в циклоне, основной причиной которого является чрезмерный износ внутренней поверхности. Таким образом, трассерный контроль позволяет выявить отклонение конструктивных параметров от паспортных, не прибегая к длительным ремонтам, связанным с разбором тяжелосреднего гидроциклона на составные части с целью обследования внутренней поверхности.

Проведенными исследованиями установлено, что различным горнотехническим условиям соответствуют установки ТСС различной производительности. Некоторые результаты исследований [4, 5] представлены на рисунках 1, 2. Анализ данных работы установок тяжелосредней сепарации в различных условиях позволяет сделать вывод, о том, что применение единого подхода к исследованиям и приведение получаемых экспериментальным путем данных к удельным величинам позволяет сравнивать эффективность работы ТСС в различных условиях эксплуатации. Применение единого методологического подхода при проведении экспериментальных исследований позволило по узлу тяжелосреднего обогащения, паспортная производительность которого составляет 100 т/ч, выявить несоответствие эксплуатационной производительности паспортной и выявить неравномерное распределение этой нагрузки на два модуля (49,4 и 37,9 т/ч). Анализ полученных данных показал, что несоответствие производительности повлияло на другие показатели: на фоне практически одинаковых показателей, связанных с реологией процесса (плотность и вязкость суспензии, гранулометрический и минералогический составы отличались незначительно), существенно отличается один из основных технологических показателей, характеризующим эффективность регенерации суспензии – потери утяжелителя (см. рис 1).

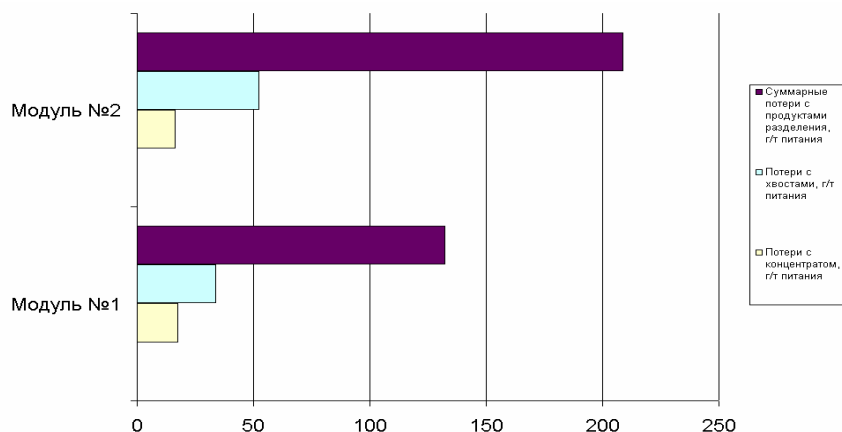


Рис. 1. Значения потерь гранулированного ферросилиция в зависимости от изменения паспортной производительности 50 т/ч

Проведен анализ изменения потерь суспензоида в зависимости от крупности обогащаемого материала, результаты которого представлены на рис. 2.

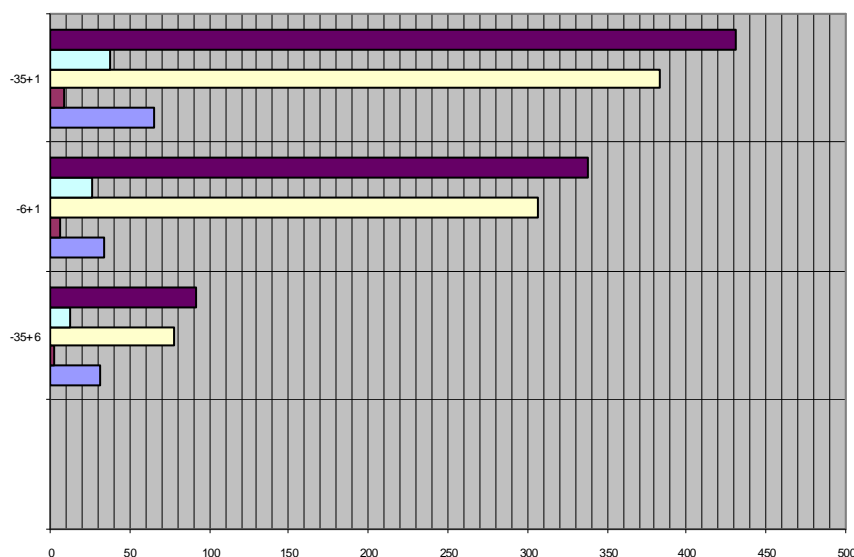


Рис. 2. Значения потерь гранулированного ферросилиция в зависимости от крупности обогащаемого материала

Приведенные результаты исследований позволяют сделать вывод о существенном влиянии на увеличение потерь суспензоида характеристики исходного питания, в частности, обогащение более мелких классов (см. рис. 2) сопровождается более высокими значениями потерь. Кроме того, тяжелосреднее обогащение при производительности, превышающей паспортную даже на незначительные величины, способствует существенному увеличению потерь суспензоида. Существенно влияние магнитных минералов, которые, увлекая за счет магнитного поля частицы суспензоида, также способствуют увеличению потерь суспензоида.

Следует заметить, что исследования, проводимые с целью определения параметров работы тяжелосредней сепарации, должны проводиться комплексно, так как только в таком случае с максимальной достоверностью возможно выявить

негативно влияющие на процесс обогащения отклонения и выработать рекомендации по их устранению.

Например, проведенные исследования гранулометрического и минералогического составов, а также определение удельных потерь суспензоида на тяжелосредней установке производительностью 200 т/ч [5] не позволили определить причины нестабильной работы установки. Но проведенный трассерный контроль позволил выявить отклонение построенной по результатам эксперимента кривой Тромба от кривой, построенной при запуске после планово-предупредительного ремонта. Таким образом, было установлено нарушение реологии процесс тяжелосреднего обогащения, связанного со значительным износом внутренней поверхности гидроциклона, которое было устранено после внепланового ремонта.

Экспериментальными исследованиями на различных предприятиях установлена степень отклонения действительных величин от рекомендуемых для эффективного ведения процесса обогащения тяжелосредней сепарацией:

- оценена степень влияния отклонений эксплуатационной производительности от паспортной, выявлена зависимость гранулометрического состава от производительности, экспериментально опробованы методики определения плотности пульпы и вязкости суспензии.
- определены значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и щелочности среды (pH), выявлена закономерность повышения степени окисления гранулированного ферросилиция в процессе тяжелосредней сепарации и определены основные методы и способы уменьшения удельных потерь суспензоида.

В ходе проведения экспериментальных исследований установлена степень отклонения действительной величины производительности от паспортной, выявлена зависимость гранулометрического состава от производительности, экспериментально опробованы методики определения плотности пульпы и вязкости суспензии. Определены значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и щелочности среды (pH), выявлена закономерность повышения степени окисления гранулированного ферросилиция в процессе тяжелосредней сепарации и определены основные методы и способы уменьшения удельных потерь суспензоида.

Полученные экспериментальные зависимости позволяют получить действительные значения показателей тяжелосреднего обогащения, обеспечить стабильную и эффективную работу оборудования схем, имеющих в своем составе оборудование тяжелосредней сепарации.

Список литературы: 1. Богданов О.С., Олевский В.А. и др. Справочник по обогащению руд. Том 1. Подготовительные процессы. – М.: Недра, 1982.–447с.; 2. Чантурия В.А., Монастырский В.Ф., Савицкий Л.В. и др. Научное обеспечение развития горнопромышленных комплексов РС (Я). – Новосибирск: Наука СО РАН, 2003.–384с.; 3. Савицкий Л.В. Методы и способы оптимизации технологического процесса тяжелосреднего обогащения на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» // Современные методы оценки технологических свойств труднообогатимого и нетрадиционного сырья благородных металлов и алмазов и прогрессивные технологии их переработки. – М.: Недра, 2004.–242с.; 4. Информационный отчет по комплексному опробованию фабрики №8. – ЯНА, г. Мирный, 2006.–54с.; 5. Выполнить исследования технологической эффективности по переделам отсадки и тяжелосредней сепарации на фабрике №14 // Информационный отчет. – ЯНА, г. Мирный, 2005.–29с.

Сдано в редакцию 11.05.07