

ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 3 (64)
июль – сентябрь
2014

Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал
Издается с июля 1998 года
Выходит один раз в три месяца

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков ООО «БОИМ»

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: Андреев М.А., Дашков В.Н.,
Дубовик Д.А., Дюжев А.А., Захарик А.М.,
Колпашиков В.Л., Крупец Л.Н., Лягушев Г.С.,
Мариев П.Л., Медвецкий Е.И., Мелешко М.Г.,
Чижик С.А.

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодинская, 4)

тел./ факс 203-88-80; 226-73-36

E-mail: mail@boim.by

Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс **00139**

Компьютерная верстка Н.В. Райченко

Подписано в печать 29.08.2014.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.

Тираж 250 экз. Заказ №

Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ
«Физико-техническом институте НАН Беларуси».

Лицензия ЛП № 02330/152 от 14.04.2014 г.

220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

СОДЕРЖАНИЕ

Разработки ученых и специалистов

Научное обеспечение технологического развития энергоемких производств: итоги и перспективы	2
Газопламенное нанесение покрытий на детали ОАО «Нафтан».....	36
Использование аппаратов с адаптивными рабочими органами для получения цементного клинкера.....	43

НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Витязь П.А., Чижик С.А., Шипко А.А.

*Президиум Национальной академии наук Беларуси
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
г. Минск, Беларусь*

*Доклад на IX международной научно-технической конференции
«Современные методы и технологии создания и обработки материалов».
Физико-технический институт НАН Беларуси. 17 сентября 2014 г.*

Даны краткие итоги организованного НАН Беларуси (головная организация — Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси) научного обеспечения Программы технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств с 2007 по 2012 гг. Приведены данные мониторинга этих видов производств, примеры созданных за этот период отечественных технологий и оборудования, готовых для широкого использования в промышленности; а также разработок, завершенных в 2013–2014 гг. Отмечена работа университетов по подготовке кадров для вышеназванных видов производств. Названы наиболее важные научно-организационные мероприятия, направленные на научное сопровождение работ. Сформулированы предложения по дальнейшему развитию работ.

* Статья подготовлена по материалам Института технологии металлов НАН Беларуси, Физико-технического института НАН Беларуси, Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Объединенного института машиностроения НАН Беларуси, ОАО «БЕЛНИИЛИТ», ЗАО «АТЛАНТ», ООО «Стеклопласт», Белорусского национального технического университета, Белорусского государственного технологического университета, Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого, учреждения БГУ «НИИ Физико-химических проблем» и других организаций страны в рамках выполнения поручения Премьер-министра Республики Беларусь М.В. Мясникова № 07/129-80 от 3.05.14 г.

I. ОБ ИТОГАХ НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОГРАММЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕОСНАЩЕНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ ЛИТЕЙНЫХ, ТЕРМИЧЕСКИХ, ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ ЗА ПЕРИОД С 2007 ПО 2012 гг.

В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 31 октября 2007 г. № 1421 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь от 9 июня 2011 г. № 882) на НАН Беларуси была возложена организация научного обеспечения Программы тех-

нического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств (далее Программа).

Такое обеспечение было организовано. Проведены детальный анализ научно-технического потенциала страны, работающего по на-

правлениям Программы, мониторинг литейных, термических, гальванических производств страны. Вопрос дважды рассматривался на заседаниях Президиума НАН Беларуси, многочисленных межотраслевых совещаниях в Госстандарте, Минпроме, НАН Беларуси. Определены головные организации. К работе подключены десятки организаций страны. В Программу дополнительно включены разделы по ее научному обеспечению.

За прошедшее время при координации НАН Беларуси научными организациями НАН Беларуси, университетами Министерства образования Республики Беларусь, отраслевыми организациями Министерства промышленности Республики Беларусь выполнены работы, завершённые не только получением новых эффективных научных результатов, но и освоением конкретной продукции. В этой связи поручение Правительства Национальной академией наук Беларуси от 9 июня 2011 г. № 882 считаем выполненным.

Начиная с 2008 г. НАН Беларуси ежегодно направляла Департаменту по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь отчеты о ходе научного обеспечения, в которых названы примеры наиболее эффективных разработок, научно-организационные мероприятия, сформулированы предложения по развитию работ.

Сформирован координационный план работ, направленных на научное обеспечение технического переоснащения и модернизацию литейных, термических и гальванических производств, в который вошли более 120 заданий профильных научно-технических и научных программ, отдельные инновационные проекты.

Полностью под направления научного обеспечения Программы построена подпрограмма научных исследований «Металлургия» (головная организация — Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси). Ее тематика расширена. Кроме литейно-металлургических в нее включены разделы «Термическая обработка», а также «Обработка металлов давлением».

Также все задания по тематике Программы содержит подпрограмма «Технологии литья» (головная организация — ОАО «БЕЛНИИЛИТ»), в рамках которой в 2011–2015 гг. развиваются направления, связанные с компьютерным проектированием оборудования, технологической оснастки и моделированием процессов литья; разработкой новых технологий, созданием современного технологического оборудования для литейного производства.

Важным событием для научных учреждений страны, занимающихся тематикой гальванических производств, является разработка на 2011–2015 гг. новой подпрограммы научных исследований «Гальванические технологии и оборудование» (головная организация — Белорусский государственный технологический университет). Учреждениями и организациями республики выполняются 25 проектов. Главной целью подпрограммы является разработка и внедрение новых технологий и оборудования нанесения гальванических, химических и конверсионных покрытий, обладающих улучшенными защитными свойствами; очистка сточных вод и вентиляционных выбросов; утилизация и переработки гальванических шламов и отходов производства; снижение воздействия гальванических производств на окружающую среду; повышение качества и конкурентоспособности продукции.

Интересам научного обеспечения переоснащения энергоёмких производств также отвечает ряд заданий государственных научных программ «Энергобезопасность и надежность энергоснабжения», «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы», «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал»; ГНТП «Технологии и оборудование машиностроения», «Ресурсосбережение» и др., а также Плана государственной стандартизации Республики Беларусь.

Многие разработки белорусских ученых экспонировались на выставках в нашей стране, странах СНГ и дальнего зарубежья; их разработчики стали лауреатами многих отраслевых премий и премий имени выдающихся ученых. Коллективу сотрудников Института технологии металлов НАН Беларуси в составе Е.И. Маруковича, В.Ф. Бевзы и А.М. Бодяко за работу «Создание и промышленная реализация принципиально нового метода непрерывно-циклического литья намораживанием высокоизносостойких деталей техники» в 2011 г. присуждена Государственная премия Республики Беларусь.

Работы по научному обеспечению нашли всестороннюю поддержку со стороны промышленных предприятий: лидера металлургии страны ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК», ОАО «МТЗ», ОАО «МАЗ — управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ», ОАО «БЕЛАЗ» — управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», ЗАО «Атлант», ПО «Гомсельмаш», ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод и др., ко-

которые сами располагают сильной научно-технической базой, кадровым потенциалом и без которых невозможно продвижение отечественных исследований и разработок в производство. Эти и другие предприятия собственными силами выполняют много технических мероприятий по реконструкции и модернизации литейно-металлургического оборудования, увеличению использования вторичных энергоресурсов, установлению современных отечественных стержневых автоматов и очистных камер, модернизации термических и нагревательных печей, замене парка машинных преобразователей ТВЧ, внедрению оборудования индукционного нагрева.

С целью повышения качества металлургической продукции предприятий холдинга «Белорусская металлургическая компания», развития инновационной деятельности, укрепления научно-технических связей с НАН Беларуси и университетами страны, в 2013 г. создан Научно-производственный центр «ОАО «Белорусский металлургический завод» — управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» — Национальная академия наук Беларуси». В 2014 г. состоится III заседание Совета Центра, в состав которого вошли ведущие ученые, руководители предприятий Министерства промышленности Республики Беларусь, Гомельского областного исполнительного комитета. Вопросы технического переоснащения, развития Белорусского металлургического завода, других предприятий холдинга неоднократно рассматривались с участием ученых на заседаниях Научно-технического совета завода, в Минпроме, НАН Беларуси, II заседании Совета вышеуказанного Центра и в настоящем докладе не анализируются.

Из проведенных научно-организационных мероприятий следует отметить проводимые Департаментом по энергоэффективности Госстандарта РБ Белорусские промышленные форумы, Физико-техническим институтом НАН Беларуси — научно-технические конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов», ассоциацией литейщиков и металлургов страны — международные научно-технические конференции «Литье и металлургия». В БГТУ ежегодно проводится Республиканский научно-технический семинар «Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий». Среди других мероприятий — международные научно-технические кон-

ференции «Металл» (г. Жлобин), Республиканский научно-технический семинар по переработке металлоотходов и др.

В 2012 г. в соответствии с Протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 17 апреля 2012 г. № 12 (п.1.2.3); пунктом 2 протокола поручений Первого заместителя Премьер-министра Республики Беларусь В.И. Семашко от 28 мая 2012 г. № 27/18пр; а также с учетом решения совещания у Председателя Госстандарта Республики Беларусь В.В. Назаренко от 18 апреля 2012 г. рабочей группой НАН Беларуси, состоящей из представителей Объединенного института машиностроения НАН Беларуси, ОАО «БЕЛНИИЛИТ», ОАО «БМЗ», Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Белорусского государственного технологического университета разработан актуализированный вариант текстовой части Программы, который имеет новую структуру разделов, в него впервые включена информация о результатах научного обеспечения видов производств, дана современная характеристика их технического уровня, сформулированы задачи на ближайшую перспективу. Его подготовке предшествовало проведение мониторинга литейных производств страны (ОАО «БЕЛНИИЛИТ»), нагревательного и термического печного оборудования (Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси), гальванических технологий и оборудования (Белорусский государственный технологический университет), теплоизоляционных и огнеупорных материалов (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси). В 2013 году завершен также мониторинг кузнечно-прессового оборудования и технологий (Белорусский национальный технический университет, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси).

Особо следует отметить работу университетов страны по подготовке инженерных кадров — Белорусского национального технического университета, Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого, Белорусского государственного технологического университета, Белорусского государственного аграрного технического университета, Белорусского государственного университета. Только в Гомельском государственном техническом университете имени П.О. Сухого в настоящее время обучается на первой ступени обучения около 230 студентов по специальности «Машины и технология литейного производ-

ства», примерно столько же по специальности «Машины и технология обработки материалов давлением», около 150 человек по специальности «Металлургическое производство и металлообработка».

За период 2013–2014 гг. в Белорусском государственном технологическом университете подготовлено для гальванических производств 58 высококвалифицированных инженеров химиков-технологов по специальности «Технология электрохимических производств». Всего университетом подготовлено по этой специальности более 1000 человек.

Главное, что удалось достичь в деле научного обеспечения Программы — консолидировать труд многих коллективов ученых и инженеров независимо от ведомственной принадлежности их организаций в решении в республике своими силами многих вопросов технического переоснащения энергоемких производств. Это движение приобрело необратимый характер и призвано повысить эффективность работы вышеназванных видов производств.

Несмотря на то, что постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 568 от 28.06.13 г. Программа утратила силу, остается

исключительно важным продолжение и усиление работ по созданию отечественных энергоэффективных образцов техники и технологий, направленных на техническое переоснащение и модернизацию литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств страны. Эта работа будет продолжена в рамках отраслевых программ энергосбережения, государственных научных и научно-технических программ, программ инновационного развития. О результатах этих работ в 2014 г. будет доложено Правительству до 20 января 2015 г.

Ниже приведены примеры отечественных технологий и оборудования, готовых для широкого использования. Разработчиками являются Институт технологии металлов НАН Беларуси, Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Филиал ЗАО «Атлант» — Барановичский станкостроительный завод, ОАО «БЕЛНИИЛИТ», Физико-технический институт НАН Беларуси, Белорусский национальный технический университет, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Белорусский государственный технологический университет, ООО «Стеклопласт», НИИ физико-химический проблем и др.

II. ПРИМЕРЫ РАЗРАБОТОК, ЗАВЕРШЕННЫХ И ВЫПОЛНЯЕМЫХ В 2013–2014 гг. ПО НАУЧНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕОСНАЩЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ

По направлению литейно-металлургических производств

Ведущую роль в республике в области разработки ресурсосберегающих и импортозамещающих литейных технологий играет **Институт технологии металлов НАН Беларуси** (рис. 1, см. обложку). Среди первых примеров нельзя не назвать организованное этим институтом производство цилиндрических заготовок из чугуна методом непрерывного литья намораживанием. Ежегодно выпускается продукции на миллиарды рублей. Полностью удовлетворяются потребности МТЗ, БелАЗа, МАЗа, МЗКТ и др. предприятий. Всего их уже, наверно, около 200.

Хорошо известны также такие традиционные разработки института, как моделирование процессов литья, непрерывное горизонтальное и вертикальное литье, литье в валковый кристаллизатор и др. Из новых работ хочется отметить электрошлаковый переплав, а также получение цветных сплавов с повышенными эксплуатаци-

онными свойствами. Только в 2011–2013 гг. объем производства изделий из хромистого чугуна для деталей дробильно-размольного оборудования предприятий Беларуси и России составил около 3 млрд руб., свинцовых изделий — 2,6 млрд руб., а отливок из железоуглеродистых сплавов по газифицируемым моделям — 4 млрд руб.

В рамках государственной программы освоения в производстве новых и высоких технологий на 2011–2015 гг. для ПРУП «Минский завод специального инструмента и технологической оснастки» институтом разработана установка для изготовления слитков из инструментальных сталей методом электрошлакового переплава. Созданы 2 технологических процесса изготовления слитков из сталей 5ХНМ и Р6М5. Установка и литейная оснастка поставлены заводу.

В 2013 году для ОАО «Могилевлифтмаш» в рамках выполнения хозяйственного договора разработана и изготовлена установка электрошлаковой наплавки биметаллических заготовок

червячных колес. Произведен монтаж и наладка на площадях завода. Выполнен объем работ на сумму свыше 2,6 млрд руб. В 2013 году общий объем выпуска институтом литейно-металлургической продукции составил свыше 12,5 млрд руб.

Среди других работ ИТМ можно отметить создание новых литейных материалов на основе свинца, предназначенных для изготовления комплектующих деталей приборов и средств радиационного контроля и защиты. Результаты НИР использованы при выполнении задания РНТП «Инновационное развитие Могилевской области на 2011–2015 гг.». В Институте создано импортозамещающее производство комплектующих деталей средств и приборов радиационного контроля и защиты для предприятий и организаций Госкомвоенпрома, атомной энергетики, Министерства здравоохранения Республики Беларусь. Освоено производство более 15 наименований свинцовых деталей и 10 типоразмеров свинцовых листов.

Некоторые примеры разработок Института технологии металлов приведены на рис. 1 (см. обложку).

ОАО «БЕЛНИИЛИТ» специализируется в производстве песчаных стержней, создании смесеприготовительных комплексов, создании обо-

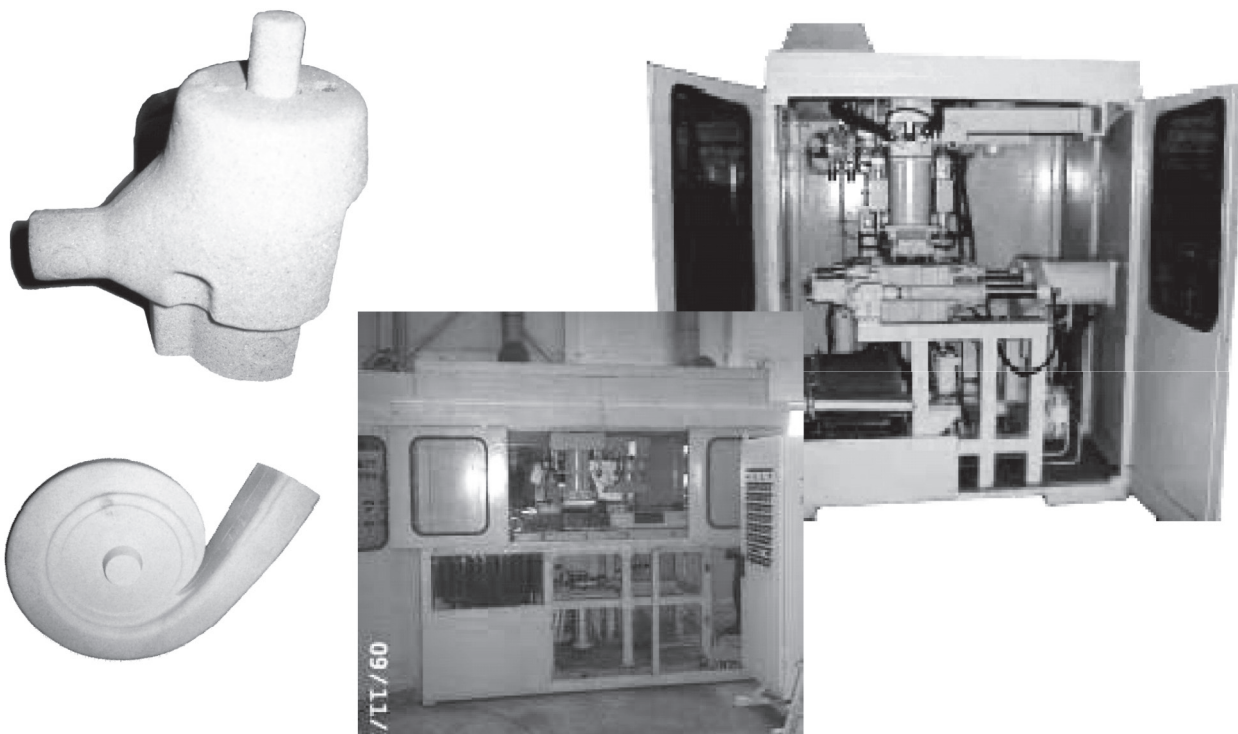
рудования для изготовления форм, получении специальных видов литья из цветных и черных сплавов.

В 2013–2014 гг. ОАО «БЕЛНИИЛИТ» продолжило разработку и внедрение на промышленных предприятиях республики специальных стержневых машин, основанных на использовании технологии производства стержней из холоднотвердеющих смесей в «холодной оснастке», что обеспечивает значительную экономию ресурсов. Минскому тракторному заводу в 2013 году поставлено 3 машины мод. 4509СМ1, в 2014 году этому заводу будет поставлено еще 5 машин разных моделей. В рамках заданий подпрограммы «Технологии литья» для ОАО «Лидский литейно-механический завод» разработан и изготовлен комплект опытной биметаллической оснастки со сменными вставками из монолитных заготовок для производства моторных гильз (потребитель — ОАО «Минский моторный завод»). Этим институтом также изготовлена и поставлена на ОАО «Лидский литейно-механический завод» опытная машина для производства полуформ из песчано-смоляных смесей (организации — потребители литья ОАО «МТЗ» и ОАО «Полесьеэлектромаш»).

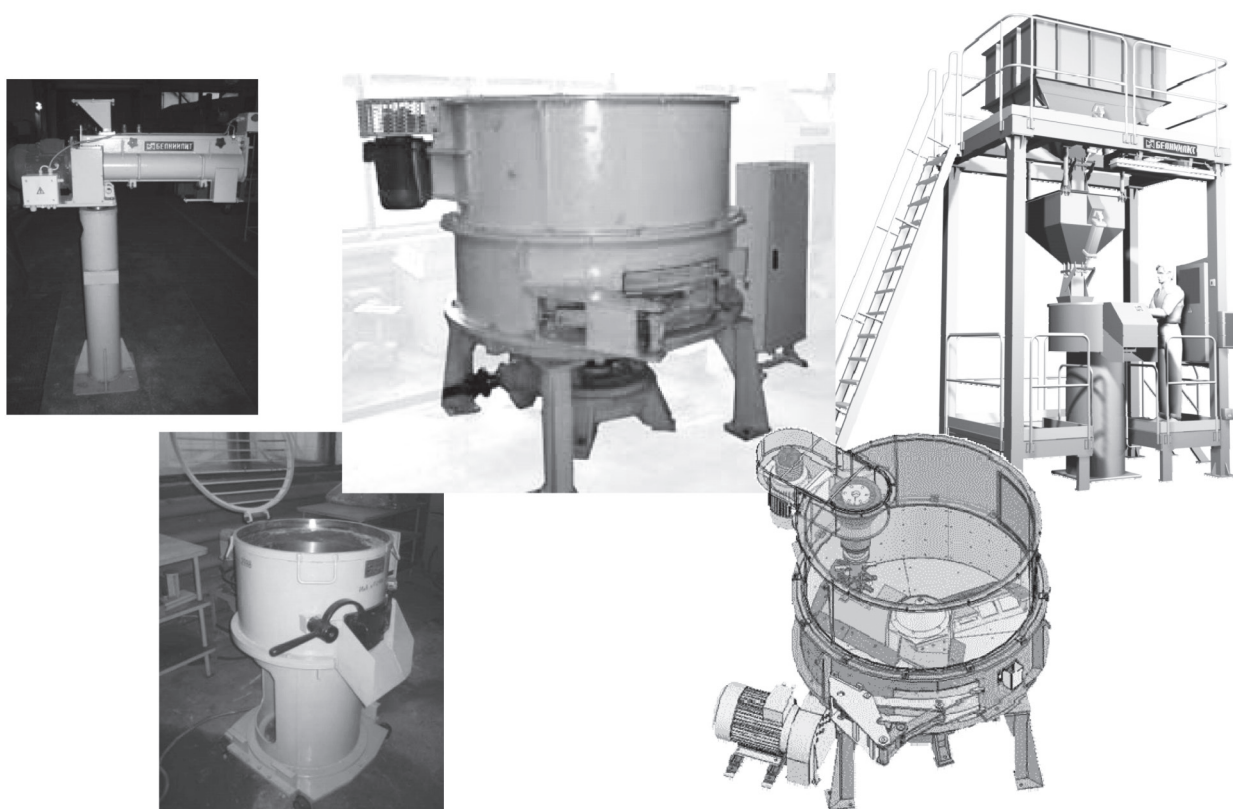
Типы разрабатываемого оборудования ОАО «БЕЛНИИЛИТ» представлены на рис. 2.



Производство песчаных стержней



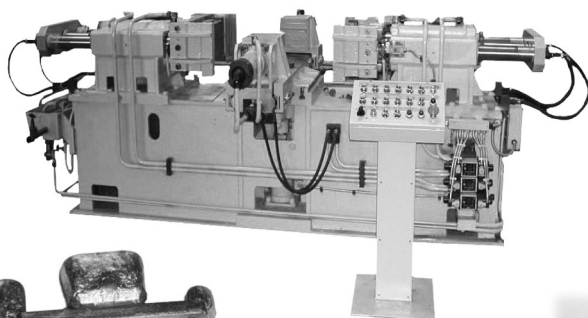
Смесеприготовление для песчано-глинистых и стержневых смесей



Технология и оборудование изготовления форм



Специальные виды литья из цветных сплавов



Специальные виды литья из черных сплавов

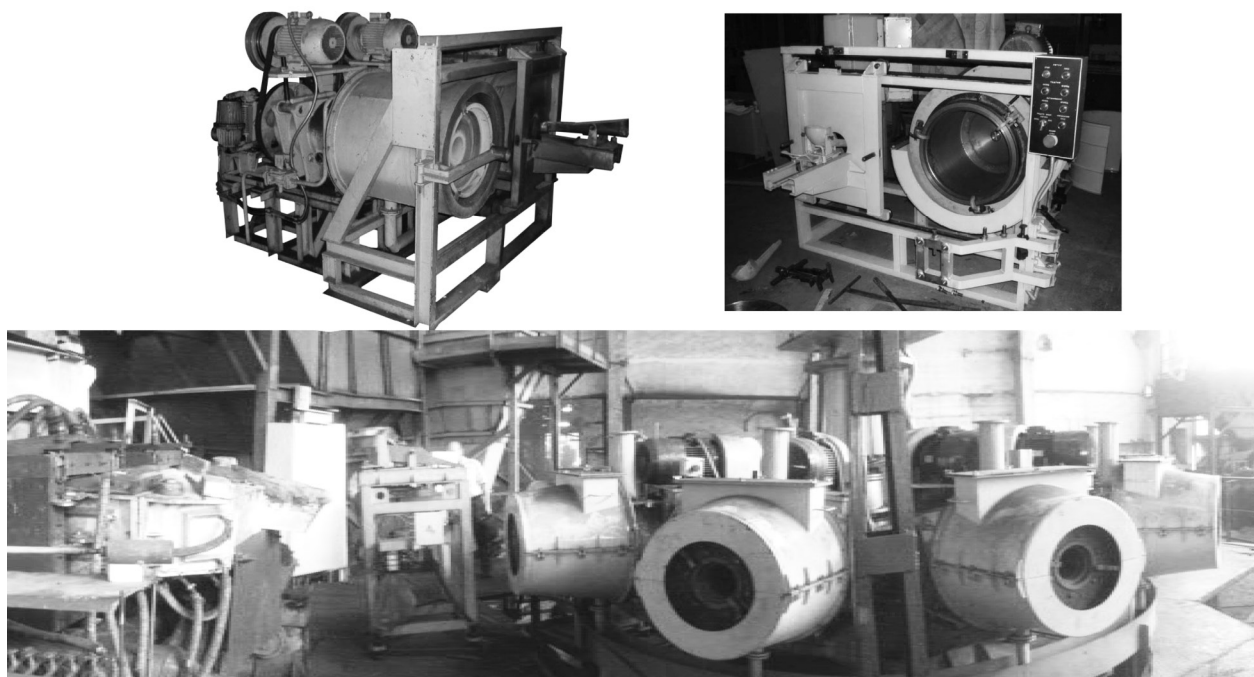


Рис. 2. Типы разрабатываемого оборудования ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

УП «Промышленные экологические системы» «Научно-технологического парка «Политехник» БНТУ разработана новая технология нейтрализации газовых выбросов в атмосферу для стержневых отделений литейных цехов. Созданы абсорбционно-биохимические установки (АБХУ), в которых амин улавливается технической водой, а растворенные органические вещества разлагаются на безвредные составляющие H_2O , CO_2 и свободный азот. Сброс абсорбента в канализацию отсутствует. Это предприятие поставило и ввело в эксплуатацию АБХУ на улавливание триэтиламина на 15 предприятиях России, Украины, Беларуси (ОАО «Могилевлитмаш», филиал «Обособленное литейное производство» РУП «Гомельский завод литья и нормалей»).

При этом следует отметить, что в литейных цехах республики активно внедряется процесс изготовления стержней в холодной оснастке путем продувки смеси катализатором отверждения триэтиламином или диметилэтиламином, что требует последующего предотвращения выброса аминов в атмосферу. В странах Европейского союза очистка вентвоздуха от аминов осуществляется химическим методом в кислотных скрубберах с последующей регенерацией отработанного раствора на химических предприятиях. Однако во многих странах отработанный раствор (десятки тонн в сутки) сбрасывается в канализацию, что является

грубым нарушением экологических норм, так как превышение достигает по солям (сульфаты или фосфаты) в 200 раз, по фенолу в 3000 раз.

Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «ТЕХНОЛИТ» научно-технологического парка «Политехник» БНТУ занимается разработкой и внедрением энерго- и ресурсосберегающих технологий и оборудования для литейного и металлургического производств, разработкой технологических решений для модернизруемых и вновь строящихся литейных и металлургических цехов. В 2013 г. был введен в эксплуатацию и вышел на проектную мощность «Завод по производству свинца и сплавов в г. Белоозерске», спроектированный предприятием «Технолит» совместно с РУП «Полесьегипроводхоз». Завод в Белоозерске является первым и единственным в Беларуси предприятием, на котором реализован полный технологический цикл пирометаллургического производства свинца из аккумуляторного лома: извлечение свинца из оксидов, сульфатов и сульфидов и других соединений, удаление примесей и рафинирование с получением марочного свинца, а также микролегирование и модифицирование при производстве специальных свинцовых сплавов. Предприятие рассчитано на производство 10 000 т свинца в год.

Завершена разработка планировочных и технологических решений по строительству цеха по

переработке отходов медной группы мощностью 5 000 т в год изделий из меди и медных сплавов (генеральный проектировщик — УП «Институт «Белпромстройпроект», заказчик ОАО «Белцветмет»). Объект должен быть введен в эксплуатацию к концу 2014 г. Впервые в Беларуси планируется производство медной катанки с использованием метода огневого рафинирования меди и производство латунного прутка методом горячего прессования (экструзии). Этим предприятием завершена также разработка проектной и конструкторской документации на системы многоступенчатой низкоэнергоемкой пылегазоочистки для 20-тонных вагранок Минского тракторного завода. Внедрение этих систем должно быть осуществлено до конца 2014 г., и позволит в десятки раз уменьшить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Совместно с ГГТУ им. П.О. Сухого разработаны технические решения для типоразмерного ряда рекуперативных систем для плавильных печей раз-

личных типов, в том числе вагранок, газо- и жидкотопливных печей для плавки черных и цветных металлов. Прямотрубный рекуператор использован в системе утилизации вторичных энергоресурсов в литейном цехе ООО «Белинвесторг» в г. Волковыске. Использование рекуператора позволило сократить удельный расход печного топлива на 20–22 % и сократить время плавки на 8–10 %, уменьшить общее количество дымовых газов и выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Разработанные решения были использованы при модернизации 15-тонной коксовой вагранки, установленной в литейном цехе Могилевского металлургического завода, модернизации 20-тонных вагранок и внедрении систем многоступенчатой пылегазоочистки на ОАО «МТЗ», внедрении двухступенчатого рекуператора на вагранке завода «Изотерм» в Усть-Каменогорске (Казахстан).

На рис. 3 приведены примеры разработок Парка «Политехник» БНТУ.

Белорусский национальный технический университет



**Абсорбционно-механическая установка
для нейтрализации газовых выбросов в атмосферу**



Общий вид размещения стержневого оборудования на площадке
ОЛП РУП «Гомельский завод литья и нормалей»:
слева – абсорбционно-биохимическая установка, справа – стержневой автомат
мод. АНВ-40HV с установкой смешеприготовления

**Завод по производству свинца и сплавов в г. Белоозёрске
(проект – УП «Технолит» Парка «Политехник» БНТУ)**



Реализован полный технологический цикл пиromеталлургического производства свинца из аккумуляторного лома. 10 000 т свинца в год

Рекуператоры

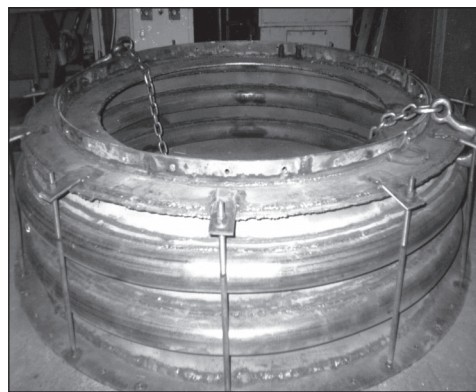
Разработаны технические решения и эскизные проекты на встроенные рекуперативные теплообменники для ваграночных установок производительностью 3-5 т/ч, 8-12 т/ч и 15-20 т/ч

(Парк «Политехник» БНТУ, ГГТУ им. П.О.Сухого).

Выполнена модернизация 15-тонной коксовой вагранки, установленной в литейном цехе Могилевского металлургического завода.



Двухходовой рекуператор радиационного типа предназначен для подогрева дутья за счет тепла отходящих газов, что обеспечивает сокращение расхода кокса на 20–25 %



S-образный компенсатор, установлен в верхней части рекуператора под искрогасителем (мокрым пылеуловителем)

Рис. 3. Примеры разработок Парка «Политехник» БНТУ

Гомельским государственным техническим университетом имени П.О. Сухого в 2013–2014 гг. выполнены следующие работы.

Разработаны технологические рекомендации по осуществлению процессов твердофазного восстановления оксидных дисперсных железосодержащих металлоотходов в ротационных наклоняющихся печах, позволяющие ускорить восстановление материала в 5–10 раз. В качестве восстановителей используются местные углеродосодержащие отходы.

Для Гомельского завода литья и нормалей разработано технико-экономическое обоснование и паспорт инвестиционного проекта технологической реконструкции плавильного участка цеха высокопрочного чугуна, дана сравнительная оценка эффективности технологий модифицирования чугуна применительно к условиям действующего производства,

Для Белорусского металлургического завода разработана методика и осуществлен расчет производственных мощностей прокатного, трубного и метизного производств. Осуществляется изготовление на площадях университета и поставка изделия «нож для рубки фибры из стали Р6М5»

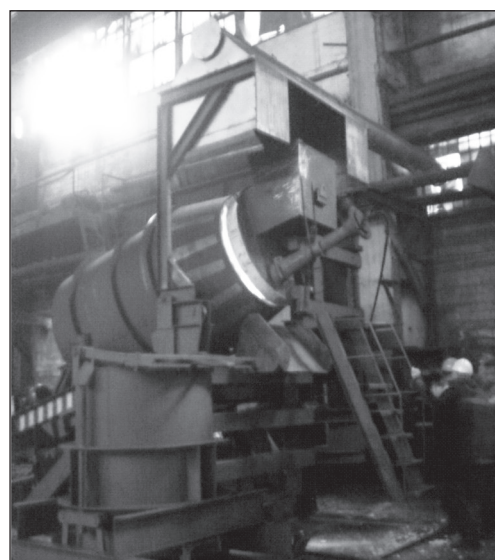
в количестве 100 штук в месяц. Разрабатываются технологические рекомендации для волочения высокопрочной и сверхвысокопрочной латунированной проволоки.

Этим университетом разработана и внедрена на заводе «Центролит» (г. Гомель) ресурсосберегающая технология и оборудование для плавки железоуглеродистых сплавов на подогретой шихте, обеспечивающая сокращение затрат электроэнергии, повышение качества жидкого металла и снижение брака отливок. Внедрение данного оборудования позволяет сократить удельный расход электроэнергии в литейном производстве на 18–25 % (120–180 кВт·ч на 1 т жидкого металла) и уменьшить длительность плавки на 15–20 %. Завершены работы по монтажу и вводу в эксплуатацию установки подогрева шихты на заводе «Энергомаш» (г. Белоозерск). Достигнуто сокращение расхода электроэнергии на 160–200 кВт·ч или на 25 %, повышена производительность электродуговых печей. Внедрение проводится также на МТЗ, БелАЗе, Заводе литья и нормалей в Гомеле.

Разработки ГГТУ имени П.О. Сухого представлены на рис. 4.

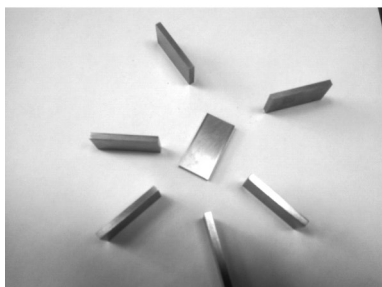


**Технологические рекомендации по рециклингу
дисперсных металлосодержащих отходов**

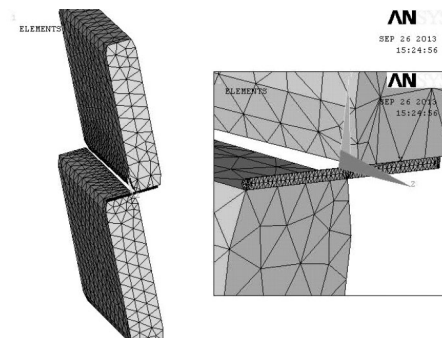


Восстановление металла ускорено в 5–10 раз. Восстановители – местные углеродосодержащие отходы

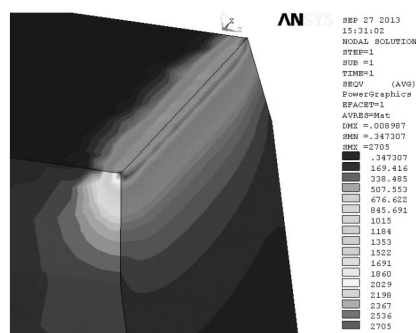
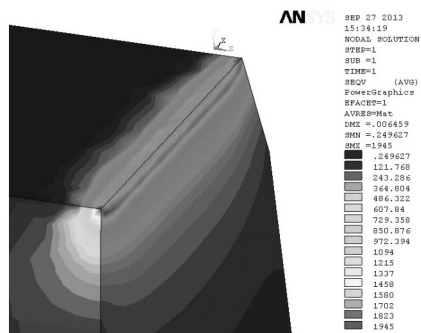
Нож для производства анкерной фибры на стане G 8010



Внешний вид



Конечно-элементная модель ножей для рубки фибры



Распределение эквивалентных напряжений по рабочей поверхности ножа при различной прочности проволоки фибры: а – $\sigma_B=2300$ МПа, б – $\sigma_B=3200$ МПа

Технология и установка газового нагрева шихты (до 650–750 °С) непосредственно в загрузочных емкостях

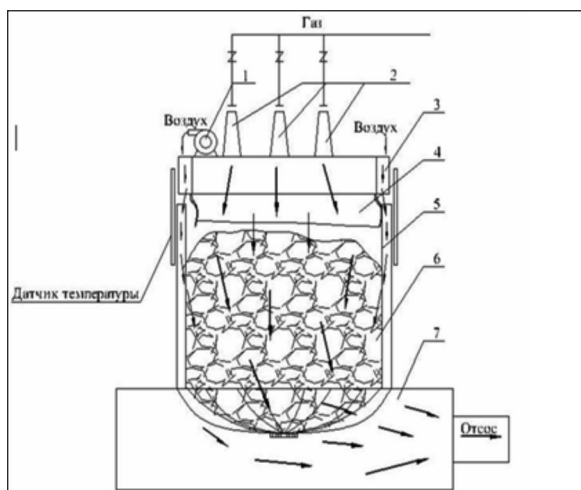


Схема работы «бадьи – термоса»:

- 1 – продувочный вентилятор, 2 – горелки, 3 – коллектор обдува, 4 – огнестойкая завеса,
 - 5 – вставка, 6 – нагреваемая шихта, 7 – корпус стэнда.
- Достигается сокращение расхода электроэнергии до 25 %

Рис. 4. Разработки ГТТУ имени П.О. Сухого

Ряд работ по литейно-металлургической тематике выполнен **Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси** (рис. 5). Например, разработаны физико-химические принципы создания алюмоматричных композитов на основе алюминиевых сплавов, включая промышленные силумины, введением в расплавы наноструктурированного наполнителя-модификатора на основе тугоплавких керамических соединений. Разработанный способ обеспечивает интенсивное диспергирование структуры сплавов. Высокая эффективность модификатора достигается за счет синтеза тугоплавких наноразмерных соединений, активных к алюминиевой расплаву, непосредственно в исходной шихте вследствие химических реакций между ее компонентами. В результате применения полученного

наполнителя для модифицирования промышленных силуминов обеспечивается повышение их износостойкости более чем на порядок при одновременном снижении коэффициента трения в 1,5–8 раз. Эти работы выполнены в интересах ОАО «Минский моторный завод».

Среди других работ этого института следует отметить поверхностное модифицирование узлов металлургического оборудования, моделирование крупногабаритных отливок, создание линии автоматической разбраковки чугунных ниппелей радиаторов Минского завода отопительного оборудования и др. Так, на Минском заводе отопительного оборудования работает автоматизированная линия контроля отливок ниппелей в цехе ковкого и серого чугуна производительностью свыше 50 000 отливок в сутки.

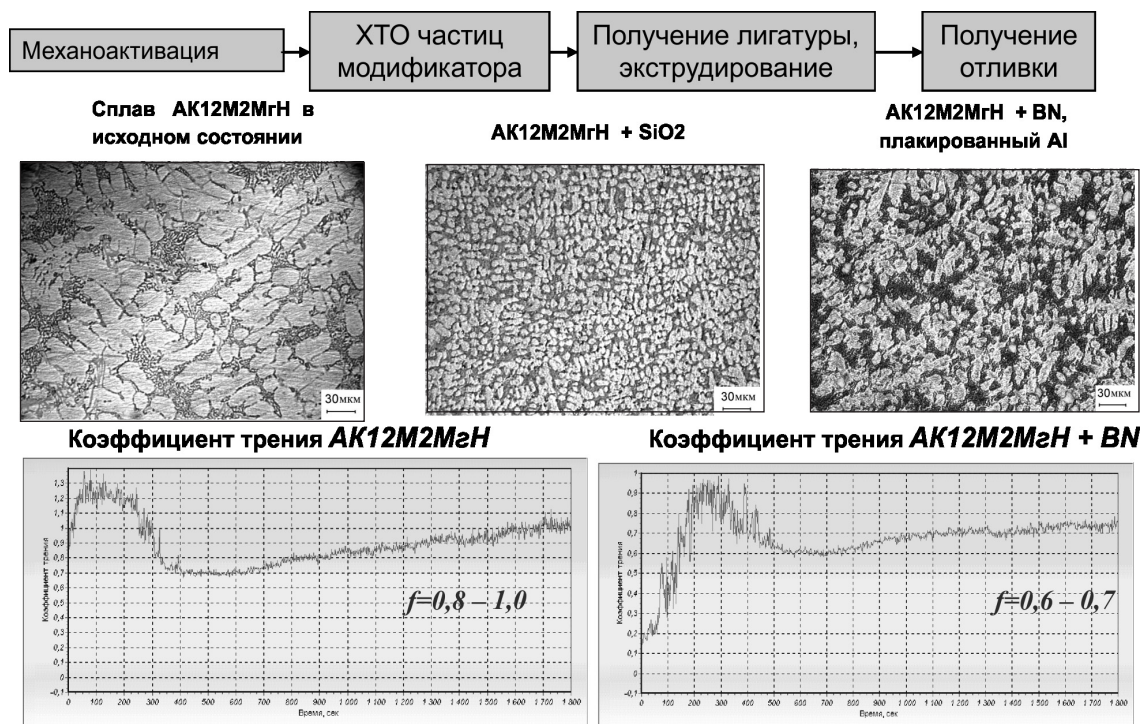
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси



Новые технологии механической и химико-термической обработки на современном высокоэффективном оборудовании



Новые принципы включения в алюминиевую матрицу дисперсных порошков оксидов и нитридов (ОИМ НАН Беларуси)

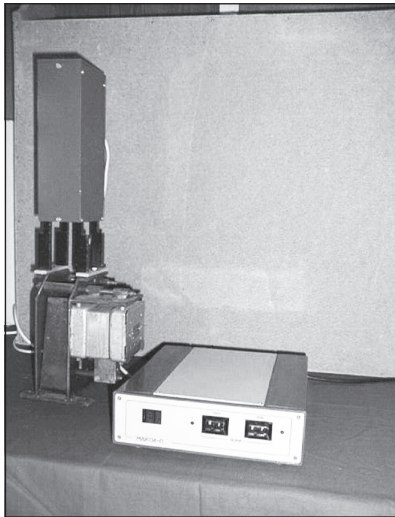


Технология поверхностного модифицирования узлов металлургического и кузнечно-прессового оборудования (ОИМ НАН Беларуси)



Нанесение поверхностно-модифицированных слоев с наноразмерными наполнителями из ультрадисперсных алмазов снижает коэффициент трения 2-2,5 раза, увеличивает несущую способность в 2,2-2,3 раза. Изучение условий эксплуатации деталей металлургического оборудования проводилось в рамках контракта на металлургическом комбинате POSCO (Республика Корея) кузнечно-прессовой и штамповой оснастки – на ПРУП «МЗАЛ им. П.М.Машерова», РУПП ОСЗ «Красный борец»

**Аппаратура контроля структуры белого чугуна в малогабаритных отливках
массового производства перед отжигом на ковкий чугун
(ОИМ НАН Беларуси)**



Прибор магнитного неразрушающего контроля структуры чугунных изделий массового производства «МАКСИ – П (портативный)»



Автоматизированная линия контроля отливок ниппелей в цехе ковкого и серого чугуна Минского завода отопительного оборудования.
Производительность линии свыше 50 000 отливок в сутки

*Рис. 5. Работы по литейно-металлургической тематике
Объединенного института машиностроения НАН Беларуси*

Большой объем работ по созданию прогрессивных металлургических технологий и оборудования выполняется в **Физико-техническом институте НАН Беларуси**.

Так, в 2013 году завершена разработка, позволившая впервые в Беларуси ввести в промышленную эксплуатацию электродуговую печь постоянного тока ДППТУ-6 с основной футеровкой. Использование нового плавильного агрегата позволило существенно уменьшить вредные выбросы в атмосферу, сократить продолжительность плавки, уменьшить угар легирующих элементов, сократить удельный расход электроэнергии, электродов, улучшить структуру и свойства выплавляемых сплавов. На ОАО «Бобруйский машиностроительный завод» создан специализированный участок термической обработки отливок из высокохромистых сплавов, обеспечивающей улучшение обрабатываемости и высокую износостойкость деталей насосов.

Большое внимание уделяется созданию способов и технологий обработки материалов с использованием отходов и побочных продуктов действующих производств. Разработаны и внедрены на Минском моторном заводе комплексные процессы переработки стружки литейных алюминий-

вых сплавов, переработки шлака, образующегося в результате переплава алюминия и стружечных алюминиевых отходов, широкая линейка огнеупорных покрытий, теплостойких футеровочных материалов, огнеупорных формовочных смесей и технологий их получения для индукционных печей. Созданы производственные участки по переработке стружки объемом более 500 т в год и шлака объемом более 100 т в год, что обеспечило экономию энерго- и материальных ресурсов, сокращение объемов использования дорогостоящих покупных шихтовых материалов, снижение себестоимости отливок. Участок по переработке стружки на Минском моторном заводе показан ниже, на рис. 7 в подразделе «Термические производства».

В области малотоннажной металлургии ФТИ НАН Беларуси с использованием собственных разработок выполняются договоры по переделу и аффинажу отходов высокочистых цветных металлов, в том числе благородных, и изготовлению продукции, по характеристикам не уступающей изготовленной из первичного металла. Выполняемые работы по договорам с ОАО «Интеграл», ОАО «Завод Оптик», ОАО «Борисовский завод агрегатов» ежегодно обеспечивают экономический эффект от импортозамещения более 1 млрд руб.

ОАО «УПНР» Минпрома Республики Беларусь разработана схема модернизации дуговых сталеплавильных печей с переводом их на цифровую систему управления. В 2011 году проведена модернизация таких печей (минские тракторный и автозавод, Бобруйский и Мозырский машиностроительные заводы). Экономия электроэнергии на одной печи составила 250–700 кВт·ч.

Продолжаются работы по созданию технических нормативно-правовых актов в литейном производстве. Так **Белорусским государственным институтом стандартизации и сертификации (БелГИСС)** в рамках реализации Программы стандартизации введен в действие целый ряд стандартов по литейному производству.

Ряд серьезных работ в области порошковой металлургии и упрочняющих технологий выполнен **Белорусским республиканским НПО порошковой металлургии НАН Беларуси**. Результаты этих работ являются предметом отдельного рассмотрения и в настоящем докладе не представлены.

К отмеченным разработкам можно добавить примеры заданий ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия» (подпрограммы «Металлургия») (итоги 2011–2013 гг. и планы на 2014–2015 гг.).

Так в 2011–2013 гг. разработаны:

- методики для моделирования процессов течения металла в литниковых системах, позволяющие учесть дополнительные фильтрующие элементы, используемые для повышения качества литья; критерии для комплексной оценки процессов течения металла в литниковых системах, в том числе с фильтрующими элементами (БНТУ);
- научные и технологические основы получения методом электрошлакового литья в комбинированные формы высококачественных литых армированных деталей с повышенной ударной вязкостью; технология электрошлакового литья в комбинированные формы отливок, не имеющих традиционных литников и прибыльных частей; лабораторные технологии получения деталей для центробежных дробилок с использованием технологии электрошлакового переплава (ИТМ НАН Беларуси);
- лабораторные технологии получения литьем свинцовых элементов радиационной защиты из вторичного сырья. Создано программное обеспечение, позволяющее адекватно моделировать процесс теплообмена при формировании свинцо-

вой отливки при литье в металлическую форму (кокиль). Определены технологические параметры оборудования и режимы литья в кокиль и изложницу отливок из вторичного свинца (ИТМ НАН Беларуси);

- методология получения крупногабаритных отливок с применением компьютерных программ «Полигон» и «ProCAST». Использование предварительного виртуального моделирования сокращает время разработки и позволяет прогнозировать возможность возникновения дефектов, которые нельзя обнаружить иным способом (ОИМ НАН Беларуси).

В рамках подпрограммы «Металлургия» в 2014–2015 гг. будут разработаны:

- технологические основы получения литьем в кокиль цельебсов (мельющих тел) из износостойких марок чугунов с использованием вторичного сырья; электрошлакового литья деталей с повышенной ударной вязкостью по схеме с непрерывным переливом жидкого металла (ИТМ);
- технологические основы литья деталей для горнопроходческих комбайнов; методы управления структурой заэвтектического высокохромистого чугуна для увеличения износостойкости быстроизнашиваемых деталей типа лопаток дробебетных машин (БНТУ);
- методология и технология получения песчаных литейных форм с использованием наноматериалов (БНТУ, ИПМ);
- технологические процессы изготовления литейных стержней для условий многономенклатурного производства чугунных отливок сельхозмашиностроения (ГГТУ);
- литые композиционные сплавы с управляемыми триботехническими свойствами за счет формирования наноструктурных образований в поверхностном слое (БНТУ, ОИМ);
- технологические режимы непрерывной разливки легированных сталей с широким температурным интервалом кристаллизации с целью снижения ликвации и осевой пористости; прямого восстановления, легирования и модифицирования железоуглеродистых сплавов; предварительного подогрева металлошихты с целью увеличения производительности плавильных печей и энергосбережения (БНТУ);
- методология и технология получения антифрикционных наноструктурированных сплавов системы цинк – алюминий – медь (БНТУ, ИПМ);
- технологии литья полых цилиндрических заготовок из силуминов для подшипников скольжения взамен аналогичных из бронзы (ИТМ, БНТУ);

– технологические параметры изготовления отливок со сложной конфигурацией из алюминиевых сплавов для трансмиссий дорожной и коммунальной техники (ОАО «БЕЛНИИЛИТ»);

– технологические процессы формирования локальных упрочненных зон с повышенной износостойкостью и термостойкостью в литых изделиях из алюминиевых сплавов (ИПМ).

Вопросы развития литейных производств республики, в частности предприятий холдинга «Белорусская металлургическая компания» обсуждались на втором заседании Совета научно-производственного центра «ОАО «БМЗ» — управляющая компания холдинга «БМК» — Национальная академия наук Беларуси», а также повторно будут рассмотрены на третьем заседании Совета НПЦ.

По направлению термических производств

В 2011–2012 гг. Институтом тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси совместно с Филиалом ЗАО «АТЛАНТ» — Барановичским станкостроительным заводом (БСЗ) было разработано и изготовлено 5 опытных образцов электропечей сопротивления для термообработки металла. В течение 2013 г. – I кв. 2014 г. БСЗ изготовлено и поставлено белорусским заказчиком еще 19 электропечей сопротивления, созданных на базе разработанных опытных образцов. Помимо этого, несколько электропечей было поставлено на экспорт в Российскую Федерацию. Среди них печи шахтные, камерные, с выкатным подом, конвейерные (рис. 6). В 2013 г. Институтом также разработан и изготовлен ряд образцов печ-

ного оборудования. В рамках прямого хозяйственного договора с Институтом порошковой металлургии была разработана и изготовлена трехстендовая колпаковая электропечь сопротивления с защитной атмосферой СГЗ 7.8/10-И1. Указанная печь являлась основным элементом линии спекания фрикционных дисков, которая в рамках внешнеторгового контракта была поставлена в Республику Вьетнам. Для собственных нужд за счет собственных средств Институтом была изготовлена камерная электропечь сопротивления СНО 6.12.4/11, которая в настоящее время эксплуатируется на термическом участке опытного производства Института. В рамках выполнения бюджетного задания был разработан и изготовлен экспериментальный образец газопламенной толкательной проходной печи производительностью до 100 кг/ч, предназначенной для нагрева стальных заготовок перед ковкой или штамповкой.

Отечественные образцы печей, разработанные ИТМО им. А.В. Лыкова НАН РБ, Филиалом ЗАО «АТЛАНТ» — БСЗ, позволяют повысить коэффициент полезного действия в зависимости от режимов работы и загрузки в 2–4 раза для газовых печей и в 1,5–2 раза для электрических. Срок окупаемости такого оборудования при текущих ценах на энергоносители — от 8 месяцев до 4 лет в зависимости от типа оборудования и режима его работы. Удельное энергопотребление на 30–50 % ниже, чем у аналогов, работающих в РБ. Система управления печей обеспечивает архивирование и запись параметров работы, создание архивов аварийных ситуаций, управления с удаленного места оператора-термиста. При организации масштабного производства печей их стоимость ниже, чем зарубежных аналогов.

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси и Барановичский станкостроительный завод ЗАО «Атлант»



**Электropечи сопротивления шахтные
(Филиал ЗАО «Атлант» – БСЗ и ИТМО имени А.В. Лыкова)**



СШО-6.6/9

Предназначена для использования в операциях отпуска металлов при температуре до 700 °С в окислительной среде.

Размеры полезного рабочего пространства электropечи:

диаметр – 800 мм; высота – 1200 мм.
Максимальная масса садки – 600 кг.



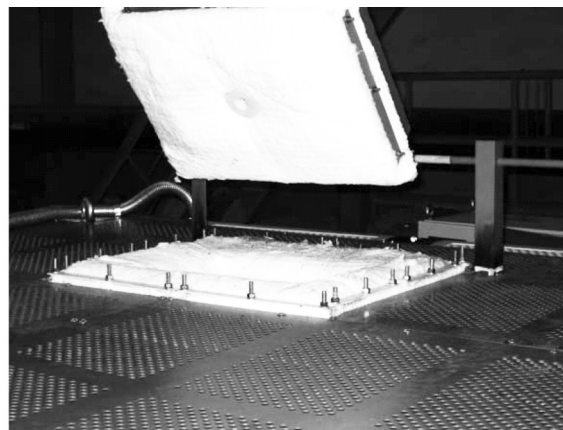
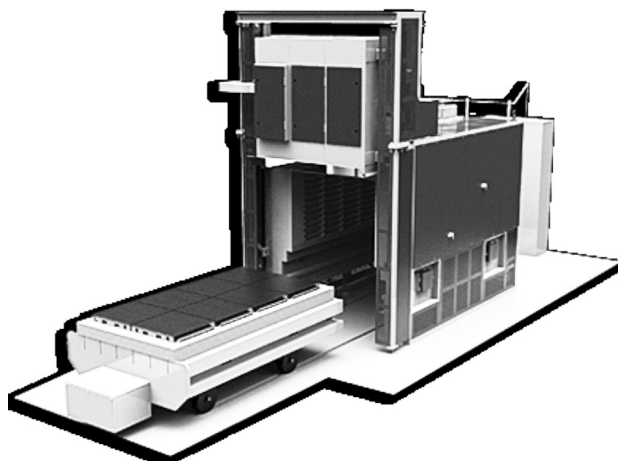
СШО-8.12/7

Предназначена для использования в операциях термообработки металлов при температуре до 900 °С.

Размеры полезного рабочего пространства электropечи:

диаметр – 600 мм; высота – 600 мм.
Максимальная масса садки – 350 кг.

**Электropечь сопротивления с выкатным подом СДО-10.20.8/11
(Филиал ЗАО «Атлант» – БСЗ и ИТМО имени А.В. Лыкова)**



Электropечь предназначена для использования в операциях термообработки металлов при температуре до 1100 °С в окислительной среде.

Размеры полезного рабочего пространства электropечи:
ширина — 1000 мм; длина — 2000 мм; высота — 800 мм.
Максимальная масса садки — 1500 кг.

**Модернизация термической камерной газопламенной печи
(ЗАО «Атлант» Барановичский станкостроительный завод)**



Печь рассчитана на термообработку 15 т металла. КПД печи при номинальной загрузке составляет 46 %, что соответствует лучшим мировым аналогам. После модернизации удельный расход природного газа на термообработку металла уменьшился в 4–5 раз



Металл после термообработки
в модернизированной печи
(процесс нормализационного отжига)

Электropечи сопротивления камерные



СНО-8.15.6/11-02

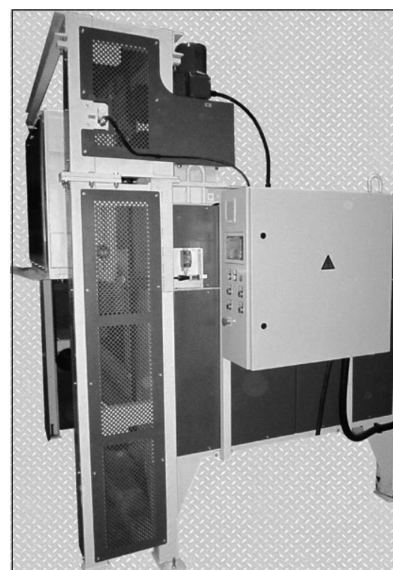
Электropечь предназначена для использования в операциях термообработки металлов при температуре до 1100 °С в окислительной среде (нагрев под закалку, нормализация). Размеры полезного рабочего пространства электropечи: ширина – 800 мм; длина – 1500 мм; высота – 600 мм.

Максимальная масса садки – 600 кг.



Компоновка

СНО-8.10.4/12



Компоновка

Электродпечь предназначена для использования в операциях термообработки металлов при температуре до 1200 °С .
 Размеры полезного рабочего пространства электродпечи: ширина – 800 мм; длина – 1000 мм; высота – 400 мм. Максимальная масса садки – 300 кг.

**Электродпечь конвейерная СКЗ-4.20.1/11.01
 (Барановичский станкостроительный завод)**



Камера нагрева предназначена для безокислительного отжига или нормализации нержавеющей и малоуглеродистых сталей и пайки твердым припоем стальных изделий в защитной атмосфере с максимальной температурой нагрева до 1150°С, в составе электрической конвейерной печи СКЗ-4.20.1/11.
 Размеры полезного рабочего пространства электродпечи: ширина – 400 мм; длина – 2000 мм; высота – 100 мм. Максимальная масса садки, расположенной на одном метре конвейерной ленты при равномерной ее загрузке по всей ширине – 17 кг.

Рис. 6. Образцы электродпечей сопротивления для термообработки металла производства Филиала ЗАО «Атлант» – БСЗ и ИТМО имени А.В. Лыкова

По-прежнему актуальной для предприятий проблемой является использование токов высокой частоты для нагрева и термообработки деталей и полуфабрикатов машиностроения. Созданный в **Физико-техническом институте НАН Беларуси** Научно-исследовательский центр «Индукционные технологии и проблемы термической обработки» специализируется на разработке и изготовлении высокочастотных генераторов в модульном исполнении с частотой от 2,4 кГц до 66 кГц и мощностью до 250 кВт, автоматизированных установок индукционного нагрева для термообработки и нагрева под деформацию металлов и сплавов, вспомогательного оборудования, систем управления индукционным термическим оборудованием на базе современных промышленных контроллеров, сертификации, монтаже и наладке оборудования индукционного нагрева. Использование индукционного нагрева обеспечивает снижение энергопотребления до 3,8 раза за счет высокого к.п.д. установки (97 %) по сравнению с машинным генератором (60–70 %) и исключения энергопотребления на холостом ходу.

Для оснащения опытного производства и организации рабочих мест закуплено оборудование за счет средств инновационных фондов Мингорисполкома и НАН Беларуси. Получен Сертификат Белорусской торгово-промышленной палаты на реализацию продукции собственного производства — установок индукционного нагрева для плавки, термообработки и нагрева металла под пластическую деформацию, а также преобразователей частоты.

Разработки успешно осваиваются в производстве. В 2013 году проведен запуск в кузнечном цехе ОАО «МАЗ» технологического комплекса автоматизированного индукционного оборудования для нагрева под пластическую деформацию на горизонтально-ковочной машине с объемом выпуска деталей до 400 000 в год. Там же внедрены технология и оборудование для поверхностной термообработки деталей автомобильной техники с потенциальным годовым объемом обработки около 140 000 деталей. Создание специализированного производства полупроводниковых генераторов и автоматизированных комплексов скоростного нагрева позволит удовлетворить потребность предприятий Республики Беларусь в индукционном оборудовании и за счет импортозамещения ежегодно экономить бюджетные средства на сумму не менее 3–5 млн долл. США. С 2014 г. в соответствии с графиком, утвержденным Минпромом Республики Беларусь, на пред-

приятия отрасли будет ежегодно поставляться не менее 10 автоматизированных комплексов.

В направлении создания генераторов индукционного нагрева работает также **Научно-практический центр НАН Беларуси** по механизации сельского хозяйства. Центром разработан полупроводниковый генератор для электро-термической ТВЧ технологии мощностью до 250 кВт и в период 2008–2013 гг. изготовлено и установлено на 9 предприятиях страны 32 единицы (ОАО «МТЗ» — 10 шт.; ОАО «МАЗ» — 8 шт.; ОАО «Бобруйскагроماش» — 6 шт.; ОАО «Барановичский агрегатный завод» — 3 шт. и др.).

В Физико-техническом институте НАН Беларуси расширяются работы по созданию оборудования и технологий ионно-плазменного азотирования (ИПА), позволяющих осуществлять упрочнение деталей с широким диапазоном габаритов — длиной до 3 м, сократить продолжительность обработки в 2–5 раз, расход рабочих газов в 20–100 раз, удельные затраты электроэнергии на формирование упрочненного слоя в 2–3 раза по сравнению с традиционным газовым азотированием. Обеспечивается толщина модифицированного слоя за время 10 ч — 0,5 мм и твердость поверхности HV — 450–1250 в зависимости от марки стали. В созданном оборудовании благодаря применению оптимальной системы теплозащиты удельные энергозатраты ниже на 15–20 %, чем в зарубежных аналогах. Как показывает мировой и собственный опыт применения этой технологии, экономический эффект обеспечивается благодаря снижению расхода электроэнергии, рабочих газов, сокращению трудоёмкости изготовления изделий из-за существенного уменьшения (или полного исключения) объема шлифовальных работ, повышению качества продукции. Начато серийное производство установок ИПА, технический уровень и стоимость которых позволяют успешно конкурировать, например, с такими известными фирмами, как PLATEG GmbH и ELTRO GmbH (Германия). В последние годы изготовлено промышленное оборудование азотирования в тлеющем разряде для многих промышленных предприятий Беларуси (Минского завода шестерен, Минского завода колесных тягачей, ОАО «Могилевлифтмаш», Белорусского автомобильного завода, Минского автомобильного завода, ПО «Гомсельмаш»), высших учебных заведений для использования в учебном процессе, осуществлены экспортные поставки в Россию.

Примеры литейного и термического оборудования ФТИ НАН Беларуси показаны на рис. 7.

Физико-технический институт НАН Беларуси



Переработка и использование алюминиевых отходов для приготовления сплавов двигателестроения методами литья



Создан комплекс устройств для сушки стружечных отходов объемом более 1 тыс. т в год, ее сепарирования от магнитных и слабомагнитных включений, что позволило:

- повысить выход годного металла до 92–95 %;
- исключить возгорание стружки при переплаве;
- интенсифицировать механическое диспергирование стружки при получении изделий с использованием алюминиевого порошка.

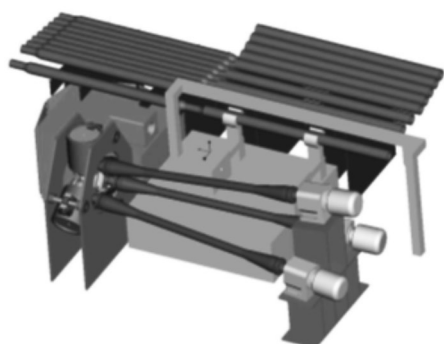
Организован участок на РУП «Минский моторный завод» по переработке алюминиевой стружки и получению отливок ответственных изделий машиностроения. Это позволило использовать в производстве весь объем образующейся на предприятии алюминиевой стружки в составе шихты взамен дорогостоящих покупных шихтовых материалов

**Полупроводниковые преобразователи частоты,
предназначенные для замены машинных генераторов**

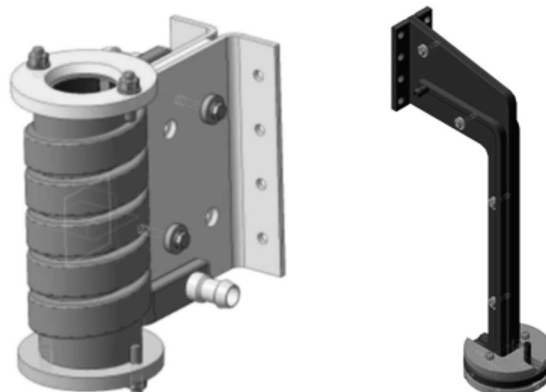


Возможность изменения частоты и напряжения в процессе работы (от номинальной по паспорту в 2 кратном интервале), бесшумность в работе, отсутствие потребления электроэнергии на холостом ходу, высокий КПД (до 95 %); наличие системы контроля, управления и защиты

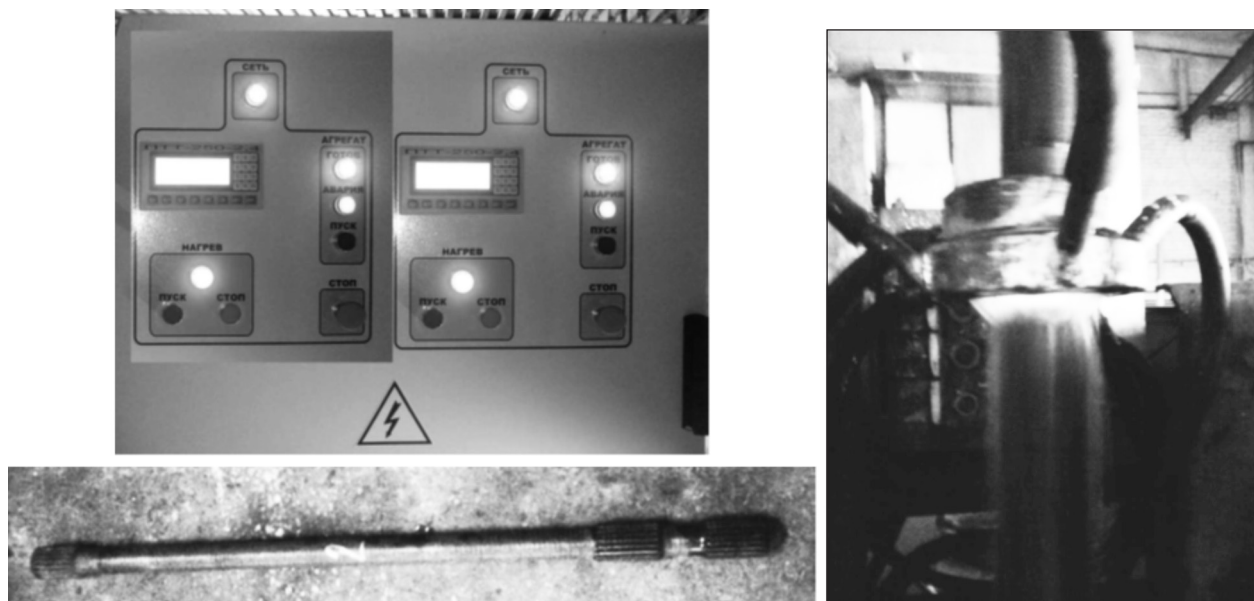
Автоматизированный комплекс для концевой формообразования трубных заготовок



Разработка и изготовление индукторов



**Автоматизированная установка для закалки
деталей автомобильной техники для ОАО «МАЗ»**



Выполнена на современной элементной базе взамен машинных генераторов.
Экономия электроэнергии составит до 20 000 кВт/ч в год за счет высокого к.п.д. (до 97 %) и исключения
потребления на холостом ходу. Срок окупаемости – 2,5-3 года.
Начиная с 2014 года по данной технологии будет выпускаться около 140 000 деталей

**Оборудование ионно-плазменного азотирования
ФТИ НАН Беларуси, 2012 г.**



Комплекс с изменяемой геометрией рабочей камеры
(высота загрузки - 1,4 или 3,0 м)

*Рис. 7. Создание прогрессивных металлургических технологий и оборудования
в Физико-техническом институте НАН Беларуси*

ГП «Институтом НИИСМ» совместно с Физико-техническим институтом НАН Беларуси и другими организациями республики выполнен ряд работ по созданию тепло- и жаростойких материалов, использование которых возможно при модернизации печного оборудования. В 2010 г. в рамках задания ГНТП «Строительные материалы и технологии» проведены исследования, разработана и внедрена технология производства изделий из жаростойкого бетона для футеровки печных вагонеток; которая была внедрена на ОАО «Тепломонтаж». В настоящее время линия по производству изделий из жаростойкого бетона передана на ОАО «Радощковичский керамический завод», где в 2013 г. проводились работы по установке оборудования. В четвертом квартале 2013 г. на этом предприятии изготовлено 240 шт. (3 м³) изделий пода для собственного потребления взамен импортируемых из РФ жаростойких изделий. Ведутся работы по расширению ассортимента изделий.

В 2013 г. этим Институтом завершены исследования по разработке технологии производства сухих жаростойких смесей на основе вторичного шамота для возведения и ремонта тепловых агрегатов с температурой эксплуатации до 1200 °С (задание ГНТП «Строительные конструкции, материалы и технологии»); разработка внедрена на ООО «ПарадСтройХим».

По результатам выполненного Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси совместно с Физико-техническим институтом НАН Беларуси мониторинга используемых на предприятиях республики огнеупорных материалов, применяемых в том числе для футеровки нагревательного оборудования (данные более чем 20 крупнейших предприятий Минпрома Республики Беларусь), ежегодная потребность в таких материалах составляет около 20 тыс. т в год. Ежегодные затраты на их приобретение (без предприятий Минстройархитектуры и Минэнерго) составляют 15–20 млн долл. США. Объем отходов при этом (с учетом всех завезенных материалов) составляет сотни тысяч тон. Составлены перечни теплоизоляционных материалов, производимых организациями республики, а также опытного модернизируемого печного оборудования для применения отечественных материалов. Показано, что расширение производства отечественного печного оборудования, модернизация действующего, сдерживается высокой стоимостью ввозимых из-за рубежа материалов и комплектующих изделий. Поэтому актуальна задача получения и

производства собственных теплоизоляционных и огнеупорных материалов. При этом показана важность проведения работ по рециклингу ввозимых огнеупорных материалов.

Совместно с Физико-техническим институтом НАН Беларуси Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси разработана новая экономно легированная сталь для зубчатых колес трансмиссий автотракторной техники с модулем 4–6 мм. Предложены режимы технологического процесса химико-термической обработки зубчатых колес из новой стали в камерных печах «Ipsen» и вакуумных печах «ModulTherm 7/1» фирмы «ALD Vacuum Technologies GmbH» (Германия). Определены эксплуатационные характеристики зубчатых колес из опытной экономно легированной стали. Показано, что зубчатые колеса из стали 20ХГНМБ обладают повышенным запасом выносливости и могут быть применены в коробках передач тракторов «Беларус» с мощностью 130–300 л.с. при обеспечении ресурса не менее 10 тыс. моточасов. Результаты работы использованы на ОАО «МТЗ» при изготовлении 150 коробок передач в составе тракторов «Беларус-1221». Примеры деталей показаны на рис. 5.

Ряд работ металлургического направления связан с созданием упрочняющих технологий для стальных деталей широкой номенклатуры (рис. 8). Так, **Белорусским государственным аграрным техническим университетом** с использованием печного и индукционного нагрева, термопластической обработки на станах продольной и поперечной прокатки, диффузионного намоораживания износостойких сплавов освоено комплекс технологий изготовления сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих, посевных и кормоуборочных машин. Начиная с 2009 г. изготовлено около 54000 изделий, в том числе оборотных долот 45119 шт., лемехов 5370 шт., ножей измельчающих аппаратов 752 шт., ножей косилочных 1000 шт., дисков лушительных 200 шт., зубьев роторных борон 680 шт. (суммарной стоимостью около 1,2 млрд руб.). Переоснащение термических участков предприятий, изготавливающих детали (ПРУП «Минский завод шестерен», ОАО «Брестский электромеханический завод», ОАО «Бобруйскагропромаш», ОАО «Оршаагропромаш», ОАО «Лидсельмаш» и др.), ведется с использованием отечественного оборудования: транзисторных генераторов для индукционного нагрева (НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства), нагревательных печей (ЗАО

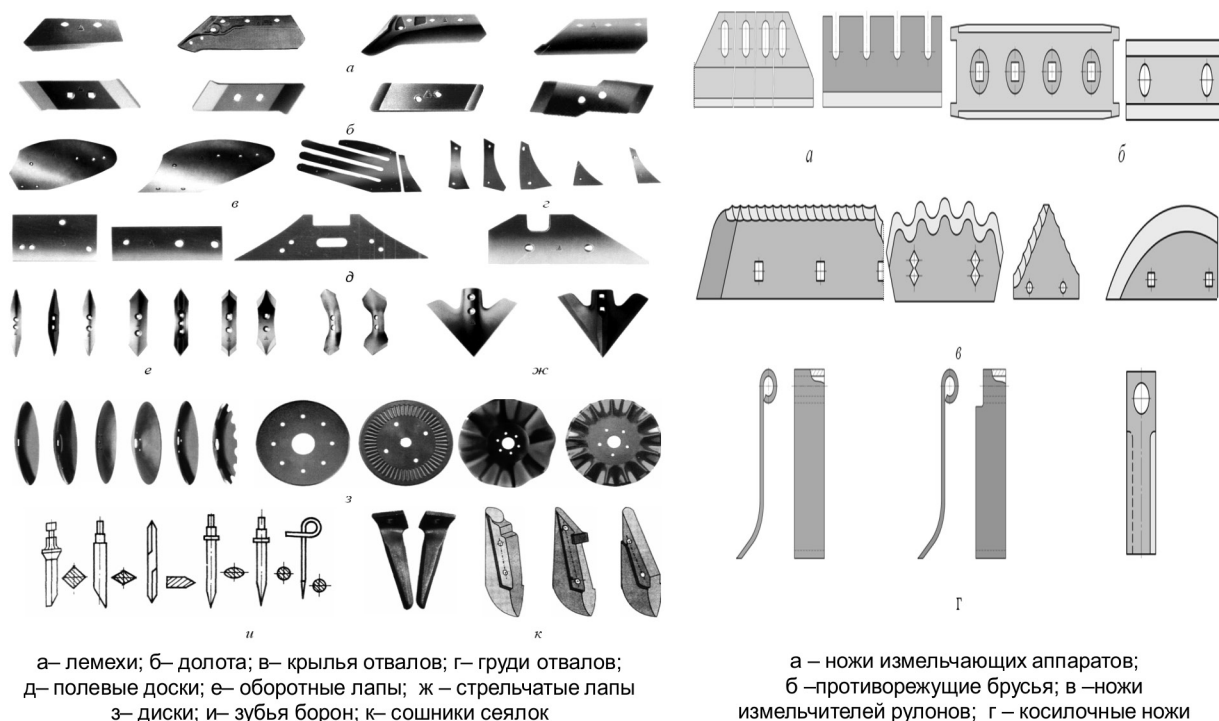
«Атлант» БСЗ) станов продольной и поперечной прокатки (Физико-технический институт НАН Беларуси).

Этим университетом завершены работы по модернизации термических производств ОАО «Минский Агросервис» и ОАО «Витебский МРЗ» и налаживанию выпуска сложнопрофильных деталей (дисков, ножей, копачей) с применением закалки импульсным охлаждением жидкостью.

Планом внедрения в 2014 г. намечен выпуск продукции на сумму 1,24 млрд руб. В текущем году выполняется договор на сумму 320,0 млн руб. с ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш», предусматривающий разработку и освоение нового технологического процесса и закалочных устройств для упрочнения диска роторов и основания башмаков режущего бруса косилок.

Белорусский государственный аграрный технический университет





а– лемехи; б– долота; в– крылья отвалов; г– груди отвалов;
д– полевые доски; е– оборотные лапы; ж – стрелчатые лапы
з– диски; и– зубья борон; к– сошники сеялок

а – ножи измельчающих аппаратов;
б –противорежущие брусья; в –ножи
измельчителей рулонов; г – косилочные ножи

Внедрение – КЗТШ, МЗШ, МТЗ, «Лидсельмаш», «Амкодор» и др.
(всего около 100 тыс. изделий)

Рис. 8. Типовые представители сменных деталей почвообрабатывающих, посевных и кормоуборочных агрегатов

Белорусским государственным технологическим университетом разработана и внедрена ресурсосберегающая технология термической обработки стальных изделий в безмасляных охлаждающих средах. Освоен выпуск водоакриловой охлаждающей среды, потребителями которой являются предприятия Министерства промышленности Республики Беларусь: ЗАО «Гомельский вагоностроительный завод», РУП «СТРОММАШ» (г. Минск), ОАО «Дрогичинский трактороремонтный завод», ОАО «Амкодор» (г. Минск). Изготовлено и реализовано 1500 кг эмульсола охлаждающей среды на сумму 27,675 млн руб. Закалка в водно-акриловых средах обеспечивает высокое качество изделий по структуре и механическим показателям, исключается эффект смачивания полимером поверхности деталей и его налипания на деталь. Стоимость рабочего состава

закалочной среды на порядок ниже стоимости охлаждающих сред из минеральных масел, срок эксплуатации значительно выше. При этом отсутствует проблема утилизации отходов.

Использование разработанной БГТУ технологии боросилицирования вместо цементации конических зубчатых колес переднего моста трактора ТТР-401 обеспечивает снижение энергозатрат на проведение ХТО в 2,0–2,5 раза за счет сокращения времени обработки. Проведены производственные испытания упрочненных зубчатых колес трелевочного трактора в ГЛХУ «Воложинский лесхоз». Разработанные процессы поверхностного упрочнения использованы для изготовления деталей лесных машин, работающих в условиях интенсивного изнашивания в ОАО «Плещеницлес», ГЛХУ «Ганцевичский лесхоз».

По направлению гальванических производств

Предприятием «Стеклопласт» (г. Гродно) осуществляется изготовление, поставка и монтаж полнокомплектных механизированных и автоматизированных линий, а также очистных сооружений. За 2009–2013 гг. внедрено на предприятиях республики более 20 образцов гальванического оборудования. Например, суммарное ресурсопотребление гальванических линий этого предприятия в большинстве случаев в 3–5 раз ниже большинства действующих аналогов. При этом снижается потребление воды на промывные операции в 10–100 раз. В отдельных случаях удается организовать бессточную систему промывки, свести до минимума затраты на обезвреживание отработанных растворов и очистку стоков, повысить качество наносимых покрытий. В области экологии предприятие проектирует, изготавливает, поставляет и запускает любые очистные сооружения для гальванического производства, химической, электронной, радиотехнической и других отраслей промышленности со всем оборудованием автоматизации. Пример гальванической линии производства ОАО «Стеклопласт» показан на рис. 9.

В 2013–2014 гг. ООО «Стеклопласт» изготовило, смонтировало и ввело в эксплуатацию в Республике Беларусь следующее оборудование:

гальванические ванны на ОАО «АГАТ-системы управления» — управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления»; ОАО «Амкодор» — управляющая компания холдинга, ОАО «МНИПИ», ЧУП «Эфатон», ООО «БелТИЗ», ОАО «МТЗ»; гальванические линии на ОАО «ВЗЭП», ОАО «ВолМет»; барабан гальванический в Институте порошковой металлургии НАН Беларуси и автооператор для гальванических линий на УП «ФильтрБелТИЗ».

Заклучены договоры с ОАО «МЭТЗ» им. Козлова на изготовление и поставку автоматизированной гальванической линии для оцинкования в барабанах и на подвесках (2 комплекта); механизированной гальванической линии для нанесения покрытия сплавом олово-висмут и химического пассивирования деталей из меди и ее сплавов; установки для обезжиривания деталей с межоперационной пассивацией; станции очистки сточных вод гальванического производства.

ООО «Стеклопласт» подготовило предложения по поэтапной реконструкции собственными силами гальванических производств страны.

Кстати, в республике освоено производство энергоэффективных выпрямителей для гальванотехники, которые по габаритам и весу в 5–7 раз меньше применяемых аналогов, позволяют достичь 10–20 % экономии электроэнергии (предприятие УПНР Минпрома РБ).

ООО«Стеклопласт» (г. Гродно)



Гальванические технологии и оборудование

ООО «Стеклопласт (г. Гродно) выполняет изготовление, поставку и монтаж гальванического оборудования для предприятий республики. Всего изготовлено более 20 линий.

Проводятся работы по реконструкции действующих гальванических производств.

Суммарное ресурсопотребление линий в 3–5 раз ниже большинства действующих аналогов.

Потребление воды снижается в 10–100 раз.



Рис. 9. Гальваническая линия РУП «Пружанский завод радиодеталей» до и после реконструкции

Важно отметить, что **Белорусским государственным технологическим университетом** (рис. 10) подготовлено около 1000 специалистов по специальностям гальванических производств. Выполнен комплекс исследований и разработок по созданию эффективных процессов электрохимического осаждения металлов и сплавов, очистки электролитов, создания композиционных покрытий, а также по проектированию и реконструкции гальванических производств, схем рекуперации электролитов. БГТУ является головной организацией по подпрограмме (ГПНИ) «Гальванические технологии и оборудование».

Университетом завершена разработка технологии нанесения композиционных электрохимических покрытий никель – алмаз с применением импульсного электролиза. Технология позволяет изготавливать алмазный режущий инструмент, как для промышленности, так и для стоматологии (шлифовальные, отрезные круги, головки, сверла, стоматологические боры и т.п.). При этом достигнуты в 5–10 раз более высокие скорости осаждения покрытия, его толщина увеличена до 400 мкм. В настоящее время данная технология внедряется на НПООО «Система».

Разработаны также технологии нанесения композиционных электрохимических покрытий на основе железа и хрома с включением нано-

структурированного углерода. Железные покрытия имеют микротвердость до 950 HV, обладают существенно увеличенными коррозионной стойкостью и адгезией к стальной основе, отсутствием растрескивания. Нанесение покрытий на автомобильные штоки амортизатора позволяет осажать хром с меньшими в 2 раза энергетическими затратами, повышенной до 1120–1250 HV микротвердостью, коэффициентом сухого трения до 0,05–0,07 и коррозионной стойкостью в камере соленого тумана свыше 160 ч, толщиной 20 мкм и более.

Разработаны новые составы цветных покрытий из гальванических шламов. Использование в составах разработанных материалов осадков сточных вод гальванических производств позволит экономить традиционные виды сырья, снизить энергозатраты для производства продукции и ее себестоимость, а также решает проблемы охраны окружающей среды. Разработаны составы цветных глазурных покрытий для декорирования плиток для полов, показана эффективность использования осадков сточных вод гальванического производства МТЗ в количестве 15–19 мас. %. Применение железосодержащих осадков МТЗ позволяет не только утилизировать образуемые отходы, но и заменить дорогостоящие пигменты при получении глазурей.

Белорусский государственный технологический университет



Подготовлено около 1000 специалистов по специальностям гальванических производств. Выполнен комплекс исследований и разработок по созданию эффективных процессов электрохимического осаждения металлов и сплавов, очистки электролитов, создания композиционных покрытий, а также по проектированию и реконструкции гальванических производств, схем рекуперации электролитов. БГТУ – головная организация по подпрограмме ГПНИ «Гальванические технологии и оборудование»

**Учреждение Белорусского государственного университета
«Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»
(НИИ ФХП БГУ)**



Разрабатывает и поставляет предприятиям страны композиции для электролитов никелирования; создает технологии нанесения защитных органических пленок, покрытий на контакты и печатные платы; процессы осаждения композиционных покрытий на алюминий и т.п.

Рис. 10. БГТУ и НИИ ФХП БГУ – ведущие организации страны по созданию и совершенствованию технологий нанесения гальванических покрытий

В области гальваники для приборостроения работает учреждение **БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем»** (рис. 10) в рамках договоров поставки институт обеспечивает предприятия, на которых внедрена разработанная в институте технология получения покрытий из сплава никель – бор, концентратами для приготовления электролитов.

Из последних разработок института можно отметить:

- процесс нанесения защитных органических пленок, обеспечивающих антикоррозионную защиту и сохранение паяемости меди во времени, а также технологии травления печатных плат. В 2013 г. по разработанной технологии на «Минском часовом заводе» выпущено печатных плат на сумму 4248,5 млн руб.;

- технологию нанесения покрытий на основе сплавов никеля на контакты и печатные платы, используемые в приборостроении. В 2014 г. завершаются хозяйственные договора с ЧТУП «Вим-Электротрейд». Разработанная технология представляет интерес для ОАО «Коралл» (Гомель), НТЦ «Белмикросистемы» ООО «ИНТЕГРАЛ»;

- технологии электрохимического и химического бесподслоного осаждения композиционных покрытий $Cu-SnO_2$ и $Ni-P-SiO_2$ на алюминий из устойчивых растворов, содержащих нанокристаллические SnO_2 или SiO_2 , либо золь диоксида олова;

- экспериментальные образцы покрытий из висмута сплавов на основе свинца и двухслойного покрытия висмут/сурьма, предназначенные для защиты электронных приборов и микросхем от радиационных воздействий. Совместно с ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению» проведены испытания на эффективность экранирования от высокоэнергетических электронов приборов микроэлектронной техники различными покрытиями из тяжелых металлов и сплавов.

Исследования НИИ ФХП БГУ и БГТУ, направленные на разработку технологий химического и электрохимического осаждения металлов, сплавов, композиционных покрытий, представляют интерес для предприятий России, о чем свидетельствует заключение ряда контрактов.

По направлению кузнечно-прессовых производств

Мониторинг кузнечно-прессовых технологий и оборудования предприятий Республики Беларусь, проведенный в 2011–2013 гг. в рам-

ках подпрограммы «Металлургия» позволил систематизировать информацию о имеющихся на предприятиях производствах и оборудовании различных видов, его загруженности, энергопотреблении, а также о производителях оборудования (отечественные или зарубежные), годах его выпуска, техническом состоянии (процент износа) и о необходимости его замены или модернизации. Информация по данному вопросу представлена Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси Министерству промышленности Республики Беларусь 11.03.14 г.

В рамках подпрограммы «Металлургия» в 2011–2013 гг. начаты работы по тематике обработки металлов давлением, например, разработаны ресурсосберегающая технология изготовления заготовок подрессорника большегрузных автомобилей МАЗ (БНТУ); технологические основы изготовления заготовок крупногабаритных подшипников с использованием метода кольцераскатки; стратегия кольцераскатки, заключающаяся в получении готового кольца с одного нагрева; выбрано оптимальное соотношение геометрических параметров заготовки кольца на всех операциях изготовления (ОИМ НАН Беларуси).

Примеры разработок в 2014–2015 гг.:

- технологии обжима концевых участков толстостенных длинномерных труб и холодной радиальной штамповки мелкомодульных зубчатых соединений на валах (БНТУ);

- технологические основы изготовления поковок с удлиненной осью и валов с повышенными массогабаритными характеристиками (ФТИ);

- технологические основы изготовления заготовок крупногабаритных высоконагруженных элементов обода колес карьерных самосвалов с использованием метода кольцераскатки (ОИМ).

В 2014 году Физико-технический институт НАН Беларуси совместно с Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси и Белорусским национальным техническим университетом выполняют для ОАО «БЕЛАЗ» — управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» хоздоговор «Расчетно-экспериментальное обоснование технологических и силовых параметров оборудования кольцераскатного комплекса применительно к номенклатуре кольцевых заготовок карьерных самосвалов» на общую сумму около 800 млн руб.

Физико-техническим институтом НАН Беларуси в 2013 году завершены работы по созданию и внедрению на частном научно-техниче-

ском унитарном предприятии «Сталепрокатная компания» (г. Смолевичи) комплекса оборудования поперечно-клиновой прокатки и технологического процесса формования поковок осесимметричных деталей для серийного выпуска деталей сельскохозяйственной техники сложной многоступенчатой конфигурации. Внедрение разработки обеспечивает снижение в сравнении с технологиями точения затрат на металл до 40 %, расхода электроэнергии до 2 раз, увеличение производительности труда до 4 раз.

Разработаны и освоены технология и оборудование для изготовления высокопрочных деталей почвообрабатывающей и кормоуборочной техники, в т.ч. фрез роторных борон, лап стрельчатых, ножей косилочных и ножей свеклоуборочных комбайнов. Технология основана на прогрессивных методах индукционного нагрева и продольно-поперечной прокатки лезвийных частей рабочих органов сельхозтехники. Создано специализированное оборудование на ОАО «Минский агросервис». Освоено в производстве четыре техпроцесса, что обеспечило увеличение производительности формообразования в сравнении с фрезерованием в 5 раз, снижение стоимости деталей на 25–33 %.

В ФТИ развиваются работы по созданию оборудования и технологий магнито-импульсной штамповки. На крупных предприятиях Минпрома (МЗКТ, БелАЗ, МАЗ), на Минском авиаремонтном заводе созданы участки, оснащенные произведенным в ФТИ оборудованием маг-

нито-импульсной штамповки. Обеспечивается снижение энергопотребления до 3 раз, затрат на штамповую оснастку до 10 раз, сроков подготовки производства до 5 раз. В 2013 г. выполнены экспортные поставки оборудования в Россию, разработаны ресурсосберегающая технология и оборудование для получения комплектующих технических средств реабилитации инвалидов для РУП «Белорусский протезно-ортопедический восстановительный центр», где организован производственный участок, оснащенный магнито-импульсным прессом МИП-10/12.

Этим институтом также разработан базовый технологический процесс нанесения многослойных упрочняющих покрытий на основе карбонитрида циркония и алмазоподобного углерода на детали штамповой оснастки. По данной технологии изготовлены экспериментальные партии вырубных пуансонов для штамповочного прессы К2128Е, которые в условиях реального производства ОАО «Брестмаш» показали увеличение срока эксплуатации в 3,7 раза. Результаты исследований предназначены для предприятий, использующих металлообрабатывающее оборудование (ОАО «Брестмаш» — вырубные пуансоны для штамповочного прессы К2128Е, ООО «Белкард» — накатные ролики СИ-90176 и др.). Разработка имеет большой экспортный потенциал и может быть коммерциализована через заключение контрактов с зарубежными компаниями. В частности, заинтересованность к ней уже проявила корпорация «LG Electronics Inc.».

III. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ДАЛЬНЕЙШЕМУ РАЗВИТИЮ РАБОТ В ОБЛАСТИ ПЕРЕОСНАЩЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ, ТЕРМИЧЕСКИХ, ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ

НАН Беларуси считает целесообразным:

1. Продолжить работы по техническому переоснащению и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств, их научному обеспечению в рамках государственных и отраслевых программ, прямых договоров с ежегодным докладом Правительству о ходе вышеназванных производственных работ и их научного обеспечения.

2. Продолжить разработку новых опытных образцов печного термического и нагревательного оборудования, включая печи с защитной атмосферой; наращивание выпуска печного оборудования силами отечественных производителей (филиал ЗАО «АТЛАНТ» — «БСЗ»), в части

разработки опытных образцов (ИТМО имени А.В.Лыкова НАН Беларуси).

Справочно: По данным анализа (ИТМО НАН Беларуси) общее количество термического и нагревательного оборудования составляет более 1800 единиц (85 % — электрические печи). Средний темп ввода новых электрических печей — 12 шт. в год, газовых — 1–2 в год. Это крайне мало. Необходимо выходить, как минимум, на несколько десятков печей в год. И только для сложных агрегатов, которые нецелесообразно производить в республике, возможна закупка за рубежом.

3. Продолжить импортозамещение на рынке гальванического оборудования предприятий

республики; наращивание выпуска отечественных линий (Минпром, ООО «Стеклопласт» (г. Гродно), Белорусский государственный проектный институт (г. Витебск), БГТУ и др. организации).

Справочно: По результатам мониторинга гальванических производств (БГТУ и НИИ ФХП БГУ) 72 % линий морально и физически устарело. Таких производств в стране более 100.

4. Как в случае печного, литейного, так и гальванического оборудования поэтапно вывести из эксплуатации устаревшие затратные производства; активно решать вопросы кооперации, особенно с учетом создания сети промышленных холдингов; рассмотреть вопросы размещения государственного заказа для предприятий, закупаящих отечественные образцы техники.

5. Расширить использование на предприятиях страны отечественных технологий и оборудования индукционного нагрева (включая транзисторные генераторы) деталей и полуфабрикатов машиностроения; установок ионного азотирования (Физико-технический институт НАН Беларуси, ОАО «Минский автомобильный завод», Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Белорусский национальный технический университет и др. организации страны).

6. Расширить опытное производство и использование при модернизации печного оборудования отечественных теплоизоляционных материалов с использованием местного сырья и вторичных ресурсов; поэтапно решить вопрос сбора, сортировки и переработки накопившихся вторичных огнеупоров («Институт НИИСМ», ФТИ НАН Беларуси, Обольский керамический завод, Сморгоньсиликатобетон и др. предприятия строительной отрасли).

7. Продолжить ориентацию профильных государственных программ научных исследований и научно-технических программ, финансируемых

из бюджета, на научное обеспечение технического и технологического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических, кузнечно-прессовых и других энергоемких производств страны.

8. В рамках государственных программ продолжить разработку и испытания новых видов защитных функциональных покрытий с улучшенными физико-механическими, коррозионно-электрохимическими, магнитными и оптическими свойствами (гальванозамещающих, композиционных, в т.ч. с использованием наноструктурированного углерода, алмазов и др.) (Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Белорусский государственный технологический университет, Физико-технический институт НАН Беларуси, Белорусский национальный технический университет и другие организации).

Советом Министров Республики Беларусь ставится задача переоснащения и модернизации кузнечно-прессовых производств. Традиционно работы этого направления возглавляли ФТИ и кафедра ОМД БНТУ. Проведенный БНТУ и Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси мониторинг кузнечно-прессовых технологий и оборудования позволил систематизировать информацию о имеющихся на предприятиях производствах и оборудовании различных видов, его загруженности, энергопотреблении, а также о производителях оборудования (отечественные или зарубежные), годах его выпуска, техническом состоянии (процент износа) и о необходимости его замены или модернизации.

Хорошо известны такие разработки этого направления, как поперечно-клиновое прокатка, магнитно-импульсная штамповка, штамповка с индукционным нагревом, новое для республики направление кольцераскатки и др. Эти работы требуют обобщения, анализа и выработки предложений по развитию этого вида производства в Республике Беларусь.

ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОАО «НАФТАН»

Е.Д. Манойло, Ф.Е. Онащенко

ОХП «Институт сварки и защитных покрытий»

Разработка технологий и выбор материалов для восстановления-упрочнения деталей технологического оборудования ОАО «Нафтан» были начаты в 2002 г. В табл. 1 представлена номенклатура деталей и их основные характеристики, необходимые для определения метода упрочнения – восстановления.

Из табл. 1 видно, что детали изготавливаются из высококачественных легированных сталей и имеют большие габаритные размеры, что говорит о значительных нагрузках, воздействующих на них в процессе работы. Валы насосов при работе вращаются с высокой частотой (3000 об/мин), закалены ТВЧ (45...51,3 HRC, h = 1,0...2,0 мм), при этом у них изнашиваются посадочные места под подшипники. В процессе работы компрессора изнашивается поверхность штока, контактирующая с уплотнением из коксофторопласта Ф4К20,

а так как он подвергается значительным знакопеременным нагрузкам на сжатие и растяжение, то износ поверхности трения приводит к снижению усталостной прочности и преждевременному выходу из строя всего агрегата. В соответствии с существующей технологией, для обеспечения усталостной прочности и износостойкости, при изготовлении штока в качестве заготовки используется поковка из высококачественной легированной стали, которая подвергается упрочняющей термообработке (закалка и высокий отпуск) и азотированию на глубину 0,5...0,8 мм до твердости 56...60 HRCэ.

Одно из основных требований к новым технологиям обработки — продление срока службы деталей и технологического оборудования в 1,5–2 раза. Для этого на быстроизнашивающиеся поверхности газопламенным напылением

Табл. 1.

Номенклатура деталей и основные характеристики

№ п/п	Наименование детали и № по чертежу	Материал детали	Механические свойства, масса детали, кг	Размеры упрочняемой части, мм	Метод упрочнения, твердость	Условия работы, места износа
1	Валы насоса НК 65/35-125 (зав.№259,282, 875)	Сталь 40Х (ГОСТ 4543-71), возм. замена на	σв=785МПа; d=10%; у=40%; KCV=0,6 МДж/м ² .	L=785–980 d=80–95	Закалка ТВЧ 45...51,3 HRC, h=1,0...2,0 мм	Скорость вращения валов – 3000 об/мин Места износа – посадки под подшипники.
2	Валы насоса НК560/335-120 (зав.№154,838,839)	Сталь 30Х13 (ГОСТ5632-72), Сталь	σв=785 МПа; d=11%; у=45%; KCV=0,4 МДж/м ²	L=785 – 980 d=80 – 95		
3	Валы насоса НК560/300 (зав. № 609, 612)	45Х14Н14В2М (ГОСТ5632-72)	σв=706 МПа; d=20%; у=35%; KCV=0,5 МДж/м ²	L=785 – 980 D = 80–95		
4	Шток компрессора (5Г-600/42-60)	Сталь 38Х2МЮА, (ГОСТ4543-71)	Катег. прочн. КП=60. σв >75 кгс/мм ² ; KCV≥5 МДж/м ² Масса – 80 кг	L=1335, d = 80	Азотирование 56–60 HRC, h=0,5...0,8 мм	Контакт с сальниковым уплотнением из коксофторопласта Ф4К20.

были нанесены износостойкие слои покрытий, обладающие достаточной прочностью, высокой твердостью и низким коэффициентом трения. На рис. 1 приведены фотографии деталей подлежащих упрочнению – восстановлению.

Сущность методов газопламенного напыления заключается в формировании на поверхности изделия покрытия из нагретых до плавления или близкого к нему состояния частиц распыляемого материала с использованием тепла, выделяющегося при сгорании смеси горючего газа с кислородом [1].

Методы традиционного газопламенного нанесения покрытий и большая номенклатура материалов, включающая проволоки, гибкие шнуры и порошки позволяют успешно решить задачи восстановления – упрочнения быстроизнашивающихся деталей. Они все больше применяются в промышленности для повышения эксплуатационных характеристик машин, как альтернатива традиционной закалке ТВЧ, хромированию и др.

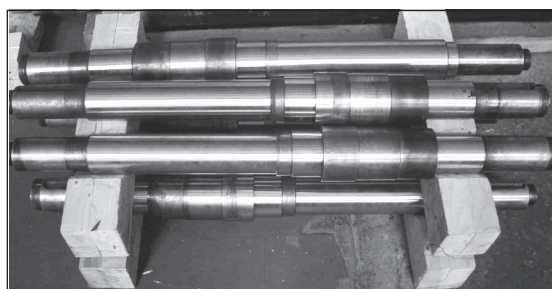
Основными преимуществами методов являются: незначительные затраты времени, относительная простота оборудования и технологии нанесения покрытий (по сравнению с другими методами); возможность регулирования поверхностных свойств изделия; использование одного и того же оборудования для нанесения покрытий из различных материалов; использование в качестве источника энергии смеси горючих газов с кислородом и сжатого воздуха; экономичность; экологичность и др.

Проволоки из различных металлов получают волочением и давно применяются в различных отраслях промышленности. Стальная проволока была одним из первых материалов применяемых для напыления износ- и коррозионно-стойких покрытий. Наряду со стальной для напыления покрытий используются проволоки из олова, свинца, алюминия, цинка, меди, никеля, молибдена и их сплавов [2].

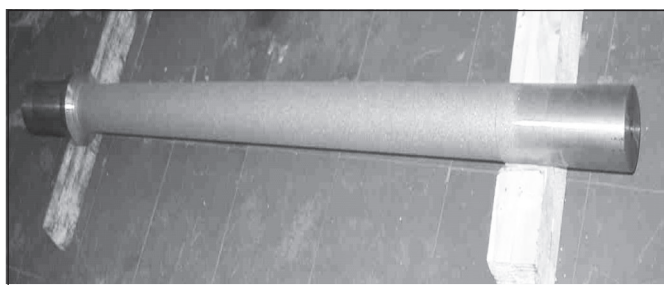
Основные преимущества метода нанесения покрытий из проволоки: возможность непрерывной и равномерной ее подачи в высокотемпературную зону нагрева аппарата и автоматизации; простота и невысокая стоимость; значительная производительность (3–20 кг/ч). Основные недостатки метода: возможность напыления только протягивающихся в проволоку материалов; повышенные износ деталей аппарата-распылителя и его масса; необходимость строгого контроля диаметра проволоки (отклонение 0,05–0,09 мм) и качества ее поверхности и др.

Особую группу материалов для газопламенного напыления покрытий составляют гибкие шнуры «Sfecord». Они созданы в 70-х годах прошлого столетия французской фирмой «Sfec», использовавшей технологию газопламенного нанесения покрытий из оксидов алюминия. Гибкие шнуры представляют собой получаемый экструзией композиционный материал, состоящий из порошкового наполнителя и органической связующей, полностью исчезающей при нанесении покрытия (сублимирует в процессе нагрева до температуры 400 °С) без какого-либо отложения на подложку. Формовать в шнур можно практически все, не протягиваемые или трудно протягиваемые материалы, чистые вещества и смеси порошков (керамика, металлы, сплавы). Производятся шнуры диаметром от 1,5 мм до 6,35 мм и длиной около 150 м, намотанными на бобины.

Основные преимущества метода: высокая прочность покрытий; исключение недостатков стержневого метода (дефекты в начале и конце стержня); заданная точность диаметра шнура; высокий коэффициент использования материала; возможность автоматизации процесса напыления с прекращением и возобновлением подачи шнура; устранение износа деталей горелки. Важными преимуществами шнурового процесса является возможность нагрева частиц порошковых ма-



а



б

Рис. 1. Детали ОАО «Нафтан»: а — валы насосов; б — шток компрессора

териалов в струе распылителя до температуры близкой или равной температуре их плавления, и разгон до скорости — 100–300 м/с. Полученные при этом покрытия по прочности и плотности не уступают плазменным, а стоимость их ниже плазменных в 2–3 раза [3].

Покрытия из проволоки, как правило, не обеспечивают высокой твердости и прочности, которая необходима для деталей, работающих в условиях трения и знакопеременных нагрузок. Поэтому для восстановления валов насосов были использованы шнуровые материалы производства СП «Техникорд» (Россия) серии «Сфекорд-Экзо», некоторые характеристики которых представлены в табл. 2.

Восстанавливаемые поверхности валов насосов имеют твердость 207...302 НВ и 45...51,3 HRC, поэтому для напыления покрытий использовались представленные в таблице 2 шнуры, включающие: Ниалид (для подслоев связи) и Сфекорд-Экзо №15 (15 HRC) и № 40 (28–42 HRC) — для основного слоя. В табл. 3 представлены технологические режимы работы аппарата ТЕНА-Уэ при нанесении покрытий.

На рис. 2 представлены процессы нанесения подслоя и основного слоя покрытия и валы с восстановленными поверхностями.

Опытно-промышленная партия восстановленных валов была передана на предприятие для проведения производственных испытаний, которые подтвердили увеличение срока службы насосов в 1,5–2 раза.

Работы по выбору материала и разработке технологии газопламенного напыления оксидно-керамических покрытий с аморфной структурой для упрочнения штоков газовых компрессоров ОАО «Нафтан» были начаты в марте 2003 г.

Оксидно-керамические покрытия $Al_2O_3+13\% TiO_2$ могут быть получены различными методами напыления: газопламенным, атмосферным плазменным (APS), детонационным (DGS) и др. [4]. Для нанесения износостойких покрытий чаще всего используются оксиды алюминия и различные смеси его с диоксидом титана. Введение диоксида титана способствует повышению прочности, плотности и износостойкости покрытия. Износ покрытий зависит в основном от прочности связи между слоями формируемо-

Табл. 2.

Характеристика шнуровых материалов

Наименование шнурового материала	Состав	Размер частиц, мкм	Твердость	Применение
Ниалид	Ni – 95.0 Al – 5.0	+40–100	–	Применяется в качестве подслоя: высокая степень сцепления с подложками из черных и цветных металлов (кроме меди).
Сфекорд-Экзо № 15 Состав порошкового наполнителя: ПР-НЮ5-7, ПР-НХ9СЗР2-7	Ni, Cr, B, Si, Al	+40–125	15 HRC	Покрытие с антифрикционными свойствами и стойкостью против окисления; обработка слоя резанием. Применяется для опорных поверхностей подшипников, сальников и др.; для больших площадей; может применяться без подслоя.
Сфекорд-Экзо № 40 Состав порошкового наполнителя: ПТ-НА-01, ПГ-12Н-01, БХМ	Ni, Cr, Mo, B, Si, Al	+40–100	28–42 HRC	Самоохлаждаемое покрытие; высокие антифрикционные свойства при трении в паре с бронзой; неоднородная структура обеспечивает эффект самосмазывания, обработка слоя шлифованием. Применяется для подающих роликов текстильных машин; противозносных колец; защитных муфт и втулок валов.

Табл. 3.

Режимы напыления покрытий

Материал покрытия, Аппарат-распылитель	Скорость подачи шнура, см/мин	Давление и расход газов					
		Давление, кгс/см ²			Расход, л/ч		
		кислород	МАФ	воздух	кислород	МАФ	воздух
Ниалид	25	4,5	2,0	4,5	6250	2500	20 000
Сфекорд-Экзо № 15 и 40	60	4,5	2,0	4,0	5750	2500	20 000

Примечание: дистанция напыления покрытий — 150–175 мм; частота вращения валов — 190 об/мин.

го покрытия и реальной поверхностью [4, 5]. В табл. 4 представлены оксидные порошки, используемые фирмой Plasma Technic (Швейцария).

Из табл. 4 видно, что порошковая смесь состоит из плавленого с последующим дроблением оксида алюминия и синтезированного диоксида титана с размерами частиц находящимися в пределах 5,6–45,0 мкм. Топография частиц порошков оксида алюминия и диоксида титана представлена на рис. 3.

Микроструктура напыленных различными методами покрытий из порошкового материала OT-13 ($Al_2O_3+13\%TiO_2$) представлена на рис. 4. Из рис. 4 видно, что покрытия имеют высокую плотность, а микроструктура DGS покрытия более мелкозернистая, чем APS.

Значения средней микротвердости, кажущейся пористости и прочности сцепления (подложка из низкоуглеродистой стали) покрытий, полученных методами APS и DGS, приведены в табл. 5 [4].

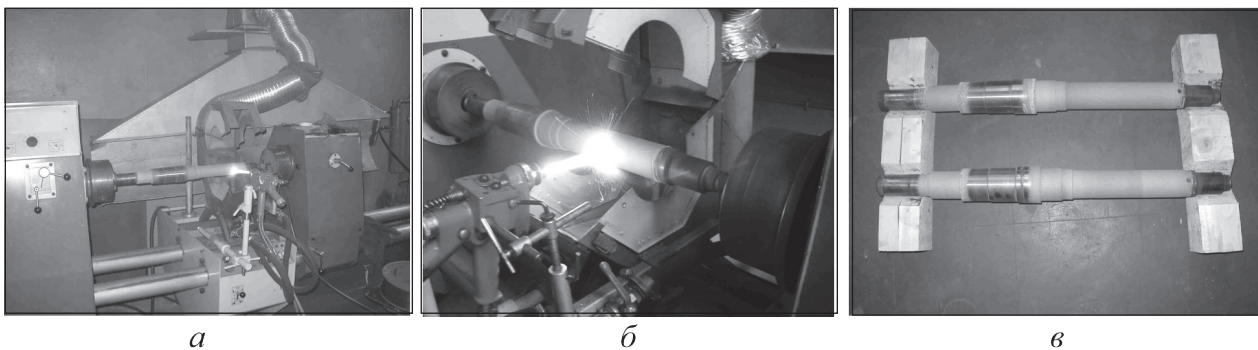
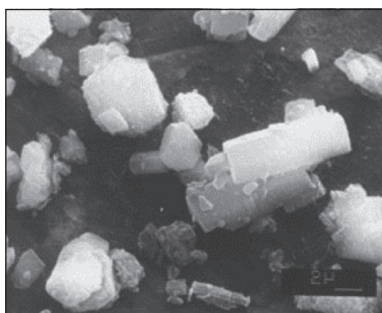
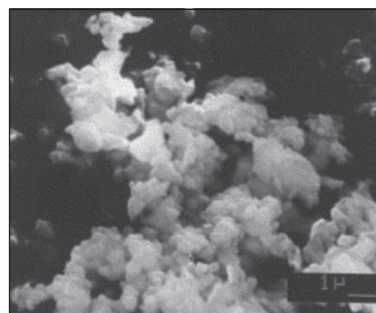


Рис. 2. Напыление покрытия на валы насосов:

а — подслоя шнуром Nialide; б — основного слоя шнуром «Сфекорд» — Экзо № 40; в — валы с покрытием

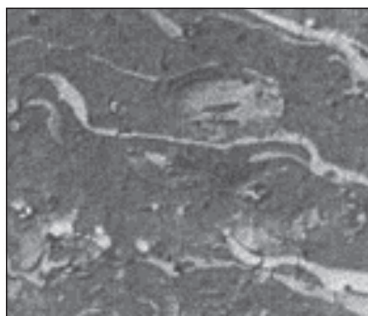


а

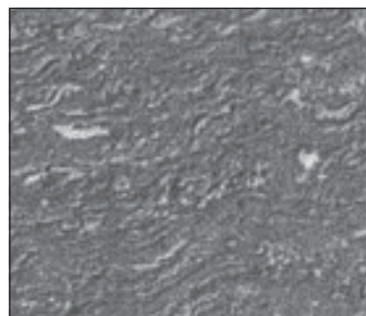


б

Рис. 3. Частицы порошков:
а — оксид алюминия; б — диоксид титана



а



б

Рис. 4. Микроструктура напыленных покрытий:
а — APS; б — DGS. Увеличение $\times 400$

Табл. 4.

Керамические порошки, коммерческое обозначение и их размеры

Керамический порошок	Комерческое обозначение	Пределы размеров частиц, мкм
Al ₂ O ₃ (плавленый.) + 13%TiO ₂ (синтезиров.)	Amperit 744.0 Amperit 744.1	5,6–22,5 22,5–45,0

Табл. 5.

Микротвердость, пористость и прочность сцепления покрытий

Материал покрытия	Метод нанесе- ния	Микротвердость, HV _{0,025}	Микротвердость, HV _{0,3}	Пористость, %	Прочность сц., Н/мм ²
Al ₂ O ₃ +13wt.%TiO ₂	APS	1070	915	2,6	12
Al ₂ O ₃ +13wt.%TiO ₂	DGS	951	892	1,2	19

Из табл. 5 видно, что значения микротвердости APS покрытия — более высокие, чем DGS, при этом DGS покрытие имеют более высокую прочность сцепления, чем APS, что может быть также связано и с меньшей толщиной (150 мкм) DGS покрытия [5].

По сравнению с APS и DGS методами — газопламенное напыление шнуровых материалов серии «Сфекорд-керамика» является более простым и доступным. Некоторые характеристики шнуровых материалов представлены в табл. 6.

В табл. 7 приведены основные свойства и область применения покрытий из материалов серии «Сфекорд-керамика».

Из табл. 6 видно, что микротвердость материала «Черный корунд» равна 900 HV, что эквивалентно 66 HRC, а твердость упрочняемой по-

верхности штока — 56–60 HRC. Таким образом, данный материал может быть использован для упрочнения штока. Из табл. 7 следует, что при газопламенном нанесении шнурового оксидно-керамического покрытия «Черный корунд» на шток компрессора из высококачественной легированной стали, для повышения прочности сцепления покрытия с напыляемой поверхностью, необходимо использовать подслои из шнура «Ниалид» толщиной 0,08–0,15 мм. При этом формируется покрытие повышенной плотности, что позволяет прогнозировать обеспечение класса чистоты обработки, установленные требованиями чертежа (0,16).

Технологический процесс газопламенного шнурового нанесения покрытия на шток компрессора включает следующие основные операции:

Табл. 6.

Характеристики шнуровых материалов

Наименование материала	Состав порошкового наполнителя	Диаметр шнура, мм		Микротвердость, HV
«Ниалид»	ПР-НЮ-5-8	3,17	±0,05±0,1	Не нормируется
		4,75		
«Черный корунд»	Al ₂ O ₃ + 13,5% TiO ₂	3,17	±0,05±0,1	900
		4,75		

Табл. 7.

Основные свойства и область применения покрытий

Наименование материала	Свойства покрытия	Область применения
«Ниалид»	Высокая прочность сцепления покрытия с подложками из черных и цветных металлов	Подслои при нанесении серии «Сфекорд-керамика». Толщина покрытия 0,08–0,15 мм
«Черный корунд»	Керамическое покрытие повышенной плотности. Высокая стойкость к абразивному изнашиванию, эрозии, износу при трении скольжения при температурах до 540 °С. Стойкость к разбавленным кислотам.	Покрытие для насосных муфт и корпусов, торцевых уплотнений, плунжеров насосов, приводных роликов, деталей в текстильной и бумажной промышленности. Толщина покрытия 0,2–0,75 мм

- снятие слоя металла толщиной 0,5–0,7 мм с поверхности, подлежащей упрочнению – восстановлению;
- струйно-абразивную обработку;
- напыление подслоя сцепления шнуром «Ниалид»;
- напыление основного слоя покрытия шнуром «Черный корунд»;
- пропитку термостойким лаком;
- механическую обработку напыленного покрытия (шлифование).

При газопламенном напылении покрытий необходимый запас тепловой и кинетической энергии сообщается частицам шнурового материала в процессе взаимодействия их с пламенем смеси горючий газ – кислород. Пламя образуется в результате сгорания на срезе сопла горючей смеси, вытекающей с большой скоростью из сопловых каналов. При использовании в качестве горючего газа МАФ температура струи составляет 2930 °С, а скорость

ее истечения — 750–1200 м/с. Шнуровой материал подают вдоль оси струи. При взаимодействии с высокотемпературной высокоскоростной струей керамический материал шнура оплавляется и расплывается, частицы приобретают скорость более 300 м/с. Температура и скорость полета частиц порошка зависит от соотношения кислорода и горючего газа в смеси, расхода обдувающего воздуха, количества вводимого в пламя шнура, его плотности, гранулометрического состава частиц и других факторов. Основные технологические режимы работы шнурового аппарата-распылителя ТЕНА — Уэ при напылении покрытий приведены в табл. 8.

Температура нагрева детали в процессе напыления не превышала 200 °С, что позволило исключить структурные изменения в материале детали. Толщина слоя напыляемого покрытия, в соответствии с требованиями чертежа, составила 0,5^{+0,2} мм. После шлифования шероховатость покрытия соответствовала требованиям чертежа.

Табл. 8.

Режимы напыления покрытий

Марка шнура «Сфекорд»	Скорость подачи шнура, см/мин	Давление газов, МПа			Расход газов, л/час		
		МАФ	Кислород	Воздух	МАФ	Кислород	Воздух
«Ниалид»	25	0,2	0,45	0,4	2500	6125	20000
«Черный корунд»	35–39	0,2	0,45	0,4	2500	6125	20000

Примечание: Частота вращения детали — 60 об/мин. Подача аппарата-распылителя, мм/мин: подслоя — 140 и основной слой — 400. Дистанция напыления покрытий: 85–95 мм.

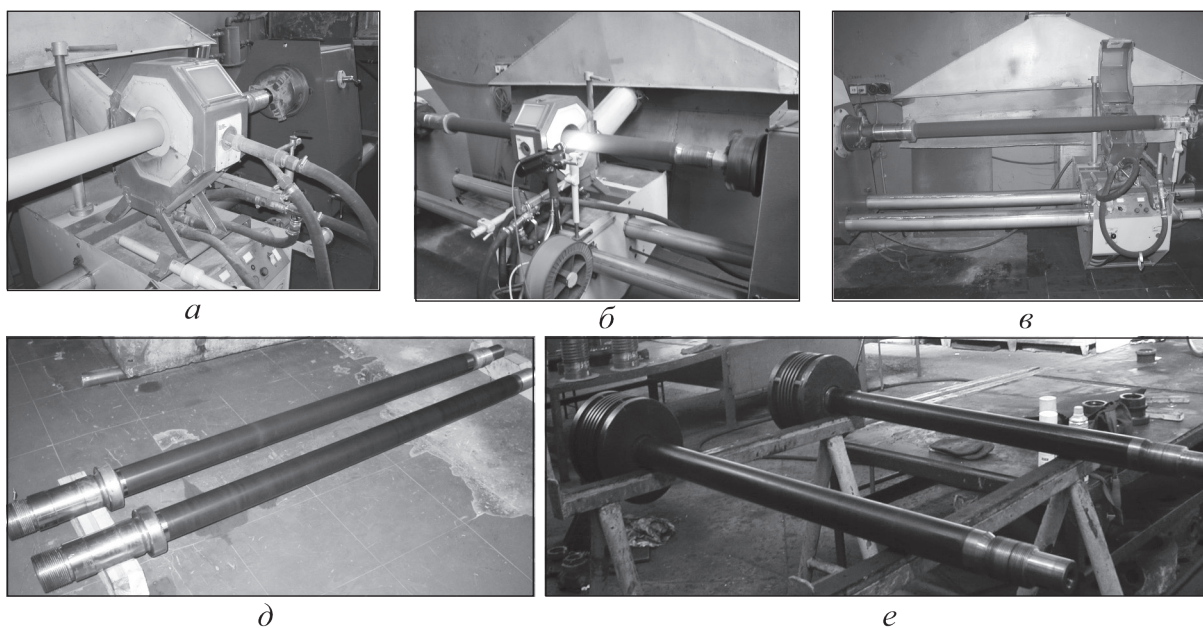


Рис. 5. Штоки компрессора:

- a* — струйно-абразивная обработка; *б* — напыление покрытия; *в* — шток с напыленным покрытием; *д* — обработанные детали; *е* — детали в сборе с поршнем

Был разработан специальный паспорт, который прилагался к каждой детали с напыленным покрытием. На рис. 5 представлены штоки компрессора в процессе струйно-абразивной обработки, напыления покрытия, с напыленным покрытием, обработанные шлифованием и в сборе с поршнем.

Результаты эксплуатации компрессоров, штоки которых покрыты оксидной керамикой состава $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – 87%, TiO_2 – 13%, благодаря высокому содержанию аморфной фазы в покрытиях, показали увеличение срока службы в условиях предприятия ОАО «Нафтан», по сравнению с хромированными деталями, более чем в 10 раз.

В 2006 г. была разработана технология восстановления рабочей поверхности плунжеров трехплунжерных насосов марки NJ 116 фирмы «РМН» (Франция) для ОАО «Нафтан», непрерывным газопламенным нанесением покрытий из порошков самофлюсующихся никелевых сплавов аппаратом газопорошковой наплавки повышенной мощности ТЕНА-ГНпм (рис. 6) [6].

Размеры плунжера: диаметр 55 мм, длина рабочей части — 180 мм, масса — 3600 г.

В соответствии с разработанным процессом, после струйно-абразивной обработки, деталь подогревали аппаратом газопламенного нанесения покрытий повышенной мощности ТЕНА-ГНпм до температуры 220–300 °С. Затем этим же аппаратом наносили покрытие требуемой толщины порошком самофлюсующегося никелевого сплава Т-Термо №55 (Ni – основа, 15–17% Cr, 2,9–

3,8 %В, 3,9–4,5 % Si, 1,0–1,2 % С и 3,0–3,5 % Fe), производства ОАО «ГЦ «Техникорд»» (Россия), и производили оплавление покрытия. Температура оплавления покрытия — 1050–1100 °С. Твердость покрытия — 58–62 НРС.

Основные технологические режимы процесса следующие:

– давление газов: кислорода — 6 МПа, горючего газа МАФ — 2 МПа;

– расход газов: кислорода — 6000 л/ч, МАФа — 1800 л/ч.

Время подогрева, напыления и оплавления покрытия — менее 5 мин. Расход порошкового материала — 150 г. Коэффициент использования порошка — 85 %.

Новый метод непрерывного газопламенного нанесения упрочняющего покрытия при ремонте плунжеров насосов марки NJ 116 ВА позволил с успехом заменить фирменное покрытие из карбида хрома с 15 % Ni, нанесенное методом высокоскоростного газопламенного напыления [7]. Восстановленные и упрочненные плунжеры впервые были установлены в насосы марки NJ 116 ВА в январе месяце 2006 г. В результате эксплуатации в условиях ОАО «Нафтан» плунжеры обеспечили ресурс работы насосов, выше новых фирменных. Процесс восстановления и упрочнения плунжеров используется до настоящего времени. Это позволило отказаться от импорта быстроизнашивающихся деталей и сэкономить более 100 тыс. Евро.

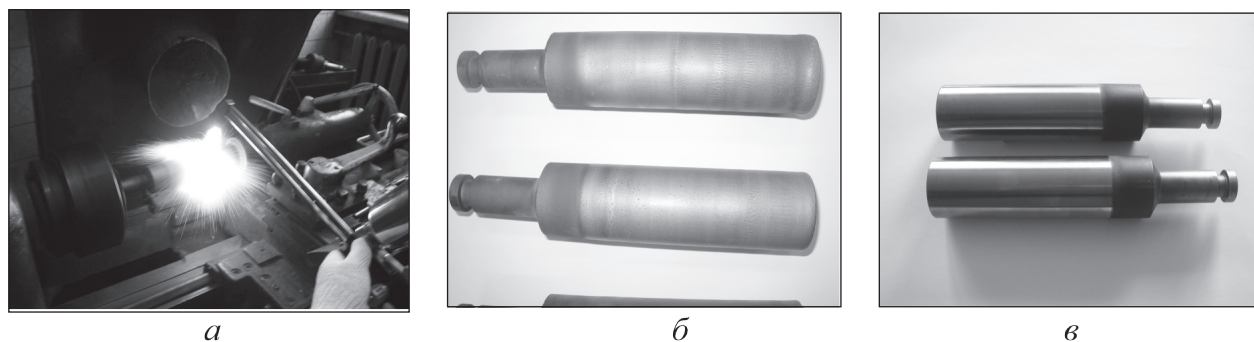


Рис. 6. Восстановление рабочей поверхности плунжеров:
а — процесс нанесения покрытия; б — детали с покрытием; в — прошлифованные детали

Список использованных источников

1. Теория и практика газопламенного напыления / П.А. Витязь, [и др.]. – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 295 с.
2. Манойло, Е.Д. Повышение основных свойств газопламенных порошковых покрытий путем управления скоростью, температурой и теплосодержанием частиц: дис...к-та техн. наук: 05.16.06 / Е.Д. Манойло. – Минск, 2002. – 168 с.
3. Манойло, Е. Д. Газопламенное напыление оксиднокерамических покрытий с аморфной структурой / Е.Д. Манойло, Ф.Е. Онащенко // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные

- материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 11-й Междунар. научн.-техн. конф., Минск, Беларусь, 28–30 мая 2014 г. / Нац. Акад. Наук Беларуси [и др.]; редкол.: А.Ф. Ильюшенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2014. – С. 421–426.
4. Wear Characteristics of Oxide Coatings Deposited by Plasma Spraying, High Power Plasma Spraying and Detonation Gun Spraying / Niemi K. [et al.] // Proceedings of the 8th National Thermal Spray Conference, 11–15 September 1995, Houston, Texas, p. 645–650.
 5. Furukubo K., Oki S., Gohda S., Proc. Int. Advances in Coating Technology, Orlando, Florida, USA, 28 May – 5 June 1992, p. 705–709.
 6. Манойло, Е.Д. Восстановление и упрочнение плунжеров насосов газопламенным напылением защитных покрытий из самофлюсующихся никелевых сплавов / Е.Д. Манойло // Порошковая металлургия. – Вып. 29. – 2006. – С. 257–262.
 7. Манойло, Е.Д. Упрочнение и восстановление плунжеров насосов газопламенными методами напыления и наплавки / Е.Д. Манойло // Сварка и родственные технологии: материалы докладов международного симпозиума, 24 марта 2010 г. – Минск: Ковчег, 2010. – С. 137–143.

УДК 621.926

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТОВ С АДАПТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Л.А. Сиваченко, О.В. Голушкова, В.С. Михальков, Е.А. Шаройкина

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Беларусь, г. Могилев

Приведены сведения о новом технологическом комплексе для получения цементного клинкера с помощью пружинного грохота, рессорно-стержневой мельницы и шаровой мельницы.

В настоящее время почти на всех заводах по получению рудных, строительных, энергетических и других материалов на стадии помола применяется шаровой способ измельчения. Несмотря на чрезвычайно высокую энергоемкость, капитальные затраты и металлоемкость, шаровые мельницы в обозримое время пока не имеют альтернатив их замены более современными технологическими аппаратами. Причина этого заключается, с одной стороны в чрезвычайной архаичности организации процесса, что выражается в том, и только каждый тысячный удар мелющих тел совершает полезную работу по разрушению. С другой стороны, чрезвычайная простота этих машин сделала их незаменимыми в стадиях тонкого измельчения материалов любой крепости.

Следовательно, шаровая мельница вследствие своей технологической уникальности и надежности реально проработает в промышленности еще не одно десятилетие, и при этом будет развиваться по ряду направлений: замкнутый цикл, предизмельчение, внутримельничные устройства, мелющие загрузки, ПАВ, аспирация, эксергетическое управление и др.

Эволюция помольной техники со всей определенностью показывает [1, 3, 4], что, во-первых, из всего многообразия способов разрушения твердых тел пока реальной альтернативы механическому нет; во-вторых, несомненен тот факт, что достигнуть требуемой степени измельчения в одном аппарате практически невозможно, а это предполагает вариативность т.е. многообразие

различных способов воздействия на материал, что можно выполнить только в нескольких по своему исполнению технологических машинах.

Не претендуя на полноту решения настоящей проблемы, покажем вариант набора усовершенствованного оборудования для помола клинкера. Попытки создания принципиально новых помольных агрегатов предпринимались много раз. Свой взгляд по совершенствованию техники и технологии помола клинкера мы представляем ниже.

Машины для измельчения материалов должны иметь простую конструкцию, обеспечивающую удобство и безопасность обслуживания; минимальное число изнашивающихся и поэтому легко заменяемых деталей; предохранительные устройства, которые при превышении допустимых нагрузок должны разрушаться или деформироваться, предотвращая поломки более сложных узлов. Конструкция должна отвечать санитарно-гигиеническим нормам звукового давления, вибрации и запыленности воздуха.

Дисперсный состав клинкера для большинства цементных заводов характеризуется примерно следующими значениями: более 50 мм — 0 %, 30–50 мм — 7–20 %, 30–5 мм — 50–70 %, 5–2,5 мм — 10–20 %, 40–2,5 мм — 5–15 %. Эти данные нами использованы при выборе аппаратов при помоле клинкера. В их состав включены дробилки ударного действия с вертикальным ротором, пружинные грохоты, рессорно-стержневые мельницы [4, 5].

К вашему вниманию представим технологическую схему помола клинкера с использованием предизмельчителей на рис. 1.

Согласно рис. 1 клинкер поступает на пружинный грохот, который отделяет мелкую фракцию, не требующую предварительного измельчения, а крупная фракция, доля которой не превышает 10–15 %, как надрешетный продукт поступает для дробления в роторную дробилку. Измельчение основного класса материала крупностью 2–25 мм производится рессорно-стержневой мельницей. Измельченный до крупности менее 2 мм продукт, с введенным в него подрешетным продуктом, прошедшим грохот, для окончательного помола поступает в шаровую мельницу, которая производит помол до требуемой дисперсности.

Рассмотрим принцип работы и конструкции основных агрегатов образующих помольный комплекс.

Первым в технологической схеме цепей оборудования для помола цемента является пружинный

Помол с шаровой мельницей

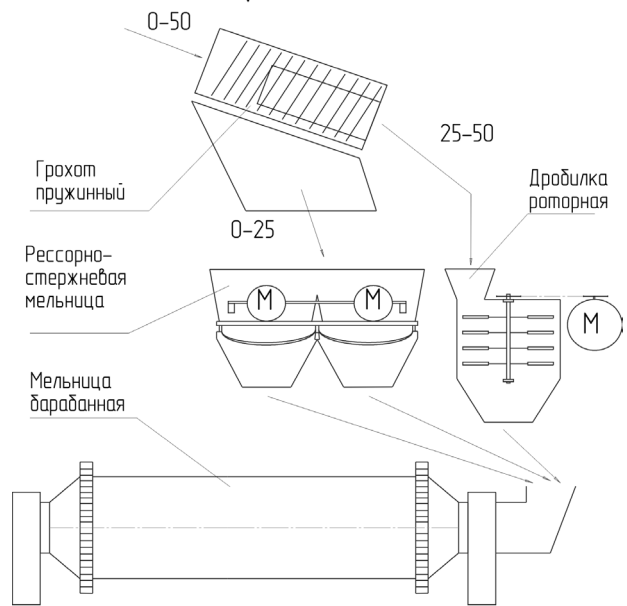


Рис. 1. Технологическая схема цепей оборудования для помола цемента

жинный грохот, который выгодно отличается от существующих грохотов совершенствованием механизма прохождения материалов через просеивающие элементы, совершающие дополнительные колебания в направлении, перпендикулярном направлению движения сортируемого материала.

Эти колебания позволяют улучшить прохождение материала через просеивающую поверхность, увеличивая при этом производительность, а в результате непостоянства отверстий просеивания устраняется эффект забивания и залипания просеивающей поверхности материалом с влажностью более 3 %.

Просеивающая поверхность грохота выполнена в виде спирального барабана (пружины), связанного с приводом, создающим центробежное движение материала по всему периметру рабочих зон, дополнительного смешивания и возбуждения высокочастотной вибрации витков спирали. При этом создаваемые за счет активных виброколебаний центробежные силы способствуют отводу подрешетного продукта, а дополнительная вибрация витков пружины устраняет забивание проходных зон. Высказанные положения поясняются рисунками (рис. 2).

Пружинный рабочий орган устанавливался с возможностью вибрационных колебаний под углом от 0° до 45°.

На рис. 3 представлен один из вариантов вибрационного грохота промышленного назначения.

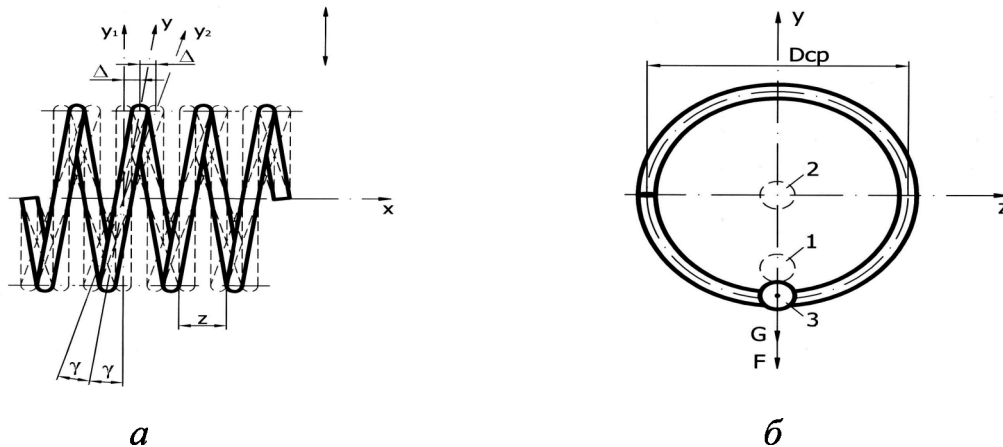


Рис. 2. а — состояние рабочего органа с учетом малых колебаний, возникающих на рабочих поверхностях витков; б — схема движения частицы внутри рабочего органа:

1 — положение частицы при нижнем положении рабочего органа; 2 — положение частицы при верхнем положении рабочего органа; 3 — положение частицы в момент просева



Рис. 3. Пружинный вибрационный грохот

Перемещения витков в вертикальной плоскости равны амплитуде колебаний рабочего органа. Перемещения витков в горизонтальной плоскости возникают, за счет собственных колебаний витков, которые способствуют очищению просеивающей поверхности и дополнительной подвижности материала, что положительно влияет на эффективность и производительность процесса.

Проведенные экспериментальные исследования на цементном клинкере позволяют сказать, что использование пружинного грохота позволит сократить энергозатраты и повысить производительность технологического комплекса для измельчения цемента.

Одним из новых видов машин для дробления и помола является роторно-цепная дробилка (РЦД), разработанная НТК «Млын», максимально отвечающая требованиям новых технологий [6].

В основу конструкции положен принцип многоярусной дробилки ударного действия с вертикальной осью вращения рабочего органа. В качестве рабочих элементов применены отрезки цепей или последовательно шарнирно закрепленные ударные элементы. Отражатели, установленные на внутренней поверхности корпуса между рядами ударных элементов, предназначены для возврата материала в зону обработки и увеличения кратности воздействия на него.

Рабочие органы РЦД в виде многоярусных подвижных ударных элементов обеспечивают:

- адаптивность к геометрии поверхности разрушаемого материала и ориентацию к поверхности, захлестывание холостого конца вокруг оси куска материала и его максимальный охват по периметру, а также минимальное радиальное скольжение измельченного материала вдоль поверхности ударных элементов;

- высокоскоростное ударное воздействие, обеспечивающее предельные разрушающие напряжения материала за счет ударной волны растяжения – сжатия. Высокая скорость распространения волн в материале исключает дислокационные перестройки структуры и релаксацию напряжений;

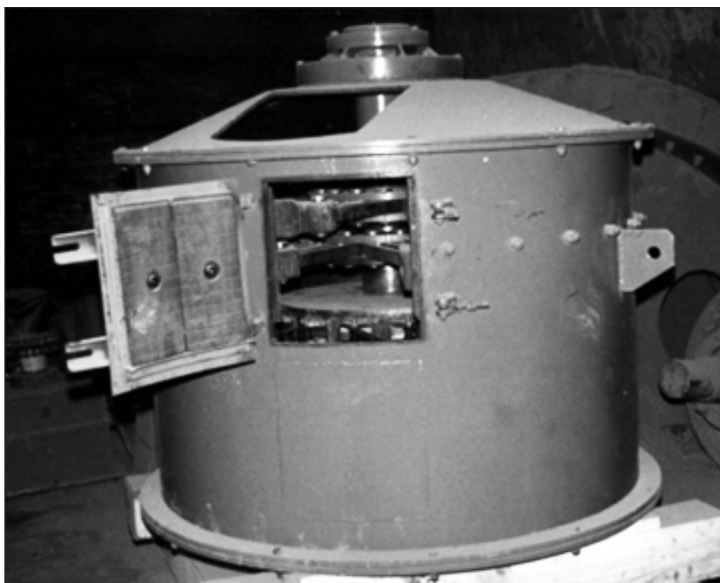


Рис. 4. Роторно-цепная дробилка

– самоочищение рабочей поверхности ударных элементов и корпуса дробилки. Ступенчатое, шахматное расположение ударных звеньев, большая степень их подвижности гарантируют встряхивание рабочих элементов, очистку цилиндрической поверхности корпуса;

– селективность воздействия, обусловленную малым относительным весом рабочих элементов и их подвижностью. Попадание недробимых включений не приводит к разрушению рабочего органа, так как ударный элемент отклоняется в сторону, препятствуя его прохождению. Дозированное импульсное воздействие на анизотропный материал вызывает его разрушения по границам срастания минералов.

Крупная фракция 25–50 мм поступает на измельчение в роторно-цепную дробилку, на выходе мы получаем фракцию:

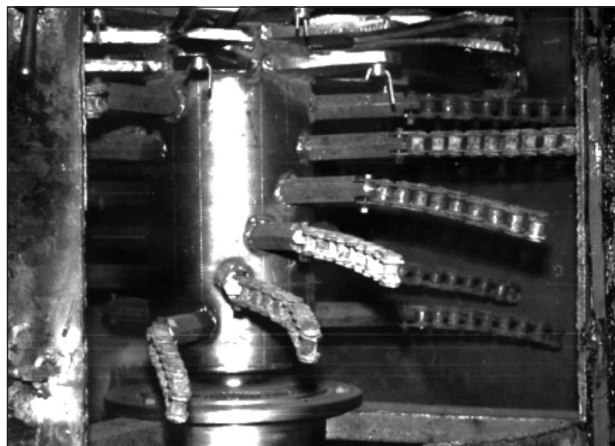


Рис. 5. Рабочие органы роторно-цепной дробилки

3 мм — 54 %, 1 мм — 22 %, 0,5 мм — 13 %, 0,25 мм — 8 %, 0,08 мм — 3 %.

В связи с тем, что после измельчения цементного клинкера роторно-цепной дробилкой фракции материала 3 мм составляет более 50 % предлагаем материал средней фракции 2–35 мм направить на измельчение в рессорно-стержневую мельницу.

Рессорно-стержневая мельница разработана в Белорусско-Российском университете на кафедре СД ПТМ и О и отвечает требованиям предъявляемым к оборудованию для измельчения материала рис. 6, рис. 7.

Просеянный материал с крупностью фракции до 25 мм движется по наклонному лотку под воздействием вибрации которую создает вибродвигатель ИВ-9в, установленный на консоль 2, приводит в движение прижимную плиту 4 с помощью прижима 3. Между лотком 5, установленным на раме 8 и прижимной плитой находятся стержневые (рессорные) элементы, собранные в кассету 6 (рис. 6). Так при движении материала вдоль лотка, установленным под углом 20–45°, он попадает в рабочую камеру, где и разрушается, под воздействием ударной нагрузки, которую передают рабочие элементы. Компенсация действия вибратора достигается с помощью возвратной пружины 7. Между консолью и возвратным механизмом установлена пружина, которая и обеспечивает возвратное действие. В процессе работы стержневые элементы упруго деформируются только от силы разрушения частиц материала и имеют высокую надежность. Они обеспечивают адаптивное воздействие на разрушаемый материал.

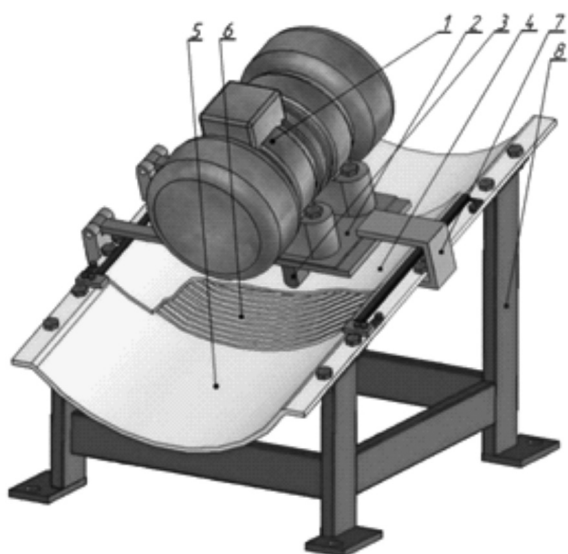


Рис. 6. Модель рессорно-стержневой мельницы

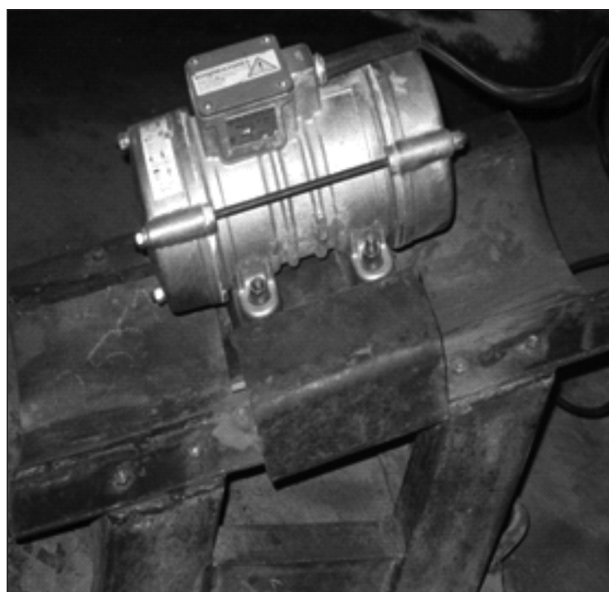


Рис. 7. Фото рессорно-стержневой мельницы

Результаты измельчения клинкера рессорно-стержневой мельницей представлены на рис. 8.

Испытания рессорно-стержневой мельницы при переработке цементного клинкера показали, что она обеспечивает эффективное измельчение частиц исходной крупностью 0–25 мм до полного выхода продукта мельче 1 мм.

Весь клинкер окончательно домальвается в шаровой мельнице. Использование роторно-цепной дробилки и рессорно-стержневой мельницы позволяет до 40 % повысить производительность комплекса, снизить энергоемкость процесса измельчения до 30 % [7] или получать цемент других потребительских свойств, например, быстротвердеющий.

Ежегодное производство цемента в мире составляет 2,3 млрд т [8], что примерно соответствует такому же объему помола клинкера и добавок. Для Белоруссии эта величина в ближайшее годы достигнет 9 млрд т, что при энергоемкости помола порядка 40 кВт·ч/т приведет к годовым затратам электроэнергии около 350 млн кВт·ч. Если к этому добавить помол сырья перед обжигом, то эта величина превысит 500 млн кВт·ч. Потенциал энергосбережения здесь огромен.

Предложенный выше вариант снижения энергозатрат при помоле клинкера имеет своей целью ознакомить научно-техническую общественность с возможным вариантом решения этой проблемы.

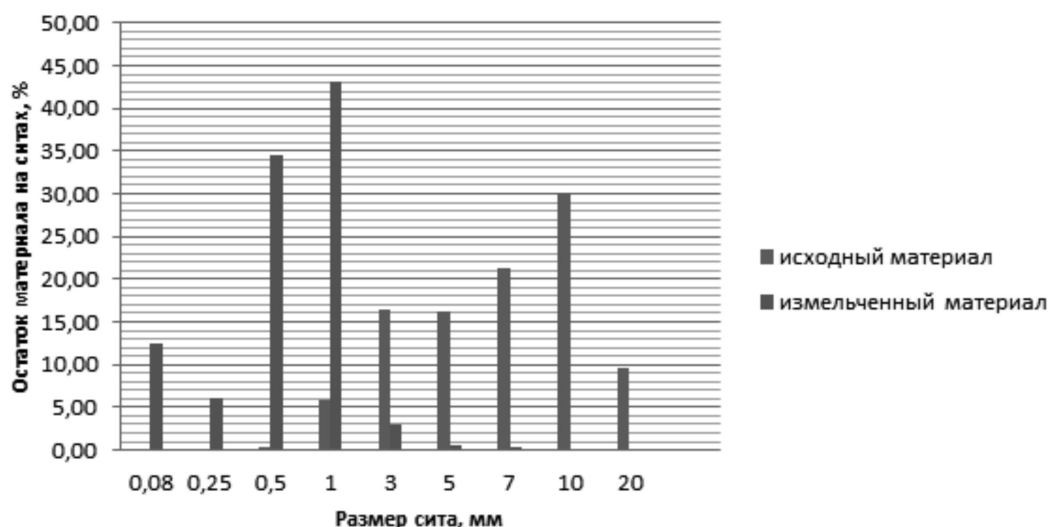


Рис. 8. Результаты измельчения клинкера рессорно-стержневой мельницей

Список использованных источников

1. Селективное разрушение минералов / В.И. Ревнивцев [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 286 с.
2. Богданов, В.С. Шаровые барабанные мельницы / В.С. Богданов. – Белгород, 2002. – 258 с.
3. Технологические проблемы измельчения и механоактивации: матер. Междунар. науч. техн. Семинара / Могилев, 2003. – 278 с.
4. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.]. – Минск: изд. Центр БГУ, 2008. – 375 с.
5. Сиваченко, Л.А. Создание рессорно-стержневых аппаратов на основе интенсификации контактных взаимодействий их рабочих элементов / Л.А. Сиваченко, А.Б. Моисеенко, Е.А. Шаройкина / Материалы, технологии, инструменты, Гомель. – Том 14, № 3. – 2009. – С. 115–119.
6. Михальков, Д.В. Обоснование параметров дробилки ударного действия для получения материалов узкофракционного гранулометрического состава: автореферат дисс. канд. техн. наук: 05.05.04 / Д.В. Михальков. – Могилев, 2003. – 22 с.
7. Абушкевич, А.А. Энергосберегающий помольный комплекс на основе роторно-цепного предизмельчителя и трубной мельницы: автореферат дисс. канд. техн. наук: 05.02.13 / А.А. Абушкевич. – Белгород, 2000. – 25 с.
8. Витязь, П.А., Высокие технологии и наноматериалы в строительной индустрии / П.А. Витязь, В.Г. Горобцов // Строительная наука и техника. – 2009. – № 6. — С. 4–16.