

пы расчета технологических показателей процесса на основе материального и теплового балансов. Приведены физические свойства и морфология шлаковой ванны, являющейся реакционной зоной. Рассмотрены процессы восстановления оксидов железа и других компонентов энергетическим углем в шлаковой ванне. Проведен анализ тепломассообменных процессов в печи. Показана возможность получения стали без использования сталеплавильных печей с применением ковшевого обезуглероживания при непрерывном выпуске чугуна из агрегата «Ромелт». Приведены способы оптимизации технологических режимов плавки на основе расчетов экономических показателей, и дана экономическая оценка процесса «Ромелт».

Для решения экологических задач предложено и проверено на практике использование в качестве железорудного сырья отходов металлургиче-

ского производства, в частности шламов (пылей) доменного и сталеплавильного производств и окалины.

Среди перспективных направлений развития процесса рассматриваются переработка красных шламов алюминиевой промышленности, окисленных железистых кварцитов, бытовых и промышленных отходов. Рассмотрено применение процесса «Ромелт» в энергетике. В заключение обсуждается место процесса «Ромелт» в черной металлургии на предприятиях полного металлургического цикла и мини-заводах.

Параллельно с процессом «Ромелт» и на его базе разрабатывалось и осваивалось новое направление – переработка бытовых и промышленных отходов в барботируемом шлаковом расплаве.

Научные интересы профессора В.А. Роменца, безусловно, шире, здесь приведены только важнейшие.

В.А. Роменец и его мечта – завод Ромелт

© 2018 г. В.С. Валавин, Ю.В. Похвиснев *

Технология получения чугуна Ромелт неотделима от Владимира Андреевича Роменца – автора и движущей силы этого проекта. Начиная с 1979 г., он последовательно и целенаправленно развивал процесс Ромелт в различных областях: металлургия, энергетика, переработка отходов, строительная индустрия. Заслугой В.А. Роменца является создание коллектива единомышленников, работающих в команде под его руководством и продолжающих начатое им дело и после его кончины.

В 1978 г. в Московском институте стали и сплавов были начаты работы по разработке технологии производства жидкого углеродистого полупродукта из неокискованного железорудного сырья с применением энергетического угля в шлаковой ванне, продуваемой кислородом. Руководителем этих работ был В.А. Роменец, в то время проректор института и заведующий кафедрой экономики. В 1979 г. коллективом авторов было получено авторское свидетельство СССР № 790800 «Пирометаллургический способ непрерывной переработки окисленного сырья цветных, черных металлов» и продолжены целенаправленные теоретические и лабораторные исследования в этом направлении.

В качестве прототипа агрегата для нового способа производства черных металлов была взята конструкция печи Ванюкова, уже зарекомендовавшая себя в промышленности при переработке на штейн сульфидных медно-никелевых руд. Однако техноло-

гия нового процесса и некоторое оборудование для ее реализации принципиально отличались от известных в то время технических решений для процесса плавки в жидкой ванне А.В. Ванюкова.

Основные отличия заключались, во-первых, в необходимости создания восстановительных условий в кипящей шлаковой ванне (в отличие от окислительных в процессе Ванюкова), а во-вторых, в наличии отрицательного теплового баланса этой ванны. Последнее предопределило необходимость создания зоны над ванной, где за счет подачи в эту зону кислорода и горения выходящих из ванны восстановительных газов выделялось дополнительное количество тепла. Часть его передавалась из зоны дожигания в шлаковую ванну, восполняя в ней дефицит тепла. Это является принципиальным отличием процесса Ромелт от процесса Ванюкова. Также различны способы и приемы технологического управления обоими процессами, параметры и условия работы оборудования. Наличие специально организованной зоны дожигания явилось революционным шагом в развитии разрабатываемых в мире процессов жидкофазного восстановления.

Проведение таких работ вызвало неоднозначную реакцию как у металлургов-заводчан, так и исследователей, в том числе и в институте. Это было связано с тем, что казалось невозможным получить в малом объеме шлаковой ванны, продуваемой кислородом, восстановительную атмосферу, необходимую для получения железа из оксидов. Кроме того, серьезной проблемой было обеспечение теплом процесса, в котором основную роль играют эндотермические

* НИТУ «МИСиС», Центр Ромелт

реакции восстановления оксидов, и его передачу в ванну расплавленного шлака из зоны дожигания.

Тем не менее, в институте под руководством В.А. Роменца были начаты в соответствии с постановлением Госплана СССР и Государственного комитета СССР по науке и технике № 491/244 от 08.12.1981 «Создать и освоить в промышленном производстве технологические процессы и оборудование для подготовки железорудного сырья к плавке, выплавки чугуна и прямого получения железа» работы по подготовке к полномасштабным испытаниям. Совместно с МВМИ, ВНИИМТ и другими институтами проводились научные исследования по выяснению термодинамических особенностей получения железа в таких условиях, созданию гидродинамической модели процесса плавки, исследованию кинетики восстановления и другие.

Авторы технологии понимали, что наилучшим способом развеять сомнения и доказать скептикам правильность выдвинутой гипотезы является практика. В.А. Роменцом и руководством института была проведена гигантская работа по убеждению соответствующих партийных и хозяйственных органов СССР и Министерства черной металлургии в перспективности проекта. И в результате было принято уникальное по тем временам и практически невозможное по нынешним меркам решение о строительстве опытно-промышленной установки на Новолипецком металлургическом комбинате. Государство выделило средства на проектирование и строительство, была выбрана площадка будущей печи (миксерное отделение кислородно-конвертерного цеха № 2), и в 1984 г. началось строительство. Несомненно, начиная этот проект, В.А. Роменец рисковал своей репу-

тацией успешного ученого и организатора, оставляя спокойную жизнь профессора ведущего вуза страны.

Было понятно, что заводской персонал не сможет в полной мере понять и развивать новую технологию, управлять ей, поэтому нужна была структура, которая не только завершит строительство агрегата и авторский надзор, но будет осуществлять пуск установки и освоение предлагаемой инновационной технологии получения металла. В 1984 г. В.А. Роменец после очередных громадных усилий добился выделения в жестко лимитированной по численности Москве штата в 15 человек для создания в институте группы по практической реализации технологии жидкофазного восстановления и проведения научных и технологических исследований в этой области. Так, приказом по институту № 233 о.в. от 10.08.1984 был создан сектор переработки железорудного сырья (**ПЖС**), который впоследствии был преобразован в лабораторию ПЖС (приказ № 352 о.в. от 13.06.1991), а в 2009 г. (приказ № 500 о.в. от 29.12.2009) – в Центр Ромелт. Бессменным научным руководителем этих подразделений был В.А. Роменец.

На базе сектора ПЖС в институте был организован комплексный исследовательский коллектив и выездная бригада, в которую вошли сотрудники кафедр физической химии, теории металлургических процессов, теплотехники металлургического производства, руднотермических процессов, тяжелых цветных металлов, металлургии стали, экономики и организации производства. Первоочередной задачей созданного коллектива являлось участие в завершении строительства и монтажных работ на печи, подготовка технологической документации для

пуска, обучение персонала завода основам технологии, составление регламентов работы печи в различных условиях и, после запуска агрегата, управление печью и проведение научных исследований.

Размеры ОУ ПЖВ (так официально называлась печь) в комбинате) впечатляли: верхняя площадка печи располагалась на отметке +13 м, печь накрывал двухходовой котел-утилизатор, который еле умещался под сводом цеха. Длина печи без отстойников составляла 8 м, ширина на уровне нижних фурм – 2,5 м. Стационарная масса металла в печи по проекту была 60 т, шлака – 80 т. Проект комплекса включал также шихтовое отделение для обеспечения непрерывной загрузки шихтовых материалов, мощную газоочистку, замкнутую систему охлаждения печи.

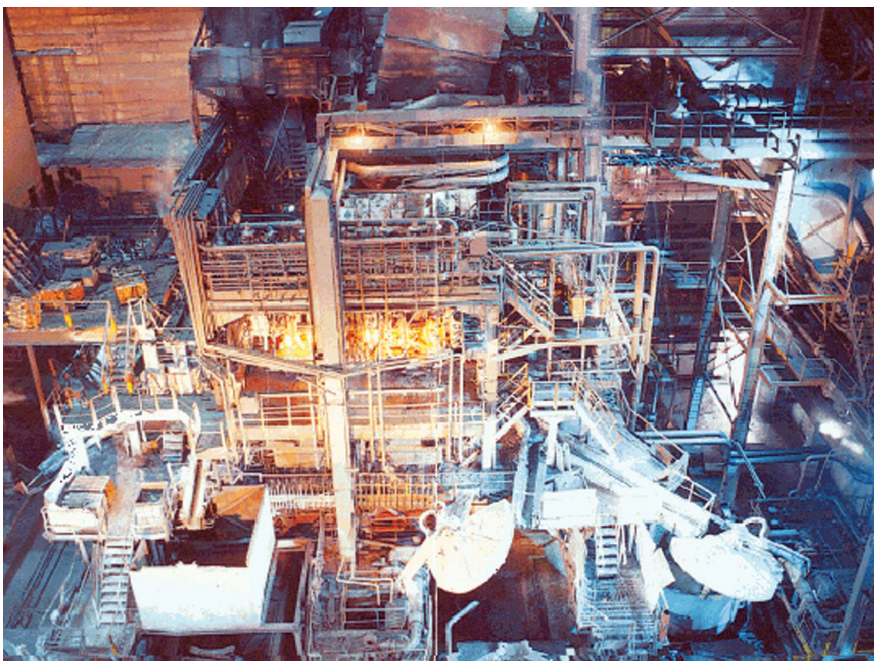


Рис. 1. Плавка на ОУ ПЖВ (печь Ромелт) на Новолипецком металлургическом комбинате

В начале 1985 г. установка была принята в эксплуатацию, начались плавки (отдельными кампаниями), и основной задачей сотрудников сектора ПЖС стала работа на печи (рис. 1) и подготовка кампаний. Сначала были разработаны и освоены приемы запуска и остановки печи, заполнения ее жидким шлаком. Первый металл был получен уже на четвертой кампании 1 июня 1985 г. (рис. 2).

В период с 1984 по 1990 гг. сотрудниками сектора ПЖС и выездной бригадой МИСиС совместно с заводским персоналом была освоена технология восстановительной плавки железной руды и железосодержащих отходов (шламы, окалина), получены данные, которые помогли разработать модель расчета технологических показателей и управления процессом, проведены работы по совершенствованию оборудования печи. Сотрудники МИСиС работали на установке посменно, закрывая основные участки управления и контроля за технологическим режимом: пульт управления, энергетика, шихтоподача, газовый анализ, химический анализ металла и шлака. Установка ПЖВ стала стабильно из различного сырья производить чугун, который использовался в этом же конвертерном цехе. В.А. Роменец принимал непосредственное участие в подготовке и проведении опытно-промышленных плавов, анализе результатов, ликвидации нестандартных ситуаций, возникающих при эксплуатации агрегата.

Скоро стало ясно, что разработанной технологией можно не только перерабатывать качественную руду, но и любые некрупные железосодержащие материалы, что позволяет решать как ресурсосберегающие, так и экологические задачи очистки территорий от накопленных и текущих отходов. Сотрудники исследовательского коллектива МИСиС уже в конце 80-х годов одними из первых поняли, что металлургические шламы – это особый вид сырья, который требует собственной технологии передела. Началось изучение химического и минералогического состава шламов заводов СССР. Совместно с Сибгипрометом и Сибгеологией было проведено исследование шлампольей Кузнецкого металлургического комбината, которое было отнесено к категории техногенных месторождений. Были выполнены полные химические анализы шламов ряда ведущих металлургических предприятий и установлено, что шламы содержат значительное количество элементов, отрицательно влияющих на окружающую среду. Однако, кроме железа, часть элементов (Zn, Pb, Ag и др.) можно извлекать про-



Рис. 2. Стационарный выпуск металла из печи Ромелт

цессом жидкофазного восстановления и, наряду с решением экологических задач, получить продукцию из отходов.

Уже в 1986 г. в работоспособность новой технологии поверили ученые и практики, руководители Министерства черной металлургии СССР. В 1987 г. было принято Постановление Совета Министров СССР о строительстве промышленных агрегатов жидкофазного восстановления на Новолипецком и Кузнецком комбинатах, подготовлены технико-экономические задания и разработаны основные проектные решения, начата подготовка рабочей документации. На процесс жидкофазного восстановления было выдано множество авторских свидетельств СССР, зарегистрировано коммерческое название технологии «Ромелт» и получен соответствующий товарный знак на русском и английском языках (Romelt). На процесс Ромелт и сопутствующее оборудование было получено 16 патентов от наиболее развитых стран (США, Япония, страны Европы, Индия).

В этот же период проводились специальные плавки с целью расширения возможностей предложенной технологии. Так появился режим «холостого хода» для производства генераторного газа, который может быть использован как восстановитель, так и в качестве источника тепла и энергии. Были начаты работы по применению технологии для переработки бытовых и промышленных отходов, проведены эксперименты по выплавке шлака специального состава и получению шлаковаты. К этому же времени относится и выработка нового взгляда на печь жидкофазного восстановления как на энерготехнологический агрегат, продуктами которого являются чугун, шлак, пыль (если перерабатывается цинксодержащий материал)

и электроэнергия, получаемая при утилизации пара котла-утилизатора на тепловой станции.

Перестройка и развал Советского Союза, начавшаяся приватизация, разрушение государственных структур, образование новых хозяйствующих субъектов и связанный с этим беспорядок и передел в народном хозяйстве, отразились и на технологии Ромелт. Прекратилась государственная поддержка проекта, НЛМК не мог содержать опытно-промышленный агрегат, не приносящий прибыли и не окупающий себя. Комбинату не хватало средств, и при всем доброжелательном отношении персонала завода к сотрудникам МИСиС и новой технологии, стал вопрос о закрытии установки и прекращении плавки. Сотрудники МИСиС, принимавшие участие в разработке новой технологии, стали уходить из института. Нужно было искать новые формы работы.

При непосредственном участии В.А. Роменца, коллектива лаборатории ПЖС и сотрудников НЛМК в 1991 г. было создано малое предприятие «Метэкотех», которое стало арендатором опытной установки. Пришлось заниматься бухгалтерскими и юридическими делами. Начиная с этого времени вплоть до 1998 г., ОУ ПЖВ на НЛМК работала в режиме хозяйственного расчета. При этом сотрудники МИСиС обеспечивали научное и технологическое сопровождение плавки, а «Метэкотех» – организационное и коммерческое. Выплавляемый на ОУ ПЖВ чугун являлся собственностью «Метэкотеа», который реализовывался на коммерческих условиях потребителям. За счет этого «Метэкотех» финансировал проведение плавки, научные исследования, платил комбинату за расходные материалы и энергоносители и зарплату персоналу. Только благодаря созданию такой структуры, ее поддержке институтом и ректором, непосредственному участию в ней В.А. Роменца удалось сохранить и поддержать в трудное время коллектив Ромелт.

С 1992 г. процесс под названием «Ромелт» получил признание в мире. Опубликованные по результатам работы установки Ромелт статьи стали цитировать в зарубежных журналах и на конференциях. Плавки на печи Ромелт на НЛМК посетил огромное число делегаций из разных стран и компаний. Были проведены специальные исследовательские плавки по заказам различных фирм и организаций, в том числе Министерства энергетики США, Air Products и ICF Kaiser Engineering (США), Nippon Steel и Nisso Iwai Corp. (Япония), Усть-Каменогорского металлургического комбината (Казахстан). Были проданы лицензии на технологию и оборудование печи Ромелт в США, Японию (1994–1995 гг.) и Индию (1997 г.), организованы две специальные конференции за рубежом, посвященные процессу Ромелт.

На НЛМК было принято решение о строительстве промышленной печи Ромелт для переработки текущих и накопленных шламов комбината мощностью 300 тыс. тонн чугуна в год, выполнен техниче-

ский проект и начато финансирование рабочего проекта. К большому сожалению, он не был доведен до логического завершения.

Несмотря на необходимость постоянного решения организационных и материальных проблем при проведении коммерческих плавки, огромных затрат людских ресурсов, времени и сил на них, не были забыты и научные исследования. За эти годы произошел качественный скачок в восприятии процесса Ромелт, который вначале базировался на интуиции его создателей. Знания, полученные при плавках в Липецке, и экспериментальные исследования в лабораторных условиях, позволили перейти к поэтапному построению обобщенной модели процесса.

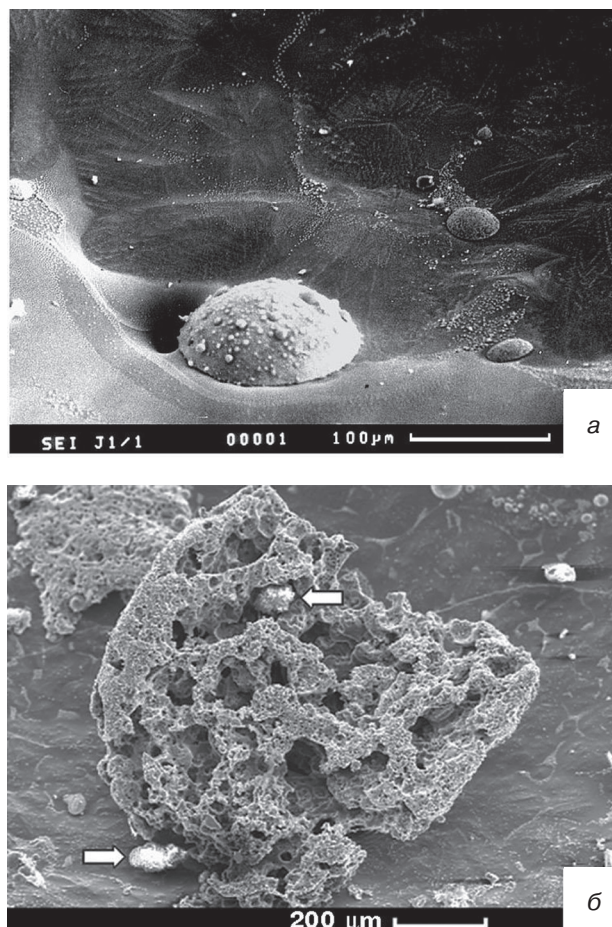


Рис. 3. Структура газового пузыря в шлаке Ромелт:

а – капля металла с угольной частицей; б – частица угля

Анализ морфологии шлаков печи Ромелт и его структурных составляющих вместе с термодинамическим и экспериментальным моделированием сделали возможным разработку моделей поведения угля в шлаковой ванне и восстановления железа из шлакового расплава (рис. 3). Была установлена роль летучего угля в технологии Ромелт, проведены исследования гидродинамики шлаковой ванны, изучены вопросы поведения шлакоугольных суспен-



Рис. 4. Строительство завода по получению чугуна технологией Ромелт в Республике Союз Мьянма

зий, проанализирован процесс дожигания в печи. Пройден длинный путь от примитивного расчета материального баланса плавки в жидкой ванне, на котором основывались первые кампании, до полного вычисления всех технологических показателей и проведения проектных расчетов.

Следует отметить также комплекс работ, связанных с утилизацией красных шламов процессом Ромелт. В этом направлении были изучены свойства красных шламов Николаевского глиноземного завода (Украина) и образующихся из них шлаков Ромелт, выбраны оптимальные составы шлаков и технологические режимы. По контракту с ведущей алюминиевой компанией Nalco (Индия) были проведены исследования химического и фазового состава красных шламов индийского завода, на компьютерной модели рассчитаны составы шлаков. Теоретически были оценены, экспериментально исследованы и выбраны оптимальные составы шлаков, пригодные по своим физико-химическим параметрам для процесса Ромелт. Совместно с компанией Romelt-SAIL и другими индийскими организациями выполнено ТЭО строительства завода Ромелт для переработки красных шламов Nalco, определены инвестиции в этот проект и его экономические параметры. Выбраны и экспериментально проверены способы обезвоживания этих шламов.

Сейчас процесс Ромелт не является застывшей, полностью устоявшейся технологией, а постоянно развивается и модифицируется. В зависимости от технологических требований, вида железорудного сырья и марки угля возможны различные конструктивные и технологические варианты реализации технологии Ромелт. Так, в конструкции печи Ромелт для завода в Республике Союз Мьянма изменено

расположение отстойников металла и шлака, кессоны выполняют функцию кожуха печи, появилась торцевая барботажная фурма. В последние годы при непосредственном участии В.А. Роменца получены патенты на дуплекс-процесс Ромелт, технологию плавки с вдуванием мелкого угля в шлаковую ванну, способы управления процессом и т.д. Рассматриваются варианты использования процесса Ромелт для переработки нетрадиционных для черной металлургии шихтовых материалов: красные шламы, отвальные шлаки, зола, бытовые отходы с производством специфических видов продукции: клинкер, штейн и т.д.

В последнее время появилось много процессов, копирующих процесс Ромелт, но претендующих на собственное имя в области металлургии. При этом необходимо подчеркнуть, что имя и признание нужно заслужить крупными действующими проектами, а не пустыми лозунгами о преимуществах над уже готовой технологией.

В настоящее время вокруг процесса Ромелт создана научно-практическая школа, которую возглавлял В.А. Роменец. Сотрудники этой школы решают и будут решать после ухода из жизни лидера теоретические и практические инновационные задачи, работать с проектными, научными и коммерческими организациями.

Основы технологии Ромелт изложены в крупной монографии, вышедшей под редакцией В.А. Роменца в середине 2000-х годов на двух языках: русском и английском. За последние годы под руководством В.А. Роменца было проведено около 30 технологических и технико-коммерческих расчетов процесса Ромелт по заказам различных фирм и заводов применительно к их сырью и местным усло-

виям. Среди заказчиков крупнейшие заводы России: ПАО «НЛМК», ПАО «Северсталь», ОАО «НММК», ПАО «ММК» и другие, а также зарубежные металлургические комбинаты: «Азовсталь» (Украина), «U.S. Steel Kosice, s.r.o.» (Словакия), Bhilai Steel Plant (Индия).

Центр Ромелт, научным руководителем которого был В.А. Роменец, тесно сотрудничает с фирмами и заводами России, Индии, Пакистана, Египта и другими в направлении строительства заводов на основе технологии Ромелт. В настоящее время имеются мощные сторонники и союзники этой технологии в лице ГК «Ростех» и АО «ВО «Тяжпромэкспорт». Сбылась мечта В.А. Роменца о строительстве завода по технологии Ромелт. АО «ВО «Тяжпромэкспорт» заключил контракт на строительство металлургического завода, работающего по технологии Ромелт в Республике Союз Мьянма (б. Бирма) мощностью 200 тыс. тонн чугуна в год. По технологическому заданию МИСиС разработан базисный проект и рабочие чертежи. На настоящий момент практически завершено строительство завода (рис. 4), подписан акт холодного пуска, проведены горячие испытания печи плавления чугуна и разливочной машины. НИТУ «МИСиС» силами Центра Ромелт в этом проекте отвечает за подготовку технологической документации и работает в тесном контакте с проектными организациями. В объем работы университета входят пуск завода, освоение технологии, подготовка квалифицированных кадров, которые осуществлялись под руководством и непосредственным участием В.А. Роменца. Обучение специалистов Мьянманской Экономической Корпорации (заказ-



Рис. 5. Учеба будущих специалистов завода Ромелт Союза Мьянмы в НИТУ «МИСиС»

чик проекта) основам технологии Ромелт началось в 2006 г. в Янгоне и продолжилось в 2009 г. Сотрудниками Центра Ромелт в 2009 г. были прочитаны лекции по технологии Ромелт в Янгоне, проведен отбор наиболее подготовленных специалистов. В НИТУ «МИСиС» для них были организованы двухмесячные курсы (рис. 5). Обучение продолжилось в 2014 г. на площадке строящегося завода в Мьянме и в 2015 г. в НИТУ «МИСиС».

Уход из жизни Владимира Андреевича – тяжелая и невосполнимая утрата. Мы потеряли шефа, лидера, мыслителя. Память о нем останется в наших сердцах, технической литературе, патентах, изданных им книжках, наших делах по продолжению его мечты, названии процесса и центра Ромелт (Romelt), которые и в русской и английской транскрипциях читаются одинаково: плавка Роменца. Будем помнить!