



The main directions and developments of Program "Metallurgy" for years 2007–2010 are given.

П. А. ВИТЯЗЬ, Президиум НАН Беларуси,
А. А. ШИПКО, А. В. ТОЛСТОЙ, ОИМ НАН Беларуси

ПРОГРАММА «МЕТАЛЛУРГИЯ» — ВАЖНОЕ ЗВЕНО НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОГРАММЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕОСНАЩЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Государственная программа прикладных научных исследований «Создание высокоэффективных технологических процессов и оборудования для развития металлургического комплекса Республики Беларусь» (Металлургия) была сформирована в 2005 г. на период 2005–2009 гг. Ее основная задача заключается в том, чтобы на основании использования научного потенциала страны провести совершенствование существующих и разработку новых технологических процессов литья и металлургии, в том числе порошковой, с целью повышения качества, конкурентоспособности и экспортного потенциала в этих производствах и отраслях их применения.

Среди предприятий Республики Беларусь, с которыми взаимодействуют исполнители заданий программы «Металлургия», наиболее тесное сотрудничество осуществляется с РУП «Белорусский металлургический завод». В качестве примера, как наиболее значимые, можно выделить следующие работы.

1. Разработка способов непрерывного литья полос для создания автоматизированного техно-

логического процесса изготовления горячекатаных цинковых анодов (ИТМ НАН Беларуси). В рамках этого задания выполнено исследование способов непрерывного литья полос и установлены закономерности, подтверждающие необходимость термостабилизации при хранении анодов перед прокаткой. На рис. 1 показано технологическое оборудование для производства цинковых анодов. Разработан специальный энергосберегающий бокс для временного хранения заготовок анодов перед прокаткой. Определены взаимозависимости тепловых, конструкционных и временных параметров процесса непрерывного изготовления горячекатаных цинковых анодов. Экономический эффект за счет изготовления анодов из отходов РУП «БМЗ» составляет порядка 40 млн. рублей в год.

2. Создание автоматизированной системы управления технологическими процессами непрерывного горизонтального литья (ИТМ НАН Беларуси). Для решения этой задачи разработан комплекс программ для расчета теплового режима в непрерывнолитых заготовках на основе меди. Проведены расчеты теплопереноса отливка – кристаллиза-

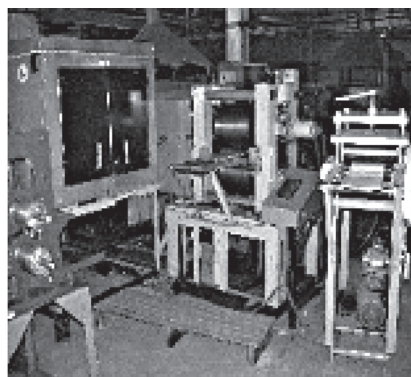


Рис. 1. Технологическое оборудование для производства цинковых анодов

тор в переходном режиме в начальной стадии процесса непрерывного литья, исследована зависимость времени наступления установившегося режима от параметров вытяжки на примере литья отливок из фосфористой бронзы в графитовом кристаллизаторе.

3. Разработка новых методов получения непрерывнолитых плоских заготовок из цветных металлов и сплавов; металлургических процессов ускоренной кристаллизации для улучшения структурной наследственности сплавов; рациональной конструкции кристаллизатора для устройства непрерывной разливки стали с целью увеличения производительности процесса и улучшения качества стального слитка (ИТМ НАН Беларуси).

4. Белорусским национальным техническим университетом ведется ряд теоретических исследований, направленных на повышение эффективности процесса внепечной обработки стали; поиск эффективных способов рециклинга мелкодисперсных, сильно окисленных железосодержащих металлоотходов. В частности, целью разработки клеточно-автоматных методов для моделирования процессов непрерывной разливки сталей является оптимизация процессов улавливания неметаллических частиц различной плотности, а также инородных частиц различного происхождения, которые образуются в стали при раскислении. Результаты этих исследований будут использованы для оптимизации процессов непрерывной разливки стали. Это позволит снизить сроки разработки технологического процесса и минимизировать брак при получении заготовок, связанный с образованием неметаллических включений и стойкостью футеровки.

Разработана также физико-химическая модель процесса рафинирования расплава в дуговой сталеплавильной печи, позволяющая оценивать взаимодействие между шлаком и расплавом, в частности рассчитывать распределение фосфора. Модель апробирована на 100-тонной печи ЭСПЦ-2 РУП «БМЗ». Данная модель является принципиально новой, имеет большое научное и практическое значение, позволяет сократить расход шлакообразующих материалов, сократить время плавки и снизить энергозатраты на плавку. Подобных аналогов в странах СНГ не имеется. На основе трехмерного математического аппарата, описывающего температурные поля и поля напряжений, разработан метод оценки и критерий термостойкости промышленных объектов (оснастки, отливки) любой конфигурации. Метод реализован в виде программного комплекса. Разработаны математические модели для трехмерного расчета полей температур и напряжений в промышленном объекте любой про-

странственной конфигурации и реализованы в виде программного комплекса, позволяющего проводить исследования динамики изменения температуры и напряжения в любом промышленном объекте, в том числе и в кокиле любой конфигурации.

Выполняемые в рамках программы работы востребованы практически всеми наиболее крупными промышленными предприятиями Республики Беларусь. В частности, для РУП «МАЗ» разработаны технические решения, направленные на модернизацию высокотемпературных печей с применением огнеупорных высокотемпературных покрытий и энергосберегающих футеровочных материалов, сформированных методом экзотермического синтеза, а также рекомендации по применению высокопроизводительного индукционного нагрева для операцийковки и термической обработки. Для УП «ММЗ» разработан процесс выплавки алюминиевых композитов триботехнического назначения путем модифицирования сплава и поверхности заготовок высокодисперсными частицами нитрида бора и оксидов алюминия (ФТИ НАН Беларуси, ОИМ НАН Беларуси). РУП «МТЗ» предложен оптимизированный процесс технологического передела заготовок и процессов химикотермической обработки стальных деталей с целью создания алгоритма управления качеством продукции и снижения издержек производства (ОИМ НАН Беларуси).

Для ПО «БелАЗ», РУП «МТЗ» и РУПП «Станкозавод «Красный борец» предложены технология применения алюминиево-кремниевого модификатора для повышения дисперсности структуры непрерывнолитого стального слитка (ИТМ НАН Беларуси); оптимизированный состав и технология выплавки высокопрочной дисперсионно-твердеющей цементуемой стали для тяжело нагруженных зубчатых колес автотракторной техники (ФТИ НАН Беларуси); металлургические процессы порционной плавки для получения заготовок из литых композиционных материалов с меньшим числом переделов и рациональным расходом энергии (ИТМ НАН Беларуси); разработаны автоматизированные системы управления технологическими процессами непрерывного горизонтального литья, теоретические и технологические основы процесса литья под давлением алюминиевых сплавов методами аналогового и численного моделирования (ИТМ НАН Беларуси).

В рамках задания «Металлургия 4.10» проведен анализ влияния изменения магнитных свойств отливок чугунов на их остаточную намагниченность после намагничивания в разомкнутой магнитной цепи (ОИМ НАН Беларуси). Теоре-



Рис. 2. Автоматизированная линия сортировки по структуре необточенных отливок ниппеля в цехе ковкого и серого чугуна Минского завода отопительного оборудования

тически и экспериментально проанализировано намагничивание в разомкнутой магнитной цепи отливок изделий «ниппель 1¼» из белого, серого и ковкого чугунов. Результаты использованы на Минском заводе отопительного оборудования при эксплуатации автоматизированной линии контроля и автоматической разбраковки по обрабатываемости необточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна КЧ30-6 на базе приборов МАКСИ-П (рис. 2). Экономический эффект, полученный в 2008 г. от эксплуатации линии в цехе ковкого и серого чугуна МЗОО, превысил 980 млн. руб.

Проводятся также исследования, направленные на оптимизацию составов материалов износостойких покрытий, разрабатываются схемы и режимы их газотермического и электроконтактного нанесения на сложнопровольные поверхности («Научно-технологический парк БНТУ «Метолит»). Создание порошковых покрытий с повышенной температурной стабильностью позволяет методом газопламенного напыления формировать толстые износостойкие покрытия с наноразмерными интерметаллидными упрочняющими фазами на рабочих поверхностях деталей прокатного оборудования. Это позволяет поднять долговечность деталей прокатного производства и конкурентоспособность продукции. Подтверждением тому является контракт с ТОО «Проминвесткомплект» (Республика Казахстан, г. Алматы), в соответствии с которым в 2008 г. для Казахского сталепрокатного завода (г. Павлодар) изготовлена опытная партия из 720 прокатных роликов семи типоразмеров с износостойкими покрытиями на сумму 93 000 долл. США. Экономический эффект у потребителя за счет увеличения стойкости прокатных роликов по результатам эксплуатации 720 деталей в 2008 г. составил около 250 000 долл. США.

Среди других работ, выполненных в рамках программы «Металлургия», следует выделить разработки ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси», в частности, математическую модель процессов плавки в дуговой сталеплавильной печи, расчетную схему и математическую модель нагрева цилиндрических заготовок, экспериментальную нагревательную печь с выкатным подом. Разработанная математическая модель процессов плавки в дуговой сталеплавильной печи включает в себя динамику основных процессов тепло- и массообмена (с учетом различия теплофизических свойств среды в области шихты и «болота»); динамику границ раздела областей за счет подъема уровня расплава при проплавлении «колодца» под дугой и изменения плотности среды в процессе плавления однотемпературной двухфазной среды в болоте из-за различия плотностей твердой и жидкой фаз в болоте; температурную зависимость теплофизических параметров (коэффициентов теплопроводности, теплоемкости и т. д.).

В ИТМО НАН Беларуси разработан и изготовлен экспериментальный образец высокотемпературного тепловизионного устройства. Это устройство (рис. 3) реализовано на базе широко распространенных камер с цветным детектором, что позволило значительно снизить его стоимость. Проведена разработка программного обеспечения аппаратно-программного комплекса по обработке сигналов с оптических датчиков по заданному алгоритму. Изготовлен макет аппаратно-программного комплекса для термометрического контроля на технологических участках металлургического производства. Внедрение подобных устройств в металлургическом производстве может быть альтернативой пирометрическим средствам контроля температуры. При приблизительно одинаковой стоимости созданное высокотемпературное тепловизионное



Рис. 3. Высокотемпературное тепловизионное устройство

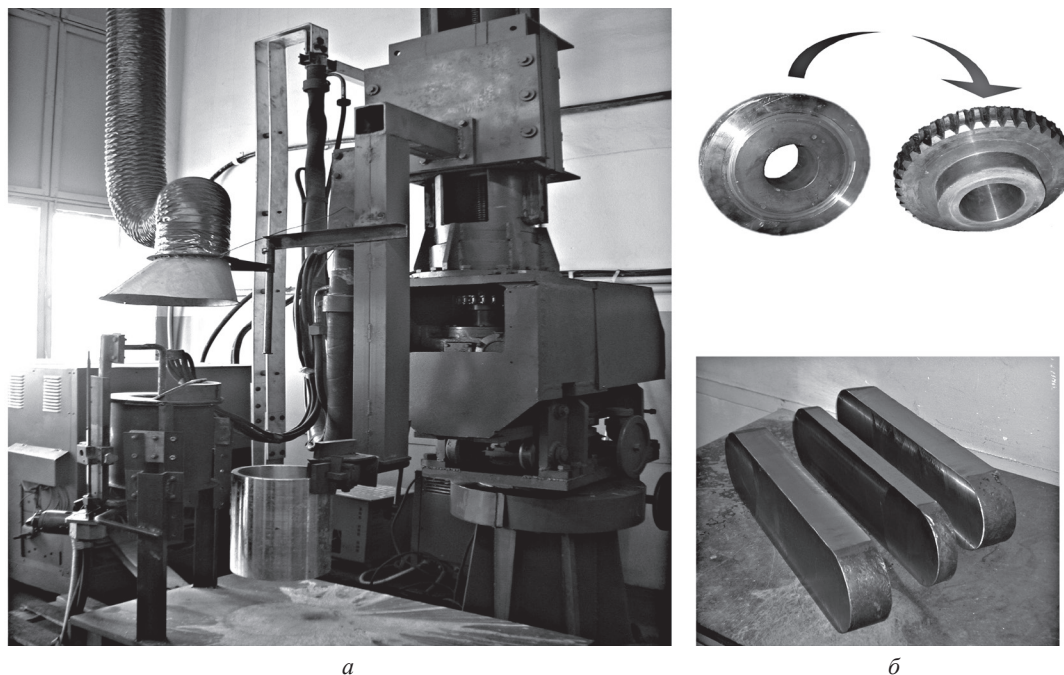


Рис. 4. Технологическое оборудование изготовления заготовок деталей прокатного оборудования методом электрошлакового переплава (а) и вид стальных и биметаллических заготовок (б)

устройство обладает большими возможностями, чем традиционные пирометры.

Институтом технологии металлов НАН Беларуси разработана технология изготовления из сталей заготовок деталей прокатного оборудования методом электрошлакового переплава (рис. 4), основанная на процессе плавления расходного электрода. Электрод расплавляется с использованием теплоты, выделяющейся в электропроводном шлаке при прохождении через него электрического тока. В результате замедленной и строго направленной кристаллизации небольшого количества жидкого металла обеспечивается его высокая химическая и структурная однородность. Типичными представителями деталей, получаемых методом электрошлакового литья, являются заготовки штампового и режущего инструмента, крупногабаритных шестерен, колец, шкивов, зубчатых колес, а также различного вида вилки, проушины, корпуса, цапфы, биметаллические заготовки типа червячных колес, прокатных роликов и т. д. Биметаллические отливки бронза БрО12Ф – серый чугун СЧ20, полученные методом электрошлакового переплава, предназначены для изготовления червячных колес главного привода лифтов. Использование биметаллических заготовок колес вместо сборной конструкции позволяет существенно сократить количество промежуточных станочных операций при производстве червячных колес. Разработанная технология электрошлаковой наплавки биметаллических червячных колес серийно используется на РУП «Могилевлифтмаш».

Физико-техническим институтом НАН Беларуси разработан технологический процесс и создано оборудование (рис. 5) для предварительной подготовки алюминиевой стружки перед плавкой, включающий сушку стружки, отделение магнитных и слабомагнитных включений черных металлов, магнитную сепарацию. Это позволило использовать в собственном производстве весь объем образующейся на УП «ММЗ» алюминиевой стружки в составе шихты взамен дорогостоящих покупных свежих шихтовых материалов, а также при получении огнеупорных обмазок и футеровок. Разработана технология, изготовлено оборудование и организован участок на базе УП «ММЗ» по переработке алюминиевой стружки и получению отливок ответственных изделий машиностроения. Созданный комплекс устройств позволил повысить выход годного металла до 92–95%; исключить возгорание стружки при переплаве; интенсифицировать механическое диспергирование стружки при получении изделий. В 2007 г. объем переработки стружечных отходов составил более 1000 т в год.

Этим же институтом разработана технология получения упрочненных отливок поршней дизелей для РУП «140 ремонтный завод» из отходов заэвтектических силуминов. Упрочнение отливок производится посредством плазменной обработки, что резко повышает механические свойства материала. Данная технология позволяет уменьшить массу поршня дизеля, отказавшись от применения в конструкции поршня вставки из нирезистового чугуна.

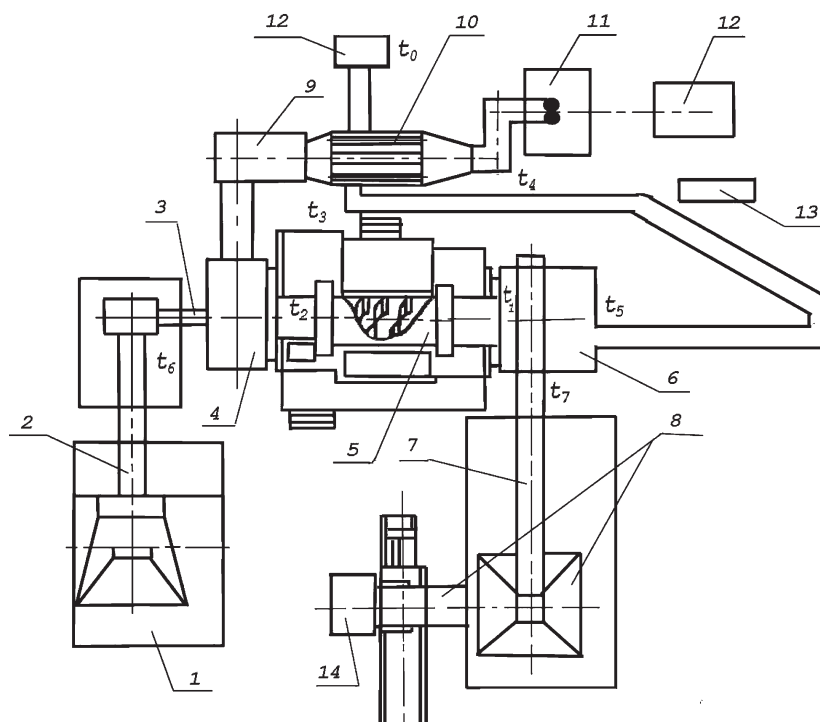


Рис. 5. Схема комплекса: 1 – приемный бункер; 2 – конвейер скребковый (загрузки); 3 – питатель лотковый инерционный; 4 – камера загрузки; 5 – барабан сушильный; 6 – топка; 7 – конвейер скребковый (выгрузки); 8 – система сепарации и выгрузки стружки; 9 – камера дожига; 10 – рекуператор; 11 – система аспирации отходящих газов; 12 – вентилятор; 13 – шкаф управления; 14 – тара

Ряд новых результатов получен Институтом порошковой металлургии НАН Беларуси. Получен композиционный порошок на основе альфа-железа с содержанием углерода 0,06%. Частицы порошка плакированы полимерным материалом, имеющим высокое удельное электросопротивление. Этот материал обладает достаточной магнитной индукцией для низкоскоростных бесколлекторных электродвигателей мощностью до 10 Вт, используемых в средствах автоматики в автотракторостроении. Проведены исследования влияния наноразмерных добавок в виде оксидов алюминия, иттрия и железа на свойства железоуглеродистых материалов, которые показали, что введение наноразмерных оксидов в сплавы на основе железа позволяет увеличить твердость в 1,5–2,3 раза, снизить коэффициент трения и интенсивность изнашивания деталей из разрабатываемых материалов на 30–45%.

14 июня 2007 г. Президентом Республики Беларусь была утверждена Директива № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства». Одним из основных путей экономии теплоэнергетических ресурсов в стране является техническое переоснащение и модернизация наиболее энергоемких производств, таких, как литейное, металлургическое и термическое. Советом Министров Республики Беларусь Постановлением от 31.11.2007 г. № 1421 была принята Программа технического переоснащения

и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2007–2010 гг. Программа содержит около 200 мероприятий более 50 предприятий страны. Они направлены на переоснащение и модернизацию нагревательных печей и технологий термической и химико-термической обработки, металлургических печей, оборудования и технологий литейного производства, технологий и оборудования индукционного нагрева, других энергоемких процессов. В Программе указано, что ее научное сопровождение осуществляется Национальной академией наук Беларуси. В свою очередь Национальной академией наук Беларуси головными организациями по научному сопровождению Программы определены Объединенный институт машиностроения и Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси. При этом указано, что научное сопровождение осуществляется в рамках государственных комплексных целевых научно-технических программ. В связи с этим в план ГППНИ «Металлургия» на 2008 г. был включен ряд заданий, направленных на научное обеспечение Программы. В результате их выполнения получен ряд важных для промышленности республики результатов. В частности:

1. Определены гидродинамические параметры работы струйного кристаллизатора и устройства вторичного охлаждения различных конструкций (ИТМ НАН Беларуси). Полученные зависимости

позволили разработать оптимальную конструкцию струйного кристаллизатора и устройства вторичного охлаждения, в результате чего производительность литья машин непрерывной разливки стали увеличилась на 20% при одновременном улучшении качества стального слитка. Результаты использованы на РУП «БМЗ».

2. Созданы методика расчета термонапряженного состояния охлаждаемого стального слитка при транспортировке из печи на прокатный стан и инженерная модель расчета термонапряженного состояния затвердевающего слитка (БНТУ). Результаты использованы на РУП «БМЗ» при совершенствовании режимов нагрева в печи стана 850 непрерывнолитых заготовок сечением 250×300 мм из стали 40X.

3. Создана импортозамещающая технология изготовления точноразмерных заготовок цинковых анодов литьем в кокиль, позволяющая существенно снизить стоимость цинковых анодов за счет уменьшения в 4 раза толщины заготовки под прокатку (ИТМ НАН Беларуси). Технология и оборудование существенно уменьшили затраты на закупку анодов по импорту, а также обеспечили поставку этой продукции на экспорт в Россию.

4. Показано влияние кислорода, инертных газов и легирующих элементов на растворение и удаление водорода из жидкой стали. На основании проведенных исследований разработан оптимальный химический состав и технология выплавки стали на РУП «БМЗ» (БНТУ).

В план работ на 2009 г. в ГППНИ «Металлургия» дополнительно включен ряд новых, важных для промышленности республики работ. Это тематика, связанная с мониторингом литейного, металлургического и термического оборудования; получением методами литья крупногабаритных деталей самосвалов БелАЗ; разработкой теоретических и технологических основ переработки отходов из алюминиевых и медных сплавов; получением литых чугуновых деталей для металлургического и дробильно-размольного оборудования; исследованием процессов литья армированных алюминиевых отливок; освоением месторождений железной руды.

В рамках этих работ будет:

- проведен технико-экономический анализ и разработана концепция модернизации литейного (ОАО «БЕЛНИИЛИТ») и индукционного (ФТИ НАН Беларуси, ОИМ НАН Беларуси) оборудования промышленных предприятий Республики Беларусь, а также действующих плавильных агрегатов постоянного тока (ФТИ НАН Беларуси);

- разработаны математические и статистические модели диспергирования железоуглеродистых сплавов для получения стальной дроби (БНТУ,

ОАО «Могилевский металлургический завод»), совершенствования получения бронзированной проволоки, а также выбора технологии разливки стали и расчета температурных характеристик стального слитка (БНТУ, РУП «БМЗ»);

- предложен метод формирования литой структуры стальных отливок, обеспечивающих свойства крупногабаритных деталей на уровне изделий из проката или поковок (ОИМ НАН Беларуси, ПО «БелАЗ»);

- разработана технология получения волокнистых композиций, работающих в условиях космического пространства (ФТИ НАН Беларуси, УП «КБТМ-СО»);

- созданы технологические основы получения литых чугуновых изделий для металлургического и дробильно-размольного оборудования (ИТМ НАН Беларуси, РУП «БМЗ»);

- предложены новые технические решения для модернизации электрических нагревательных печей машиностроительных предприятий (ОИМ НАН Беларуси, РУП «БелТЭИ», РУП «МАЗ»);

- предложены технические решения, направленные на модернизацию на РУП «МАЗ» высокотемпературных печей с применением огнеупорных высокотемпературных покрытий и энергосберегающих футеровочных материалов, сформированных методом экзотермического синтеза (ФТИ НАН Беларуси, ОИМ НАН Беларуси);

- разработан и внедрен на ОАО «МЗОО» метод и аппаратура контроля структуры белого чугуна в малогабаритных отливках массового производства перед отжигом на ковкий чугун (ОИМ НАН Беларуси).

Важным направлением совместных исследований белорусских геологов и Института порошковой металлургии НАН Беларуси является предварительное научное обоснование разработки железных руд Околовского и Новоселковского месторождений. Разрабатывая запасы этих железорудных месторождений, республика не только может обеспечить собственное металлургическое производство (прежде всего, Белорусского металлургического завода), но и значительно повысить экспортный потенциал страны за счет поставок железорудного концентрата и металлизированных окатышей в страны ближнего (Россия) и дальнего зарубежья.

Таким образом, можно с уверенностью констатировать, что ГППНИ «Металлургия» является одним из наиболее крупных финансовых и организационных звеньев научного сопровождения Программы технического перевооружения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2007–2010 гг.