



УДК 621.762

**А.В. Горбушин, Ю.Г. Русин**  
АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск  
**Б.В. Сырнев**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕГЛАМЕНТА ФОРМОВАНИЯ  
НА КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДИОКСИДА УРАНА (часть 1)**

Опыт промышленного производства таблеток ядерного топлива из диоксида урана показывает, что на различных стадиях формования и спекания порошков образуются дефекты в виде трещин и сколов около торцов изделий-таблеток (рис. 1). Ранее было выполнено много исследований по влиянию технологических факторов (морфология порошка, тип связки и т. д.), конструкции таблетки, режимов прессования на качество таблеток, однако успехи были достигнуты лишь частичные.

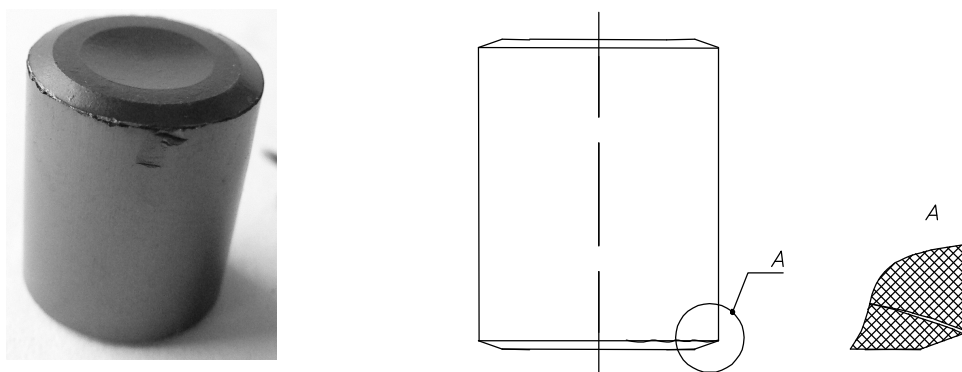


Рисунок 1 – Внешний вид и схема трещин на таблетках из диоксида урана

Реализуемый в промышленности процесс прессования таблеток диоксида урана представляет собой автоматизированный цикл «загрузка-прессование-выталкивание», осуществляемый на роторной гидравлической линии оригинальной конструкции (рис. 2).

Анализ особенностей кинематики прессования на гидравлическом прессе двойного действия в реальных цеховых условиях показал, что двухстороннее прессование, теоретически обеспечивающее равномерное уплотнение, фактически может не быть таковым. Из-за различных значений технологических зазоров между матрицей и верхним, а также нижним пуансонами, различных величин сил трения порошка о стенки матрицы, вызванных неравномерным износом поверхности матрицы, неконтролируемых перекосов пуансонов при прессовании, обусловленных случайным характером распределения плотности пресс-массы и т.д., перемещения и скорости перемещений верхнего и нижнего пуансонов могут существенно различаться.



Рисунок 2 – Роторная линия для прессования таблеток ядерного горючего

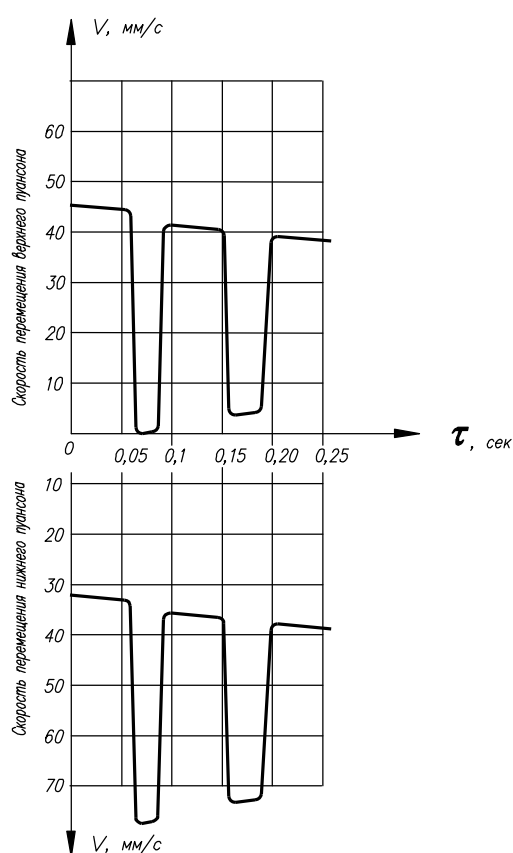


Рисунок 3 – Гипотетическая индикаторная диаграмма перемещений верхнего и нижнего пуансонов в процессе существующего двухстороннего прессования таблеток

Несмотря на равномерное давление на верхний и нижний пуансоны, гипотетически могут наблюдаться (по причинам, указанным выше) торможения или даже кратковременные остановки одного из пуансонов в процессе прессования (рис. 3).

Цель данной работы заключалась в исследовании влияния неравномерности (прерывистости, ступенчатости) прессования таблеток на кинематику уплотнения порошка и качество таблеток по трещинам.

Методика работы состояла:

а) в построении полей линий скольжения по объему прессуемого порошка, определении на этой основе характерных зон, отличающихся механизмами уплотнения порошков и анализе причин нарушения сплошности прессовок;

б) в экспериментальной статистической проверке дефектности (по трещинам) таблеток из диоксида урана, отпрессованных по различному регламенту (ступенчатый, штатный и равномерный).

Ступенчатый режим прессования состоял в разбивке уплотнения на две ступени: подпрессовка в диапазоне давлений 250 – 1250 бар и окончательное прессование при давлении 1250 бар. Кроме того, варьировалась длительность выдержки под давлением от 3,25 до 0,5 секунд, достигаемая изменением производительности

роторной линии от 1000 до 7000 шт/ч.

Штатный (неравномерный) режим уплотнения состоял в прессовании за одну ступень при приложении одинакового давления на верхний и нижний пуансон, но при неконтролируемом (неравномерном) перемещении пуансонов.

Равномерный режим уплотнения обеспечивал контролируемое (равномерное) перемещение верхнего и нижнего пуансонов в процессе цикла уплотнения за счет использования специально разработанного устройства «делителя потока».

Механизм и эффективность уплотнения пористого сжимаемого тела в значительной степени определяется напряженным состоянием по объему прессуемой массы (рис. 4).

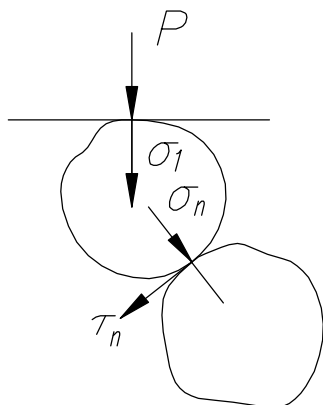


Рисунок 4 – Схема напряжений, действующих в местах контакта частиц уплотняемого порошка

Известно, что в зонах, где касательные напряжения превышают напряжения трения, т.е. выполняется отношение (1), наблюдается эффективное уплотнение [3].

$$[\tau_n] = \sigma_n \operatorname{tg} \rho + K, \quad (1)$$

где  $\sigma_n$  – нормальное напряжение на площадках контакта частиц,

$\rho$  – угол внутреннего трения в материале, характеризующий интенсивность изменения способности материала сопротивляться сдвигу с ростом нормальной компоненты вектора напряжения,

$K$  – условный коэффициент сцепления материала, определяющий его прочность при  $\sigma_i = 0$ ,

$\tau_n$  – касательные напряжения по площадкам сдвига в материале.

Анализ напряженного состояния удобно проводить методом линий скольжения [1-3]. Сущность характеристических линий, называемых линиями скольжения, состоит в том, что в объеме деформируемого (или уплотняемого) тела строится семейство линий, вдоль которых действуют максимальные сдвиговые (касательные) напряжения, описываемые системой уравнений [6].

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \sigma(1 + \sin \rho \cos 2\varphi) + K \cos \rho \cos 2\varphi, \\ \sigma_r &= \sigma(1 - \sin \rho \cos 2\varphi) - K \cos \rho \cos 2\varphi, \\ \tau_{z,r} &= \sin 2\varphi(\sigma \sin \rho + K \cos \rho), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\sigma_z$  – напряжение, возникающее в осевом направлении,

$\sigma_r$  – напряжение, возникающее в радиальном направлении,

$\rho$  – угол внутреннего трения порошкового тела,

$\varphi$  – угол между осью  $z$  и направлением оси главного напряжения  $\sigma_1$ ,

$K$  – коэффициент сцепления частиц порошка,

$\tau_{z,r}$  – касательные напряжения в порошковом теле.

Задаваясь характеристиками внутреннего (между частицами порошка) и внешнего (порошка о стенки матрицы) трения [7] и используя методику построения линий скольжения, предложенную в работах В.Е. Пелермана, Э. Томсена, Ч. Янга, Ш. Кобаяши [8, 9], были построены линии скольжения при прессовании порошка в цилиндрической матрице (рис. 5).

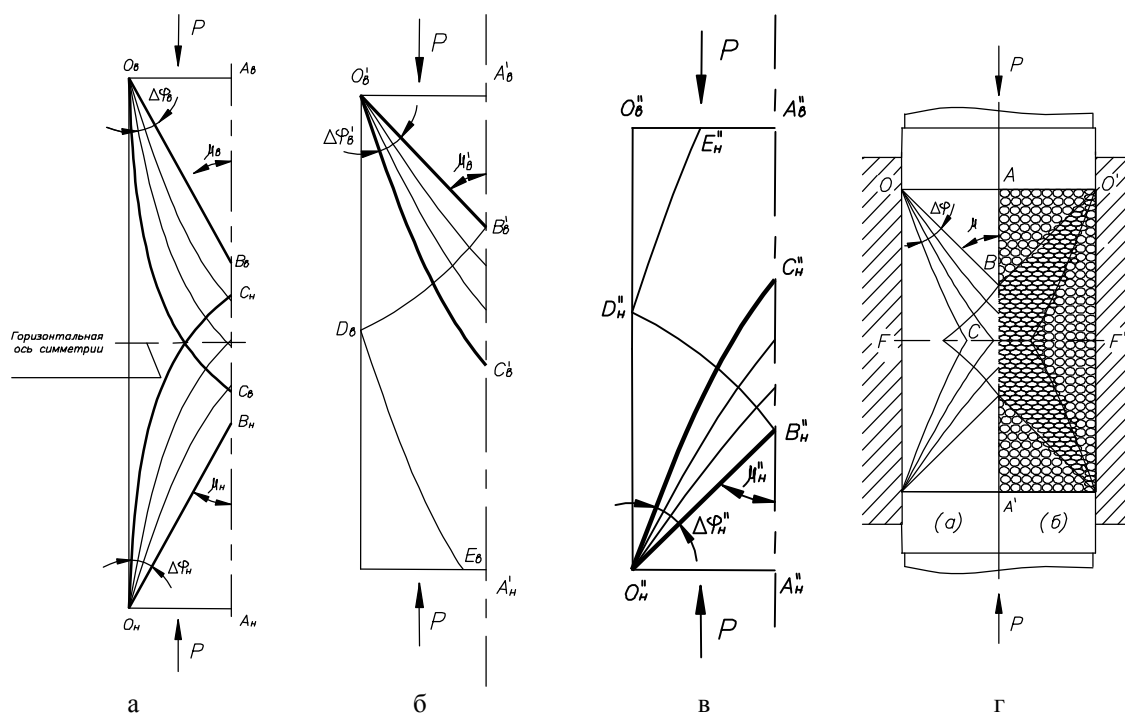


Рисунок 5 – Поле линий скольжения (а-в) и физическая модель (г) на различных стадиях неравномерного прессования: начальная фаза (а), промежуточная фаза (б), заключительная фаза (в, г)

Анализ напряженного состояния при уплотнении пресс-массы (рис. 5) показывает, что в различных зонах прессовки различен механизм уплотнения:

- в зонах, прилегающих к пуансонам и стенкам пресс-формы, ограниченных линиями OAB и OCF (застойные зоны), равенство (1) не выполняется, и происходит сжатие пресс-массы, без сдвиговых деформаций, т.е. реализуется малоэффективное уплотнение с повышенным накоплением упругих деформаций.

- в зонах, ограниченных линиями OBC (зона максимальных касательных напряжений), равенство (1) выполняется, и под действием сдвиговых напряжений происходит проскальзывание и ориентация частиц порошка вдоль линий скольжения, т.е. преобладает механизм структурной деформации, приводящей к эффективному уплотнению.

Теперь проанализируем изменение напряженного состояния, которое может происходить в процессе прессования: возможны крайние ситуации, когда двухстороннее прессование кратковременно прерывается, превращаясь в одностороннее. В этом случае напряженное состояние по объему прессовки претерпевает изменение, отражаемое изменением характера линий скольжения. Зона расположения и направление линий скольжения меняется в зависимости от характера перемещения пуансонов. В начальный момент цикла двухстороннего прессования зона структурной деформации (эффективного уплотнения)  $A_0B_0C_0$ ,  $A_nB_nC_n$  расположена симметрично относительно горизонтальной оси симметрии (рис. 5, а). В момент притормаживания (или даже остановки) нижнего пуансона схема напряженного состояния изменяется, в нижней части прессовки возникает застойная зона, где прекращается уплотнение по механизму структурной деформации, и уплотнение

осуществляется за счет всестороннего неравномерного сжатия (рис. 5, б). При остановке верхнего пуансона схема напряженного состояния претерпевает аналогичные изменения (рис. 5, в). В результате указанной нестабильности (прерывистости) процесса прессования происходит изменение схемы напряженного состояния в порошке, в результате чего меняются направления сдвиговой деформации, а это, в свою очередь, может приводить к «переупаковке» частиц порошка. «Переупаковка» сопровождается нарушением первоначальной «связности» частиц порошка, разрыхлением, т.е. разрушением порошкового тела. В результате могут возникать ослабленные зоны (поверхности), ориентированные по границам между зонами структурной деформации и застойными зонами, по которым в дальнейшем может происходить разрушение под действием внешних и внутренних напряжений (при выталкивании и спекании).

Склонность к трещинообразованию по указанному механизму должна зависеть от регламента прессования: вид связки, давление прессования, время выдержки под давлением, схемы прессования (равномерное, прерывистое). Для экспериментальной проверки теоретического прогноза были отпрессованы опытные партии изделий из порошков диоксида урана со связкой на основе поливинилового спирта. Результаты представлены на рис. 6 и 7.

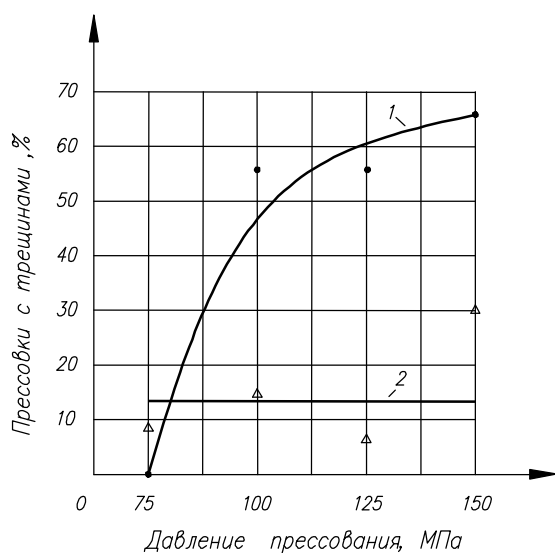


Рисунок 6 - Зависимость брака по трещинам от давления прессования и характера прессования: штатный режим (1), равномерное уплотнение (2). Время выдержки под давлением 0,15 с (производительность 7000 шт/ч)

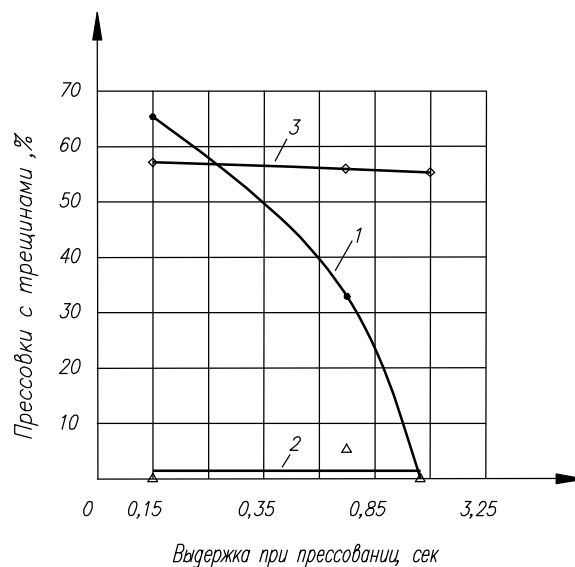


Рисунок 7 - Зависимость брака по трещинам от выдержки под давлением при штатном (1), равномерном (2) и ступенчатом режиме уплотнения. Давление прессования 150 МПа

Анализ результатов показывает, что чем выше неравномерность уплотнения (равномерный – штатный - ступенчатый режим), тем выше брак по трещинам. Ступенчатый режим уплотнения обуславливает стабильно высокий брак 55–58 %. Брак при штатном режиме существенно зависит от режима прессования: увеличение времени выдержки под давлением с 0,15 до 3,25 с (за счет уменьшения производительности прессования с 7000 до 3000 шт/ч), а также давления прессования с 150 до 75 МПа снижает брак практически до нуля. Это, видимо, связано с тем, что увеличение давления прессования повышает не-

равномерность уплотнения, а снижение времени выдержки под давлением (увеличение производительности) снижает прочность «сырых» прессовок, особенно по плоскостям «перегруппировки» частиц, вызванных изменением направления сдвиговых деформаций. В то же время при равномерном прессовании величина брака невысокая 5-8 % и *не зависит от давления и времени выдержки при прессовании*.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты подтвердили теоретический прогноз, что склонность к трещинообразованию таблеток из диоксида урана связана с нестабильностью напряженно-деформированного состояния в объеме порошка при неравномерном прессовании. Внесение изменения в гидравлическую схему пресса, т.е. установка делителя потока, позволяет обеспечить равномерный режим прессования и снизить брак по трещинам с 55-65 до 5-8 %.

#### Список литературы

1. Томсен Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов /Э.Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши. – М.: Машиностроение, 1969.
2. Бальшин М.Ю. Основы порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1978.
3. Пелерман В.Е. Формование порошковых материалов. – М.: Металлургия, 1979.
4. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков. – М.: Металлургия, 1969.
5. Кипарисов С.С. Порошковая металлургия /С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1980.
6. Айзенкольб Ф.А. Успехи порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1969. – 112 с.
7. Попильский Р.Я. Прессование керамических порошков /Р.Я. Попильский, Ф.В. Кондрашев. – М.: Металлургия, 1968. – С. 63-65, с. 250.

Получено 13.10.08

УДК 669.011

**М.К. Кылышканов, К.К. Комбаев**  
ВКГТУ, Усть-Каменогорск

#### ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКИ СТАЛИ ДЛЯ РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Термическая обработка занимает одно из важнейших мест в формировании объемных и поверхностных конечных свойств деталей, запасных частей и инструментов. Ремонтные предприятия, в своем большинстве, не обладают необходимым оборудованием и технологиями, обеспечивающими эффективное решение задач по формированию нормированного уровня механических свойств и долговечности ремонтируемой техники.

Как правило, термическое оборудование, выпускаемое промышленностью, предназначено для определенных технологических процессов и типоразмеров деталей машиностроительных заводов. Такое оборудование окупается только при массовом производстве. Следовательно, использование такого оборудования для оснащения современных термических участков на сети ремонтных предприятий в условиях рыночной экономики Казахстана неэффективно, в связи с широкой номенклатурой деталей и их различными размерами, и экономически нецелесообразно.

Во время изнашивания детали теряют свои допустимые размеры, а в объеме металла происходит накопление повреждаемости, что приводит к снижению механических свойств. Ряд таких деталей ремонтируют, подвергая их различным способам восстанов-

ления размеров изношенных поверхностей: ручной электродуговой или электрошлаковой наплавке, плазменному или электронно-лучевому напылению, осаждению различных гальванических и электрохимических покрытий и т.п. После восстановления деталей данными способами, кроме последних, их механические свойства ухудшаются, что связано с высокотемпературным нагревом, высоким градиентом температур, формированием временных и остаточных напряжений. Процессы наплавки также отличаются большой длительностью и сопровождаются короблением и деформациями обрабатываемых деталей.

Таким образом, накопленные объемные дефекты не только не устраняются при этих процессах, а еще больше усугубляются. Использование таких восстановленных деталей значительно снижает эффект от материальных, энергетических и экономических затрат, вложенных в применяемые технологии ремонта.

Восстановление механических (прочностных и износостойких) свойств до нормированного уровня или получения свойств выше нормированного уровня в этих случаях может быть обеспечено электролитно-плазменной обработкой. Это, в конечном итоге, обеспечит повышение ресурса работы ремонтируемой техники, обеспечит повышение эффективности и качество ремонта. Выбор вида последующей обработки должен проводиться с учетом уровня накопленных дефектов, характера структурных изменений за счет проведения различных технологий восстановительной обработки, химического состава основы и наплавленных слоев.

Для исследования выбрали конструкционную сталь, структура – феррит+перлит (рис.1), поверхность которой обработали электролитно-плазменным упрочнением. Плазменный слой формируется из металла электролита в зазоре между жидким электролитом и электропроводной поверхностью изделия. В качестве жидкого электрода использовали электролит – 10 % кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) на водной основе.

Режимы обработки  $U=120\text{В}$ ,  $I=5-7\text{А}$ .

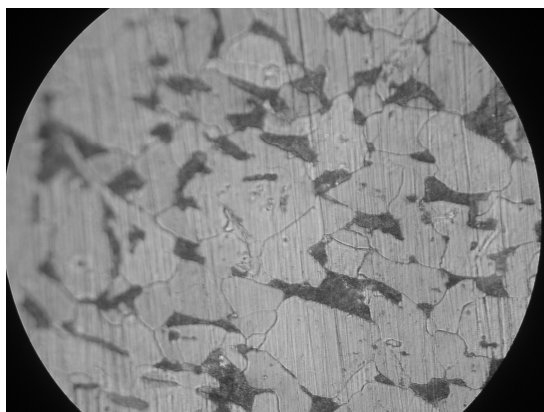


Рисунок 1- Микроструктура стали после электролитно-плазменной обработки  $\times 800$

Способ обработки сплавов значительно влияет на его структуру и свойства. Растровый электронный микроскоп JSM-6390LV с большой разрешающей способностью позволяет нам увидеть, что на поверхности равномерно распределились микроточки, так называемые кратеры (рис. 2), которые повлияли на физико-механические свойства поверхности.

Под воздействием высокой температуры микроплазмы кратеры различных диаметров образовались (рис. 2) в основном на ферритной основе, микротвердость которых меньше, чем на перлите. По периметру кратеров наблюдается зона теплового воздействия (светлый участок), где мы провели энергодисперсионный анализ (рис. 3).

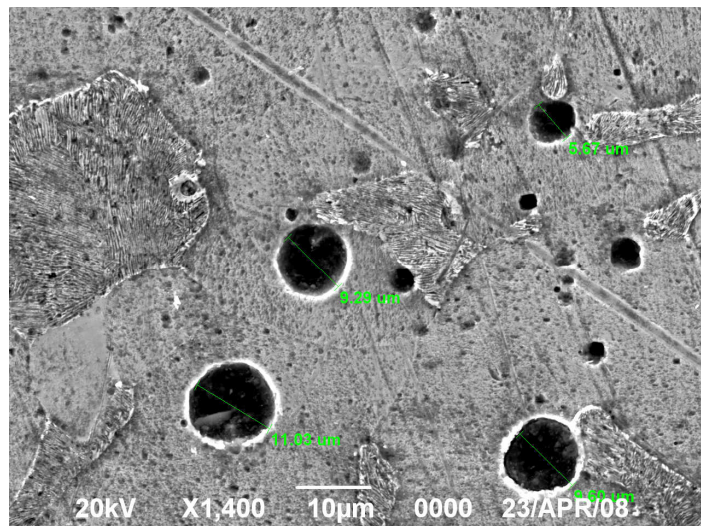


Рисунок 2 - Растровый электронный анализ поверхности  $\times 1400$

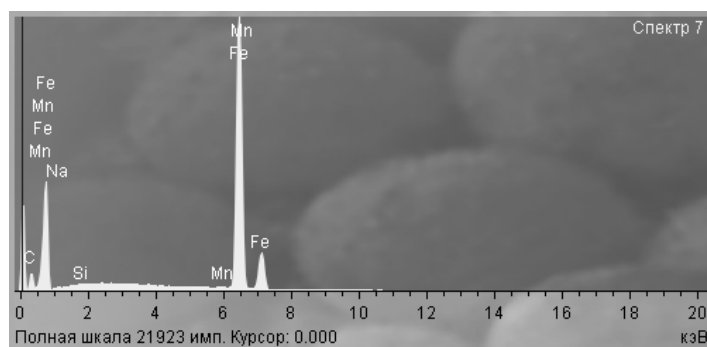


Рисунок 3 - Энергодисперсионный анализ обработанной поверхности

Разность потенциалов между жидким электролитом и обрабатываемой поверхностью - катодом расщепляет электролит на ионы, которые и являются носителем электрического тока. На поверхности, кроме термического воздействия, наблюдаются и элементные изменения (Na). Насыщенность легирующих элементов (C) на обрабатываемой поверхности зависит от режимов обработки.

Таким образом, электролитно-плазменное упрочнение представляет собой комплексное воздействие на поверхностные слои нагреваемых материалов, которое заключается в термическом, электрофизическом и химическом воздействиях. Выбор конкретного наиболее рационального вида и режима обработки определяется условиями работы детали, используемой маркой стали, необходимой шероховатостью поверхностей, необходимостью



проведения механической обработки для придания заданных размеров и т.п.

Как правило, обработке могут подвергаться готовые детали, инструменты или полуфабрикаты при сохранении исходных свойств сердцевины. Температура обработки составляет 100 – 1200 °С. Толщина упрочненного слоя может достигать 8-10 мм, в зависимости от режимов обработки.

Список литературы

1. Погребняк А.Д. Успехи физики металлов / А.Д.Погребняк, Ю.Н.Тюрин, А.Г.Войко и др. – Киев, 2005. – Т. 6. – № 4. – С. 273-334.

Получено 13.10.08

УДК 551.24. 553.43 (574.4)

**Т.М. Никитина**

ТОО «Алтайский геолого-экологический институт», г. Усть-Каменогорск

**Б.Б. Рахимбаева**

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЖАРМА - САУРСКОГО  
РУДНОГО ПОЯСА**

Юго-восточная часть Жарма-Саурского рудного пояса располагается на территории листов L-44-Б и L-45-А масштаба 1:500 000 (рис. 1). Здесь при дешифрировании космофотопланов различных масштабов были обнаружены дугообразные разломы в блоках Бугаз, Кызыл-Каин, Кенсай и Кендырлык, представляющие собой, по-видимому, фрагменты кольцевых структур.

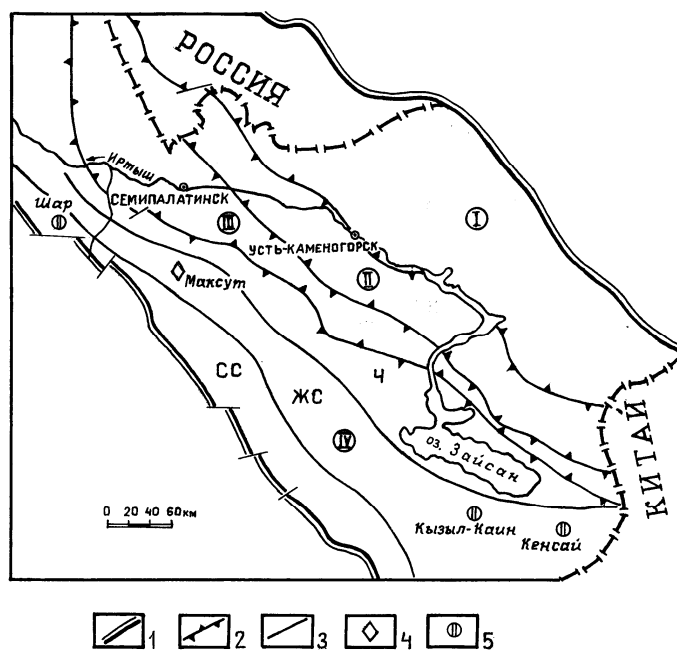


Рисунок 1 - Районирование Большого Алтая: 1 – граница Большого Алтая; 2 – рудные пояса: I – Рудноалтайский, II – Калба-Нарымский, III – Западно-Калбинский, IV – Жарма-Саурский; 3 – металлогенические зоны: Ч – Чарская, ЖС – Жарма-Саурская (в центре одноимённого пояса), СС – Сиректас-Сарсазанская; рудные формации: 4 – магматическая медно-никелевая; 5 – медно-порфировая

Анализ тектонической схемы Казахстана показывает, что аналогичные структуры кольцевой формы, затuşёванные более поздними процессами, выделяются в пределах Джунгаро-Балхашской складчатой системы и в современном виде подчёркиваются ими. Возможно, замыкание дугообразных разломов произошло в районе озёр Балхаш, Алаколь, Иссык-Куль и Улунгур (в Китае). По данным А. Кокса и Р. Харта [5], такие дугообразные структуры представляют собой трансформные разломы, определяющие вращательные движения литосферных плит, так как являются глубинными разломами или ослабленными зонами, рассекающими литосферу. Используя метод интерпретации вышеуказанных авторов, можно определить полюс Е. Эйлера, представляющий собой центр вращения при движении микроплит относительно друг друга. В данном случае полюс вращения располагался внутри круга, фиксируемого озёрами Балхаш, Алаколь, Иссык-Куль и другими. Причинность круговых движений возможно объясняется возникновением тектонических напряжений в процессе коллизионного сдвигания Казахстанского и Сибирского субконтинентов.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что все блоки, где развиты дугообразные разломы, ранее представляли собой небольшие осколки литосферной плиты, а дугообразные структуры указывают на направление вращения данных осколков. Необходимо отметить, что выделенные дугообразные разломы на современном эрозионном срезе являются унаследованными от древних.

Блок (террейн) Бугаз выделяется на площади листа L-44-Б, имеет размер 200x200 км. Судя по интерпретации имеющегося материала, полюс вращения располагается в месте, фиксируемом в настоящее время гранитоидным массивом Акжайляу, так как здесь намечается замыкание кольцевых структур (рис.3).

Блоки Кызыл-Каин, Кенсай, Кендырлык выделены на листе L-45-А, максимальный размер блоков 60x40 км (Кенсай). В результате амальгамации (термин по В.П. Парначёву, 2000 г., означающий слипание террейнов до объединения с континентом) образовался достаточно крупный террейн, 160x100 км, охватывающий территорию листа L-45-А масштаба 1:500 000, включая и приграничные районы Китая, названный Зайсанским (рис. 2).

Дальнейшее развитие террейна характеризуется повышенной тектонической активностью, связанной с процессами субдукции. При этом происходил разогрев и частичное плавление как самой пластины (субказахстанского континента), так и смежного мантийного вещества. Поднимающийся расплав обладал преимущественно андезитовым составом и наращивал собой вновь образованную вулканическую дугу. Такое образование островной дуги вполне возможно, так как известны островные дуги, содержащие цоколь микроконтинентов [4]. В раннедевонское время в результате процессов аккреции террейны Бугаз и Зайсанский были причленены к субказахстанскому континенту, и со среднего девона начинается общая геологическая история развития всего региона. Отличие в геологическом строении террейнов объясняется их различным местоположением в литосферной плите.

Подобные сдвигения наблюдаются и в настоящее время. Так, небольшие плиты Хуан де Фука и Горда медленно сходятся с Северной Америкой. Отсутствие зоны Беньофа и жёлоба объясняется малой скоростью их сближения, но существующая андезитовая горная цепь, связанная с действующими вулканами Каскадных гор, указывает на их островодужный характер развития.

Этот период характеризуется орогенным этапом развития, когда под действием сжимающих усилий произошло излияние магмы андезито-дацитового состава и образование вулканических аппаратов, а позднее – внедрение интрузивов Саурского комплекса ( $C_1$ s).

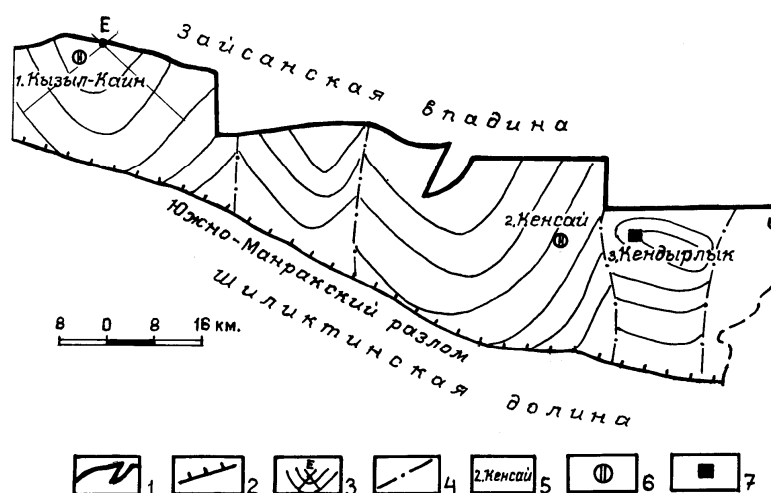
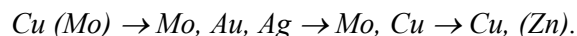


Рисунок 2 - Схема амальгамации блоков: 1 - главный разлом I порядка, разделяющий Зайсанскую впадину и горноскладчатые сооружения Саур-Манрака; 2 - Южно-Манракский разлом, фиксирующий амальгамацию блоков; 3 - дугообразные разломы и полюс Ейлера Е; 4 - меридиональные нарушения, смещающие и срезающие дугообразные разломы; 5 - наименования блоков и месторождений (осколков литосферной плиты); формации: 6 - медно-порфировая; 7 - углеродисто-горючесланцевая

Наиболее значимыми среди интрузий являются кварцевые диориты и гранодиориты, образовавшие штокообразные тела в центре вулканов. Глубина их залегания от поверхности на момент внедрения от 400 и более метров. Именно с ними обнаруживается генетическая связь медно-молибденового оруденения, известного в этой части пояса. Мелкие проявления в пределах террейна Бугаз сконцентрированы в зонах меридионального простирания, занимающих секующее положение по отношению к геологическим структурам. Наибольшее значение среди проявлений медно-порфирового типа с Cu-Mo оруденением имеют месторождения Кызыл-Каин и Кенсай. Данные объекты сложены вулканогенно-осадочными отложениями островодужного типа, прорванными интрузиями Саурского комплекса (габбро-диорит-гранодиоритовая формация,  $C_1$ ).

На месторождении Кызыл-Каин А.П. Ситниковым (1973-1975 гг.) выявлена вертикальная зональность, состоящая из трёх частей: верхняя - существенно медная; средняя – золото-медно-молибденовая; нижняя – медно-молибденовая. Анализ распределения первичных ореолов рассеяния на этом же месторождении позволил авторам установить горизонтальную зональность (от центра к периферии), имеющую следующий вид:



На проявлении Кенсай горизонтальная зональность, характеризующая зоны, представлена: внутренняя зона Cu, Mo, Au, Ag → промежуточная Cu (Zn) → внешняя Cu.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами исследований И.Г. Павловой [6], которая выделяет казахстанский тип медно-порфировых месторождений, характеризующийся (Mo, Au) – Cu прожилково - вкрапленным вторичнокварцевым формационным типом, образование которого связано с орогенным андезито-дацитовым вулканизмом. Согласно систематике медно-порфировых месторождений [7], аналогичные объекты Кызыл-Каин и Кенсай более близки к месторождению Конырат (Коунрад) по морфологии и минеральному составу рудных тел, составу и возрасту рудоносных интрузий. Абсолютный возраст этих интрузий определялся калий-аргоновым методом и составил около 330 млн лет, что соответствует нижнему карбону [3].

В позднегерцинскую стадию на территории произошло внедрение гранитоидов и формирование в пределах террейна Бугаз массивов Акжайляу, расположенного в центре замыкания кольцевых структур, и Жильдыкорин (рис. 3). Здесь в северной экзоконтактовой части Акжайляу отмечаются два штока щелочных гранитов с Nb-Zr-редкоземельной минерализацией (месторождение Верхнее Эспе).

На основании изложенного можно сделать вывод, что дугообразные (кольцевые) структуры контролировали размещение вулканических аппаратов (Кызыл-Каин и Кенсай), геологических формаций (гранитоидные массивы Акжайляу и Жильдыкорин) и проявлений полезных ископаемых.

Фрагменты глубинных разломов рассматриваемых участков на картах крупного масштаба выделяются как линейные; на региональных, особенно на космофотопланах масштаба 1:500 000, они отчётливо интерпретируются и имеют дугообразную форму. В районе Кендырлыкской мульды отмечается замыкание этих разломов, где они приобретают форму неправильного круга. В позднем палеозое – мезозое на площади развития кольцевых структур сформировались локальные грабены – мульды (Кендырлыкская мульда). При выравнивании областей сноса в таких прогибах в мезозое происходило накопление угленосных отложений и становление угольных месторождений (Кендырлык).

Проявленные на площади тектонические нарушения меридионального и широтного простираний, являющиеся более поздними образованиями, в одних случаях смещают дугообразные структуры с амплитудой до 3 км, в других – срезают их. Это хорошо наблюдается в пределах Зайсанского террейна. При тектонической активизации Манракского нарушения широтного простирания кольцевые структуры были трансформированы в дугообразные в результате сброса северных частей Зайсанского террейна по плоскости разрыва. В настоящее время дугообразные зоны на эрозионном срезе фиксируются речной сетью и логами. Вполне возможно, что амальгамация террейнов Бугаз и Зайсанский отмечается реками Чет-Ласты (восточная часть террейна Бугаз) и Канды-Су (запад Зайсанского террейна) (рис. 3).

Таким образом, Жарма-Саурский рудный пояс в предколлизийный этап (до объединения с Казахстанским микроконтинентом) представлял собой дрейф небольших блоков и островных дуг, которые неоднократно амальгамировали с образованием более крупных террейнов. Направление вращения их подчёркивается дугообразными зонами, являющимися фрагментами кольцевых структур. В процессе аккреции террейны были причленены к субказахстанскому континенту. Получившие развитие в Зайсанском террейне объекты медно-порфирового типа – Кызыл-Каин и Кенсай по морфологии, минеральному составу

рудных тел, составу и возрасту рудоносных интрузий хорошо сопоставляются с известным месторождением Конырат. На площади террейна Бугаз в месте замыкания кольцевых структур выявлено Nb-Zr-редкоземельное месторождение Верхнее Эспе эпимагматической и альбитит-грейзеновой рудных формаций, располагающееся в двух штоках щелочных гранитов верхнепермского возраста ( $P_2$ ) массива Акжайляу.

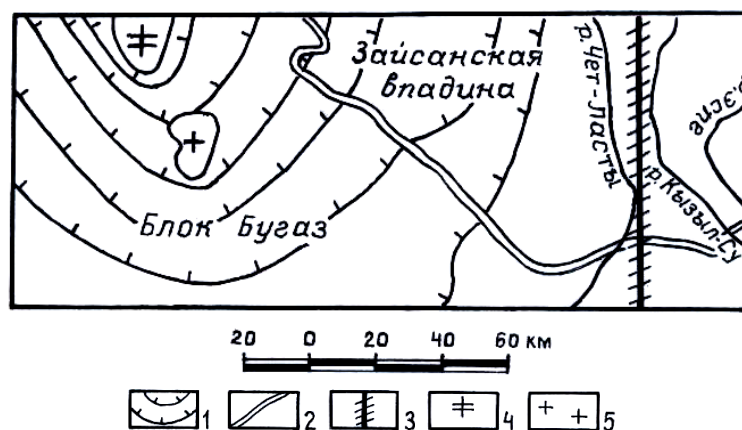


Рисунок 3 - Блок Бугаз: 1 - дугообразные структуры; 2 - граница Зайсанской впадины; 3 - предполагаемое место сочленения террейнов; 4 - щелочные граниты эспинского комплекса (массив Акжайляу,  $P_2$ ); 5 - гранитоиды Калбинского комплекса (массив Жильдыкорин,  $P_1$ )

#### Список литературы

1. Берикболов Б.Р. Меднорудные формации Казахстана. - Алматы: Гылым, 1999. - 193 с.
2. Большой Алтай (геология и металлогения): В 3 кн. - Кн. 1: Геологическое строение / Г.Н. Щерба, Б.А. Дьячков, Н.И. Стучевский и др. - Алматы: Гылым, 1998. - 304 с.
3. Ермолов П.В. Золоторудные и медно-порфировые уровни в Центральном Казахстане / П.В.Ермолов, А.И. Москаленко, И.С. Сидоренко // Изв. Сер. геологическая. - 3. - 2007. - С. 41-50.
4. Зоненшайн Д.П. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения / Д.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин, В.М. Моралёв. - М.: Недра, 1976. - 231 с.
5. Кокс А. Тектоника плит / А. Кокс, Р. Харт. - М.: Мир, 1989. - 427 с.
6. Медно-порфировые месторождения /Под ред. А.А. Абдулина, С.Е. Чакабаева. - Алма-Ата, 1986. - 199 с.
7. Павлова И.Г. Медно-порфировые месторождения. - Л.: Недра, 1978. - 275 с.
8. Попов В.С. Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. - М.: Наука, 1977. - 204 с.

Получено 13.10.08

УДК 621.745.34:66.099.20

**А.С. Нуркеев, З.У. Уалиева**  
КазНТУ им. Сатпаева, г. Алматы

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЖИГА ШИХТЫ СПЛАВА ЭЛЕКТРОТЕРМИИ С СОДОЙ**

Основная операция разрабатываемого шахтного способа переработки сплавов фосфидов железа – окислительное спекание гранулированного сплава фосфидов железа с содой [1]. Продукты взаимодействия сплава  $\text{Fe}_n\text{P}_m$  с содой в окислительной атмосфере изучали разнообразными методами (физико-химического анализа): термогравиметрического, рентгенофазового, кристаллооптического, ИК-спектроскопии.

Кристаллический анализ порошкообразных продуктов проводили на большом исследовательском микроскопе Nu и поляризационном микроскопе МИН-8 иммерсионным методом. Коэффициенты светопреломления минералов измеряли с помощью иммерсионных жидкостей, проверенных на рефрактометре ИРФ-22.

Рентгенофазовый анализ проводили на установке ДРОН-1 методом порошка с медным антикатодом,  $K_\alpha$  – излучение, отфильтрованное Ni-фильтром. Интенсивность отражений оценивали по десятибалльной шкале.

Инфракрасные спектры поглощения записаны с помощью спектрофотометра UR-20 в области от 400 до  $4000\text{ см}^{-1}$ . Образцы готовили в виде таблеток, спрессованных с бромистым калием.

Термографирование гранул сплава электротермии с содой проведено на установке, состоящей из программного регулятора температуры ПРТ-1000 м, линейный нагрев-охлаждение образцов производится по заданной программе с определенными скоростями (2,5; 5; 10; 20; 40 град/мин).

Выполнен термодинамический анализ возможных реакций при окислении и взаимодействии фосфидов железа с содой в присутствии кислорода.

Наиболее полные данные термодинамических характеристик имеются для тринатрийфосфата. Взяты экспериментально найденные значения теплоты образования  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , в интервале 459,7-462,6 ккал/моль и энтропии 53,7 э.е., 46,5 э.е, 45,54 э.е. (по температурной зависимости удельной теплоемкости). Произведен расчет удельной теплоемкости ортофосфата натрия по методу Ландия с учетом низкотемпературных превращений и получена следующая температурная зависимость удельной теплоемкости ( $C_p$ ) в интервале 298-600 К:

$$C_p = 17,39 + 51,4 \cdot 10^{-3} T, \quad (1)$$

$$C_p = 44,33 + 6,98 \cdot 10^{-3} T. \quad (2)$$

Для феррита натрия ( $\text{NaFeO}_2$ ) теплота образования неизвестна. Принята ориентировочная оценка теплоты образования из оксидов  $\approx 20$  ккал/моль (эта величина соответствует теплоте образования алюмината натрия из оксидов).

Теплота образования  $\text{NaFeO}_2$  из элементов получилась равной 167,9 ккал/моль. Феррит натрия имеет следующие термодинамические характеристики: энтропия 21,1 э.е., температура плавления 1620 К, теплота плавления 11,76 ккал/моль. Наблюдается полиморфное превращение при 1270 К с теплотой перехода 0,5 ккал/моль, описана температурная зависимость удельной теплоемкости.

Для ортофосфата железа ( $\text{FePO}_4$ )-  $\Delta H^\circ_{298} = 310,2$  ккал/моль, температура плавления 1513 К, отмечены температуры превращений 1057 и 1162 К. Наблюдается обратимое полиморфное превращение при 1073-1083 К [2].

Известен термодинамический анализ реакций, протекающих при хлорирующем обжиге  $\text{Fe}_2\text{P}$ . Имеется анализ реакций с участием  $\text{FePO}_4$ , но отсутствуют сведения относительно исходных термодинамических данных для  $\text{FePO}_4$ . Поэтому  $S^\circ_{298}$  вычислена по аддитивности из оксидов и равна 27,5 э.е. Температурная зависимость удельной теплоемкости

вычислена по методу Ландия и описывается уравнениями:

$$C_p = 51,629 - 9,66 \cdot 10^{-3} T \quad (298-1157 \text{ K}), \quad (3)$$

$$C_p = 39,2 + 1,08 \cdot 10^{-3} T \quad (1157-1513 \text{ K}). \quad (4)$$

Относительно других фосфатов железа имеются сведения только по температурам превращений. Термодинамические данные для фосфидов железа  $\text{Fe}_3\text{P}$ ,  $\text{Fe}_2\text{P}$ ,  $\text{FeP}$ ,  $\text{FeP}_2$  следующие: теплота образования равна 37,3 ккал/моль.  $\text{Fe}_3\text{P}$  плавится при 1439 К, а  $\text{Fe}_2\text{P}$  при 1638 К. Для  $\text{FeP}$  измерена теплоемкость от 2 до 22 К:  $C_p = \gamma T + \beta T^3$ , где  $\gamma = 5$  мДж/моль град<sup>2</sup>,  $\beta = 4,23 \cdot 10^{-3}$  мДж (моль град<sup>4</sup>). Определена температура Дебая  $T = 360$  К.

Температурная зависимость изобарно-изотермического потенциала  $\text{Fe}_3\text{P}$  приведена в [3], где изучены реакции диссоциации фосфидов железа. По этим данным были вычислены температурные зависимости изобарно-изотермических потенциалов образования всех фосфидов железа по формуле:

$$\Delta Z_T^\circ = -RT \ln P, \quad (5)$$

где  $P$  – равновесное парциальное давление фосфора.

Данные для  $\text{FeCO}_3$ :  $\Delta H_{298}^\circ = 178,7$  ккал/моль,  $S_{298}^\circ = 22,2$  э.е. Для  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  в источнике приводится теплота образования равная 760,8 ккал/моль. Энтропия образования равна 62,17 э.е. Экспериментально определенная энтропия пирофосфата натрия составила 64,60 э.е. Температура плавления  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  равна 1243 К.

Температурная зависимость удельной теплоемкости рассчитана по методу Ландия и имеет вид:

$$C_p = 33,945 + 57 T \cdot 10^{-3} + 8,942 T^{-2} \cdot 10^5. \quad (6)$$

$C_p$  расплава принимали равной 84 ккал/моль·град. Эффекты обнаружены при 685, 796, 811, 825 и 833 К. Теплоты образования каждой полиморфной модификации соответственно равны 766,1; 767,0; 763,3; 767,8; 768,5 ккал/моль.

Значение изобарно-изотермических потенциалов реакций рассчитаны по уравнению:

$$\Delta Z_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ - 2,303 \Delta \alpha \cdot T \lg T - \frac{\Delta b}{2} T^2 - \frac{\Delta d}{2} T^{-1} + I_1 T - I_2,$$

где  $I_1 = 6,691 \Delta \alpha + 0,298 \cdot 10^3 \Delta b + 0,044 \cdot 10^6 \Delta C - 0,563 \cdot 10^5 \Delta d - S_{298}^\circ + \sum \Delta S_{\text{превр}}$ .

$I_2 = 298 \Delta \alpha + 44,402 \cdot 10^{-3} \Delta b + 8,82 \cdot 10^6 \Delta C - 335,57 \cdot 10^{-5} \Delta d - \sum \Delta H_{\text{превр}}$ .

$\Delta H_{298}^\circ$  – теплота образования при 298 К.

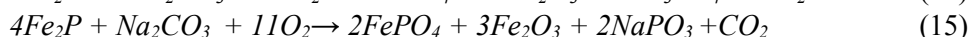
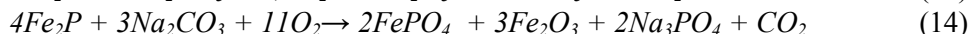
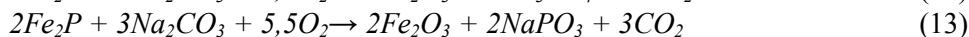
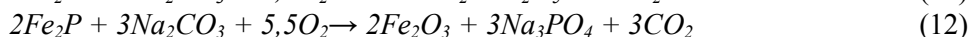
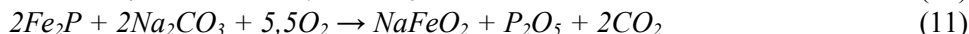
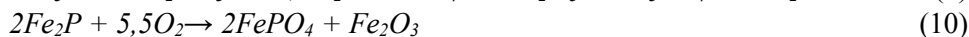
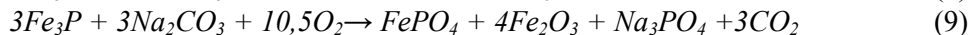
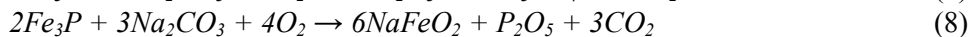
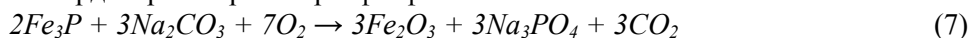
Известно, что содержание марганца в сплаве электротермии определяет его качество (кондиционный, или наоборот), и термодинамический анализ фаз, содержащих марганец, представляет практический интерес.

Анализ полученных результатов показал следующее. Диссоциация соды на всем рассматриваемом интервале температур не имеет места (реакция 8). Низшие оксиды железа при температуре выше 500 К не взаимодействуют с  $\text{CO}_2$  с образованием карбоната железа (реакция 9). Термодинамическая вероятность взаимодействия соды с выделяющимся при спекании пентаоксидом фосфора значительна (реакция 10). Термодинамически невероятно взаимодействие  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с конечными продуктами реакции – фосфатами натрия (реакция 11, 12).

Фосфиды  $\text{Fe}_3\text{P}$  и  $\text{Fe}_2\text{P}$  (реакции 13-16) в исследуемом интервале температур не распадаются. Другие два фосфида начинают диссоциировать лишь при высоких температурах (выше 1340 К).

Таким образом, спекание фосфидов железа с содой в избытке кислорода не приводит к

образованию ортофосфата железа и феррита натрия. По-видимому, фосфор, который остается после выщелачивания спека в нерастворимом состоянии, не может находиться в виде чистого ортофосфата железа, а связан в более сложные соединения и не исключено, что на основе твердых растворов с ортофосфатом железа.



Предварительный термодинамический анализ возможных реакций окисления фосфидов железа и спекания его с содой в присутствии кислорода позволил выявить наиболее вероятные реакции и обосновать образование продуктов реакции. При избытке кислорода конечными продуктами спекания будут гематит, фосфаты натрия (преимущественно ортофосфат натрия) и диоксид углерода.

Термодинамический анализ реакций показал, что диссоциация соды во всем интервале температур не имеет места. Термодинамическая вероятность взаимодействия соды с выделяющимся при спекании пентаоксидом фосфора значительна. Термодинамически не вероятно взаимодействие  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с конечным продуктом реакции – фосфатом натрия. Фосфиды железа  $\text{Fe}_3\text{P}$  и  $\text{Fe}_2\text{P}$  в исследуемом интервале температур не распадаются.

Термографирование гранул шихты сплава с содой проведено на установке с программным регулятором температуры ПРТ-1000 м и низкочастотным термографическим регистратором НТР-70. Линейный нагрев-охлаждение проб проводили по заданной программе со скоростями 2,5; 5; 10; 20; 40 град/мин. Термоблок установки преобразован применительно к изучению окисления гранулированного материала в условиях газодинамики стабильного слоя, когда теплоноситель (он же окисляющий агент) фильтруется через слой материала. Был изготовлен термоблок с двумя сквозными патронами и патрубками. Его устанавливали на решетки в специальном металлическом кожухе. В два патрона (тигли) загружали исследуемый материал и гранулы эталонного вещества ( $\text{ZnO}$ ). Воздух, подаваемый под решетку через патрубки навстречу друг другу, фильтровался через слой гранул и участвовал в окислительном процессе. Температуру в слое контролировали платино-платинородиевой термопарой.

Рентгенофазовый анализ показал, что в пробах основная фаза – фосфид железа  $\text{Fe}_2\text{P}$  (см. табл.).

*Межплоскостные расстояния для сплава  $\text{Fe}_n\text{P}_m$ , фосфида железа и ферромарганца*

Сплав электротермии						$\text{Fe}_2\text{P}$		$\text{FeMn}_4$	
Проба		Данные		Данные		$I$	$d/n$	$I$	$d/n$
$I$	$d/n$	$I$	$d/n$	$I$	$d/n$				
69	2,594	–	–	51	2,720	50	2,72	–	–
21	2,413	50	2,540	–	–	50	2,54	–	–
29	2,301	–	–	–	–	–	–	–	–



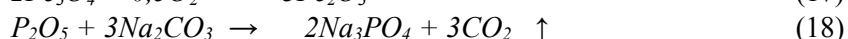
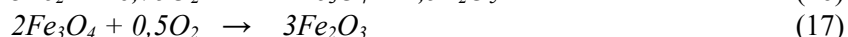
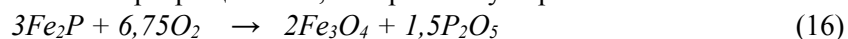
89	2,130	100	2,240	100	2,230	100	2,24	—	—
59	2,051	100	2,050	57	2,030	60	2,04	—	—
50	1,960	—	—	—	—	—	—	100	1,990
100	1,932	100	1,910	57	1,920	100	1,91	—	—
59	1,787	—	—	—	—	—	—	100	1,890
22	1,721	10	1,720	11	1,720	—	—	—	—
11	1,644	100	1,670	11	1,680	—	—	—	—
21	1,601	—	—	—	—	—	—	40	1,740
29	1,597	—	—	—	—	100	1,69	—	—
29	1,473	20	1,460	—	—	100	1,67	100	1,680
—	—	—	—	—	—	—	—	30	1,550
—	—	—	—	—	—	70	1,40	—	—

Проверочный расчет показал приемлемое совпадение экспериментальных и расчетных данных: относительно небольшая средняя квадратичная ошибка (5,74 %) и значение коэффициента корреляции для уравнения  $R > 0,6$ .

Кристаллооптический анализ порошкообразных продуктов проводили на большом исследовательском микроскопе Nu и поляризационном микроскопе МИН-8 иммерсионным методом. Коэффициенты светопреломления минералов замеряли с помощью иммерсионных жидкостей, проверенных на рефрактометре ИРФ-22.

Физико-химические исследования выполнены с использованием сплава  $Fe_nP_m$ , содержащего повышенное количество марганца. Состав пробы, масс. %: P - 23,40; Fe - 62,8; Mn - 8,70; Al - 0,40; V - 0,20; Cr - 0,19; Si - 0,14; Pb - 0,05. Сода содержала 99,0 %  $Na_2CO_3$ .

Увеличение скорости воздуха влияет недостаточно: степень окисления фосфора достигает максимума при расходе 0,7 м/с и затем снижается. Это указывает на значительную роль внешнедиффузионного процесса. По мере накопления продуктов реакции степень реагирования снижается. С увеличением содового модуля улучшается полнота реагирования и возрастает степень окисления фосфора. Введение в процессе гранулирования связующего улучшает контакт частиц и способствует более полному реагированию компонентов твердофазной смеси, степень окисления возрастает. Увеличение крупности помола создает возрастающее сопротивление диффузионным процессам и приводит к уменьшению степени окисления фосфора. Рассчитаны оптимальные условия окислительного обжига гранулированного сплава фосфидов железа с содой в процессе термографирования: скорость нагрева 10 град/мин; скорость воздуха 0,11 м/с; размер гранул 10-12 мм; содовый модуль 1,0-1,1; содержание связующего 1,5-2,5 %; тонина помола 0,1-0,13 мм. Степень окисления фосфора 98,7 %. При оптимальных условиях обжига наблюдаются четыре экзотермических эффекта. Первый из них (280 °C) обусловлен выделением тепла при нагревании связующего. Дифрактограмма пробы после эффекта (280 °C) содержит в основном отражения исходного сплава  $Fe_nP_m$  и соды. Второй экзотермический эффект при 520 °C - результат возгорания связующей добавки и наложения эффекта весьма интенсивного взаимодействия свежесформованного пентаоксида фосфора с содой. Затем преобладают отражения тринатрийфосфата. Следовательно, экзотермический эффект (520 °C) характеризуется достаточно глубокими фазовыми превращениями, которые могут протекать по схеме:



Эффект при 740 °С отнесен к образованию незначительного количества  $\alpha$  – феррита натрия. С дальнейшим повышением температуры наблюдается интенсивный эффект при 850 °С, который также относится к образованию тринатрийфосфата при взаимодействии соды с накопившимся активным пентаоксидом фосфора. Термографический эксперимент проводили до температуры 900 °С. В конечных продуктах идентифицировали тринатрийфосфат и  $\alpha$  – гематит.

Кристаллооптическое исследование подтверждает данные рентгенофазового анализа. Исходная шихта состоит из неправильных угловатых обломков фосфида железа и мелких неправильных зерен или скоплений тонкодисперсного строения соды.

С повышением температуры резкого изменения габитуса кристаллов не происходит. При температурах 282-560 °С фосфид железа, сода и новообразования фосфата натрия представлены дисперсными неправильными зернами, размеры которых не превышают единиц и первых десятков микронов. Можно полагать, что повышение температуры обжига сопровождается дезинтеграцией частиц исходных веществ, и с увеличением поверхности реагирующих твердых фаз условия взаимодействия несколько улучшаются. При температурах 400-580 °С в продуктах реакции еще присутствует сода в виде редких неправильных зерен, загрязненных бурыми или красновато-бурыми окислами железа. При стехиометрическом содержании соды последняя реагирует полностью и в продуктах обжига не обнаруживается. В этом случае отсутствует и феррит натрия. При более высоких температурах 580-600 °С попадают единичные зерна фосфата железа. Крайне малое содержание фосфата железа, по-видимому, обусловлено низкой скоростью реакции его образования. Процесс окисления фосфида железа протекает неравномерно и захватывает отдельные, преимущественно, краевые участки зерен. Это приводит к образованию оторочек фосфата натрия вокруг зерен фосфида железа, препятствующих его дальнейшему окислению. В наиболее полно прореагировавших участках наблюдаются сростки кристаллов тринатрийфосфата, в которых фосфид железа отмечается в виде мелких точечных реликтовых включений или тонкой сыпи. Процессу окисления фосфида железа в значительной степени способствует наличие мелких пор и трещин в его обломках. Исследования конечных продуктов обжига показали, что в отдельных матричных опытах могут образоваться фазы, несколько отличающиеся по оптическим свойствам, отвечающим, по-видимому, различным модификациям одного и того же соединения [4].

Колебания оптических свойств могут быть связаны с внутренними напряжениями в кристаллах, деформацией кристаллических решеток по кристаллографическим осям и т.д.

Последовательность фазовых превращений в процессе термографирования прослежена также методом ИК-спектроскопии. При температурах 320-450 °С в спексах наблюдаются интенсивные полосы в области 888, 1460 см<sup>-1</sup>, характерные для валентных и деформационных колебаний [CO<sub>3</sub>]<sup>2-</sup> – группы. В этих условиях сода присутствует в заметных количествах. Полосы поглощения в области 500-600 см<sup>-1</sup>, 900-1200 см<sup>-1</sup> относятся к колебаниям аниона [PO<sub>4</sub>]<sup>3-</sup>. Это указывает на полноту реагирования в твердофазной смеси с образованием конечных продуктов – тринатрийфосфата и гематита.

Таким образом, технология обжига техногенного продукта электротермии – сплава Fe<sub>n</sub>P<sub>m</sub> основана на окислении фосфидов железа и взаимодействии с образованием безводного тринатрийфосфата (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Реакции спекания фосфида Fe<sub>n</sub>P<sub>m</sub> с содой в присутствии кислорода термодинамически более вероятны. Выполнен физико-химический анализ твердых фаз, образующихся в процессе окислительно-спекательного обжига гранулиро-

ванного некондиционного сплава электротермии с содой. Методами рентгенофазового термографического, кристаллооптического и ИК-спектроскопического анализа установлено, что конечными продуктами обжига являются тринатрийфосфат и  $\alpha$ -гематит.

Список литературы

1. Букетов Е.А. Технологические процессы шахтного обжига в цветной металлургии /Е.А. Букетов, В.П. Малышев. – Алма-Ата: Наука, 1993. – 217 с.
2. Кунаев А.М. Исследование процесса вакуум-термической переработки фосфора /А.М. Кунаев, Ю.И.Сухарников // Исследование процесса переработки ванадийсодержащих материалов: Сб. – Алма-Ата: Наука, 1992. – С.47–52.
3. Бержанов Д.С. Химическая и термическая подготовка фосфатного сырья для электротермии /Д.С. Бержанов, У.Ж. Джусипбеков, А.М. Казова. – Алматы: Гылым, 1998. – 175 с.
4. Малышев В.П. Вероятностно-детерминированное планирование металлургического эксперимента. – Алма-Ата: Наука. – 1981. – 47 с.

Получено 10.12.08

УДК 528.4

**К.Б. Хасенов, М.Е. Рахымбердина**  
ВКГТУ, Усть-Каменогорск

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА  $i$  С ОДНОЙ СТОЯНКИ НИВЕЛИРА**

В комплексе геодезических работ значительную долю составляют нивелирные работы, для осуществления которых необходимы соответствующей точности нивелиры. Система, определяющая качество геодезических измерений, как правило, имеет вид: наблюдатель – прибор – внешние условия – метод измерений. Основным методом контроля надежности прибора является поверка. Цель поверки – приведение частей прибора в соответствие с основными геометрическими условиями, заложенными в его конструкции.

Для нивелиров выполняются следующие поверочные работы (см. табл.).

№ п/п	Содержание поверочных работ	Методы и средства поверки	Тип нивелира
1	Поверка внешнего вида и технического состояния	Визуальный осмотр	Все типы
2	Оценка работоспособности прибора	Опробование	Все типы
3	Определение цены деления шкалы оптического микрометра	Линейка с ценой деления шкалы 0,5 – 1,0 мм	H-05
4	Определение угла $i$	Полевой базис, автоколлиматор АК-0,25 или АК-0,5	Все типы
5	Определение погрешности в превышениях, вызванной неправильной работой фокусирующего устройства	Полевой высотный базис	Применяемые для работы с разными плечами
6	Поверка работы компенсатора	Автоколлиматор АК-0,25 или АК-0,5, экзаменатор с ценой деления измерительного винта до 5", полевой высотный базис	

7	Определение средней квадратической погрешности превышения на станции	Полевой высотный базис	Все типы
8	Определение средней квадратической погрешности превышения на 1 км хода	Высотный полигон	Все типы

Из вышеуказанных поверочных работ наибольший интерес представляет определение угла  $i$ .

Угол  $i$  нивелира (вертикальный угол, образованный визирной осью зрительной трубы и горизонтальной линией) определяют полевым или лабораторным методом.

В лабораторных условиях угол  $i$  определяют коллиматорным методом. В качестве коллиматора используют образцовый нивелир или высокоточный теодолит. Поверяемый нивелир устанавливают вблизи коллиматора так, чтобы объективы их зрительных труб были направлены друг на друга. Перед началом измерений приборы должны быть приведены в рабочее положение, а их зрительные трубы сфокусированы на бесконечность. Несоответствие изображений средних нитей поверяемого и образцового нивелиров отсчитывают по шкале последнего. Этот отсчет и является значением угла  $i$ . При использовании теодолита измеряют вертикальный угол путем наведения средней нити трубы теодолита на среднюю нить трубы нивелира. Угол измеряют при двух положениях вертикального круга теодолита.

В случае применения специализированных установок угол  $i$  у нивелира фиксируют непосредственно с помощью оптического устройства этой установки [3].

Известно несколько способов определения и исправления угла  $i$  у нивелиров в полевых условиях.

Определение угла  $i$  нивелира в полевых условиях обычно проводят методом двойного нивелирования, при котором превышение между двумя точками, закрепленными на местности, измеряют поверяемым прибором дважды, с различных станций.

Далее, используя полученные превышения или отсчеты по рейкам, вычисляют значение угла  $i$ .

При этом применяют следующие способы нивелирования: нивелирование «вперед», нивелирование «из середины» в сочетании с нивелированием «вперед» и нивелирование с разными плечами [1-4].

Количество приемов измерений в любом способе должно быть не менее трех. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение угла  $i$  из всех результатов, признанных годными. Расхождение между отдельными значениями угла  $i$  не должно превышать 3" для высокоточных нивелиров и 5" для всех остальных типов нивелиров.

Угол  $i$  по способу нивелирования «вперед» определяют в такой последовательности. На расстоянии 50-75 м друг от друга забивают два колышка или кола. Нивелир устанавливают над точкой 1, приводят его в рабочее положение, измеряют его высоту  $z_1$  до визирной оси с погрешностью не более 1 мм и берут отсчет  $l_1$  по рейке, установленной в точке 2. Меняют местами нивелир и рейку и, выполнив описанные выше действия, получают высоту  $z_2$  и отсчет  $l_2$ . Значение угла  $i$  вычисляют по формуле:

$$i = \frac{[(z_1 + z_2) - (l_1 + l_2)]\rho''}{2S}, \quad (1)$$

где  $S$  - расстояние между точками 1 и 2.

Если точное значение высоты нивелира определить затруднительно, угол  $i$  получают видоизмененным способом, не требующим измерения высоты прибора. Для этого линию длиной 45-60 м делят на три равных отрезка, каждый длиной  $S$ . Концы интервалов закрепляют кольями, фиксируя этим точки 1, 2, 3 и 4. На средних точках 2 и 3 устанавливают рейки, а на крайних точках 1 и 4 поочередно устанавливают нивелир, где после приведения его в рабочее положение берут две пары отсчетов  $l_2$  и  $l_3$  (станция 1) и  $l_2'$  и  $l_3'$  (станция 4). Значение угла  $i$  вычисляют по формуле:

$$i = \frac{[(l_3' - l_3) - (l_2' - l_2)]\rho''}{2S} = \frac{h_1 - h_2}{2S} \rho''. \quad (2)$$

При определении угла  $i$  по способу нивелирования «из середины» в сочетании с нивелированием «вперед» на расстоянии 40-60 м закрепляют кольями (точки 1 и 2), на которых устанавливают рейку в створе между точками 1 и 2 на равном расстоянии от них. Приводят нивелир в рабочее положение и берут отсчеты  $l_1$  и  $l_2$  по рейкам 1 и 2. Далее переносят нивелир в точку, удаленную от точки 2 на 5-10 м и вновь берут отсчеты  $l_1'$  и  $l_2'$  на заднюю и переднюю рейки. Измеряют расстояния до задней ( $S_1$ ) и передней ( $S_2$ ) реек. Значение угла  $i$  нивелира определяют по формуле:

$$i = \frac{[(l_1' - l_2') - (l_1 - l_2)]\rho''}{S_1 - S_2} = \frac{h' - h}{S_1 - S_2} \rho''. \quad (3)$$

Дополнительную точку можно располагать как между точками 1 и 2, так и на продолжении их створа.

С целью уменьшения искажений результатов измерений за ход фокусирующей линзы, расстояние  $S_2$  выбирают более 10 м.

Для облегчения вычислений по формуле (3) расстояния  $S_1$  и  $S_2$  подбирают с таким расчетом, чтобы отношение  $\frac{\rho''}{S_1 - S_2}$  было равно целому числу, тогда формула (3) примет простой вид

$$i = (h' - h)k, \quad (4)$$

где

$$k = \frac{\rho''}{S_1 - S_2}.$$

По способу нивелирования при разных плечах угол  $i$  определяют на линии длиной 30-50 м. Концы линии закрепляют кольями 1 и 2, на которых устанавливают рейки. Нивелир располагают в 5 м от точки 1 и берут отсчеты  $l_1$  по рейке 1 и  $l_2$  по рейке 2. Затем нивелир переносят по линии 1-2 и, не доходя до точки 2 на 5 м, вновь устанавливают его и приводят их в рабочее положение. Берут отсчеты  $l_1'$  по рейке 1 и  $l_2'$  по рейке 2. Значение угла  $i$  вычисляют по формуле:

$$i = \frac{[(l_1 + l_1') - (l_2 + l_2')]\rho''}{2(S_2 - S_1)} = \frac{h_1 - h_2}{2(S_2 - S_1)} \rho'', \quad (5)$$

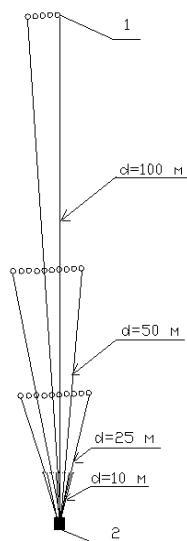


Рисунок 1- Схема полевого компаратора в стесненных условиях: 1- пилон, 2 – бетонная площадка

где  $S_1 = 5$  м;  $S_2$  - расстояние между точками 1 и 2.

Анализ литературных источников показал, что, кроме вышеописанных способов, существуют и другие видоизмененные способы определения и исправления угла  $i$  нивелира.

Недостатком рассмотренных выше способов является необходимость в закреплении двух точек на местности для проверки нивелира и перехода с инструментом с одной точки на другую.

Для определения угла  $i$  у нивелира и его исправления предлагается следующее.

На эталонированном полевом компараторе, разработанном для аттестации и сертификации нивелиров (рис. 1), устанавливают нивелир на бетонной площадке, приводят прибор в рабочее положение, измеряют высоту прибора  $i$  и берут отсчеты  $b_1$  и  $b_2$  по рейке, установленной поочередно на пилонках на расстоянии 50 м. Данные измерения повторяют не менее 3-х раз. Вычисляют превышение  $h = b_1 - b_2$ . Практическое значение превышения берут как среднее из трех значений.

Далее вычисляют исправленное (истинное) значение отсчета по рейке на точку 2 как  $b_2' = i - h$  и сравнивают с отсчетом  $b_2$ . Если расхождение между  $b_2'$  и  $b_2$  больше допустимой величины, то приступают к юстировке прибора. Для этого устанавливают исправленный отсчет  $b_2'$  на перекрестии сетки нитей элевационным винтом цилиндрического уровня. При этом изображения концов цилиндрического уровня расходятся. Вертикальными исправительными винтами точно совмещают изображения концов пузырька уровня, следя за тем, чтобы отсчет по рейке оставался равным исправленному.

Для исследований на компараторе данным способом были поверены нивелиры Н-3, имеющие ошибки  $X$  (линейная величина угла  $i$ ) больше установленной величины. С целью проверки состоятельности данного способа ошибка  $X$  у нивелиров первоначально определялась по способу нивелирования «вперед». После юстировки прибора предлагаемым способом для контроля также ошибку  $X$  определили по способу нивелирования «вперед». Результаты исследований показали, что после юстировки прибора значения ошибки  $X$  меньше допустимого значения.

#### Список литературы

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. - М.: Недра, 1990.
2. Спиридонов А.И. Основы геодезической метрологии: Произв.-практ. изд. - М.: Картгеоцентр. Геоиздат, 2003.
3. Спиридонов А. И. Поверка геодезических приборов / А.И. Спиридонов, Ю.Н. Кулагин, М.В. Кузьмин. - М.: Недра, 1981. - С. 152.
4. Сборник инструкций по производству геодезических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. - М.: Недра, 1988. - С. 77.

Получено 17.10.08

УДК 622.27

**С.Н. Шапошник**

ЗЦ ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Зыряновск

**РЕЗУЛЬТАТЫ ШАХТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО УТОЧНЕНИЮ ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ОТБИТОЙ РУДЫ НА МАЛЕЕВСКОМ РУДНИКЕ**

Основные запасы высокоценных руд Малеевского рудника Зыряновского горно-обогатительного комплекса АО «Казцинк» отрабатывают подэтажно-камерной системой разработки со сплошной выемкой руды в восходящем порядке с закладкой выработанного пространства.

Дальнейшее совершенствование подэтажно-камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства будет осуществляться по пути выявления технологических параметров системы с целью снижения потерь и разубоживания отбитой руды закладочным материалом, повышения производительности самоходных погрузочно-доставочных машин (ПДМ) на погрузке отбитой руды, улучшения проветривания очистных забоев и создания безопасных условий горных работ.

Повышение производительности самоходных ПДМ возможно за счет совершенствования схем отработки рудного массива, что даст возможность улучшить условия работы самоходных машин на погрузке отбитой руды.

Одним из возможных решений по улучшению условий работы ПДМ является практическая реализация на подземном руднике схем подготовки горизонта выпуска с наклонным днищем с выпуском отбитой руды под рудной консолью.

Внедрение схем подготовки горизонта выпуска с наклонным днищем и выпуском отбитой руды под рудной консолью позволит вести погрузку основного объема отбитой руды в выработанном пространстве самоходными машинами, не оборудованными пультом дистанционного управления, что существенно повысит производительность дорогостоящего погрузочно-доставочного оборудования.

Для разработки схем отработки рудного массива подэтажной камеры с наклонным днищем и выпуском отбитой руды под рудной консолью необходимо уточнить горно-технические свойства отбитой руды на Малеевском руднике.

Шахтные эксперименты по уточнению значений углов естественного откоса отбитой руды проведены на Малеевском руднике по камерам № 12, 14, 22, 30, 41 Родниковой рудной зоны Малеевского месторождения, а также проведены лабораторные исследования по уточнению значений углов естественного откоса мелких фракций отбитой руды.

Слеживаемость мелких фракций отбитой руды определена на основании лабораторных исследований при различных углах наклона плоскости навала руды и сроках нахождения отбитой руды в навале.

Значение угла естественного откоса отбитой руды определялось на основе лабораторных исследований по формированию навалов образцов полиметаллической и медно-цинковой руды (рис. 1).

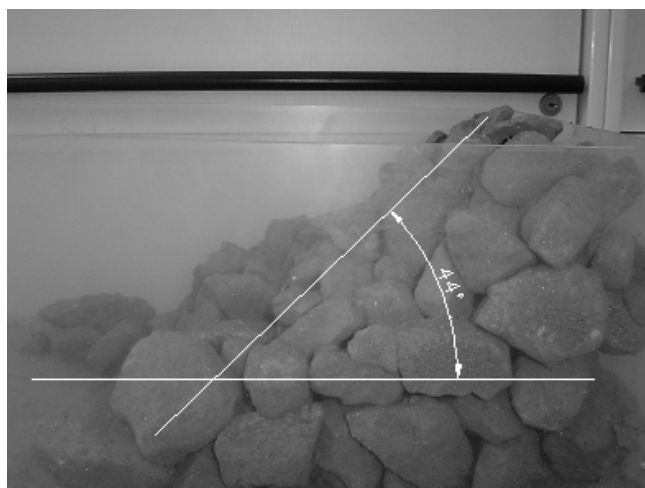


Рисунок 1 - Фотография откоса навала медно-цинковой руды  
при  $d_{cp} = 35,1$  мм

Результаты лабораторных исследований кусковатости отбитой полиметаллической и медно-цинковой руды и формируемого угла естественного откоса представлены в таблице.

*Значения угла естественного откоса отбитой полиметаллической  
и медно-цинковой руды*

Номер опыта	Диаметр среднего куска отбитой руды, мм	Значения угла естественного откоса отбитой руды, град	
		полиметаллической	медно-цинковой
1	30,7	41	
2	43,7	38	
3	20,9	46	
4	35,1		44
5	37,7		43
6	29,4		50

Значения угла естественного откоса отбитой полиметаллической и медно-цинковой руды в лабораторных условиях проводились для мелкокусковой руды (полиметаллическая  $d_{cp} = 20,9 \div 43,7$  мм и медно-цинковая  $d_{cp} = 29,4 \div 37,7$  мм).

Усредненные значения угла естественного откоса отбитой полиметаллической ( $d_{cp} = 20,9 \div 43,7$  мм) и медно-цинковой ( $d_{cp} = 29,4 \div 37,7$  мм) руды составили соответственно  $41,6^\circ$  и  $45,6^\circ$ .

С целью уточнения значений величины угла естественного откоса отбитой руды в выемочных камерах были проведены шахтные наблюдения.

Шахтные наблюдения по определению параметров откоса развала отбитой руды проводились по камерам № 14, 30, 41, 12, а также фиксировались параметры откоса развала



отбитой руды у рудоспуска № 3 на подсечке 14 гор.+12 м. С целью определения гранулометрического состава отбитой руды и выявления диаметра среднего куска отбитой руды фотопланометражным способом навал руды фотографировали с масштабными рейками (рис. 2).

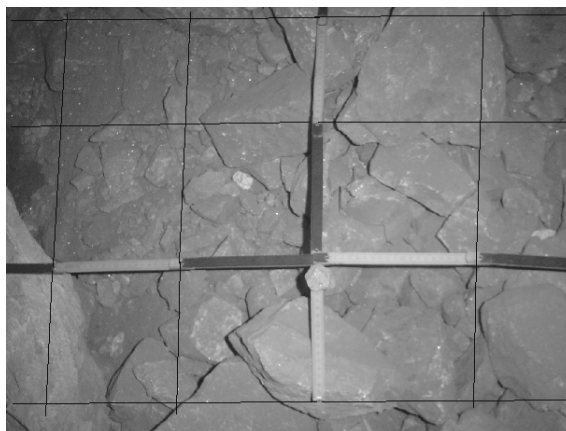


Рисунок 2 - Фотография навала отбитой руды в камере № 30  
Родниковой рудной зоны в этаже 13 гор.+25 м ( $d_{cp} = 142$  мм)

Определение гранулометрического состава отбитой руды производилось с помощью линейного варианта фотопланометрического метода, предложенного профессором Л.И. Бароном. Гранулометрический состав руды разбивали на фракции: I - до 100 мм; II - от 101 до 200 мм; III - от 201 до 300 мм; IV - от 301 до 400 мм; V - от 401 до 500 мм; VI - от 501 до 600 мм; VII - более 600 мм (негабаритные куски руды).

Кусковатость руды оценивалась величиной диаметра среднего куска руды, определенного по правилу средневзвешенного по диаметрам фракций:

$$d_{cp} = \frac{\gamma_1 \cdot d_1 + \gamma_2 \cdot d_2 + \gamma_3 \cdot d_3 + \gamma_4 \cdot d_4 + \gamma_5 \cdot d_5 + \gamma_6 \cdot d_6 + \gamma_7 \cdot d_7}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5 + \gamma_6 + \gamma_7},$$

где  $d_{cp}$  - средний диаметр, мм;  $\gamma_1, \dots, \gamma_7$  - выходы фракций, %;  $d_1, \dots, d_7$  - соответствующие диаметры фракций, мм.

Выход каждой фракции определяли по формуле:

$$\gamma_i = (S_i / S) \cdot 100,$$

где  $S_i$  - суммарная площадь  $i$ -й фракции, подсчитанная по фотографии, см<sup>2</sup>;  $S$  - площадь развала на фотографии, см<sup>2</sup>.

Размер выхода негабарита производился с помощью фотометрического метода или путем подсчета количества ковшей ПДМ с негабаритами.

Выход негабарита, % определялся по формуле:

$$n = (S_n / S) \cdot 100,$$

где  $S_n$  - суммарная площадь негабаритных кусков, находящихся под масштабной рейкой, см<sup>2</sup>.

Согласно данным узла товарного опробования Малеевского рудника на 11.04.2007 г., влажность выдаваемой на поверхность руды составила: для полиметаллических руд – 6,4 %, для медно-цинковых руд – 7,7 %. По данным локальных проектов на отработку

выемочных единиц плотность руды составляет для камер: № 30 -  $\gamma_p = 4,13 \text{ т/м}^3$ ; № 14 -  $\gamma_p = 4,10 \text{ т/м}^3$ ; № 12 -  $\gamma_p = 4,09 \text{ т/м}^3$ ; № 41 -  $\gamma_p = 3,88 \text{ т/м}^3$ . Технологический сорт руд в отрабатываемых камерах: № 12 – медно-цинковая, № 14 - полиметаллическая, № 30 – полиметаллическая, № 41 – медно-цинковая руда.

Откос навала руды фотографировали с отвесом (вертикальная плоскость) с целью определения значений угла откоса навала отбитой руды (рис. 3).



Рисунок 3 - Фотография откоса навала отбитой руды в камере № 30  
Родниковой рудной зоны в этаже 13 гор.+25 м

В результате обработки шахтных наблюдений методами математической статистики зависимость угла откоса развала отбитой руды от диаметра среднего куска отбитой руды имеет следующий вид:

- для полиметаллических руд  $\alpha_p = 33,257 \cdot d_{cp}^{0,054}$  в ограничениях  $142 \leq d_{cp} \leq 548$  при значениях влажности выдаваемой на поверхность руды от 6,4 до 7,5 % и плотности руды  $\gamma_p = 4,10 \div 4,13 \text{ т/м}^3$ ;

- для медно-цинковых руд  $\alpha_p = 32,052 \cdot d_{cp}^{0,054}$  в ограничениях  $47 \leq d_{cp} \leq 264$  при значениях влажности выдаваемой на поверхность руды от 7,5 до 7,7 % и плотности руды  $\gamma_p = 3,88 \div 4,09 \text{ т/м}^3$ .

Уточненные для условий Малеевского рудника значения угла естественного откоса отбитой полиметаллической и медно-цинковой руды использованы для разработки рациональной схемы выпуска отбитой руды выемочной камеры с наклонным днищем и выпуском отбитой руды под рудной консолью.

Получено 14.10.08

**КУТТЫКТАЙМЫЗ !  
ПОЗДРАВЛЯЕМ !**





**ГЕТА**

**РОСТИСЛАВА ИВАНОВИЧА,**

кандидата географических наук кафедры гео-  
дезии, землеустройства и кадастра

