

## РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОДИКТОВАННОЕ НУЖДАМИ MOUNT ISA MINES

\*В. Лоусон, Х. ДеВаал, Дж. Хэфтерен, Н. Эслин, П. Войт и М. Хорн

*Glencore Technology  
10 этаж, 160 Энн Стрит  
Брисбен, Австралия, 4000  
(\*Ответственный автор: [virginia.lawson@glencore.com.au](mailto:virginia.lawson@glencore.com.au))*

### АННОТАЦИЯ

Компания Mount Isa Mines (MIM) приобрела репутацию успешного поставщика технологий благодаря применению НИР в разработке прорывных технологий горнодобывающей отрасли, начиная с 1978 вплоть до начала 2000 годов. Лицензию на технологию электролиза ISAPROCESS™ приобрели многие заводы медного электролиза по всему миру, и значительная часть мировой меди производится с помощью данной технологии. С момента разработки в конце 1980-ых годов во всем мире было установлено более 20 свинцовых и медеплавильных печей ISASMELT™. Флотационная машина Джеймсон, разработанная компанией Mount Isa Mines совместно с профессором Грэмом Джеймсоном, широко применяется в угольной промышленности Австралии и набирает обороты в цветной и золотодобывающей промышленности. Технология измельчения IsaMill™, разработанная в Маунт Айзе и МакАртур Ривер, сделала возможным отработку рудных тел на рудниках МакАртур Ривер и Джордж Фишер, она была успешно реализована для тонкого измельчения на предприятиях цветной горнодобывающей промышленности по всему миру. Самая последняя инновация, внедренная в промышленных масштабах, - технология атмосферного выщелачивания Процесс Альбион™ с системой сверхзвуковой подачи кислорода HyperSparge™, применяется в качестве решения проблемы увеличения комплексности рудных тел.

MIM внесла значительный вклад в развитие промышленности, учитывая ее размер и удаленность производственных площадок - медный электролизный завод в Таунсвилле находится в более чем 1350 км и Маунт Айза в 1800 км от ближайшего города-столицы штата, Брисбена. В данной работе будет представлено краткое описание разработки каждой из этих технологий, и почему MIM (сейчас принадлежащая компании Glencore) так успешны во введении инноваций и разработке технологий на протяжении почти 40 лет.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

**Инновация, Mount Isa Mines, технологии ISAPROCESS™, IsaKidd™, ISASMELT™, IsaMill™, флотомашина Джеймсон, Процесс Альбион™, HyperSparge™, ZipaTank™**

## ВВЕДЕНИЕ

Маунт Айза находится в районе Галф-Кантри штата Квинсленд примерно в 1800 километрах к северо-западу от Брисбена (см. рисунок 1). Город был основан после обнаружения в этом регионе месторождений мирового класса. В 1923 году Джон Кэмпбелл Майлз открыл рудное тело, включающее минералы свинца, цинка и серебра. Предприятие Mount Isa Mines Limited (MIM) было основано в 1924 году для добычи полезных ископаемых, найденных Майлзом, но производство не было запущено до мая 1931 года. Первые дивиденды были получены в 1947 году после 16 лет проблематичного производства. В 1954 году было открыто медное рудное тело 1100, и быстро растущие запасы в период 1950-ых и 1960-ых годов привели к строительству новых фабрик по переработке свинцовых/цинковых/серебряных руд в 1966 году (фабрика №2) и медных руд - в 1973 году (фабрика №4). Сложная природа свинцово-цинковых рудных тел Маунт Айзы означала, что компания всегда должна была находиться на передних рубежах развития горнодобывающей технологии. С 1970-ых по 1990-ые годы, она стала мировым лидером в разработке новых горнодобывающих методов и перерабатывающих технологий в ответ на снижение цен на металлы и повышение затрат. Маунт Айза плавит медь с 1953 года, а свинец с начала 1930-ых годов. Медный электролиз на 100-процентном дочернем предприятии Маунт Айзы, Copper Refineries Proprietary Limited (CRL), был введен в эксплуатацию в 1959г.



Рисунок 1 - Расположение Маунт Айзы и Таунсвилла относительно Брисбена, ближайшего города-столицы

Технологии, вышедшие из Маунт Айзы, включают технологию медного электролиза ISAPROCESS™, технологию ISASMELT™, флотомашину Джеймсон, IsaMill™, Процесс Альбион™ и Hypersparge™. Компания Mount Isa Mines была приобретена компанией Xstrata в 2003 году, а 2015 году произошло слияние компаний Xstrata и Glencore. Уровень инноваций, достигнутый в Mount Isa Mines, не имеет себе равных и является результатом работы, продиктованной сложностью природы рудных тел и ответом на падение цен на металлы и увеличение эксплуатационных расходов в 1970-ых и 1980-ых годах. К 1990-ым годам Маунт Айза стала мировым лидером по инновационным методам в области горной добычи и новейшим перерабатывающим технологиям. Эти технологии описываются ниже.

## ИННОВАЦИИ

У каждой из инновационных технологий, разработанных в Mount Isa Mines были свои предпосылки, доминирующим было желание сделать технологию более эффективной и рентабельной. Каждая из этих технологических разработок будет рассмотрена по отдельности.

## ISAPROCESS™

Разработка технологии электролиза ISAPROCESS™ берет свое начало в цинковой промышленности. В середине 1970-ых годов, MIM рассматривала возможность строительства цинкового электролиза в Таунсвилле для переработки цинкового концентратата, производимого на предприятии в Маунт Айзе. В результате этого персонал компании MIM посетили цинковые плавильные заводы, использовавшие передовые практики того времени, и выяснили, что на современных заводах электролиза цинка, применялись технологии с постоянной катодной пластиной и механизированной сдиркой. В MIM поняли, что производительность медного электролиза ограничена традиционной практикой использования медной матрицы. Подготовка этих медных матриц была трудоемкой, и весь цикл занимал несколько недель.

В MIM запустили исследовательскую программу, нацеленную на разработку подобной технологии постоянных катодных пластин для медного электролиза. CRL, подразделение компании MIM, функционировало в Таунсвилле с 1959 года и работало по традиционной технологии с использованием медных матриц для переработки черновой меди, производимой на медеплавильном заводе в Маунт Айзе. Технология с постоянной катодной пластиной была разработана и адаптирована спустя много лет экспериментальных работ на заводе и успешно внедрена на электролизном заводе в Таунсвилле в 1978 году. Фундаментальное отличие новой технологии ISAPROCESS™ от традиционной матричной заключается в использовании многоразовой постоянной катодной пластины вместо одноразовых медных матриц и введении механизированных и автоматизированных машин обработки электродов, которые заменили трудоёмкую ручную работу. Вертикальные края были оснащены пластиковыми боковыми планками, а низ покрыт парафином, чтобы предотвратить осаждение катодной меди по краям катодной пластины, что облегчает процесс сдирки и позволяет отделить два листа катодной меди с каждой катодной пластины. Эта технология дала крупные преимущества в системе обработки электродов и привела к автоматизации цеха медного электролиза. Улучшенная геометрия катодных пластин и значительно сократившийся цикл получения катодной меди способствовали увеличению производительности и эффективности процесса электролиза. Введение технологии с использованием постоянной катодной пластины в результате привело к увеличению мощности, повышению качества катодной меди с меньшим количеством дефектов, более безопасному производству с увеличением производительности в четыре раза. Значительные разработки потребовались для модификации сдирочных машин, работавших на цинковых катодах, из-за более тяжелого веса катодов. Производительность сдирочных машин повысилась с 250 пластин в час до 600 пластин в час на последних проектах. Последние разработки включают в себя отказ от нанесения парафина на катодную пластину, роботизированные машины обработки электродов и введение катодных пластин, изготовленных из двухфазной нержавеющей стали, которые дают большую прочность и устойчивость к коррозии. Благодаря форумам пользователей ISAPROCESS™, где происходит обмен идеями и разработками в области данной технологии и обсуждается опыт эксплуатации, данная технология продолжала развиваться, становясь более продуктивной и повышая качество при низких затратах.



Рисунок 2 – Технология IsaKidd

В середине 1981 года компания Falconbridge Limited ввела в эксплуатацию медеплавильный завод недалеко от города Тимминз для переработки концентрата с рудника Kidd. Изначально в катодной меди, полученной в Kiddе, была более высокая концентрация свинца и селена, она не отвечала техническим спецификациям покупателя. Было определено, что использование медных матриц не дает электролизу Kidd выйти на целевые показатели по качеству катодной меди. Начались исследовательские работы с использованием постоянных катодных пластин из нержавеющей стали после предварительных испытаний, которые показали значительное сокращение вредных примесей. В катодах технологии Kidd использовали цельную медную перекладину, которая приваривалась к листу нержавеющей стали, что давало более низкий перепад напряжения, чем в технологии ISAPROCESS™. Falconbridge стали продавать свою технологию Kidd в 1992 году, создавая конкуренцию между двумя поставщиками технологии постоянных катодных пластин. С 1992 по 2006 годы было продано 25 лицензий на технологию Kidd и 52 лицензии ISAPROCESS™.

Разработка технологий ISAPROCESS™ и Kidd подготовила почву для череды технологических разработок вплоть до середины 2000-ых годов. Xstrata поглотила Mim в 2003 году, а затем и Falconbridge в 2006 году. Технология Kidd, следовательно, стала частью пакета технологий для электролиза, и с тех пор этот продукт стали называть на рынке как IsaKidd™, отражая двойные корни этой технологии. Сегодняшняя роботизированная сдирочная машина (рисунок 2) создана на основе более чем 30-летнего опыта эксплуатации технологии медного электролиза и электровиннинга. На сегодняшний день продано более 100 лицензий на использование технологии IsaKidd™.

### **ISASMELT™**

В 20 веке в свинцовой промышленности преобладала технология, сочетающая в себе агломашину и шахтную печь. С начала 1970-ых годов компании, применяющие эту технологию, стали подвергаться постоянному политическому и экономическому давлению в связи с ужесточением природоохранного законодательства и повышением стоимости электроэнергии, что привело к повышению капитальных и эксплуатационных затрат (Fewings, 1988). Именно в такой обстановке Mount Isa Mines начала поиски такого процесса, который бы помог улучшить производительность их свинцового плавильного завода в Маунт Айзе. После изучения различных технологий, находящихся в разработке, исследователи обратили свое внимание на технологию погружной фурмы Sirosmelt. Она недавно была разработана в лаборатории Государственного объединения научных и прикладных исследований (CSIRO) в Мельбурне. После начального изучения Mount Isa Mines признали потенциал новой концепции плавки свинцовых концентратов и приступили к широкомасштабной программе разработок

В 1978 году Mount Isa Mines и CSIRO запустили совместный проект по исследованию применения технологии горения с помощью погружной фурмы Sirosmelt для плавки свинцового концентрата Маунт Айзы. Технология ISASMELT™, в том виде, в котором она стала известна, разрабатывалась в период с 1980-ых по 1990-ые годы через поэтапное масштабирование процесса до полного развития для плавки медного, никелевого, свинцового и цинкового сырья с рудника Mount Isa Mines. Внедрение на промышленном уровне произошло через много лет после того, как доказательства эффективности данного процесса были получены в лабораторных, полупромышленных и демонстрационных испытаниях. Около десяти лет потребовалось для разработки свинцовой и медной технологии ISASMELT™ от тигля до демонстрационной установки (см. рисунок 4). В течение этого периода собранные командой разработчиков основные ноу-хау позволили им достичь момента, когда они были достаточно вооружены для проектирования и строительства полномасштабной промышленной установки - окончательного этапа масштабирования. Основными аспектами этого процесса стали: выбор коэффициентов масштабирования, систематизированное проектирование, разработка и конструктивные доработки некоторых компонентов технологии. На рисунке 3 показано сравнение этапов масштабирования по свинцовой и медной технологиям ISASMELT™. Полупромышленный масштаб был принят за единицу при сравнении этапов масштабирования.

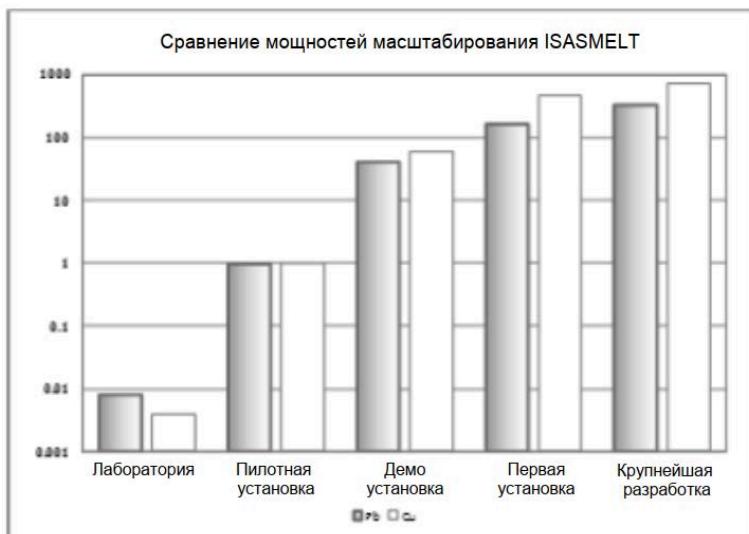


Рисунок 3 - Сравнение этапов масштабирования свинцовых и медных технологий ISASMELT™

Во время масштабирования (см. таблицу 1) некоторые аспекты технологии были разработаны до высоких стандартов, что позволило технологии ISASMELT™ стать коммерчески успешной. Сегодня, как результат, технология ISASMELT™ успешно применяется на многочисленных заводах во всем мире. Методический подход к разработке технологии позволил владельцам модернизировать существующее производство и строить новые предприятия со значительно сниженным уровнем технических рисков.

Важным параметром в эволюции технологии ISASMELT™ стал срок службы футеровки. На рисунке 5 показаны исторические данные по сроку службы футеровки промышленной медеплавильной печи ISASMELT™ в Маунт Айзе с момента ее ввода в эксплуатацию. На тот момент руководство Mount Isa Mines не рассматривало установку системы водяного охлаждения футеровки из-за потенциальной опасности несчастных случаев со смертельным исходом и увеличения эксплуатационных расходов. В результате промышленные печи были построены с минимальным водяным охлаждением. Однако это привело к более короткому сроку их эксплуатации. Была запущена программа разработки, целью которой стала оптимизация методологии подбора и монтажа футеровочного материала. Объединив стратегии управления с непрерывным мониторингом температуры расплава в реальном времени с помощью систем, разработанных за более чем 10 лет эксплуатации, Mount Isa Mines смогли добиться увеличения срока службы до более чем 3 лет без использования какого-либо водяного охлаждения футеровки печи.



Рисунок 4 – Выпуск штейна из медной печи ISASMELT на Казцинке

Таблица 1 - Основные показатели заводов ISASMELT от пилотных испытаний до промышленных масштабов

Ед.изм.	Пилотный масштаб		Демо масштаб		Первая полномасштабная		Текущая конструкция <sup>1</sup>	
	Pb	Cu	Pb	Cu	Pb <sup>3</sup>	Cu	Pb	Cu
Двнутр печи	м	0,4	0,4	1,8	2,3	2,5	3,75	3,6
Диаметр фурмы	мм	38	38	150	250	250	350	250
Управление фурмой	ручное		полуавтоматическое		полу-автоматическое	автоматическое		
Обогащение кислородом	%	21	21	21	28	35	45	70
Номинальная скорость загрузки	т/ч	0,12	0,25	5	15	20	101	40
Очистка отходящих газов	Дымоход/рукавные фильтры		Охладитель газа/ рукавные фильтры		KU	KU <sup>2</sup>		

Примечания:

Двнутр: Внутренний диаметр; KU: Котел-utiлизатор

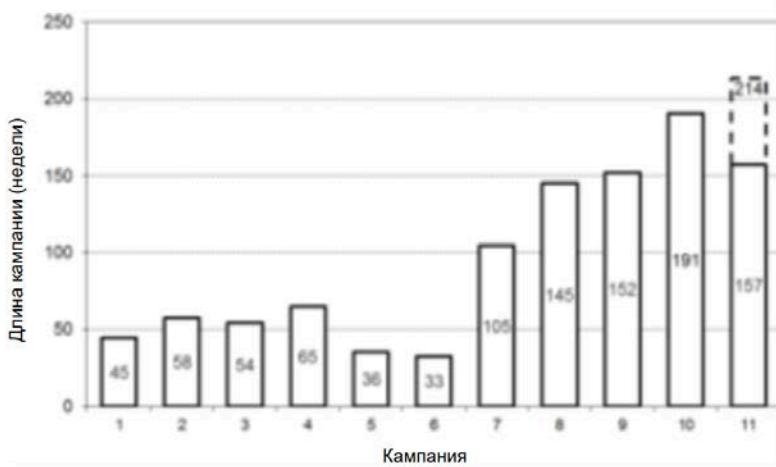
<sup>1</sup> ссылка на максимальную производительность<sup>2</sup> на некоторых заводах используется комбинация радиационной части KU и испарительного охладителя для очистки газа<sup>3</sup> ссылка на плавильную печь двух-стадийной свинцовой технологии ISASMELT™

Рисунок 5 - Срок службы футеровки медной печи ISASMELT в Маунт Айзе (на 2013 год)

### ФлотомашинаДжеймсон

ФлотомашинаДжеймсон (рисунок 6) была разработана компанией Mount Isa Mines совместно с выдающимся профессором Грэмом Дж. Джеймсоном из университета Ньюкасла. Эксплуатация в Маунт Айзе началась с установки традиционных флотомашин, но в середине 1980-ых годов в перечистном цикле флотации начали устанавливать колонны. Колонны имеют преимущество в виде промывки пены, что должно было позволить значительно улучшить содержание в цикле переработки очень тонкого свинцово-цинкового материала. Первые наблюдения за работой колонн показали, что скорость процесса сбора была медленной, что

повлекло за собой необходимость более продолжительного времени выдерживания и больших объемов, что и по сегодняшний день остается ограничивающим фактором в работе колонн. В 1985 году профессор Джеймсон получил задание выполнить проект для улучшения конструкции распределителя для колонн.

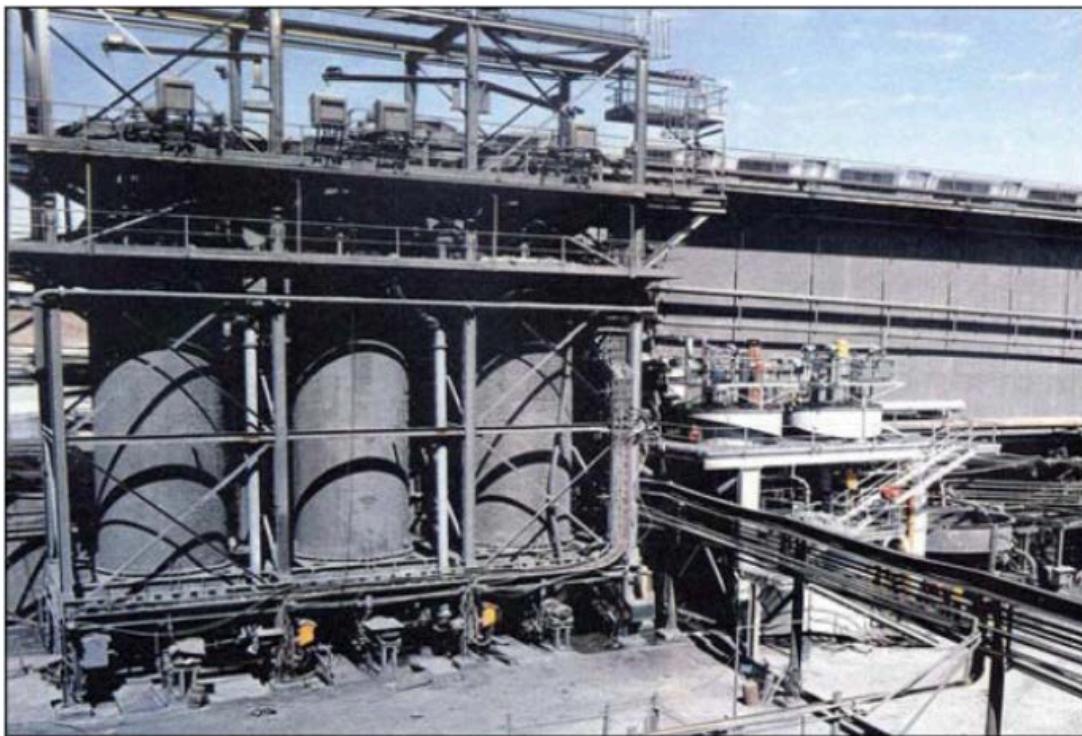


Рисунок 6 – Флотомашины Джеймсона в сравнении с колоннами такой же производительности в Маунт Айзе

После проведения начальных работ по поиску альтернативного метода соединения пузырьков и частиц минералов был изобретен аэратор. В аэраторе воздух и пульпа идут параллельно друг другу, воздух захватывается ударной струей под воздействием вакуума. Исследование показало, что все контакты между пузырьками и частицами происходили в аэраторе, таким образом размер самой флотомашины может быть намного меньше. Первое промышленное применение этой технологии внедрено на свинцово-цинковой обогатительной фабрике в цикле свинцового шлама тяжелосредней установки. Первые улучшения показателей были связаны с очень коротким временем выдерживания, что позволило минимизировать окисление мелкой фракции галенита. Сама флотомашина по размеру была значительно меньше колонн, и несомненно показатели были гораздо лучше, см. рисунок 3.

Исследовательская работа и опыты первых применений показали улучшение металлургических характеристик при корректной эксплуатации. Сложность заключалась как раз в корректной эксплуатации. Технология была недостаточно проработана для успешного внедрения на производстве. Флотомашина оказалась в немилости промышленности цветных металлов, а в 1990-ых годах она была адаптирована под угольную промышленность Австралии и нашла свою нишу в процессе жидкостной экстракции и электровиннинга (SXEW), где основные проектные сложности были разрешены. Эксплуатационные характеристики улучшилась благодаря введению частичной рециркуляции для поддержания постоянного потока; удобство обслуживания флотомашины улучшилось с введением модификаций на работающих установках. Это был период непрерывных улучшений. В результате получили надежную, неприхотливую и легкую в эксплуатации машину, сохранившую свои исходные характеристики отличного контакта пузырьков с частицами минералов.

Последнее препятствие было преодолено, с ее адаптацией под технологическую схему и успешной установкой машин в голове перечистного цикла и в качестве низкозатратного варианта для проектов расширения действующих предприятий. Ясно, что быстрые выходы из строя при испытаниях значительно ухудшили репутацию флотомашины, ограничивая область ее применения в промышленности. Но интересно, что сейчас значительная доля продаж идет от повторных

клиентов. После того, как вы преодолеете сложности внедрения флотомашины Джеймсон на своей фабрике, вы увидите результат и поверите в нее. 2016 год стал лучшим годом для технологии Джеймсон в цветной промышленности, первые продажи в Южной Америке, где эта технология была отвергнута из-за сложностей в обслуживании и эксплуатации на заводе Алюмбрера. Металлургические показатели в Алюмбрере никогда не представляли проблемы, но операторы и обслуживающий персонал ненавидели эту флотомашину, и сдались быстро и без боя.

В этом году флотомашина Джеймсон отмечает свой 30<sup>ый</sup> день рождения, и ее наконец-то признали широко известные обогатительные фабрики цветной металлургии в основном с установкой в голове перечистного цикла. В машине обычно извлекается до 80% питания перечистки при высоком содержании, что значительно сокращает капитальные затраты всего цикла. Технологические показатели можно прогнозировать на основании лабораторных и пилотных испытаний с демонстрацией прямого масштабирования. Может быть на это и ушло 30 лет, но флотомашина Джеймсон наконец-то достигла успеха. Из этого примера можно извлечь множество уроков по внедрению инноваций в промышленность.

### **IsaMill<sup>TM</sup>**

В отличие от разработок других технологий на Маунт Айзе, где основным движущим фактором было повышение эффективности, разработка технологии IsaMill была продиктована необходимостью. На рисунке 7 изображены микроснимки одинакового масштаба 40 микрон, демонстрирующие увеличение комплексности руды Маунт Айзы по сравнению с рудой Брокен-Хилл и очень сложной руды МакАртур Ривер. Несмотря на то, что месторождение МакАртур Ривер было обнаружено в 1955 году, его невозможно было выгодно отработать до того, пока не была разработана технология ультратонкого измельчения. Обогащение руды МакАртур Ривер началось в 1995 году - через 40 лет после его открытия, когда технология IsaMill<sup>TM</sup> доказала свою техническую и экономическую эффективность в измельчении концентрата основной флотации до 7 микрон, с целью отделения несульфидных жильных минералов. Даже при крупности 7 микрон высвобождение галенита невозможно, и в результате производится коллективный свинцово-цинковый концентрат.



Рисунок 7 – Микроснимки а) руды Брокен-Хилл, б) руды Маунт Айзы и в) руды МакАртур Ривер

Исследовательские работы по тонкому измельчению были начаты в Маунт Айзе в 1970-ых годах с использованием традиционной технологии измельчения для увеличения высвобождения минералов через тонкое измельчение. Эти технологии показали не только высокое энергопотребление, но и неблагоприятное воздействие на показатели флотации вследствие химического состава пульпы и загрязнения железом из-за использования стальной мелющей среды. Эти неудовлетворительные результаты были пересмотрены во время пилотных испытаний и исследовательских работ на башенной мельнице в 1980-ых годах, которые также показали невозможность добиться целевой крупности экономически рентабельным способом на мельницах башенного типа. Когда стало ясно, что в горнодобывающей промышленности не имеется решения по выгодному процессу тонкого измельчения, MIM начали поиски идей, которые можно было позаимствовать из других отраслей, где также используется тонкое измельчение частиц - красители, фармацевтика, пищевые продукты (например, шоколад). При работе таких мельниц на установках гораздо меньшего масштаба и при переработке ценных продуктов, они демонстрировали высокую эффективность перемешивания тонкой среды при высокой скорости. Сложность заключалась в переводе и применении этой концепции на непрерывных, более объемных и менее ценных потоках материала в горнодобывающей промышленности.

Ввод в 1991 году в работу на Маунт Айзе лабораторной мельницы Netzsch с

перемешиванием стал поворотным моментом в развитии технологии тонкого и ультратонкого измельчения. Лабораторная мельница на  $\frac{1}{2}$  литра напоминала шейкер для приготовления молочного коктейля, в качестве мельющей среды использовался шлак медеплавильной печи. Исследования на руде МакАртур Ривер начались в 1991 году, и к январю 1992 года уже была спроектирована и смонтирована небольшая полупромышленная мельница LME100 на испытательном участке в Маунт Айзе. Испытания показали, что высокоскоростные горизонтальные мельницы с инертной средой могут быть эффективны при измельчении до 7 микрон в лабораторных условиях, при этом значительно улучшаются металлургические характеристики. Для того чтобы сделать ультратонкое измельчение пригодным для промышленности была проведена совместная программа разработок между Mount Isa Mines Limited и NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH.

После 7 лет разработок и испытаний прототипов на предприятии Маунт Айзы родилась мельница IsaMill<sup>TM</sup>. Она была большого размера, работала непрерывно и, что самое главное, была надежной, так как была разработана производственниками. Знаковым прорывом стало усовершенствование внутреннего сепаратора продукта — это позволило использовать в мельнице дешевую естественную мельющую среду (песок, плавильный шлак, частицы руды) и работать в открытом цикле. Это значительные преимущества для эксплуатационных затрат и упрощения цикла переработки. Масштабирование прошло проверку с помощью опытных установок на свинцово-цинковых обогатительных фабриках Хилтон и Маунт Айза. К концу 1994 года была установлена первая полномасштабная мельница IsaMill<sup>TM</sup> (1,1 МВт) на ОФ в Маунт Айзе. В технологию постоянно вносились изменения операторами, персоналом по обслуживанию и ремонту и инженерами, работающими с данной технологией.

В 1998 году права на коммерческое распространение технологии IsaMill<sup>TM</sup> были переданы компанией Mount Isa Mines Limited в пользу MIM Process Technologies (сегодня Glencore Technology) при эксклюзивном соглашении с Netzsch. В декабре 1998 года технология IsaMill<sup>TM</sup> была запущена в металлической промышленности как рентабельный способ измельчения до 10 микрон и ниже. Сегодня мельница IsaMill<sup>TM</sup> является общепризнанным оборудованием для тонкого измельчения, по всем меру установлено более 130 мельниц.

### Процесс Альбион<sup>TM</sup>

В 1990-ых годах компания MIM изучала варианты отработки крупного проекта Фрида Ривер/Нена в Папуа-Новой Гвинее через свое подразделение, Highlands Pacific. Руды месторождения Нена не подходили для плавильного производства по причине высокого содержания мышьяка, рассматривалось несколько вариантов гидрометаллургической переработки. В результате этой работы команда MIM разработала Процесс Альбион<sup>TM</sup>, названный так в честь пригорода Брисбена, где располагалась исследовательская лаборатория MIM. Процесс Альбион<sup>TM</sup> представляет собой сочетание ультратонкого измельчения с помощью технологии IsaMill<sup>TM</sup>, производства Glencore Technology, с последующим окислительным выщелачиванием при атмосферном давлении в серии реакторов, разработанных для достижения высокой эффективности массового переноса кислорода. Также для эффективной подачи кислорода в реакторы был разработан распределитель HyperSparge<sup>TM</sup>.

В 1994 и 1995 годы проводились разнообразные мелкомасштабные непрерывные пилотные испытания. Более крупная полупромышленная установка (120 кг катодного цинка/сут) была построена в 1997 году для проведения исследований в рамках ТЭО по цинково-золотым запасам Пуэбло Вьехо в Доминиканской Республике. Широкие полупромышленные испытания также были проведены на бедном концентрате из халькопирита для Cyprus Amax в 1998 году, а для Маунт Айзы - в 2000 году. Полупромышленные испытания по пред-ТЭО и ТЭО были проведены и для свинцово-цинковых коллективных концентратов МакАртур Ривер и Маунт Айзы в период с 2001 по 2005 годы. В течение этого периода Процесс Альбион<sup>TM</sup> был успешно испытан на 70 различных рудах и концентратах. Эта технология предназначена для извлечения золота и цветных металлов из упорных руд. Основная составляющая успеха данного процесса заключается в ультратонком измельчении, за которым следует горячее окислительное выщелачивание при атмосферном давлении.

В период с 1994 по 2004 год Процесс Альбион<sup>TM</sup> (см. рисунок 8) рассматривался как стратегический актив MIM/Xstrata и не предлагался на внешнем рынке. В 2005 году было принято

решение предлагать проектное решение внешним заказчикам на условиях лицензионного пользования, был назначен агент по маркетингу – компания Core Resources - для продвижения данной технологии на мировой рынок. В последующий период к технологии был проявлен серьезный интерес, соглашения на первые лицензии были заключены в 2005 году по проекту Лас Лагунас и в 2006 году для проекта Чертеж. Промышленное внедрение технологии началось в 2010 году с запуском установки Процесс Альбион™ компанией Glencore в Испании (4 000 т/г металлического цинка), за этим последовал ввод в эксплуатацию компанией Glencore второй установки в Германии в 2011 году (16 000 т/г металлического цинка). Проект по упорному золоту Лас Лагунас был запущен в 2012 году, а в 2013 году введен в эксплуатацию проект ГПМ Голд по переработке упорного золота.



Рисунок 8 – Установка окислительного выщелачивания по технологии Альбион в Армении

Основной риск масштабирования любой технологии окислительного выщелачивания заключается в массовом переносе кислорода. Обычным требованием является необходимость установки мешалок большой мощности для достижения определенных скоростей жидкости в чане, необходимых для эффективного массового переноса в промышленном масштабе. При проектировании реактора для выщелачивания Альбион для снижения потребности в мощности мешалки использовался другой подход. Компания Glencore разработала эжекторные трубы HyperSparge для сверхзвуковой подачи кислорода с целью обеспечить скорости подачи порядка  $500 \text{ м.с}^{-1}$  внутри чана выщелачивания, в сравнении с  $4-8 \text{ м.с}^{-1}$ , получаемых при использовании обычных мешалок. Сверхзвуковая подача кислорода — это намного более эффективный метод обеспечения сдвига, чем традиционное перемешивание, она позволяет значительно сократить общие энергозатраты и сильно снизить риск масштабирования процесса окислительного выщелачивания.

Процесс Альбион™ стал возможным благодаря технологии тонкого измельчения IsaMill™ и был разработан для обеспечения низкозатратного варианта переработки упорных руд. В настоящее время работает шесть установок Процесса Альбион™, и имеется широкая база данных по потенциальным областям применений.

## ВЫВОДЫ

ММ разработали значительное количество инновационных технологий в области переработки, которые имеют технический и экономический успех. Развитию инноваций на ММ способствовали большие сложности с рудными телами и необходимость перерабатывать руду эффективно, чтобы производство оставалось экономически выгодным. Успех связан с тем, что эти технологии разрабатывались группой НИР на работающем предприятии, все технические проблемы решались при испытательных работах малых масштабов. Каждое последующее масштабирование проводилось на действующих установках, где операторы, механики, инженеры

и металлурги добивались производственных целей последовательно на каждом этапе масштабирования, чтобы получить финансирование следующего этапа.

Число инноваций на MIM непропорционально масштабу производства, они стали возможными благодаря удаленности производственной площадки и совместной работе исследователей и операторов в решении экономических и технических задач. Исследовательская группа находилась непосредственно на самой площадке, и они помогали с монтажом, пусконаладочными работами и эксплуатацией на различных этапах. Такое сотрудничество способствовало адаптации и быстрому решению проблем с целью улучшения процесса. Конечный успех этих инноваций заключается в их широком распространении в основных отраслях промышленности, где обратная связь от работающих производств помогает непрерывно улучшать каждую из технологий.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают свою признательность медному отделению Glencore и Glencore Technology за разрешение опубликовать данный материал, а также всему исследовательскому и производственному персоналу, которые сделали возможными и улучшили технологии на своих заводах. Успех данных разработок продолжается, с помощью конечных пользователей мы продолжает улучшать свои технологии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Armstrong, W. 'The Isa Process and its contribution to electrolytic copper,' paper presented at the Rautomead Conference, Scotland, August 1999. [Технология Isa Process и ее вклад в электролиз меди]
- Fewings J.H., Management of Innovation - The IsaSmelt Process. Presented at AMIRA "Innovation in Metal Production" Technical Meeting at Mount Isa, October 3-4, 1988. [Управление инновациями – технология IsaSmelt]
- Fountain C. Isasmelt and IsaMills - Models of successful R&D - AusIMM Young Leaders conference, 19-21 March 2002, Kalgoorlie, W.A. [Isasmelt и IsaMill - Модели успешных научно-исследовательских работ]
- Nihill D.N., Stewart C M. and Bowen P. the McArthur River Mine - The First Years of Operation. The AusIMM '98Mining Cycle. Mount Isa 19-23 April 1998. [ГOK МакАртур Ривер - первые годы эксплуатации]
- Pease, Joe (August 2005), "Complex leaching becomes much simpler" (PDF), Australian Mining, pp. 26-32, archived from the original (PDF) on 12 September 2009, retrieved 6 January 2010 [Комплексное выщелачивание становится намного проще]
- Pease, Joe September 2016, "Crossing the innovation valley of death" Presented to JKMR. [Пересекая долину смерти инноваций]