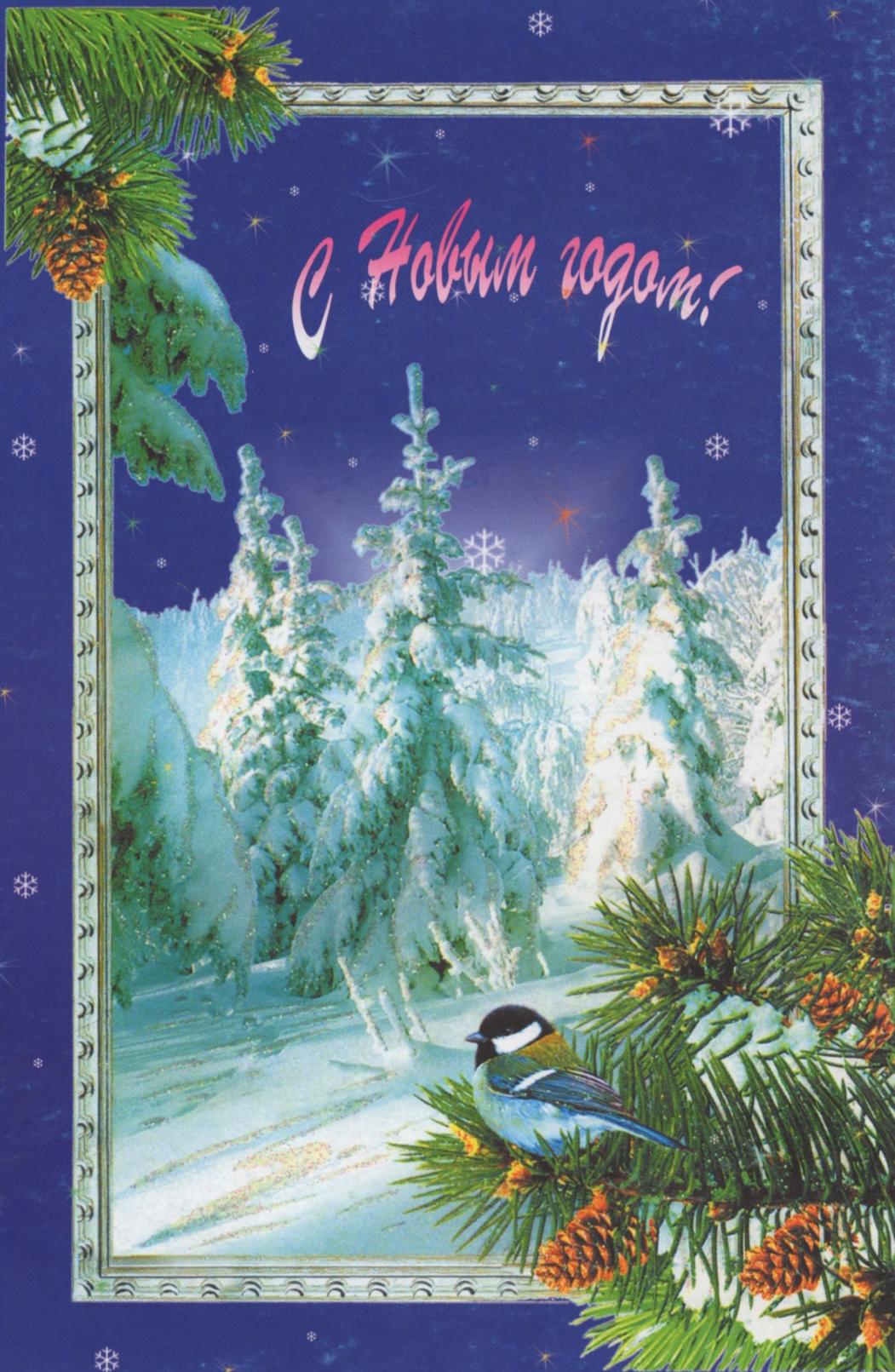


РЕСПУБЛИКАНСКИЙ межотраслевой научно-популярный и производственно-практический ЖУРНАЛ

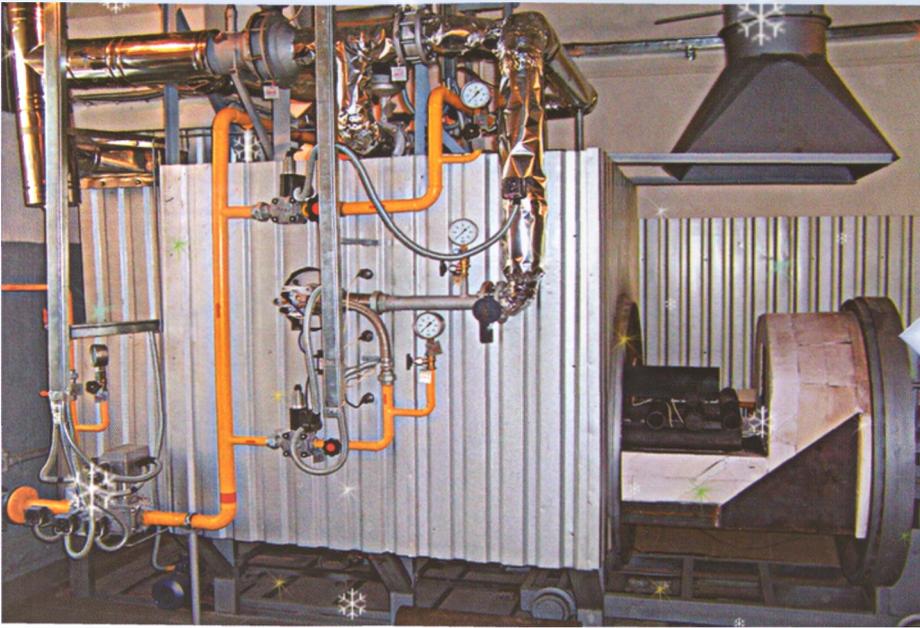
ИНЖЕНЕР-МЕХАНИК



С Новым годом!

№ 4 (37)
октябрь - декабрь
2007

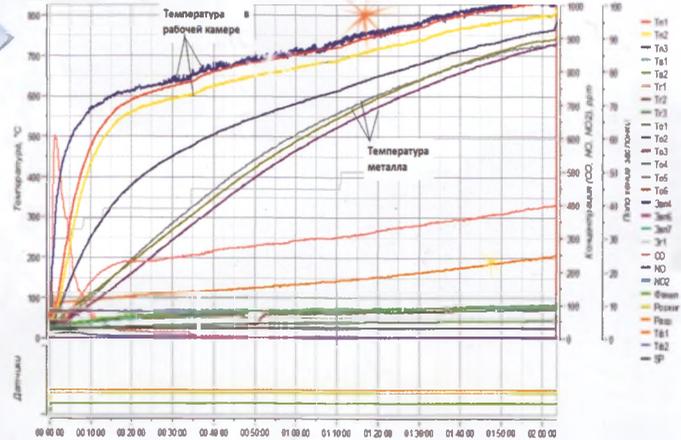
Печь с выкатным подом ПВП-1



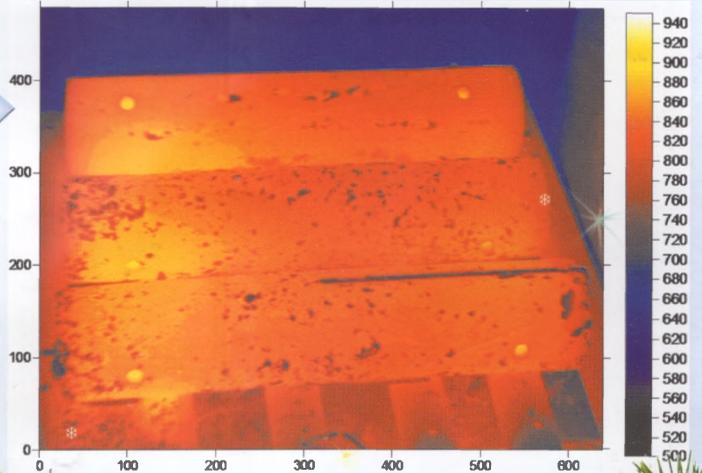
Общий вид

Регистрация параметров нагрева металла с помощью системы автоматического управления

25.07.2007 15:47:53



Аппаратная часть системы автоматического управления нагревательной печью



Электронные и электромеханические компоненты системы автоматического управления



ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 4 (37)
октябрь – декабрь
2007
специальный
выпуск

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

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: М.С. Высоцкий, В.Н. Дашков, Ю.М. Захарик, А.Б. Зуев, С.М. Красневский, Л.Н. Крупец, Д.И. Корольков, Г.С. Лягушев, Е.И. Медвецкий, М.Г. Мелешко, И.А. Солодуха, В.А. Шуринов

Адрес редакции:

220030, Минск, ул. Комсомольская 11, комн. 1 А
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, дизайн Л.П. Ходарина, набор Е.А. Маковец.

Подписано в печать 03.09.2007.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 5. Уч.-изд. л. Тираж 475 экз. Заказ 708. Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»
Лицензия ЛП № 02330/0133131 от 30.04.2004 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Ресурсосбережение

Пути повышения эффективности использования природного газа в промышленности . . .	3
Стабилизационная обработка питательной (подпиточной) воды котлоагрегатов, тепловых сетей, водооборотных циклов охлаждения – эффективный метод экономии энергоресурсов	10
Модернизация промышленных градирен . . .	13
Энергосберегающие и экологически чистые технологии переработки алюминиевых отходов	15
Пути повышения эффективности работы нагревательных и термических газопламенных печей	20
Ресурсосберегающие технологии изготовления автомобильных деталей методами горячего пластического деформирования	26
Современные технологии диагностики перегрева оборудования и тепловых выбросов промышленных объектов	31
Энергетическое использование твердых бытовых отходов	34
Солнечная энергетика и энергоэффективные технологии получения поликремния	37
Разработка гелиостанции нового типа	40
Перспективы использования солнечных систем горячего водоснабжения в Беларуси	44
Газопламенное напыление покрытий – надежная защита деталей от разрушения.	46
Юбилей	
Евгений Маркелович Макушок	54
Нил Николаевич Дорожкин	55

**Национальной академией наук Беларуси
Институтом тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси
Белорусским обществом инженеров-механиков
20-21 ноября 2007 г. в г. Минске была проведена
Республиканская научно-практическая конференция**

«Энергоэффективные промышленные технологии»

Были представлены доклады и сообщения по следующим темам:

1. Инновационный путь развития — основы повышения энергоэффективности народного хозяйства и обеспечения энергетической безопасности страны

2. Современные технологии технического перевооружения и модернизации энергоёмких производств:

- термические печи
- гальваника
- прокат
- покраска

– сушка
и др.

3. Пути повышения эффективности использования природного газа в промышленности

4. Основные направления экономии энергоресурсов в топливопотребляющих установках

5. Экономия энергии в системах электроснабжения и электропотребления

6. Использование вторичных энергоресурсов и утилизация отходов

7. Экологические проблемы и энергосбережение

В этом специальном выпуске журнала «Инженер-механик» мы предлагаем Вашему вниманию материалы Республиканской научно-практической конференции

СООБЩЕНИЕ

VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЭНЕРГО- И МАТЕРИАЛОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Новик И., Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения НАН Беларуси

27-28 сентября 2007 г. в г. Гродно в соответствии с Постановлением Бюро Президиума НАЛ Беларуси от 23.11.2006г. №570 на базе Научно-исследовательского центра проблем ресурсосбережения НАН Беларуси проводилась Международная научно-техническая конференция «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии».

Конференция была посвящена фундаментальным и прикладным аспектам современного ресурсосбережения: научному обеспечению переработки промышленных и бытовых отходов, использования вторичных материалов, разработки возобновляемых и нетрадиционных энергетических источников, ресурсо- и энергосберегающих технологий и оборудования.

В качестве организаторов конференции выступили Национальная академия наук Беларуси, Комитет по науке и технологиям РБ, Белорусский Республиканский фонд фундаментальных исследований, Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, Белорусский государственный научно-производственный концерн порошковой металлургии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродненский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Данная конференция проводится с 1994 года, и к настоящему времени стала традиционной, но в свете Директивы Президента республики Беларусь от №3 от 14

июня 2007 г «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» её проблематика приобрела особую значимость.

Открывал конференцию Председатель Гродненского областного исполнительного комитета В.Е. Савченко, с докладами на пленарном заседании выступили В.И. Тимошпольский, заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси, академик А.И. Свиридюк из Научно-исследовательского центра проблем ресурсосбережения НАН Беларуси, генеральный директор Института порошковой металлургии ГНПОПМ НАН Беларуси А.Ф. Ильюшенко, член-корреспондент НАН Беларуси В.А. Бородуля из института тепло-и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, В.Ф. Багинский из института леса НАН Беларуси.

В работе трех секций конференции

- Возобновляемые и нетрадиционные энергетические источники

- Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование

Переработка промышленных и бытовых отходов, использование вторичных материальных и энергетических ресурсов приняли участие 95 делегатов из Беларуси, России, Польши, Украины и Казахстана.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ганэса В.Л.

Анализ потребления природного газа промышленными предприятиями республики, используемыми в сумме около 80% его объемов, позволил выделить два основных направления:

на производство тепловой и электрической энергии собственными энергоисточниками – 27,1%;

на технологические цели и вспомогательные процессы – 72,9%.

Таким образом, практически треть потребляемого промышленными предприятиями природного газа идет на выработку тепловой и электрической энергии, остальное количество – на технологические и вспомогательные нужды.

По потреблению природного газа среди технологических процессов преобладают:

сушка; термическая и химико-термическая обработка металлов; обжиг (клинкера, сортовой посуды, кирпича); стекловарение и др.

При этом следует отметить, что хотя каждому министерству характерна своя специфика использования природного газа, все же есть и достаточно много общего. Например, для предприятий Министерства промышленности и Министерства строительства и архитектуры, крупных потребителей, характерны следующие направления, представленные в табл. 1 и 2:

Таблица 1

Основные направления потребления природного газа промышленными предприятиями Минпрома

Сушка, %	Термическая и химико-термическая обработка металлов, %	Плавка чугуна, стали и цветных металлов, %	Производство поковок и горячих штамповок, %	Отопление, вентиляция, ГВС, %	Прочие, %
20,1	43,6	7,7	14,5	10,4	3,7

Таблица 2

Основные направления потребления природного газа промышленными предприятиями Минстройархитектуры

Сушка, %	Обжиг в газопламенных печах, %	На нужды стекловарения, %	Отопление, вентиляция, ГВС, %	Прочие, %
13,6	54,0	7,0	21,0	4,3

Из общего количества газа, используемого на технологические нужды, согласно данным, представленным в табл. 1 и 2, по Минпрому львиная доля его идет на обеспечение металлургических процессов и термообработки металлов (порядка 65%), т.е. на технологии, основным оборудованием которых являются различного рода печи, аналогичная картина наблюдается и в Минстройархитектуры, где печным оборудованием также используется свыше 60% природного газа.

Для улучшения энергетической ситуации в Беларуси и особенно с потреблением природного газа целесообразно рассмотреть в первую очередь основные пути повышения энергоэффективности по доминирующим направлениям его использования.

В настоящее время основным источником энергоснабжения промышленных предприятий является ГПО «Белэнерго»: электроснабжение практически полностью централизовано – от Белорусской энергосистемы; теплоснабжение – частично от собственных источников энергии (около 50%), частично от объектов энергосистемы; газоснабжение (включая природный газ, идущий на использование в собственных котельных) – от концерна «Белтопгаз» и его структурных подразделений на местах.

Обеспечение другими видами топлива осуществляется самими предприятиями от различных источников.

В последнее время на ряде предприятий электроснабжение осуществляется и собственными электроисточниками путем создания мини-ТЭЦ, приобретения газотурбинных установок (ГТУ), газопоршневых агрегатов (ГПА), обладающих большей маневренностью и экономичностью, и т.д. Учитывая тот факт, что количество тепловой энергии, вырабатываемой собственными энергоисточниками, составляет примерно 50%, из которых около 40% идет на собственные нужды предприятий и около 60% отпускается на сторону, имеется возможность организовать совместное производство электрической и тепловой энергии на базе мини-ТЭЦ, создаваемых непосредственно на предприятиях взамен котельных, что существенно повысит эффективность использования то-

плива, в частности природного газа. Аналитически эффективность использования топлива при этом выражается соотношением [1]

$$k_{sf} = 1 - \frac{r + 1}{\eta \left(\frac{r}{\eta_e^p} + \frac{1}{\eta_{th}^p} \right)}, \quad (1)$$

где k_{sf} – коэффициент сбережения топлива; η – общий коэффициент эффективности; r – соотношение количеств производимых электрической и тепловой энергии; η_{th}^p – КПД при раздельном производстве тепловой энергии; η_e^p – КПД при раздельном производстве электрической энергии.

Возможный диапазон выработки электроэнергии на тепловом потреблении зависит от принимаемых технических решений и может быть определен в результате проведения обоснования инвестиций. Расчеты по формуле (1) показывают, что экономия топливно-энергетических ресурсов при совместной выработке тепловой и электрической энергии составляет в среднем 30-35%.

Особенно эффективно использование ГТУ, ГПА, когда они естественно вписываются в технологические процессы (например, использование теплоты отходящих газов за ГТУ для осуществления процессов сушки, обжига и т.п.). Утилизация теплоты отработавших газов за ГТУ позволяет существенно повысить их общий КПД (коэффициент использования топлива).

Большинство когенерационных систем можно охарактеризовать как головные или «хвостовые». В головной системе высокотемпературный теплоноситель (дымовые газы, пар) приводит в движение тепловую машину, чтобы генерировать электроэнергию, в то время как низкотемпературная теплота используется для термических процессов или теплоснабжения (или охлаждения). В «хвостовой» системе, наоборот, сначала высокотемпературный энергоноситель обеспечивает осуществление технологического процесса (например, в металлургической или стекловаренной печи, или в печи для обжига цемента), а затем горячие газы, если их давление достаточно, непосредственно используются в газовой турбине, приводящей в движение электрогенератор, или опосредствовано, производя пар в котле-утилизаторе, который с помощью паровой турбины вращает генератор, вырабатывая электроэнергию.

Один из путей модернизации существующей котельной (когенерации в теплоснабжении) – это установка ГТУ, вырабатывающей электрическую

энергию, с последующей утилизацией в водогрейном котле теплоты выхлопных газов для получения тепловой энергии. При этом ГТУ всегда работает на номинальной мощности, а варьирование тепловой нагрузки производится за счет котла.

Оптимальное соотношение максимальной и минимальной тепловых нагрузок позволяет эксплуатировать когенерационные установки в системе теплоснабжения круглогодично (при отсутствии технологических нагрузок летом осуществляется лишь горячее теплоснабжение, а зимой добавляется и отопление).

Другой путь – использование газопоршневых когенерационных установок.

Эффект когенерации существенно повышается при необходимости выработки, кроме электроэнергии и теплоты, еще и холода, т.е. осуществления тригенерации. Для реализации процесса когенерационная установка соединяется с абсорбционным устройством охлаждения, а теплота, произведенная КГУ (или его часть), используется при производстве холода абсорбционным способом.

Технико-экономические расчеты свидетельствуют о целесообразности использования парогазового цикла не только на крупных ТЭЦ «Белэнерго», но и в крупных промышленных котельных со сбросом отработавших в газовой турбине газов в котел-утилизатор, обеспечивающий паром установленные ранее или вновь приобретаемые паровые турбины.

Например, предположим предприятию на технологические цели необходим пар с давлением 0.5-0.6 МПа и температурой 230°C в объеме до 35 т/ч. Одним из эффективных решений может быть следующее. Установка двух когенерационных установок, предположим, НПП «Машпроект» (Украина), состоящих из газотурбинного двигателя GT-15.000 с электрогенератором и утилизационной котельной установкой. Основные параметры такой газотурбинной когенерационной установки представлены в табл. 3.

Таблица 3

Эл. мощность, МВт	Электр. КПД	Теп. мощность, МВт	Тепл. КПД	Расход пара, т/ч	КИТ	Давление/температура, МПа/°C	Расход газа, м³/ч
16.0	32.5	21.2	43.1	24.2	75.6	16/357	4150

Пар от утилизационной когенерационной установки поступает в паровую турбину с противодавлением и отбором, предположим, производства ОАО «Калужский турбинный завод». Ее характеристики приведены в табл. 4.

Таблица 4

Номин. мощн., кВт	P_1 , МПа	T_1 , °С	P_2 , МПа	T_2 , °С	$P_{отб.}$, МПа	$T_{отб.}$, °С	$D_{отб.}$, т/ч	$D_{ном.}$ при отборе, т/ч	$D_{ном.}$ без отбора, т/ч
2 500	1,3 (1.2-1.35)	300 (290-320)	0,12	113 (94-141)	0,6	230	0-35	49,6	29,5

Примечание: P_1 – давление свежего пара; T_1 – температура свежего пара; P_2 – давление пара за турбиной; T_2 – температура пара за турбиной; $P_{отб.}$, $T_{отб.}$, $D_{отб.}$ – давление, температура и величина отбора, соответственно; $D_{ном.}$ – номинальная величина.

Таким образом, обеспечив потребность предприятия в технологическом паре, подобный вариант энергоснабжения позволит использовать в зависимости от необходимости до 13 т/ч пара с давлением 0,12 МПа на цели отопления и горячего водоснабжения. В итоге предприятие получает 34,5 МВт установленной электрической мощности, достаточной не только удовлетворить собственную потребность в электроэнергии, но и отпускать значительное количество ее в энергосистему. Как известно, согласно Постановлению Министерства экономики Республики Беларусь от 31 мая 2006г. № 91 (во исполнение Указа Президента Республики Беларусь от 19 мая 1999г. № 285), предприятие имеет возможность в течение 10 лет со дня ввода в эксплуатацию продавать электроэнергию концерну «Белэнерго» по тарифам на электрическую энергию для промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью до 750 кВА с применением коэффициента 0,85.

Еще одно направление экономии природного газа – это повышение эффективности работы котельных установок.

Отопительные и отопительно-производственные котельные промышленных предприятий работают, как правило, с КПД не более 80%. В то же время достичь экономии топлива за счет повышения КПД котлоагрегатов и котельной в целом можно в большинстве случаев благодаря простейшим мероприятиям, которые по силам персоналу котельной и не требуют больших затрат. В первую очередь к ним относятся:

- устранение паразитных подсосов воздуха как в самом котле, так и в дымоходах и хвостовых поверхностях (экономайзере и воздухоподогревателе);
- улучшение тепловой изоляции котла, дымоходов, трубопроводов, хвостовых поверхностей;
- очистка теплообменных поверхностей от наружного загрязнения;
- при необходимости ремонт экономайзера и воздухоподогревателя;
- удаление отложений солей в барабане, труб-

ных пучках;

– организация отбора теплого дутьевого воздуха из верхней зоны здания котельной.

Ещё одним вариантом модернизации промышленных котельных может стать вариант совместной бивалентной работы котла и теплового насоса.

Тепловые насосы получили широкое распространение в развитых странах. В мире эксплуатируется свыше 20 млн. тепловых насосов различных мощностей – от единиц киловатт до сотен мегаватт. В США более 30% жилых домов оборудованы тепловыми насосами, 50% зданий, учреждений и жилых домов Стокгольма (Швеция) отапливается тепловыми насосами.

Основная причина неудачных попыток в Беларуси по использованию зарубежного опыта по тепловым насосам вызвана соотношением тарифов на электроэнергию и теплоту, которое в развитых странах отличается от отечественного в меньшую сторону. Стоимость электроэнергии в Беларуси примерно в 3,5 раза выше стоимости теплоты. В этих условиях необходимы нетривиальные оригинальные технико-экономические решения по освоению теплонасосной техники. В качестве примеров можно использовать следующие варианты.

1. В связи с тем, что электроэнергия невыгодный для тепловых насосов вид энергии, следует рассмотреть возможность использования в качестве привода компрессора двигателя внутреннего сгорания на природном газе. При использовании газового двигателя эффективность системы повышается благодаря использованию сбросной теплоты двигателя – теплоты охлаждающей воды и уходящих газов. Экономичность такой системы может быть повышена примерно на 15% (в расчете на высшую теплоту сгорания газа) при конденсации паров воды, содержащихся в уходящих газах двигателя.

2. При организации тепловой схемы, когда вода, возвращающаяся от теплопотребителя к насосу, нагревается вначале в конденсаторе, затем в рубашке охлаждения газового двигателя и, наконец, в теплообменнике отходящих газов. В этом случае коэффициент преобразования энергии может оказаться

вполне приемлемым и с учетом цены на газ.

3. Газопоршневой двигатель может быть приводом электрогенератора, который в свою очередь является приводом теплового насоса. Организация тепловой схемы должна быть подобна описанной выше.

4. Использование для привода тепловых насосов альтернативных источников – гидроэнергии, ветроэнергии и др., либо электроэнергии от альтернативных источников.

5. Применение абсорбционных тепловых насосов.

Повышение эффективности использования газа в технологических процессах

Рассмотреть все технологические процессы с применением природного газа и способы повышения эффективности его использования не представляется возможным, поэтому основное внимание следует уделить наиболее энергоемким из них, снижение удельного расхода газа при осуществлении которых существенно скажется на общем его потреблении.

В металлургии нагрев металла обычно осуществляется под прокатку или с целью различных видов термообработки. Для обычных углеродистых сталей нагрев под прокатку составляет около 1250-1260°C. На заводах с полным металлургическим циклом природный газ используют в виде добавок и смесей (с доменным и коксовым газом), что обеспечивает повышение температурного потенциала смеси газов.

В машиностроении в основном газ используется на нагрев металла и термообработку. Нагревательные печи применяются для нагрева металла до температур 1250-1400°C с целью придания ему пластических свойств перед обработкой давлением – штамповкой, прессованием, ковкой. Кроме того, печи используют для термической обработки, чтобы изменить внутреннее строение и структуру металла. В этом случае необходимые температуры составляют 500-1100°C.

В нагревательных и термических печах предъявляются достаточно высокие требования по обеспечению равномерности нагрева по сечению заготовок, уменьшению перегревов и окалинообразования, предотвращению термических напряжений, обезуглероживанию и т.д.

Основой эффективного использования природного газа при нагреве и термообработке является наиболее полное обеспечение сложных и подчас противоречивых требований технологии и при этом одновременно реализация ресурсо- и энергосберегающей политики.

В настоящее время в нашей стране, да и во всем

мире показатели работы различных печей и показатели энергоемкости существенно различаются. Удельные расходы топлива на нагрев даже при однотипных процессах и печах отличаются значительно. В то же время практика показывает, что при сопоставлении эффективности работы печей во многих случаях используются различные критерии. В результате получается, что диапазон КПД эксплуатируемых в республике печей колеблется от 5–15 до 82%. Вместе с тем, при этом как бы упускается из виду, что речь идет о разных показателях эффективности работы печей, которых, как известно (например [2]), существует несколько. С позиций энергоэффективности наибольший интерес представляют коэффициент полезного использования теплоты, который показывает, какая часть всей теплоты, генерируемой в печи, израсходована полезно, т.е. на нагрев металла, и является тепловым КПД рабочей камеры печи [2], и коэффициент использования топлива, который учитывает и теплоту, утилизируемую в виде вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). При этом первый выражается как

$$\eta_{к.п.т} = \frac{Q_{пол}}{\sum Q_{расх}}, \quad (2)$$

где $Q_{пол}$ – расход теплоты на нагрев металла, равный;

$$Q_{пол} = Mc_M (T_{М.К} - T_{М.Н}), \quad (3)$$

где M – масса нагреваемого металла, кг; c_M – средняя удельная теплоемкость металла, Дж/(кг К); $T_{М.К}$ и $T_{М.Н}$ – средние по объему металла конечная и начальная температуры;

$\sum Q_{расх}$ – суммарный расход теплоты, который приближенно можно представить как

$$\sum Q_{расх} = BQ_n^p, \quad (4)$$

пренебрегая приходом теплоты вследствие экзотермических реакций окисления металла, которое в современных печах должно быть минимальным или отсутствовать,

где B – расход топлива, м³/с (при сжигании газа); Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, Дж/м³.

Второй – коэффициент использования топлива – может быть определен как

$$\eta_{к.и.т} = 1 - \sum q_{ном.}, \quad (5)$$

где $\sum q_{ном.}$ – сумма всех относительных потерь теплоты, %.

Таким образом, если речь идет о коэффициенте

полезного использования теплоты, то он у подавляющего числа эксплуатируемых в промышленности республики газовых печей находится в диапазоне 5-15%, в то время, как у современных энергоэффективных он составляет 30-36%. Если же имеется в виду коэффициент использования топлива (природного газа), то он действительно (например на РУП «Белорусский металлургический завод») может достигать 80 %; в частности, они реализуются на агрегатах с комбинированной утилизацией теплоты: печь - рекуператор - котел-утилизатор.

В основном имеющиеся на печах низкие коэффициенты использования топлива объясняются отсутствием рекуперации теплоты, высокими тепловыми потерями, малой производительностью печей, отсутствием утилизации ВЭР, а также организационно-техническими просчетами. К числу последних относится тот факт, что зачастую производительность печи определяется не ее собственными характеристиками, а производительностью кузнечно-прессового оборудования, которое данная печь обслуживает и неритмичная работа которого, с частыми длительными простоями, обуславливает перерасход топлива, перегрев металла и ухудшение его свойств и т.д. Поэтому для существенного снижения потребления природного газа печным парком предприятий желательна комплексная реконструкция всего цеха, включающая не только модернизацию печей, но и организацию оптимальных технологических потоков.

Анализ использования энергоресурсов и, в частности, природного газа в печах на предприятиях машиностроения показал, что удельный расход топлива может быть снижен в несколько раз за счет проведения ряда мероприятий. К основным из них, как известно, относятся:

- применение современных горелочных устройств и средств автоматики горения и теплового режима;
- утилизации теплоты уходящих газов;
- интенсификация теплообмена в рабочем пространстве печи;
- применение для футеровки и изоляции новых волокнистых огнеупорных и теплоизоляционных материалов;
- учет и нормирование расходов газа.

Экономии топлива при нагреве металла способствует введение в действие новых современных мощных нагревательных печей с шагающими балками и подом.

Основная цель модернизации печного парка республики – повышение качества обработки металла

при максимально возможном увеличении коэффициента использования топлива (природного газа).

Аналогичные, во многом, проблемы решаются и в производстве строительных материалов. Цементные заводы расходуют примерно половину топлива и электрической энергии всех предприятий строительной промышленности. Самыми крупными потребителями топлива являются вращающиеся обжиговые печи. Значительную долю природного газа потребляют стеклозаводы, при этом до 30% идет на стекловаренные печи. Для производства 1 т продукции требуется приблизительно 15–20 ГДж теплоты. Наиболее энергоемким является производство технического стекла и ручное изготовление стеклоизделий (до 90 ГДж/т).

Основные резервы экономии этой отрасли заключены в переводе технологий с мокрого способа получения цементного клинкера на сухой, что позволяет снизить удельный расход на 20 кг у.т на тонну клинкера. Но и в процессах, работающих по сухому способу, удельные расходы топлива на отечественных предприятиях на 8–15% выше, чем в зарубежных странах, что создает возможности совершенствования технологии.

К числу других энергосберегающих мер в области промышленности строительных материалов можно отнести:

- интенсификацию процесса обжига клинкера путем внедрения эффективных теплообменных и горелочных устройств, расширение использования минерализаторов, замену глинистого компонента в сырьевой смеси технологическими материалами, использование термостойких огнеупоров, снижение влажности шлама в производстве клинкера за счет использования разжижителей и перевода мощностей с мокрого способа на полусухой;
- интенсификацию систем стекловарения и внедрение электрической и газозлектрической варки стекла;
- внедрение новых обжиговых агрегатов и модернизацию действующего оборудования в производстве керамзита и других пористых наполнителей;
- совершенствование сжигания топлива в шахтных и вращающихся печах, расширение использования фракционного сырья;
- совершенствование технологии производства строительной керамики, минеральной ваты, сантехнических изделий;
- замену устаревших газогорелочных устройств на более экономичные.

Производство пустотелых керамических камней и кирпича обеспечивает экономию топлива до 20% и снижает себестоимость продукции на 10–15%.

При сжигании газа во вращающихся печах обычно применяют горелки с регулируемыми характеристиками факела.

Предпочтение отдается диффузионным турбулентным незакрученным факелам, формируемым горелками с регулируемыми характеристиками факела. Представляют интерес горелки для вращающихся печей с двухступенчатым подводом газа и регулированием длины факела, выполненные по типу горелок ФСГ-Р, но гораздо большей мощности.

В производстве стекла основными потребителями газа являются стекловаренные печи. Коэффициент использования топлива на целом ряде предприятий составляет всего 20–30%. Это связано с несовершенством конструкций газогорелочных устройств, отсутствием автоматического регулирования процесса горения и теплового режима, недостаточным использованием теплоты уходящих газов.

Плавильные печи с барботированием продуктов сгорания через слой расплава весьма перспективны в промышленности стройматериалов для производства стекла, легких заполнителей бетона, пористого стеклокристаллического щебня, минеральной ваты и других материалов. Для указанных печей в Институте газа Национальной академии наук Украины разработаны многосопловые погружные горелки, применение которых позволяет обеспечить при минимальных размерах камеры горения надежную стабилизацию пламени, интенсивное горение газа в расплаве и развитую поверхность соприкосновения жидкой и газовой фаз.

Нагрев водных растворов в технических емкостях, широко используемый на машиностроительных предприятиях (в процессах мойки, покраски, обезжиривания поверхностей и т.д.), на производстве чаще всего осуществляется паром, как контактным способом, так и с помощью погружных труб. Альтернативой пару здесь может выступать сжигание природного газа в погружную трубу, размещенную в растворе, или непосредственно в раствор. Прямой контактный нагрев растворов продуктами сгорания эффективен до температур 65–70 °С.

При этом в раствор выделяется дополнительное тепло от конденсации водяных паров, образующихся при сгорании природного газа. Эффективность использования топлива может достигать 100%. Ограничения на применение этого способа нагрева могут быть связаны с нежелательными реакциями

продуктов сгорания с элементами раствора.

При увеличении температуры раствора большая часть тепла, вносимая продуктами сгорания, теряется за счет испарения из емкости, и может достигать 90% образующегося от сгорания природного газа тепла при температурах близких к 90 °С. Поэтому для температур водного раствора от 70 °С до 100 °С более эффективным способом нагрева является сжигание природного газа в погружную трубу.

Специальное горелочное устройство, расположенное снаружи резервуара, направляет высокоскоростной поток продуктов сгорания в погружную трубу малого диаметра, обеспечивая высокую теплоотдачу к раствору. Остывшие продукты сгорания выбрасываются в дымоход или под вытяжной колпак. Система оборудуется автоматикой безопасности и контроллером температуры. Примером такого горелочного устройства может являться горелка «ImmersoJet» фирмы «Eclipse Combustion».

Система может применяться как для водных растворов, так и солевых расплавов. Эффективность использования топлива в таких системах, в основном, зависит от длины погружной трубы и может составлять 85%.

Используемые системы включают трубы диаметром от 50 до 150 мм при тепловой мощности от 55 до 1000 кВт соответственно.

Этот способ нагрева по сравнению с системой парового обогрева приводит к уменьшению потребления топлива почти в 2 раза. Капитальные затраты на установку обычно окупаются менее, чем за 1 год с момента сдачи системы в эксплуатацию. Преимущества систем газового погружного нагрева:

- эффективность использования топлива 80% и более;
- высокая скорость нагрева: широкий диапазон регулирования (1:10) позволяет устанавливать горелки с избыточной мощностью для быстрого прогрева ванны после выходных и праздничных дней, периодов вынужденных и плановых простоев;
- простота управления тепловой мощностью за счет регулирования расхода газа позволяет точно поддерживать температуру раствора;
- отсутствие потерь, связанных с подводом теплоносителя к производственным объектам.

С целью уменьшения расхода технологического пара (полученного путем сжигания природного газа) на подогрев моюще-обезжиривающих и фосфатирующих растворов можно использовать средства, имеющие хорошие характеристики при температурах раствора 15–30 °С. Например, для очистки и обезжиривания металлических поверх-

ностей из нержавеющей и низколегированных сталей, конструкционных сталей с цинковым и кадмиевым покрытием, алюминиевых сплавов с покрытием и без покрытия, никелевых сплавов, бронзы, меди, олова, а также для очистки деревянных, окрашенных поверхностей, изделий из пластика, резины, стекла, оргстекла, керамики, а также для очистки текстильных, виниловых, ПВХ и других материалов может использоваться моюще-обезжиривающее средство Дэталан.

Аналогом Дэталана при очистке и обезжиривании стальных поверхностей может послужить добавка для химического и электрохимического обезжиривания поверхностей сталей Софэксгал-101 (ТУ РФ 2499-006-42942526-00). Эта композиция представляет собой гомогенизированную смесь поверхностно активных веществ ионогенного и неионогенного типов с высокой моющей способностью. Степень очистки поверхности достаточна даже при комнатной температуре, возрастая с ее повышением. По своим технологическим свойствам превосходит более ранние продукты типа ДХТИ-НТ, КДО, ЦКН-62 и др.

Применение добавки исключает использование органических растворителей, ЛВЖ и биологически жестких поверхностно-активных веществ. В связи с этим процесс с композицией Софэксгал-101 обеспечивает снижение энергозатрат на 50-80%, улучшение условий труда при обезжиривании изделий, увеличение срока службы электролита в три раза.

Уменьшение энергозатрат обеспечивается снижением температуры обезжиривающего раствора до 20-30°C, а улучшение условий труда – отсутствием испарений с зеркала ванны при холодном обезжиривании.

Для антикоррозионной обработки стальных поверхностей перед процессами холодной деформации: штамповки, вытяжки, вальцевания и др., а также для самостоятельной антикоррозионной защиты при межоперационном хранении деталей и изделий может применяться препарат ФП-3. Рекомендуется для замены ванны фосфатирования на основе монофосфата цинка, а также для холодного аморфного фосфатирования поверхности стальных изделий методом распыления или погружения перед нанесением лакокрасочных и порошковых покрытий. Так, для технологических ванн обезжиривания расчётный энергетический эффект от замены моюще-обезжиривающих средств достигает 90%. Такие же значения энергетического эффекта можно достичь при замене фосфатирующих растворов в

технологических ёмкостях фосфатирования.

Системы прямого нагрева воздуха (ПНВ) [3] представляют собой участок воздуховода, внутри которого располагается рамповый горелочный блок. Газопровод с регулирующей и запорной арматурой устанавливается снаружи воздушного канала. В соответствии с требованиями ГОСТ система ПНВ должна оборудоваться автоматикой розжига, контроля пламени и безопасности и системного мониторинга параметров воздуха в рабочей зоне. Принцип действия основан на сжигании природного газа в потоке проходящего воздуха, подаваемого затем на необходимые технологические нужды либо в систему приточно-вытяжной вентиляции. Нагрев воздуха происходит за счет смешения с продуктами сгорания.

Блочно-модульная структура горелочного блока РГ 1000 КМТ позволяет собирать практически любые конфигурации, подходящие практически для всех типов каналов, в широком диапазоне тепловых мощностей: от 100 кВт до 20 МВт. Такие системы рекомендуется использовать там, где по технологии предусмотрен значительный объем приточного воздуха: сварочное производство, покраска, травильные отделения, дробильные фабрики, птичники и т.п. Кроме того системы ПНВ могут быть использованы для устройства тепловых завес, процессов сушки текстиля, бумаги, древесины, зерна, солода, керамики и т.д. Преимущества систем ПНВ по сравнению с традиционными системами:

- высокая надежность теплоснабжения: устраняется опасность замерзания воды, в отличие от традиционных водяных калориферов,
- 100%-ное использование теплоты: все химическое тепло сжигаемого природного газа передается подогреваемому воздуху;
- низкие затраты на установку и эксплуатацию: рамповый горелочный блок легко встраивается в существующие каналы, например, приточно-вытяжной вентиляции. Не требуется специальная камера сгорания, дополнительная футеровка, либо дополнительный вентилятор;
- срок окупаемости системы не более одного отопительного сезона.
- существенное снижение вредных выбросов: смесительные нагреватели отвечают самым строгим требованиям по качеству сжигания газа и уменьшают его расход, полностью исключая потери тепла, присущие котлам и теплотрассам. Суммарные выбросы в атмосферу вредных веществ сокращаются в 2 – 6 раз по сравнению с централизованным теплоснабжением от котельной.

Системы ПНВ идеально подходят для двухстадийной технологии подогрева воздуха, при которой на одной стадии используется газовый нагрев, на другой – за счет водяных калориферов. Этот подход является действительно энергосберегающим, поскольку при сохранении высокой надежности теплоснабжения он позволяет использовать вторичное тепло в виде технологической горячей воды, которое, как правило, сбрасывается в канализацию или окружающую среду.

Для технологического нагрева воздуха, как правило, используют горелки с отдельной подачей воздуха на горение и способные выдерживать более высокие температуры технологического воздуха.

Прямой нагрев воздуха может быть успешно использован в агрегатах для сушки, нагрева, нормализации и т.д., там, где необходим подвод тепла за счет теплоносителя с температурой до 800°C.

Горячий воздух с помощью рециркуляционного вентилятора/дымососа подается в агрегат. Продукты сгорания от сжигания природного газа в специальном горелочном устройстве смешиваются с рециркуляционным воздухом, нагревая его

до требуемой температуры. Отходящий из печи остывший воздух направляется рециркуляционным вентилятором обратно в агрегат после подогрева на горелочном устройстве. В сушилах для удаления влаги часть воздуха из печи сбрасывается в атмосферу.

Такие системы успешно работают в камерах для сушки автомобильных корпусов после покраски, сушилах керамики и кирпичей и т.п.

Литература

1. Ганжа В.Л., Горошевич С.Г. Об эффективности использования газопоршневых когенерационных установок//Сб. «Тепло- и массоперенос – 2005». – Мн: ИТМО НАНБ, 2005.
2. Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Стеблов А.Б., Павлюченков И.А. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах. – Мн: «Вышэйшая школа», 1992.
3. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения. Книга 2. – М: «Теплоэнергетик», 2003.

СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПИТАТЕЛЬНОЙ (ПОДПИТОЧНОЙ) ВОДЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ, ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ, ВОДОБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ ОХЛАЖДЕНИЯ – ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Пушкарский А.И.

Правильно и рационально организованный водно-химический режим систем теплоснабжения обеспечивает надежную эксплуатацию всех элементов системы за счет предотвращения образования любых типов отложений на внутренних поверхностях котлов (подогревателей) и трубопроводов тепловых сетей, а также коррозионное повреждение внутренних поверхностей теплоэнергетического оборудования. Неотъемлемой частью правильно организованного водно-химического режима является система постоянного и представительного химического контроля подпиточной и сетевой воды.

Для удовлетворения разнообразных требований к качеству воды возникает необходимость специальной физико-химической обработки природной воды (химводоподготовки), осуществляемой на водоподготовительных установках, имеющих со-

ответствующее аппаратное оформление.

Водоподготовка включает следующие технологические стадии (фазы) обработки воды:

- очистка воды от взвешенных, органических веществ и коллоиднодисперсных соединений железа;
- умягчение или частичная деминерализация;
- удаление из воды агрессивных газов O_2 и CO_2 ;
- коррекционная обработка.

В последние годы в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения широко используется **стабилизационная обработка подпиточной воды (СОВ)**, реализуемая методом полной стабилизации природной («сырой») подпиточной воды путем добавления комплексонов.

При обработке воды комплексонами удается исключить стадию умягчения воды и стадию удаления агрессивных газов.

Комплексоны представляют собой, как правило, полимеры, содержащие анионные, катионные или неионогенные функциональные группы типа карбоновых, гидроксильных, сульфоновых и т.д. В теплоэнергетике в силу ряда причин, наиболее широкое применение получили фосфоновые соединения.

В настоящее время в РФ проведено фундаментальное исследование комплексонов. Установлено их строение, открыты эффекты стабилизации, и субстехиометрического взаимодействия; разработана математическая модель процесса ингибирования фосфоновыми соединениями кристаллизации солей, разработаны рекомендации по применению термодинамических критериев для оценки накипеобразующей способности воды и методика расчета расхода фосфонатов для предотвращения накипеобразования и снижения коррозионной активности сетевой воды.

Ингибиторы на основе комплексонов с фосфоновыми группами, способны в субстехиометрическом соотношении препятствовать росту кристаллов труднорастворимых солей щелочноземельных металлов.

Уникальная способность фосфоновых соединений ингибировать процесс кристаллизации карбоната кальция определяется близостью значений параметров кристаллической решетки CaCO_3 и фосфонат иона.

Карбонат кальция более чем другие труднорастворимые соединения склонен к образованию накипи. Это объясняется ярко выраженным кристаллическим полиморфизмом CaCO_3 , который в зависимости от условий кристаллизации может образовывать кристаллы с различной кристаллической решеткой (более 30-видов) и, соответственно, различными свойствами.

В присутствии фосфонат иона CaCO_3 кристаллизуется либо в виде мелких кристаллов арагонита игольчатой формы, не способных образовывать плотноупакованные прочные отложения, либо в виде частиц, не имеющих какой-либо организованной кристаллической структуры.

Кроме того, цинковые комплексы фосфоновых кислот, например Na_2Zn ОЭДФ (цинковый комплекс динатриевой соли 1-гидроксиэтилидендифосфоновой кислоты), одновременно являются эффективными ингибиторами коррозии.

Биологическое исследование фосфорорганических комплексонов, проведенное в Институте гигиены труда и профзаболеваний, выявило еще одно уникальное свойство этой группы веществ – практическое отсутствие токсичности.

Именно эффект субстехиометрии при ингибировании накипеобразования и коррозии, а также отсутствие токсичности предопределил широкое применение фосфоновых соединений в теплоэнергетике.

В настоящее время имеется огромный положительный промышленный опыт применения этих ингибиторов.

В Республике Беларусь, данная технология успешно используется с 1992 года на паровых и водогрейных котлах, в тепловых сетях, а также на водооборотных циклах охлаждения.

Универсальность технологии заключается в том, что ее можно применять и на чистом, и на загрязненном оборудовании не останавливая технологического процесса. В случае загрязненного оборудования процесс отмывки ранее отложившихся карбонатных отложений протекает в течение от полутора до трех месяцев. При этом, учитывая отсутствие коррозионной активности применяемых реагентов, не происходит уменьшение толщины стенок трубопроводов (как в случае химической промывки), более того по окончании процесса отмывки происходит пассивация внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов защитной пленкой, предотвращающей коррозию металла в период простоя оборудования.

Процесс теплопередачи характеризуется уравнением:

$$T_{СТ} = T_{РТ} + q \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_H}{\lambda_H} + \frac{\delta_M}{\lambda_M} \right)$$

где: $T_{СТ}$ – температура наружной стенки металла; $T_{РТ}$ – температура рабочего тела (воды, пара); q – удельный тепловой поток на единицу поверхности трубы (барабана); α_2 – коэффициент внутренней теплоотдачи; δ_H , δ_M – толщина накипи и металла соответственно; λ_H – теплопроводность накипи ($0,1-1,7 \text{ Вт/м}^{2\cdot0}\text{С}$); λ_M – теплопроводность металла ($35-40 \text{ Вт/м}^{2\cdot0}\text{С}$).

Как видно из этого уравнения - теплопроводность накипи в 20-80 раз ниже теплопроводности металла. Очевидно, что наличие накипи на внутренних поверхностях систем нагрева ведет к значительному перерасходу топлива.

Из практики внедрения, могу утверждать: – наличие накипи 0,5 мм на внутренних поверхностях конвективных труб котлоагрегата ведет к перерасходу топлива на 3–3,5%. Из той же практики – при обследовании котлоагрегатов перед монтажом АС-СОВ установлено: – 98% котлов эксплуатируемых в РБ имеют накипь вышеоговоренной толщины.

При внедрении СОВ происходит постепенная

отмывка от имеющихся отложений котлоагрегатов, тепловых сетей, а также внутридомовых коммуникаций и оборудование продолжает работать в безнакипном режиме.

Второй немаловажный аспект экономии энергоресурсов при внедрении СОВ: – сокращение до 25% потребления воды. Кроме стоимости самой воды как энергоресурса, идет сокращение потребления электроэнергии на перекачивание как воды, так и стоков от регенерации Na-катионитовых фильтров.

Третий аспект: — снижение безопасности эксплуатации котлоагрегатов и тепловых сетей. Как известно под слоем накипи интенсивно протекают процессы язвенной коррозии трубопроводов. Следствие всего этого – порывы трубопроводов и естественно потеря теплоносителя на который затрачены энергоресурсы. Эффект ингибирования коррозии металла, за счет создания пассивирующей пленки на внутренних поверхностях трубопроводов не только продлевает срок службы дорогостоящего оборудования, но и предотвращает от нежелательных порывов и утечек теплоносителя в период отопительного сезона.

Четвертый аспект: – значительное снижение затрат на химическую подготовку воды. Для примера: на сегодняшний день стоимость 1 метра кубического химочищенной воды (методом Накатионирования) на котельных Брестского котельного хозяйства составляет 5 494 рубля. При внедрении СОВ себестоимость обработки 1 метра кубического снижается до 850 рублей. При годовой подпитке 60 000 метров кубических – экономический эффект составляет 278 миллионов рублей.

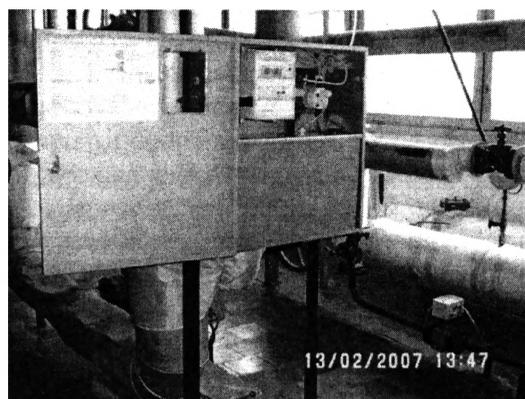
Вопрос введения ингибитора в систему котлоагрегата или систему теплофикации является очень важным моментом в процессе стабилизационной обработки воды. Учитывая что нет двух одинаковых систем, а также то, что приходится работать на системах которые по несколько десятков лет находятся в эксплуатации, к вопросу начала стабилизационной обработки необходимо подходить очень взвешенно.

Мы предлагаем для этих целей автоматизированную систему стабилизационной обработки воды которая позволяет производить необходимое и достаточное дозирование реагента в подпиточную воду учитывая: объем обрабатываемой системы, температурный режим работы котлоагрегата, качество воды, поступающей на подпитку системы теплоснабжения, а также объем подпиточной воды поступающей в систему теплофика-

ции в единицу времени.

В состав АС-СОВ входит:

- автоматический блок управления и обработки информации,
- блок хранения и дозирования ингибитора,
- узел индикаторных пластин,
- расходомерный узел.



Внешний вид АС-СОВ

Дозирование ингибитора осуществляется согласно режимной карты разработанной в результате обследования объекта и рассчитанной по специальной программе специалистами нашего предприятия. Используемый нами электромагнитный расходомерный узел не создает дополнительного гидравлического сопротивления, имеет более низкий порог срабатывания в сравнении с турбинными или лопастными расходомерами, а также более надежен в эксплуатации.

Узел индикаторных пластин позволяет эффективно контролировать процесс стабилизационной обработки воды не прибегая к остановке эксплуатируемого оборудования.

Температурная стойкость реагента составляет 210°С.

Расход реагента на 1 метр кубический подпиточной воды составляет порядка 5 грамм либо в денежном выражении 120 руб/м³.

ПДК $ОЭДФ-Зп$ для питьевой воды составляет 20 грамм/м³ (или 20 мг/литр).

Расчет произведенный совместно с Брестским областным управлением ЖКХ показал:

В системе Брестского областного управления ЖКХ на балансе состоит 414 котельных. Их них 47 котельных присоединенной нагрузкой более 4 Гкал/час потребляют 175 235 ТУТ в год, и содержат 124 котлоагрегата. Объем подпитки на выше оговоренных котельных составляет порядка 850 000 м³ в год.

При внедрении АС-СОВ на сорока котельных управления ЖКХ экономический эффект за счет

экономии топлива в результате безнакипной работы котлоагрегатов составит: **7 647 тыс. н.м³**, либо принимая стоимость 1 тыс.н.м³ равной 304 000 рублей получаем экономический эффект в размере - **2 324 688 000** рублей;



Состояние верхнего барабана парового котла до внедрения АС-СОВ

Сокращение потребления воды составит **204 000 м³** в год.

Снижение затрат за счет перехода на СОВ составит **2 527 900 000** рублей

Учитывая исключение периодических химических промывок котлоагрегатов, за счет безнакипного режима эксплуатации экономический эффект составит: **532 208 000** рублей за 4 года или **133 052 000** рублей в год.

Следовательно – годовой экономический эффект составит порядка **5 миллиардов** рублей.

Стоимость затрат на внедрение не превысит **1 миллиарда** рублей.

Потребность в реагенте на год эксплуатации составит порядка **100 млн.** рублей

Срок окупаемости при внедрении Автоматизированной системы стабилизационной обработки воды на котельной мощностью 5 Гкал в час – не превышает **шести месяцев**. Таким образом, мы видим что стабилизационная обработка питательной (подпиточной) воды котлоагрегатов, тепловых сетей и водооборотных циклов охлаждения является весьма эффективным методом экономии энергоресурсов.

Дополнительную информацию можно получить у специалистов Частного производственного унитарного предприятия «ПиК-92».

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРАДИРЕН

Петручик А.И., к.ф.-м.н.
ООО «ТрансБелСиб Техно»

Для отвода тепла от промышленного оборудования в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий используются градирни. Как правило, на предприятиях используются типовые многосекционные вентиляторные градирни испарительного типа с размером секции в плане 4x4, 8x8, 12x12 и 12x16 метров.

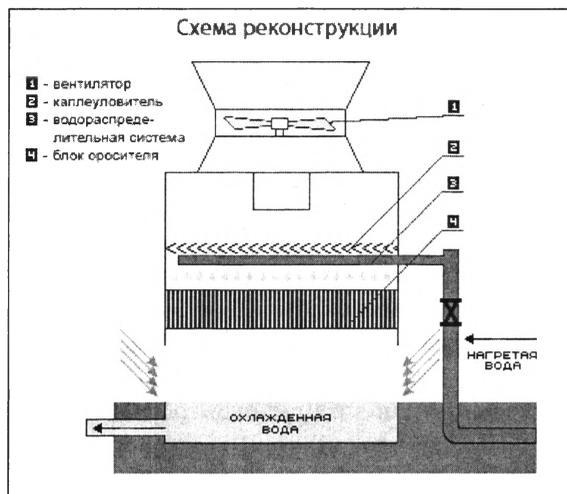
Как видно из рисунка 1 а и б, в типовой градирне нагретая вода, предназначенная для охлаждения, подается по подводящему трубопроводу на высоту от 5-8 метров, где по системе трубопроводов равномерно распределяется и разбрызгивается разбрызгивающими соплами по оросителю. Под действием силы тяжести вода стекает по оросительной насадке в водосборный бассейн. Воздух в градирню подается через воздухопроводные окна, расположенные в нижней части градирни. Вынуж-

денная тяга создается вентилятором.

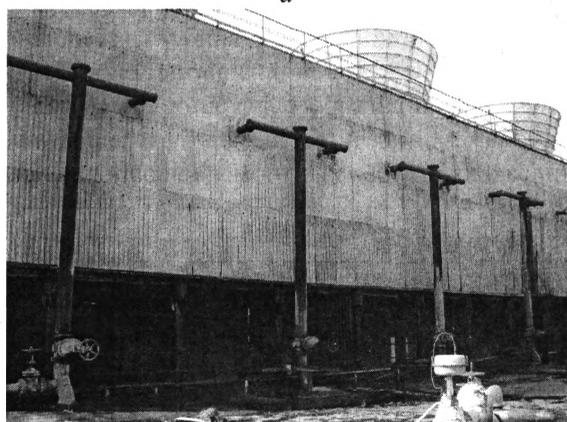
Между охлаждаемой в градирне водой и атмосферным воздухом происходит тепло- и массообмен. Теоретическим пределом охлаждения воды при испарительном охлаждении является температура мокрого термометра. Для среднесуточных летних метеоусловий температура мокрого термометра составляет около 20°C. Как правило, температура нагретой воды, поступающей в градирню, составляет 25-45°C. Температура охлажденной воды на выходе из вентиляторной градирни в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 не должна превышать температуру мокрого термометра более, чем на 5°C.

В процессе эксплуатации градирни выходят из строя ее основные элементы: ороситель, каплеуловитель, вентилятор, обшивка, каркас. При этом

разрушающиеся конструкции попадают в насосное и теплообменное оборудование, существенно уменьшается глубина охлаждения воды в градирне. Зачастую установка новых вентиляторов на старую градирню нецелесообразна из-за вибрации расшатавшегося каркаса. Стоимость замены оборудования и сроки ремонтных работ также велики.



а



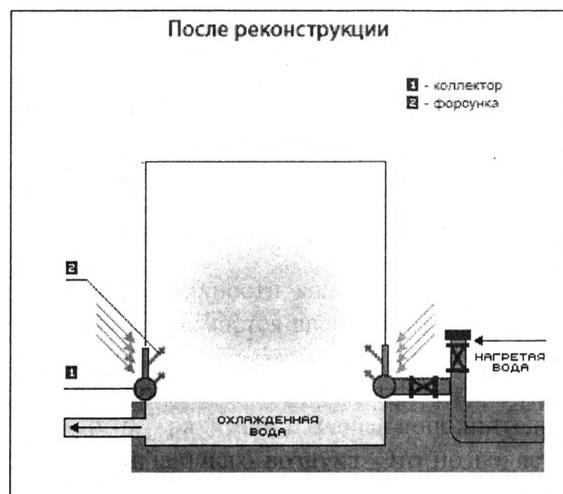
б

Рис. 1. Схема типовой вентиляторной градирни (а) и вид типовой вентиляторной градирни (б)

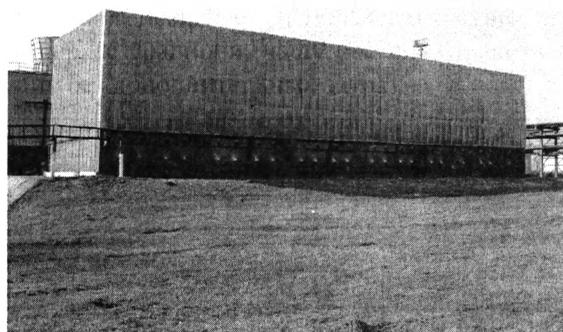
Альтернативным способом модернизации (патенты РБ № 3358 «Градирня энергетической установки», № 340б) является перевод градирен на брызгально-капельный режим работы.

Суть предлагаемого метода модернизации вентиляторных градирен состоит в переходе на режим работы, предполагающий отсутствие вентилятора, оросителя и каплеуловителя (рис. 2 а и б). При этом охлаждаемая вода под давлением 1.5÷2.5 кгс/см² подается в распылители, установленные в воздухоходных окнах. Мелкодисперсные капли воды равномерно заполняют освобожденное от оросителя пространство градирни. Теплообмен между водой и воздухом происходит на высо-

коразвитой поверхности капель. Теплый и влажный воздух поднимается вверх, а охлажденная вода собирается в водосборном бассейне. При этом скоростной поток капель эжектирует окружающий воздух внутрь градирни, создавая дополнительный расход охлаждающего воздуха. Это позволяет охладить воду в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84, повысить надежность конструкции, упростить ее обслуживание и сократить потребление электроэнергии. Предлагаемый вариант охлаждения позволяет использовать существующий каркас градирни, чашу бассейна и насосную группу без дополнительных затрат.



а



б

Рис. 2. Схема модернизированной градирни (а) и вид модернизированной градирни (б)

Следует отметить, что затраты и сроки на такую модернизацию в несколько раз меньше, чем на традиционный капитальный ремонт.

По предложенному методу предприятием ООО «ТрансБелСиб Техно» было модернизировано более 100 градирен на предприятиях России, Украины и Беларуси среди которых такие, как РУП ПО «Бела-

руськалий», ОАО «Нафтан» ОАО «Череповецкий Азот», ОАО «Северсталь», ОАО «Кольская горно-металлургическая компания», ООО «Промтрактор-Промлит», Белорусский шинный комбинат ОАО «Белшина», ОАО «Ревдинский завод по обработке цветных металлов», КП «Киевский завод углекислоты», ОАО «Гродно АЗОТ», ОАО «Электросталь», ОАО «Челябинский металлургический комбинат», ОАО «Челябинский кузнечно-прессовый завод», ОАО «Днепропетровский металлургический завод им. Петровского», ФГУП «Красноярский горно-химический комбинат», ОАО «Уралвагон завод» и другие. Таким образом, предложенный способ модернизации нашел широкое применение на предприятиях всех отраслей народного хозяйства: химической, пищевой, оборонной и атомной промышленности, металлургии, машиностроении.

В качестве распылителей воды в брызгально-капельной градирне используются блочные пятифакельные центробежно-струйные распылители из полиамида-6. Данный тип распылителя относится к цельнофакельным форсункам. По конструкции распылитель состоит из завихряющего вкладыша с центральным отверстием и несколькими периферийными закручивающимися каналами (рис. 3).

Для теплового расчета нового типа градирен была разработана компьютерная программа. Программа позволяет рассчитывать влияние различ-

ных параметров, таких как давление воды перед распылителем, тип распылителя, угол его установки, температура и влажность воздуха, температура и расход воды и других параметров на охлаждающую способность градирни.

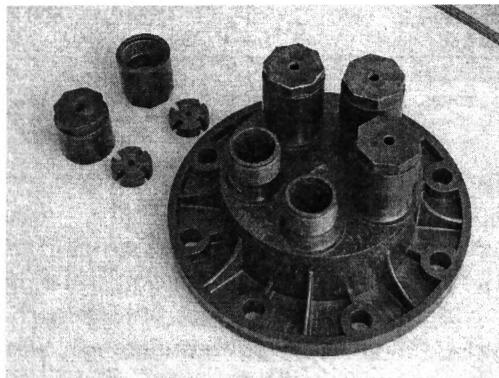


Рис. 3. Пятифакельный центробежно-струйный распылитель брызгально-капельной градирни

Как показывают теоретические расчеты и опыт эксплуатации, эффективность брызгально-капельных градирен не уступает эффективности башенной градирни, оборудованной двухъярусным асбестоцементным оросителем, а при давлении воды перед градирней около 2 кгс/см^2 и более не уступает вентиляторным градирням с работающим вентилятором и исправным оросителем.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТХОДОВ

*Астапчик С.А., Волочко А.Т., ФТИ НАН Беларуси
Овчинников В.В., ПРУП «Минский моторный завод»*

В последние годы в связи с истощением природных минеральных ресурсов и отсутствием иной сырьевой базы ставится вопрос переработки и дальнейшего использования отходов собственного производства. В большинстве случаев отходы производства являются смесью различных продуктов, каждый из которых по отдельности представляет ценное сырье, имеющее рыночный интерес.

Получение алюминиевых слитков (отливок) путем переплава стружки связано со значительным энергопотреблением. Совершенно очевидным является и тот факт, что если переплавлять загрязненную стружку, то металлургический выход составляет не более 60–70%. Вместе с тем сущест-

вует и другой более эффективный и менее энергоемкий путь переработки и использования стружки. Это путь механического измельчения отходов в порошки, их сепарирования, классификации для дальнейшего применения в различных отраслях народного хозяйства. Вместе с тем как для эффективного осуществления процесса переплава, так и для процесса диспергирования, подготовительной операцией является очистка от загрязнений и разделение компонентов отходов. Кроме того, изменяя структуру поверхности и самого материала стружки при ее подготовке, можно интенсифицировать процесс диспергирования. В таблице 1 приведены затраты на получе-

ние порошка различными способами.

Таблица 1

Параметры процесса	Распыление расплава из слитка	Распыление расплава из отходов	Механическое диспергирование стружки
Удельный расход энергии, кВт·ч/т	1100–1200	1200–1300	500–600
Удельные затраты труда, кВт·ч/т	20–25	30–35	15–18

Алюминиевые порошки широко используются в металлургической промышленности, машиностроении, производстве строительных материалов [1], главным образом для раскисления стали и сплавов [2], изготовления алмазобразивного инструмента [3], получения композиционных материалов и изделий из них [4]. В строительной промышленности это может быть пеноалюминий плотностью 0,6–1,2 г/см³. Получить более дешевый пеноалюминий представляется возможным из стружки механическим диспергированием ее до порошков размером – 2000+300 мкм. Энергозатраты при этом не превышают 0,3–0,4 \$ на 1 кг, и даже при использовании такого дорогого вспенивателя, как гидрид титана, себестоимость может быть снижена в 1,5–2 раза, что, по оценкам зарубежных специалистов, резко увеличивает спрос на него. Такой материал, обладая высоким звукопоглощением и экранирующим эффектом от электромагнитного излучения, имеет также достаточную удельную прочность и хорошую тепло- и огнестойкость.

Крупными потребителями алюминиевых порошков (пудр) (до 1000 тон/год) являются также предприятия по выпуску поробетона. Алюминиевые порошки используются в качестве газообразователя при формировании ячеистой структуры. Альтернативой таких порошков могут быть пасты с размером алюминиевых частиц менее 50 мкм, полученные из стружечных отходов. Необходимый состав фракций порошка достигается многостадийностью процесса диспергирования (рис. 1), причем жидкая среда, используемая при помоле, защищает порошки от окисления и препятствует взрыву. Также при добавлении в жидкую среду требуемых поверхностно-активных веществ (ПАВ) на стадии диспергирования можно получить необходимую структуру и свойства конечного продукта.

В мировой практике существуют различные технологии подготовки стружечных отходов. В зависимости от их засоренности, объемов образования отходы можно перерабатывать как на специализированных заводах вторичной цветной металлургии

(Вторцветмета), так и непосредственно в местах их образования, т.е. в литейных цехах машиностроительных предприятий, а также на производстве небольших коммерческих фирм.

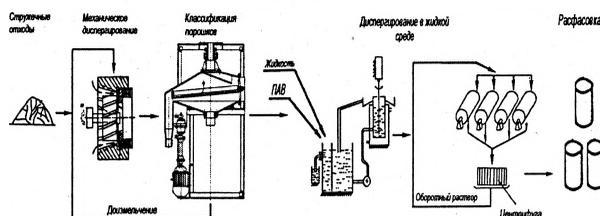


Рис. 1. Схема получения пасты для поробетона из алюминиевых стружечных отходов

Для отмывки очень влажной стружки от масла и СОЖ, загрязненной более 6%, применяют центрифуги непрерывного действия, которые изготавливают как с вертикальным, так и с горизонтальным расположением ротора [5].

На рис. 2 показана типичная схема центрифуги непрерывного действия с горизонтальным расположением ротора. Стружка захватывается лопастями ротора и под действием центробежных сил, передающихся от двигателя ротору, происходит отделение масла и влаги от стружки.

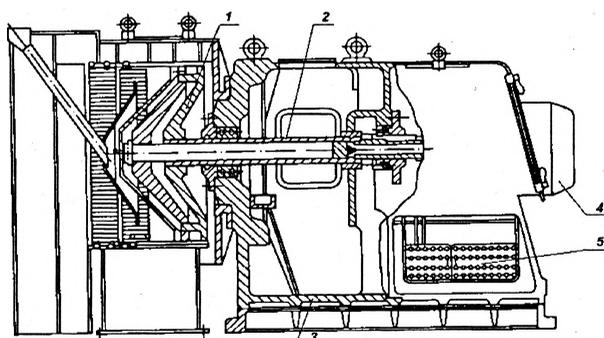


Рис. 2. Центрифуга непрерывного действия с горизонтальным расположением ротора: 1 — полости, 2 — ротор, 3 — корпус, 4 — двигатель, 5 — устройство фильтрации

Количество масла, остающегося в стружке после центрифугирования, составляет 1–2 %. Для того чтобы уменьшить количество масла, процесс повторяют с использованием острого водяного пара, чем снижают содержание масла до 0,5%, причем вместе с маслом удаляется и влага. Для удаления масла при центрифугировании используют четыреххлористый углерод.

Полное удаление масла может быть осуществлено в водном растворе, содержащем 6% жидкого стекла, 4% фосфорного натрия, 1% едкого натра,

0,5% хромовокислого калия [6]. Поскольку раствор небезопасен в обращении, возможно его многократное использование без обновления.

Существует технология промывки алюминиевой стружки системой душей растворов, содержащих в одинаковых количествах тринатрийфосфат, кальцинированную соду, едкий натр и эмульгатор ОП-10 [7]. После промывки обработанная жидкость переливается в приемный бак, установленный под наклонной камерой. Бак разделен на два отсека для многократного использования моющей жидкости (рис.3).

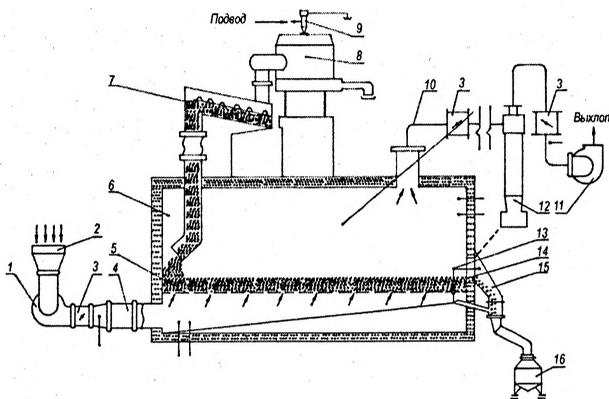


Рис. 3. – Схема линии сушки в кипящем слое: 1 – вентилятор поддува; 2 – всасывающий фильтр; 3 – задвижки; 4 – электрокалорифер; 5 – перфорированная решетка; 6 – аппарат сушки; 7 – шнековый транспортер; 8 – водоотделитель; 9 – гидроциклон; 10 – воздуховод; 11 – вытяжной вентилятор; 12 – циклон; 13 – клапан выгрузки; 14 – переливной порог; 15 – патрубок выгрузки; 16 – бункер

Через проемы наклонно установленного днища камеры вдувается горячий воздух температурой 90–95°C. Разработанная схема обработки металлоотходов позволяет очищать их до содержания остаточных загрязнений не более 0,1%.

Кроме того, в мировой практике получили распространение также технологии сушки с использованием установки типа «Интал» (Англия) [6;8], производительностью более 1,5–2,5 т/ч. В установках такого типа сушка ведется в безокислительной атмосфере нагревом стружки, поступающей во вращающийся барабан. Продукты горения и водяной пар через камеру дожигания, а затем фильтр выходят в атмосферу.

Учитывая мировой опыт и собственные разработки, на базе ПРУП «ММЗ» был создан комплекс устройств, позволяющих в непрерывном режиме производить сушку стружки и ее сепарирование (рис. 4) [8]. Часть отдельных агрегатов работы комплекса отличается «ноу-хау».

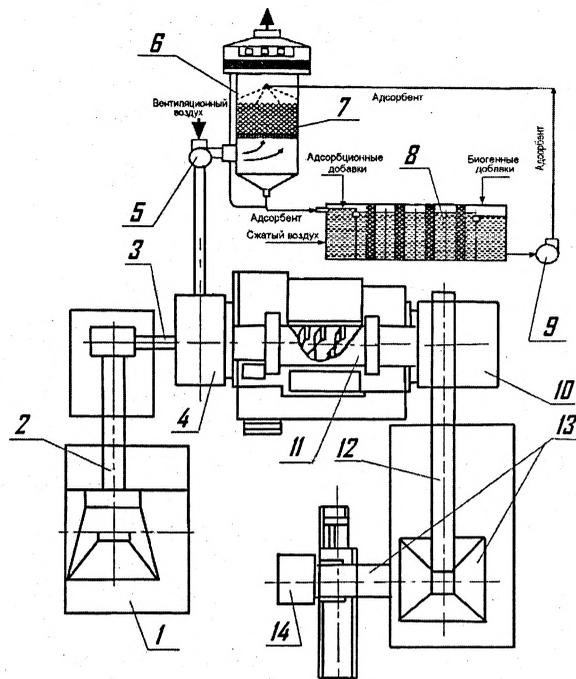


Рис. 4 – Устройство для подготовки алюминиевой стружки: 1 – приемный бункер; 2 – конвейер скребковый (загрузки); 3 – питатель лотковый инерционный; 4 – камера загрузки; 5 – вентилятор; 6 – абсорбер; 7 – массообменная решетка; 8 – биореактор; 9 – насос; 10 – точка; 11 – барабан сушильный; 12 – конвейер скребковый (выгрузки); 13 – шкаф управления; 14 – тара

Метод магнитной сепарации основан на различии в поведении (откликаемости) различных материалов в магнитном поле. Такое разделение материалов осуществляется в магнитных сепараторах или железоотделителях, особенностью которых является наличие в их рабочей зоне разделения магнитного поля, образуемого системой из постоянных магнитов, изготовленных из сплава системы Nd-Fe-B. При движении разделяемого продукта через магнитное поле сепаратора под воздействием магнитной силы частицы с различными магнитными свойствами движутся по отличным друг от друга траекториям, что позволяет магнитные и немагнитные частицы выделять в отдельные продукты [9].

Для очистки вентиляционного воздуха от вредных органических веществ, образующихся при сушке стружки, применена абсорбционно-биохимическая установка [4]. Эффективность очистки вентиляционного воздуха от триэтиламина, фенола, формальдегида, фурилового спирта, фурфурола составляет 96-99,9%; изоцианатов, метанола, цианидов, уайт-спирита, ксилола, толуола, бутилацетата, этилацетата, акролеина, ам-

миака – 70-96%: смолистых включений, окрасочной аэрозоли и взвешенных веществ – 99,9%.

Вентиляционный воздух, удаляемый от технологического оборудования с помощью с вентилятора 5, подается в абсорбер 6, где имеется массообменная решетка 7, на которой расположен слой шаровой насадки. Насадка непрерывно орошается абсорбентом с помощью насоса 9 и находится в «кипящем» состоянии, что обеспечивает интенсивный массообмен между газовой и жидкой фазами. В качестве абсорбента применяется раствор на основе технической воды. Регенерация абсорбента осуществляется в биореактор 8, где с помощью специально селекционированного штамма микроорганизмов вредные органические вещества окисляются до углекислого газа (CO_2) и воды (H_2O). Очищенный абсорбент вновь подается на орошение в абсорбер. Установка имеет замкнутый цикл циркуляции абсорбента и не имеет стоков. Очищенный вентиляционный воздух после сепарации абсорбента выбрасывается в атмосферу.

Существующие технологии переработки алюминиевых шлаков условно можно разделить на высокотемпературные и низкотемпературные. Высокотемпературные предусматривают, главным образом, извлечение металлического алюминия в расплавленном состоянии. При содержании оксидов и примесей в шлаке 30% алюминий теряет жидкотекучесть, поэтому в целях интенсификации разделения металлической и неметаллической составляющей шлака процесс ведут под действием гравитационных сил и вибраций, центробежных или электромагнитных сил [3].

Шлак перерабатывают при температуре 730–815°C во вращающихся печах [12], в стационарных тиглях с мешалкой [13] или вращающихся тиглях со стационарной мешалкой [14].

При содержании в шлаке металла менее 35-40% его высокотемпературная переработка является экономически нецелесообразной. Среди способов отделения расплавленного металла от шлаков можно выделить:

- способ отстаивания под действием гравитационной ликвации в шлаковой ванне при добавлении 15-30% флюса [15]. При двукратном отстаивании возможно извлечение до 70-75% алюминия;

- способ магнитно-гидродинамической сепарации (МГД) [16]. В результате действия вектора плотности электрического тока, направленного перпендикулярно действию магнитной индукции, в расплаве возникает сила, совпадающая с направлением силы тяжести;

- способ вакуумметрической ликвации [17]. Металл отделяется в тигле электропечи при остаточном давлении 15-20 мм рт.с. в режиме нагрева 850-900°C и вакуумирования с выдержкой в течение 2,5–3,0 ч.

Высокотемпературные способы отличаются повышенными энергозатратами; не обеспечивают комплексной переработки составляющих шлака, характеризуются невысоким показателем извлечения алюминия и наличием отвального продукта.

К низкотемпературным технологиям переработки алюминиевых шлаков относятся гидрометаллургический и механический.

При гидрометаллургической переработке процесс ведут промывкой шлака в специальных устройствах. И хотя данным способом возможно организовать комплексную переработку с извлечением металла и соли, однако существует опасность выделения в атмосферу вредных газов (NH_3 , CH_4).

Технологическая схема переработки горячих солевых шлаков, представленная на рис. 5 [10], позволяет производить и промывку в двух вращающихся барабанах при нулевой концентрации солей в промывке. Раствор очищают от нерастворимых частиц в сгустителях, гидроциклоне и вакуумном фильтре. Данный способ, хотя и позволяет отделить металл, оксиды и соли, однако ввиду сложности аппаратно-технологического оформления является наиболее затратным направлением по инвестициям

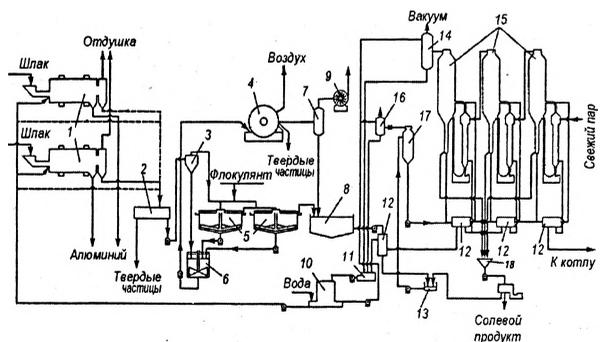


Рис. 5 – Аппаратно-технологическая схема переработки шлаков по методу Ньюэлл–Денфорд: 1 – выщелачиватель барабанный; 2 – классификатор; 3 – гидроциклон; 4 – вакуумный фильтр; 5 – сгустители; 6 – фильтр резервуара питания; 7 – фильтрующий ресивер; 8 – резервуар (хранилище) раствора; 9 – вакуумный насос; 10 – градирня; 11 – резервуар горячей воды; 12 – подогреватель; 13 – резервуар маточного раствора; 14 – конденсатор; 15 – тройной испаритель; 16 – паровой эжектор и конденсатор; 17 – воздухоотделитель; 18 – центрифуга резервуара питания

Для утилизации вредного влияния газов, выделяющихся в шлаке в присутствии воды, предложено последовательно промывать его водой и обрабатывать перекисью водорода с получением аммиачной воды [17]. Известен также способ нейтрализации водной промывки при добавлении соляной кислоты из расчета РН раствора 6,5-7,5 [18]. При РН < 6,5 из раствора выделяется не аммиак, а хлороводород.

Наиболее эффективным способом нейтрализации шлака является обработка ортофосфорной кислотой. В результате взаимодействия шлака образуются фосфаты алюминия, магния, силициевый метофосфат $\text{SiO}(\text{PO}_3)_2$, обладающие высокими вяжущими и огнеупорными свойствами.

При механической переработке охлажденный шлак измельчают в различных диспергирующих устройствах (шаровых, молотковых дробилках, грохоте и т.д.), доводя соли и оксиды до пылевидного состояния. Крупные частицы алюминия (корольки) после фракционирования и сепарирования от примесей железа идут на переплав.

Для исключения пылевыведения установки (рис. 6) обеспечиваются полной герметизацией, пневмотранспортом, пылеулавливающими циклонами, а также фильтрами, улавливающими размер частиц менее 60 мкм. К недостаткам данных установок можно отнести то, что пыль отличается фиброгенным и канцерогенным действием [16].

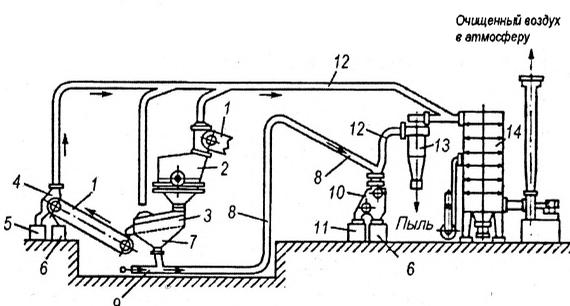


Рис. 6 – Аппаратурная схема переработки шлаков механическим способом: 1 — ленточный транспортер; 2 — дробилка ударного действия; 3 — вибрационный грохот; 4 — магнитный сепаратор для крупной фракции; 5 — емкость для обогащенного крупного концентрата; 6 — емкость для магнитной фракции; 7 — бункер для мелкой фракции; 8 — пневмопровод для мелкой фракции; 9 — клапан; 10 — магнитный сепаратор для мелкой фракции; 11 — емкость для мелкого концентрата; 12 — система пылеотсоса; 13 — циклон; 14 — пылесадительная камера с мешочными фильтрами

На основании проведенного анализа шлака после плавки в индукционных печах содержание

металлического алюминия в нем находится в пределах 40-45% (по данным ПРУП «ММЗ»). Причем, как показали исследования, наименьшее количество находится в виде отдельных корольков и сосредотачивается во фракции размером более 10 мм. Для их отделения предложено механическое диспергирование в галтовочном барабане с выполненными в цилиндрическом корпусе отверстиями диаметром 12-15 мм. Такой метод фракционирования позволяет извлекать и переплавлять крупную фракцию шлака в газовых печах, дополнительно получая до 50-60% металлического алюминия [7].

Таким образом, поиск эффективной комплексной переработки алюминиевых шлаков, особенно для отдельных металлургических цехов, может быть найден в сочетании механической переработки (путем обогащения шлака алюминием) с методами и приемами использования мелких фракций (менее обогащенных алюминием) для создания материалов специального назначения, сопутствующего производства алюминиевого литья. Это могут быть огнеупорные керамические материалы для форм литья и защиты чугунных тиглей, обмазки тепловых агрегатов алюминиевого литья, материалы для монолитной футеровки индукционных печей, для изделий литниковой системы и др. (ТУ ВУ 100185302.145-2007).

Литература

1. Волочко А.Т., Белов И.А. Использование отходов переработки алюминиевых сплавов (стружка, шлаки) в производстве строительных материалов / Архитектура и строительство. — 2005. — № 6. — С. 124–125.
2. Ласковнев А.П. Композиционные материалы на основе порошковых сплавов алюминия. — Гомель: ИМПС НАН Беларуси, 2002. — 143 с.
3. Кузей А.М. Композиционные материалы с волокнистой и ультрадисперсной структурой на основе алюминия. — Минск: Технопринт, 2005. — 300 с.
4. Волочко А.Т. Переработка и использование алюминиевых отходов в производстве порошков, паст, композиционных и керамических материалов. — Минск: Бел. наука, 2006. — 302 с.
5. Добаткин В.И., Елагин В.И. Гранулированные алюминиевые сплавы. — М.: Металлургия, 1981. — 175 с.
6. Гопиенко В.Г., Гопиенко Вик. Г. Опыт использования порошков алюминия и его сплавов при изготовлении деталей методами порошковой

- металлургии. — Л.: ЛДНТП, 1984. — 23 с.
7. Савицкий А.П. Технологические процессы получения порошковых алюминиевых материалов. // ЦНИИ экономики и информ. цв. металлургии. — М., 1983. — Вып.1. — 61 с.
 8. Савицкий А.П. Состояние и перспективы развития порошковой металлургии алюминия // Порошковая металлургия. — 1985. — №10. — С.41.
 9. Овчинников В.В., Колчин Р.Л., Волков В.И., Волочко А.Т., Ласковнев А.П., Макарова Ж.Е. Магнитные сепараторы и их место в современном литейном производстве. Переработка отходов (алюминиевая стружка) с целью дальнейшего использования в собственном производстве на базе ПРУП «ММЗ» // Лите и металлургия. — 2007. — №2. — С. 175–177.
 10. Гопиенко В.Г. [и др.]. Спеченные материалы из алюминиевых порошков. — М.: Металлургия, 1993. — 320 с.
 11. Электроразрядное спекание смесей порошков алюминия и меди / М.З. Кольчинский [и др.] // Порошковая металлургия. — 1977. — № 7. — С. 13–16.
 12. Дорожкин Н.Н. Электрофизические методы получения покрытий из металлических порошков / Н.Н. Дорожкин и [др.]. — Рига: Зинатне, 1985. — 131 с.
 13. Ramasaray K. Kinellus der sinterofenluft auf die Elgerischaften der Aluminiumlegierungen / K. Ramasaray, P. Namakrishnan // Powder Met. Conf., Florence, June 20—25, 1982. — 1982. — S. 527–534.
 14. Никифоров, Г.Д. Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов / Г.Д. Никифоров. — М.: Машиностроение, 1972. — 264с.
 15. Савицкий А.П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами / А.П. Савицкий. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991. — 184с.
 16. Радомысельский И.Д., Сердюк Г.Г., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы. — Киев: Техніка, 1985. — 152 с.
 17. Method of making composite bearing materials: Patent 1349523 GB, МКИ С 22 С 33/02 / G.K.N. Group Servies ltd: — No GB19700005693; заявл. 02.06.70; опубл. 03.04.74.
 18. Способ изготовления пористой спеченной детали из алюминия или его сплава: заявка 61-48566 Япония, МПК4 В 22 F 5/00, 3/14, С 22 С 1/08 / Ниппон дайакурэбайто К.К. — №55-50075; заявл. 15.04.80; опубл. 24.10.86 // Изобретения стран мира. — 1987. — № 8. — С. 72.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

*Гринчук П.С., Якутович Н.В., Ознобихин А.Н., Торопов В.В.
Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси*

В настоящее время машиностроение, станко-строение и металлообработка являются одними из ключевых составляющих промышленного потенциала Республики Беларусь. Существенная доля энергозатрат в этих секторах промышленности связана с термической обработкой металлов в печах. По причине низкой энергоэффективности работы большей части существующего печного оборудования, несколько лет назад в Институте тепло- и массообмена были начаты интенсивные работы по исследованию перспективных направлений модернизации печного парка промышленных предприятий. В данной статье приведены качественные оценки технических решений, которых следует придерживаться при модернизации старых и разработке новых печных агрегатов.

Для выполнения исследований по проблемам печного нагрева металла в Институте тепло- и массообмена был создан экспериментальный стенд — нагревательная печь с выкатным подом. Общий вид стенда представлен на рис. 1.

Печь представляет собой тепловой агрегат с выкатным подом, совмещенным с дверью камеры. Боковые поверхности камеры, под, свод и дверь футерованы волокнистой теплоизоляцией, под печи имеет жесткую раму, изготовленную из нержавеющей стали, необходимую для размещения нагреваемых стальных заготовок. Конструкция рамы позволяет дымовым газам со всех сторон омывать заготовку, что повышает равномерность ее нагрева. Печь имеет плоский свод. Выкатка пода осуществляется электромеханическим электроприводом.

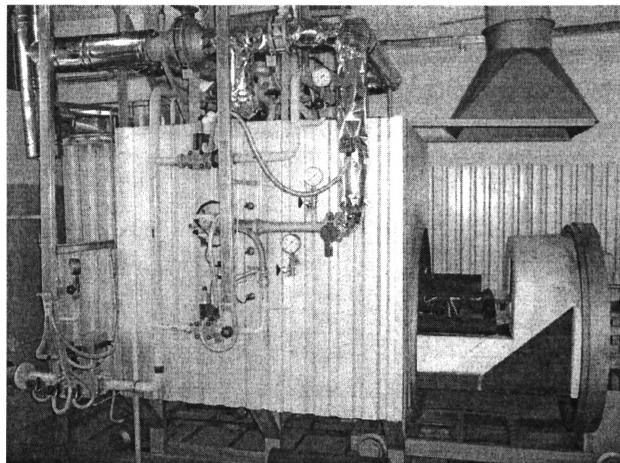


Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда «Нагревательная печь с выкатным подом»

На боковых поверхностях печи расположены две короткофакельные горелки (модель ВИС 100, производитель Kromschroder, Германия). На своде печи установлена одна плоскопламенная горелка (модель ВЮ 140, производитель Kromschroder, Германия). При истечении из горелки пламя формируется таким образом, что не вступает в соприкосновение с садкой, значительный импульс истечения газов при этом обеспечивает интенсивный конвективный теплообмен садки и дымовых газов.

Воздух на горение подается посредством напорного вентилятора по системе воздухопроводов. Отвод продуктов горения принудительный и осуществляется тягой дымососа. Печь оборудована рекуператором, в котором холодный воздух, подаваемый на горение, подогревается за счет тепла уходящих дымовых газов.

Контроль процесса нагрева осуществляется автоматической системой управления, которая полностью разработана и изготовлена сотрудниками ИТМО. При необходимости управление процессом горения может выполняться в ручном режиме непосредственно с экрана промышленного компьютера, на котором установлена программная часть системы управления. При управлении процессом контролируются следующие параметры:

- температура в рабочей камере печи в 4-х точках;
- температура нагреваемых стальных заготовок (в 4-х точках);
- температура внутри футеровки печи на различной глубине;
- температура нагрева первичного воздуха, подаваемого на горение;
- соотношение газ/воздух при любой мощности горелок (поддерживается постоянным);
- химический состав дымовых газов;

- температура дымовых газов перед рекуператором;
- температура дымовых газов перед дымососом;
- разрежение в печи.

Стенд позволяет проводить исследования различных режимов нагрева стальных и чугунных заготовок и готовых изделий (нагрев под отпуск, закалку, отжиг, ковку) и режимов сжигания природного газа, отрабатывать алгоритмы автоматического управления тепловыми процессами в печи, исследовать стойкость различных футеровочных материалов для различных режимов нагрева, конструкции газогорелочных устройств (их применимость для конкретной технологии нагрева), конструкции рекуператоров тепла дымовых газов и ряд других параметров. Созданная печь характеризуется высокой эффективностью использования тепла сжигаемого природного газа: для режимов нагрева стальных заготовок до температур закалки (800-850°C) тепловой КПД печи составляет 40-41%. Этот показатель в 2,5-3 раза выше, чем в средний КПД аналогичных печей, эксплуатируемых в настоящее время на промышленных предприятиях республики.

На экспериментальном стенде были использованы все современные технические устройства и элементы, позволяющие повысить энергоэффективность работы печей.

Результаты экспериментальных исследований и математического моделирования показали, что для повышения энергоэффективности работы печи принципиальными являются четыре составляющие: 1) современные газогорелочные устройства, 2) автоматизированная система управления тепловым процессом, 3) легковесные волокнистые футеровочные материалы, 4) рекуперация тепла уходящих дымовых газов. Остановимся ниже подробнее на каждом из перечисленных элементов с точки зрения их использования в широком спектре печного оборудования.

На современной печи необходимо использовать двухпроводные газогорелочные устройства, на которые газ и воздух для горения подаются принудительно. Именно это обстоятельство позволяет регулировать мощность горелки в широком диапазоне и рекуперировать тепло уходящих дымовых газов, т.е. подогревать воздух, поступающий в горелки.

Основные типы горелок, которые сегодня предлагают производители, это факельные (короткофакельные и длиннофакельные), плоскопламенные, рекуперативные, радиационные трубы и др. (рис. 2-5).

Особенностью факельных горелок (рис. 2) является высокая скорость истечения пламени (фактически горячей газовой смеси) из сопла горелки. Эта скорость достигает 100-150 м/с, что позволяет интенсивно перемешивать печные газы и интенсифицировать процесс теплообмена в рабочем пространстве печи. Однако такие горелки рекомендуется располагать таким образом, чтобы струя пламени не контактировала с садкой печи и не создавала локальных перегревов металла. Отметим, что короткофакельные горелки, в которых используется закрутка газового потока в продольном направлении, имеют меньшую длину факела (при мощности горелки в 100 кВт длина факела может составлять менее 0,5 м). За уменьшение длины факела приходится платить уменьшением скорости истечения газопламенного потока: 80-100 м/с у короткофакельных горелок по сравнению со 120-180 м/с у длиннофакельных.

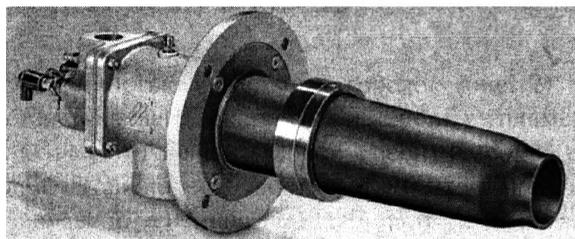


Рис. 2 – Короткофакельная горелка. Модель VIC 100 (Kromschroder, Германия) мощностью 160 кВт с керамическим насадком

Плоскопламенные горелки характеризуются тем, что благодаря конструкции головки горелки и специальной конфигурации горелочного камня пламя имеет не форму факела, а форму раскрывшегося цветка, лепестки которого закручены по спирали (рис. 3). Такая форма пламени обеспечивает большую равномерность обогрева рабочего пространства и садки печи, не приводит к локальным перегревам металла. Такие горелки удобно использовать в тех случаях, когда существуют ограничения по габаритам и необходимо исключить контакт пламени горелки и садки. Плоская форма пламени достигается сильной закруткой потока, поэтому скорость истечения пламени у таких горелок заметно ниже и составляет 20-50 м/с.

Другой тип горелок, которые производители позиционируют как плоскопламенные, представлен на рис. 4. В данном случае пламя имеет плоскую форму благодаря прямоугольной форме сопла горелки, вытянутом в одном из направлений. Данные горелки являются кислородными, имеют более узкий диапазон регулирования мощности (25-100%) и ис-

пользуются преимущественно на стекловаренных печах. Следует отметить, что форма пламени этих горелок (рис. 4, б) способствует более равномерному обогреву рабочего пространства печи.

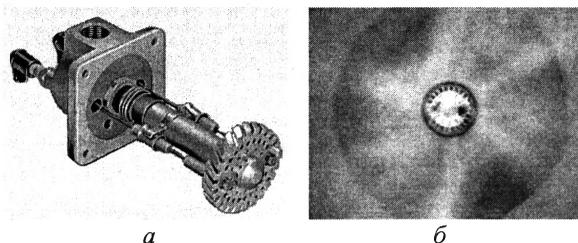


Рис. 3. Плоскопламенная горелка, работа которой построена на осевом закручивании газового потока. Модель BIO (Kromschroder, Германия): а – общий вид механической части, б – горелка в работе, вид спереди

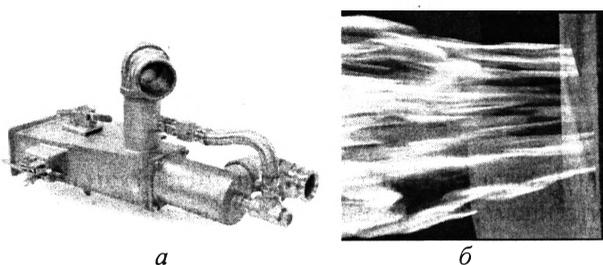


Рис. 4. Плоскопламенная горелка. Модель Eclipse PF400 (США): а – общий вид механической части; б – горелка в работе, вид сбоку

По поводу рекуперативных горелок стоит отметить следующее. Конструкция этих горелок позволяет подогревать воздух, подающийся на горение, непосредственно в самой горелке (рис. 4). Это достигается благодаря удалению дымовых газов из печи не через дымоходы, а через горелку. К достоинствам этой горелки стоит отнести высокую температуру подогрева воздуха. Недостатками этих горелок, ограничивающими их применение на печах, являются:

- 1) высокая стоимость (даже при европейских ценах на газ только для окупаемости горелок, обусловленной экономией газа, необходимо их непрерывная работа в течение приблизительно 3-4 тыс. часов);
- 2) более узкий диапазон регулирования мощности (50-100% по сравнению с 10-100% у факельных горелок);
- 3) более сложная конструкция газопроводов печи;
- 4) большие габариты (длина трубы на горелке, необходимой для рекуперации, составляет 500-600 мм, в отдельных случаях может достигать 1 м, что требует наличия стен такой же толщины);
- 5) большое давление воздуха (около 80 мбар),

требуемое для нормальной работы горелки. Такие горелки, по нашему мнению, больше подходят для работы в агрегатах, где необходимо обеспечивать постоянную тепловую мощность (например, в водогрейных или паровых котлах).

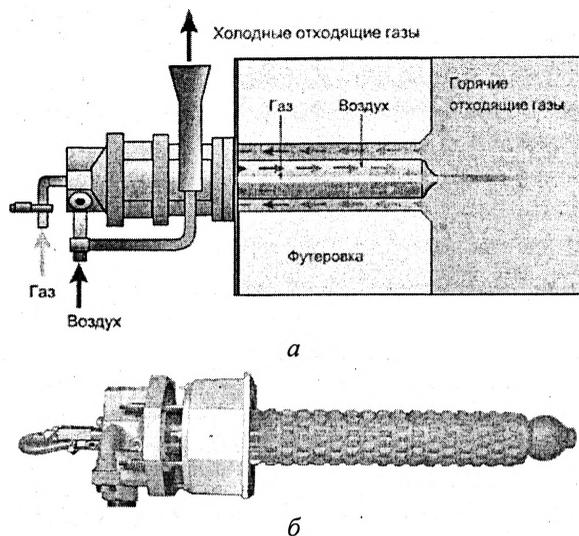


Рис. 5 – Рекуперативная горелка Rekumat C100 (Германия) мощностью 20 кВт: а - принцип работы; б – общий вид

Радиационные трубы используются в тех случаях, когда технология нагрева требует строгого контроля состава атмосферы в рабочем пространстве печи. В этом случае сжигание газа происходит внутри закрытой керамической трубы. Нагретые изнутри стенки трубы своим тепловым излучением нагревают садку металла. Данная технология является высокоэффективной с точки зрения качества нагрева, но более дорогой по сравнению с перечисленными выше.

Анализ целой совокупности факторов показывает, что для использования на промышленных печах в условиях Республики Беларусь целесообразно применять факельные и плоскопламенные горелки. Здесь необходимо отметить, что в настоящее время в Республике нет собственных производителей качественного газогорелочного оборудования. Учитывая потребности в таком оборудовании, представляется актуальным вопрос об кооперации науки и производства и организации выпуска собственных газогорелочных устройств.

По поводу автоматизированной системы управления (АСУ) тепловыми процессами в печах отметим следующее. АСУ выполняет две основные функции: собственно точная регулировка параметров процесса и поддержание теплового режима и оперативное реагирование на аварийные ситуации (погасание пламени горелки, останов

электродвигателей, скачки давления газа и т.д.). Преимущества использования АСУ состоят в исключении субъективного человеческого фактора из сложного технологического процесса; экономии топлива за счет строгого соблюдения режима нагрева; повышенной безопасности эксплуатации (автоматическая отработка аварийных ситуаций); уменьшении вредных выбросов (CO , NO_x) за счет использования газоанализатора; уменьшении угара металла (окажинообразования) за счет автоматического поддержания заданного коэффициента избытка воздуха (малоокислительная атмосфера). Прямой эффект от использования АСУ, связанный с экономией газа, может составлять по разным оценкам от 15 до 30%. Однако косвенный эффект, связанный с качеством термообработки металла и соответственно, качеством готовой продукции, может существенно превышать прямой. Опыт разработки АСУ для печей показал, что данная система должна иметь следующий минимальный набор функций:

1) *Контроль температуры дымовых газов* в рабочем пространстве печи. Сигнал по температуре должен являться основным сигналом для системы управления, по которому выполняется регулирование мощности горелок. Количество и места расположения термопар (контрольных точек) должны быть привязаны к зонам печи (для проходных печей) или к группам горелок (для камерных печей).

2) *Регулирование мощности горелок* посредством исполняющих механизмов (как правило, это управляемые заслонки и клапана). Важным вопросом при изменении мощности горелок является поддержание заданного соотношения газ/воздух. Контроль этого соотношения целесообразно строить на измерении давления газа и воздуха непосредственно перед горелками. Для корректировки этого соотношения необходимо, чтобы АСУ контролировала температуру воздуха, подаваемого на горение. Отметим, что существующие системы управления мощностью, основанные на использовании импульсных трубок (по данной трубке давление воздуха управляет изменением давления газа, причем вмешаться в это управление можно только на стадии наладки), показали свою плохую работоспособность при изменении мощности горелок в широком диапазоне. Логичное в данном случае использование расходомеров для непосредственного регулирования мощности и соотношения газ/воздух наталкивается на проблему подбора оборудования с приемлемыми техническими характеристиками: существующие расходомеры

обеспечивают стабильное и точное измерение расходов при избыточном давлении газообразной среды около 1 атм. Газопламенные печи работают, как правило, с избыточными давлениями газа и воздуха в районе 0,05 атм. Поэтому использование расходомеров затруднено низкими давлениями газовых сред.

3) *Контроль разряжения в рабочем пространстве.* Этот вопрос важен с точки зрения энергоэффективности работы печи. Поддерживая близкое к нулю разряжение в печи мы добиваемся устранения паразитных подсосов холодного воздуха в печь. Теплофизические расчеты показали, что, например, для камерной печи при поддержании разряжения в рабочей камере на уровне 30-50 Па и наличии отверстия в ограждающих конструкциях суммарной площадью в 20-30 см² (это соответствует щели в 2-3 мм суммарной протяженностью 10 м) подсосы холодного воздуха превысят по объему количество воздуха, подаваемого напрямую в горелки. Данные подсосы при неправильной нерегулируемой работе печи могут снижать ее КПД на 15-20%. Наша рекомендация состоит в установке регулируемой заслонки на тракте дымоудаления печи. Положением данной заслонки достаточно легко контролируется уровень разряжения в рабочей камере при работе дымососа с постоянной мощностью.

4) *Контроль состава дымовых газов.* Наиболее важным компонентом, содержание которого необходимо контролировать в дымовых газах, является кислород. При корректной работе горелок и вентиляторов печи содержание кислорода в дымовых газах должно находиться на уровне 0.5-1 %. Контроль этого параметра несет на себе две функции: индикация наличия подсосов холодного воздуха в печь и контроль правильной установки соотношения газ/воздух на горелках. Вторая функция необходима потому, что установка соотношения газ/воздух по давлению выполняется АСУ на основе расчета, а не прямого измерения расхода, и поэтому всегда имеет определенную погрешность.

5) *Контроль безопасности работы печи.* Эта функция включает в себя контроль герметичности запорной газовой арматуры, контроль погасания пламени, контроль отключения вентиляторов и ряд других. Наличие этих возможностей, безусловно, только повышает надежность работы печи и не нуждается в отдельных комментариях.

На проблеме рекуперации тепла в промышленных печах в данной работе мы не будем подробно останавливаться. Рекуператор, подогревающий воздух до средней температуры в 200-250°C, по-

зволяет экономить 7-9% природного газа. Этой теме посвящено достаточно много специальной литературы. Здесь отметим только тот факт, что не существует универсальных рекуператоров и в каждом конкретном случае требуется индивидуальный подход, учитывающий конструктивные особенности печи и особенности режима нагрева. Хорошо известно, что коэффициент теплообмена при обтекании дымовыми газами и воздухом какой-либо поверхности пропорционален коэффициенту трения. Соответственно чем больше тепла мы хотим забрать у дымовых газов, тем большую потерю давления мы будем иметь на рекуператоре. Поэтому желание повысить эффективность работы рекуператора зачастую приводит к необходимости установки мощных вентилятора и дымососа. Это, в свою очередь, может привести к увеличению подсосов холодного воздуха, об отрицательной роли которых сказано выше. С другой стороны, регулирование мощности горелок в широком диапазоне может привести к ситуации, когда на определенных стадиях процесса нагрева удельная мощность, возвращаемая в систему за счет рекуперации тепла дымовых газов может оказаться меньше, чем электрическая мощность дымососа, затрачиваемая на осуществление такой рекуперации. Отметим также, что рекуператор, позволяющий подогревать воздух до высоких температур, должен иметь развитую теплообменную поверхность. Такой рекуператор является металлоемким и требует использования большого количества дорогостоящей жаропрочной стали. Срок окупаемости такого высокоэффективного рекуператора будет приблизительно равен сроку его эксплуатации.

В заключительной части статьи остановимся на проблеме использования новых волокнистых материалов при футеровке печей. Современные волокнистые теплоизоляционные материалы можно классифицировать, прежде всего, по температуре применения. Основные интересующие нас группы выглядят так: I) температура длительного применения до 750-800°C (материалы КТПУ, БТП, Paroc); II) до 1200°C; III) до 1400°C. Эти материалы изготавливают из смеси волокон Al₂O₃ и SiO₂ толщиной 2-5 мкм, либо из базальтовых волокон (материалы первой группы). Для высоких температур применения к указанным компонентам делают небольшие добавки волокон оксида циркония. Температура применения таких материалов сильно зависит от связующего, использованного для сцепления волокон. Отметим, что каждый температурный класс материалов харак-

теризуется своим уровнем цен – чем выше температура применения, тем дороже материал. Общий уровень цен на волокнистые материалы в разы превышает цены на традиционные огнеупоры. Именно это обстоятельство сдерживает пока широкое применение данных материалов. Следует отметить, что производителями сегодня предлагается достаточно широкая номенклатура волокнистых материалов: формованные плиты различных типоразмеров и различной механической прочности, рулонные нетканые материалы, картон и бумага, формованные фасонные материалы, ленты, шнуры и т.д.

К преимуществу волокнистых материалов следует отнести низкую теплопроводность (0,1-0,3 Вт/(м К)) по сравнению с традиционными огнеупорами (0,6 Вт/(м К) легковесный шамот, 0,8-1 Вт/(м К) шамотный кирпич). Это означает, что стене из шамотного кирпича толщиной в 50 см по тепловому сопротивлению эквивалентна стена из волокнистого материала толщиной 10-15 см. Благодаря легковесности волокнистых материалов (150-450 кг/м³) и их теплоизоляционным свойствам уменьшение массы футеровки при замене ими кирпича может достигать 10-20 раз. За счет того, что эффективно на процесс нагрева в печи влияет только приповерхностный слой футеровки, потери на прогрев футеровки уменьшаются при этом в 5-10 раз. Важным свойством таких материалов является их высокая эффективная степень черноты (0,7-0,9). Благодаря этому эффективно и равномерно прогревается приповерхностный слой футеровки, после чего тепло переизлучается назад в рабочее пространство печи. Таким образом, использование данной футеровки позволяет улучшить и равномерность нагрева садки.

Одним из самых популярных и эффективных способов монтажа футеровки являются модули из рулонного материала (рис. 6). Эти модули с использованием специальной крепежной оснастки монтируются на предварительно подготовленные ограждающие конструкции печи. После крепления модулей ленты, сжимающие материал, удаляются, и за счет своих упругих свойств соседние модули поджимают друг друга, благодаря чему получается газоплотная стена. В местах с наибольшей тепловой нагрузкой (как правило, вблизи горелок), производители рекомендуют промазывать материал специальной высокотемпературной мастикой. Это упрочняет поверхность материала, уменьшает высокотемпературную абляцию.

Для уменьшения стоимости футеровки иногда применяют многослойную композицию материа-

лов. Это связано с тем, что даже если в рабочей температуре печи составляет 1250°C, то температура футеровки уже на глубине 100 мм не будет превышать 800-900°C. Соответственно возможно применить многослойную конструкцию, в которой внутренний слой имеет максимальную температуру применения, соответствующую рабочей температуре печи, а последующие слои изготавливаются из материалов со все более низкой температурой применения. При существенном снижении стоимости футеровки такой способ имеет недостаток, связанный с надежностью и долговечностью системы крепления футеровки, а также с разнородностью материалов. В этом случае экономия на материале может обернуться дополнительными эксплуатационными затратами.

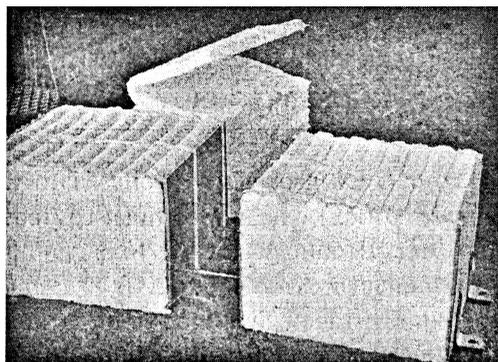


Рис. 6 – Модули из волокнистой изоляции с крепежными элементами

Относительно вопроса теплоизоляции ограждающих конструкций печи необходимо отметить, что из-за низкой механической прочности волокнистых материалов полностью исключить использование традиционных огнеупоров не представляется возможным. В каждой конкретной ситуации необходимо искать компромисс между стоимостью материалов, их теплоизоляционными свойствами и механической прочностью всей конструкции.

Представленные выше выводы и рекомендации не являются исчерпывающими. Они затрагивают лишь основные вопросы, возникающие при модернизации печного парка. Мы уверены, что только тесная кооперация науки и производства позволит создать в ближайшем будущем образцы печного оборудования, конкурентноспособного на внутреннем и внешних рынках.

Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. М.Л. Герману, под чьим руководством начинались работы по печной тематике.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ГОРЯЧЕГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Томило В.А.

Темпы снижения материалоемкости выпускаемой продукции – один из важнейших показателей, характеризующих эффективность машиностроительного производства. В государствах бывшего СССР материалоемкость национального дохода была в 1,5...2 раза выше, чем в промышленно развитых европейских странах, что связано, в первую очередь со сложившейся неэффективной структурой заготовительных производств. Преодоление такого положения возможно за счет широкого использования в производстве прогрессивных малоотходных технологий.

Автомобильная и тракторная промышленность является одним из основных потребителей металлопроката, причем более 500 тыс. тонн проката высокого качества идет на конструктивные элементы подвески и мостов, что составляет около 20 % от годовой потребности автотракторостроения в прокате. Республика Беларусь, являясь индустриально развитой державой, не обладает своей сырьевой базой. Тем не менее, значительный объем экспорта приходится на сложнотехническую продукцию. Поэтому уменьшение металлоемкости является одной из наиболее актуальных задач в промышленности. Широкое практическое внедрение в машиностроении малоотходных технологий, направленных на снижение материалоемкости, энергозатрат и повышение производительности, может быть осуществлено за счет уменьшения потребления традиционных сортов проката черных и цветных металлов путем использования более экономичных периодических профилей, производимых непосредственно на машиностроительных предприятиях.

Основными потребителями заготовок переменного профиля являются предприятия, связанные с производством автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин, одним словом те предприятия, где имеют место большие серии изготовления крупногабаритных деталей сложной конфигурации. Например, в автомобилестроении США применяются свыше 600 видов периодических профилей.

Практически все автомобильные фирмы США, Англии, Германии, Франции, Японии и ряда других стран в промышленных масштабах производят и применяют периодические профили для изготовления сложных деталей.

Несмотря на большое количество разнообразных периодических заготовок, используемых в промышленности, существуют три основных класса профилей, отличающиеся типом исходной заготовки: полосовые, фасонные и трубные периодические заготовки. Все эти типы заготовок можно использовать в качестве полуфабрикатов для производства основных деталей подвески и ходовой части автомобилей. Полосовые заготовки широко используют при изготовлении упругих элементов подвески, трубчатые – для изготовления полых корпусных деталей с повышенными требованиями к прочности и жесткости, в частности, картера ведущего моста. Фасонные периодические профили различных форм – в качестве заготовок под горячую объемную штамповку.

Несмотря на все преимущества использования в машиностроении периодических профилей, отечественная промышленность не освоила их производство в достаточном количестве и требуемой номенклатуры. Это связано, в первую очередь, с отсутствием простых и высокопроизводительных технологий и соответствующего оборудования, разработка которых усложняется тем, что получение таких заготовок представляет собой сложные и недостаточно хорошо изученные процессы пластического деформирования в силу того, что существует трудность получения точного профиля и конфигурации заготовки из-за одновременного влияния на процесс многих факторов – непостоянное обжатие, температура деформируемого металла, состояние поверхности заготовки и инструмента и т.д. Использование периодических профилей в ходовой части транспортных средств является наиболее эффективным способом уменьшения металлоемкости и повышения эксплуатационных характеристик при сохранении простоты конструкции, что, в свою очередь,

обеспечивает повышение надежности транспортных средств и экономию топлива.

Одной из наиболее технологически сложных деталей современного грузовика является картер ведущего моста. В настоящее время их изготавливают штампованными с продольным разъемом и приварными кожухами полуосей. Основным недостатком штампованных мостов является наличие сварного шва. Особенно опасно для прочности изделия перехлестывание сварных швов. Кроме того, штампованные мосты требуют громоздкого и дорогостоящего оборудования (КГШП, сварочные автоматы). Наиболее перспективным направлением получения картера заднего моста, в настоящий момент, считается технология изготовления картеров из трубы. Однако только очень ограниченное число способов нашли промышленное применение, причем преимущественно для автомобилей малой грузоподъемности.

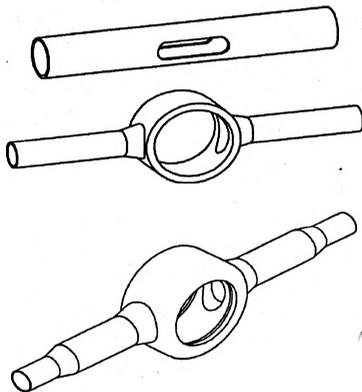


Рис. 1. Последовательность изготовления бесшовного картера ведущего моста

Изготовить бесшовный картер ведущего моста можно совмещая операции раздачи центральной части толстостенной трубы с обжимом ее концевых участков (рис. 1). Сначала в трубчатой заготовке выполняют центральный паз, затем производят раздачу, обжим и окончательную правку-калибровку.

Раздача трубной заготовки многозвенной шарнирной оправкой осуществляется в штампе на механическом кривошипном прессе усилием 2500-6300 кН [1]. Для штамповки используется трубчатая заготовка, в центральной части которой выполнены два овальных отверстия с противоположных сторон. Заготовку нагревают в индукторе или в специальной газовой печи в средней трети трубы до ковочных температур. Нагретую заготовку помещают в штамп, состоящий из многозвенной оправки 1, двух радиальных 4, двух торцевых 7 ползушек и деформирующих ножей 2, закрепленных на подвижном основании 3.

Раздача осуществляется следующим образом. Нагретая заготовка с предварительно фрезерованными центральными отверстиями помещается на консольно-закрепленную оправку 1, затем при помощи маркета прессы в центральное отверстие заготовки вводят неподвижные деформирующие ножи 2. При ходе ползуна прессы вниз торцевые ползушки 7, приводимые в движение клиньями, закрепленными на верхней плите штампа, сжимают заготовку в осевом направлении. Одновременно радиальные ползушки 4, соединенные с оправкой 1 при помощи клещевых захватов осуществляют раздачу в направлении, перпендикулярном оси заготовки. Далее заготовку снова нагревают и калибруют в калибровочном штампе.

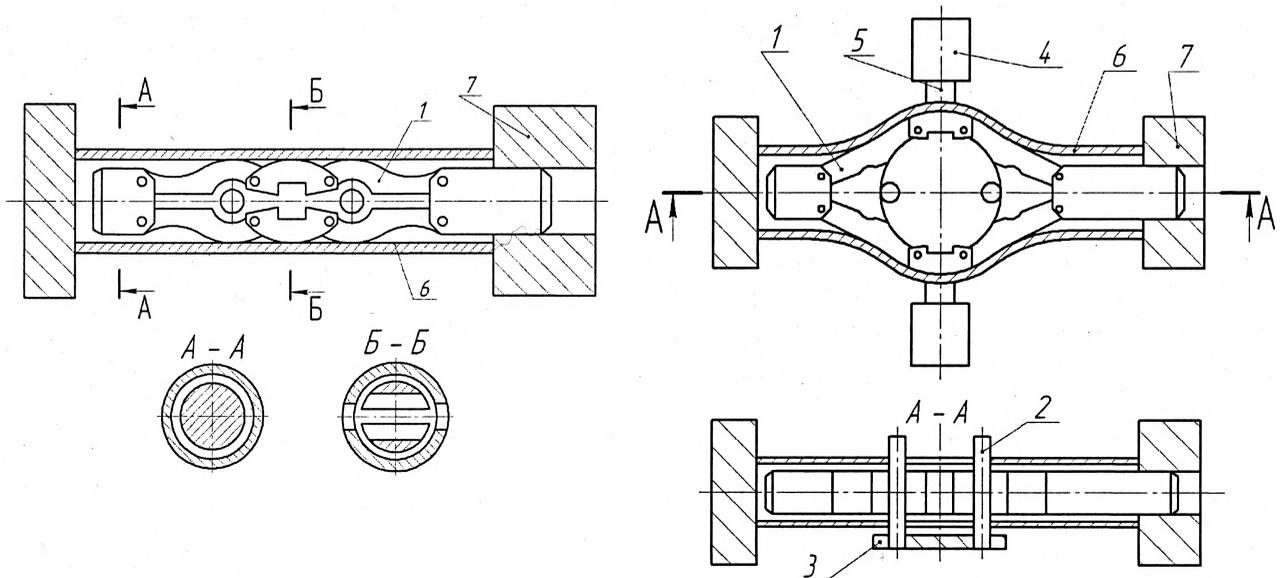


Рис. 2. Принципиальная схема штампа для раздачи трубы

Основное назначение деформирующих ножей - повысить пластичность металла путем приложения дополнительных сжимающих напряжений в сечениях заготовки, наиболее склонных к образованию трещин. За счет изменения схемы напряженного состояния на кромках центрального отверстия возможности раздачи существенно повышаются, а опасность потери устойчивости заготовки нагретой только в зоне деформации, полностью исключается. Как показали численные расчеты и экспериментальные исследования, проведенные на свинцовых и стальных заготовках, подпор кромок центрального отверстия уменьшает предельный коэффициент раздачи минимум в 1,5 раза. Этого вполне достаточно для получения заготовки балки картера ведущего моста автомобилей МАЗ.

Основная трудность получения полуосевых рукавов методами прокатки и обкатки заключается в невозможности получения готового изделия за один проход вследствие потери устойчивости заготовки в процессе обработки в радиальном направлении, что влияет на качество готового изделия и снижает производительность процесса. Предложенная схема (рис. 3) позволяет устранить указанные недостатки, а также свести к минимуму влияние неравномерности механических свойств горячекатаных труб, применяемых в качестве заготовок, на стабильность процесса.

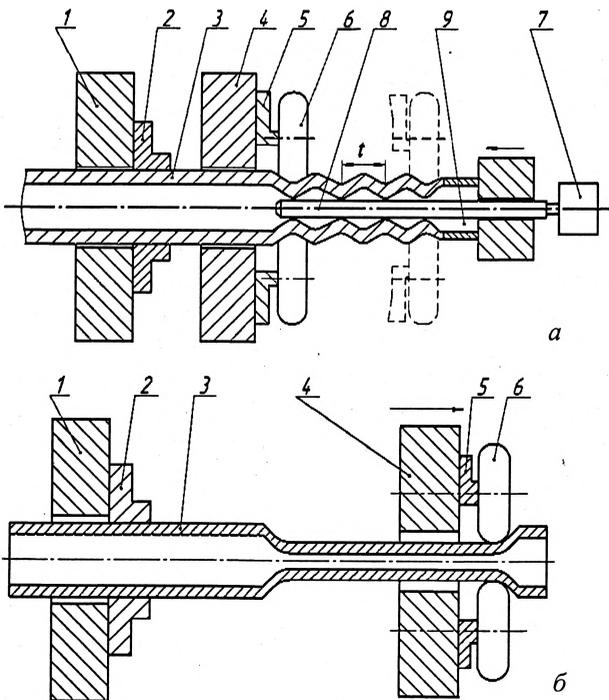


Рис. 3. Схема устройства для изготовления полуосевых рукавов

Процесс обкатки заготовки 3 в устройстве, состоящем из трех валков 6, закрепленных на ползунах 5 установленных в пазах основания 4, оправки 6, механизма 9, осуществляющего поджатие в осевом направлении, гидроцилиндра 7, происходит следующим образом. Предварительно нагретую до ковочной температуры заготовку одним концом закрепляют при помощи кулачков 2 в патроне I. В отверстие заготовки гидроцилиндром вводят оправку, и торец заготовки поджимают с целью создания осевого подпора.

Отличительная особенность предложенного способа обработки (обжатия) трубчатой заготовки заключается в следующем: обжатие трубчатой заготовки валками осуществляется многократно. Причем каждое новое обжатие производится со смещением валков вдоль оси заготовки на определенный шаг. В результате, трубчатая заготовка перед конечной, операцией (обкаткой) будет иметь гофрированную поверхность. После формирования последней гофры (рис. 3а) валки оставляют в сведенном состоянии и производят обкатку всего гофрированного участка до требуемого размера (рис. 3б).

Основными параметрами данного технологического процесса являются: шаг между гофрами и геометрические соотношения форме образующих роликов. При проведении экспериментальных исследований был использован набор роликов с углами при вершине 30°, 60°, 70°, 90°, 120°. Результаты экспериментальных исследований показали, что наиболее оптимальным является использование роликов с углом при вершине 60...70°, которые обеспечивают требуемую степень деформации без нарушения структуры изделия и достаточно высокую производительность процесса. При использовании роликов с углом при вершине менее 60° наблюдается появление трещин при единичном обжатии на оправку, а при обкатке гофр происходит их складывание. Использование роликов с углом при вершине более 70° позволяет увеличить производительность процесса за счет уменьшения единичных обжатий на требуемой длине. Однако при обкатке гофр наблюдается потеря устойчивости заготовки, что ведет к нарушению правильной геометрической формы готового изделия.

Шаг t между гофрами выбирается в зависимости от ширины S ролика и его оптимальное значение находится в пределах $t=(1,5...2)S$. При $t < 1,5S$ уменьшаются производительность процесса и при обкатке гофр возможно их складывание. При $t > (1,5...2)S$ появляются цилиндрические участки на пиках гофр и процесс их обкатки характеризуется

недостатками, присущими способу обработки заготовки без предварительного гофрообразования.

Разработанная технология обеспечивает получение картера заднего моста непосредственно раздачей и обжимом участков толстостенной трубы и, в сравнении с известными технологиями, позволяет повысить коэффициент использования металла на 25 %, производительность процесса в 1,5 раза и снизить трудозатраты на изготовление продукции в 2 раза.

Еще одной деталью большегрузного автомобиля требующей использования современных ресурсосберегающих технологий является балка передней оси. Когда выпуск автомобилей был небольшим, двутавровые балки передних мостов отливали из стали или ковкого чугуна. На некоторых моделях автомобилей устанавливались трубчатые и неразрезные передние мосты, изготавливаемые из хромо-молибденовой стали. Однако последние при массовом производстве имели большую стоимость, чем предыдущие. В настоящее время подавляющее большинство балок переднего моста изготавливается путем штамповки на молотах или прессах.

Традиционное изготовление балок передних мостов ковкой объясняется их сложной конфигурацией (рис. 4), затрудняющей применение другого способа, а также тем, что сопротивление усталости таких балок высокое, что объясняется образованием волокнистой структуры с ориентировкой волокон вдоль оси балки. Характерные особенности поперечных сечений балок передних мостов обусловлены стремлением к снижению перераспределения металла при ковке и повышению, вследствие этого стойкости штампов. Плавные переходы в сечении балок передних мостов обуславливают снижение концентраций напряжений.

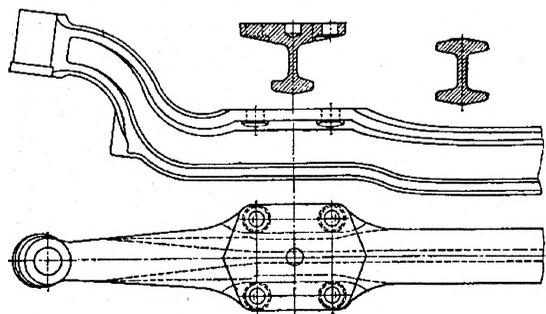


Рис. 4. Эскиз балки передней оси большегрузных автомобилей семейства МАЗ

При использовании в качестве под штамповку круглой заготовки постоянного по длине диаметра вес облоя достигает 50 % от веса самой поков-

ки, что недопустимо. Также имеет место интенсивный износ штампа. Продолжительное время заготовки под штамповку диаметром 115 мм протачивали в центральной части до 85...100 мм.

Анализируя состояние проблемы получения балки управляемого моста следует отметить, что, безусловно, наиболее перспективным является направление, предусматривающее централизованное снабжение автомобильных заводов унифицированным периодическим прокатом с металлургических заводов. Однако, учитывая возможности и конкретные потребности МАЗа в штучном периодическом прокате заготовок передней балки, приходится признать, что единственным приемлемым решением является разработка способа вальцовки и оборудования для его осуществления, позволяющих включить данную технологию и оборудование в действующий производственный цикл. Необходимую заготовку возможно получить на одноклетьевом, двух- или четырехвалковом стане [1].

Стан для вальцовки серединной части заготовки под поковку балки передней оси схематично представлен на рис. 5. Деформируемым инструментом в нем служат профилированные секторные валки 1, синхронно вращающиеся от привода. На оси одного из валков посажены кривошипные, с которыми шарнирно связаны шатуны 3. Другой стороной шатуны соединены при помощи цапф с подвижной траверсой 4, имеющей возможность перемещаться по направляющим 5, жестко закрепленным в станине. Траверса содержит подпружиненный толкатель 6. Для удержания заготовки 7 в горизонтальном положении служит неприводной рольганг 8.

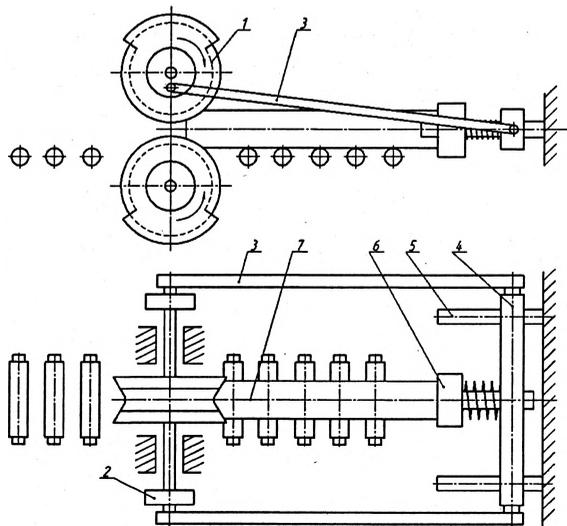


Рис. 5. Схема стана 2198 для вальцовки заготовки передней балки

В процессе вращения валков траверса совершает возвратно-поступательные перемещения. При положении траверсы в крайнем, отведенном от валков, положении заготовку укладывают на рольганг. Затем при включении стана траверса за счет кривошипно-шатунного механизма начинает перемещаться в направлении валков, заталкивая в них подпружиненным толкателем заготовку при строго определенном положении катающих секторов. После захвата с локальным обжатием, порядка 1...2%, заготовка перемещается валками и при набегании катающих секторов обжимается на квадрат, ромб, или двуглав в строго заданной ее части, а затем сопровождается снова валками вплоть до выхода из них.

Внедрение в производство технологии предварительной вальцовки и прокатного стана позволило добиться снижения металлоемкости на 20 %, сократить число ударов молота с 20 до 16-17, отказаться от механической обработки заготовки под штамповку и повысить стойкость штампов на 30%.

Достаточно ощутимыми оказались достижения периодической прокатки в рессорном производстве, а точнее при изготовлении малолистовых рессор, широко применяемых в последнее время в различных транспортных средствах. Достаточно сказать, что практически все автомобильные заводы США, Англии, Франции, Германии, Японии и других развитых стран применяют рессорную подвеску, изготовленную из листов переменной толщины. Это позволяет снизить массу каждой рессоры в среднем на 30%, а долговечность повысить в среднем более чем 1,5 раза по сравнению с вариантом многолистовой рессоры.

В то же время, несмотря на очевидные преимущества малолистовых рессор, автопроизводители СНГ по ряду причин не смогли освоить их широкое промышленное производство. Во многом это сдерживается сложностью самого процесса периодической прокатки, отличающегося нестационарными условиями формообразования, а именно: переменное обжатие полосы по длине, различные температурные условия в начале и в конце процесса деформирования, изменение величины опережения и другие факторы. В связи с этим существенно усложняется расчет геометрии деформирующего инструмента и конструкция технологического оборудования.

Одним из основных способов получения полос с переменным по длине профилем, нашедшим промышленное применение, является прокатка полосы в приводных валках постоянного диамет-

ра с изменяющимся в процессе деформирования межвалковым зазором. Именно этот принцип заложен в технологии и оборудовании известной немецкой фирмы «Daniel Heuzer», которые используют в настоящее время практически все мировые производители малолистовых рессор. Эта технология, хотя и позволяет получать заготовки малолистовых рессор достаточно высокого качества, не может быть повсеместно использована ввиду высокой стоимости оборудования и лицензии. Причем, высокая стоимость оборудования «Daniel Heuzer» вызвана не только тем, что фирма является монополистом в данной области, но и объективно высокой его себестоимостью связанной с большой сложностью и металлоемкостью.

Учеными БНТУ и ФТИ НАН Беларуси совместно со специалистами Минского автомобильного завода под руководством академика НАН Беларуси был разработан ряд принципиально новых способов формообразования заготовок малолистовых рессор (рис. 6) [2]. При движении оправки в направлении прокатки происходит непрерывное возрастание обжатия валками заготовки и формирование окончательного (параболического) профиля, определяемого геометрией продольного контура оправки, диаметром валков и межосевыми расстоянием.

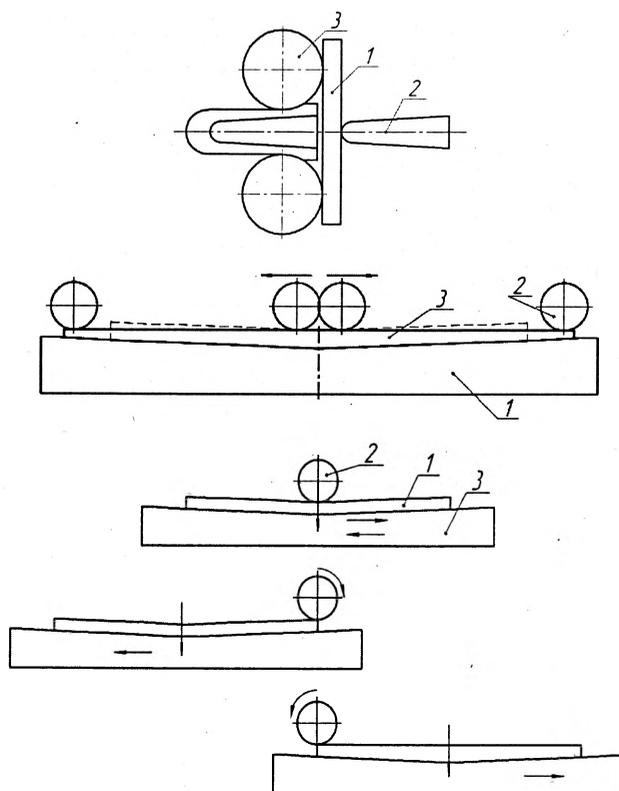


Рис. 6. Схемы прокатки параболических заготовок малолистовых рессор неприводными валками

Данным способам присуще переднее натяжение, поскольку одних сил трения на контакте полосы с оправкой недостаточно для передачи энергии от металла к валкам и обеспечения вращения последних. Наличие переднего натяжения приводит к существенному снижению давления металла на валки и, тем самым, к уменьшению упругой деформации нагруженных элементов в прокатной клети, что также способствует повышению точности размеров и формы получаемых изделий.

Способы изготовления полос с переменным по длине профилем и оборудование для его осуществления защищены 10 авторскими свидетельствами бывшего СССР, патентами Республики Беларусь, Великобритании США и Германии.

Внедрение новой технологии осуществлено на Минском рессорном заводе. Несмотря на промышленное освоение, постоянно ведутся работы по усовершенствованию способа и технологии прокатки заготовок и дальнейшему освоению новых типов малолистовых рессор. На сегодняшний день освоены и успешно прошли стендовые и ходовые испытания передние и задние малолистовые рессоры автомобилей семейства МАЗ, рессоры для микроавтобусов и грузовиков малой грузоподъемности «Газель», «РАФ», «Люблин», прицепов к легковым автомобилям «Зубренок». В рамках международного сотрудничества, разработаны технологии получения упругих элементов подвески для грузовых автомобилей «Стар» и «Мерседес».

Многие зарубежные фирмы проявили большой интерес к данной технологии. Американская фирма «Итон Корпорэйшн» (Детройт) приобрела лицензию на производство заготовок малолистовых рессор. Интерес американских автопроизводителей к разработкам белорусских ученых показателен хотя бы тем, что, имея в своем распоря-

жении семь установок «Daniel Heuzer», крупнейший производитель рессор на американском континенте фирма «Eaton» делает все возможное для внедрения на своих заводах новейших технологий. На одном из дочерних предприятий этой фирмы (г. Чадем, Канада) под руководством и непосредственным участием сотрудников ФТИ НАН Беларуси, БНТУ и МАЗа спроектирована, изготовлена и запущена в производство автоматическая линия по изготовлению заготовок малолистовых рессор по данной технологии. Производительность этой автоматической линии достигает двух тысяч заготовок за смену. Планируется расширения ассортимента рессор, изготавливаемых по разработанной технологии.

По результатам проведенных исследований спроектирован ряд станков периодической прокатки. Созданы установки для изготовления заготовок малолистовых рессор большегрузных автомобилей МАЗ, легковых автомобилей и прицепов к ним. Весь комплекс оборудования изготовлен отделом станкостроения и кузнечно-штамповочным производством Минского автозавода. В настоящее время на Минском рессорном заводе функционируют две полуавтоматические линии, полностью обеспечивающие потребность Минского автозавода в малолистовых рессорах и направляющих элементах пневмоподвески для автомобилей и полуприцепов.

Литература

1. В. В. Клубович, В. А. Томило. Технологии изготовления и обработки специальных периодических профилей. – Мн., 2007. – 295 с.
2. А. В. Степаненко, В. А. Король, Л. А. Смирнова. Прокатка полос переменного профиля. – Гомель, 2001. – 180 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ ПЕРЕГРЕВА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕПЛОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Драгун В.Л., Лещенко В.Г., Щелак Т.Е.

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

Приборы инфракрасной техники получили за последнее десятилетие достаточно широкое распространение на предприятиях энергетики, химического и нефтегазового комплексов, жилищно-коммунального хозяйства, в строительстве и т.д.

В настоящее время на многих промышленных предприятиях Республики Беларусь актуально проведение термографического мониторинга технологического оборудования и промышленных объектов по тепловым параметрам. Это вызвано

необходимостью поддержания определенного температурного режима производственных объектов в целях нормального функционирования.

Термографические исследования позволяют быстро и четко обнаружить возникшие неисправности, т.к. контроль проводится в реальных условиях эксплуатации, а измерения являются бесконтактными.

В промышленности методом инфракрасной диагностики можно обследовать состояние огнеупорной футеровки, изоляции печей, котлов, емкостей-хранилищ, изолированных трубопроводов и т.д. На рис. 1 приведены термограмма и фотография боковой поверхности печи, фото которой представлено на рис. 2.

На рис. 3, 4 приведены термограммы и фотографии отдельных фрагментов печи с выявленными дефектами типа трещины и утонения футеровки.

В некоторых случаях физический контроль за состоянием теплоизоляции объектов (визуальный осмотр, взятие проб для анализа и т.д.) крайне затруднен или вообще невозможен. В таких усло-

виях тепловой неразрушающий контроль является незаменимым эффективным средством диагностики состояния теплоизоляции. На рис. 5 представлена термограмма дымовой трубы с дефектом. Температура дефектной зоны согласно шкалы составляет 113°C. Термографические обследования позволяют экономить энергоресурсы и снизить тепловые потери.

Применение ИК-методов контроля позволяет выявлять дефекты не только в промышленных объектах, но и в зданиях и сооружениях при проведении ремонтных работ, что играет важную роль в повышении энергетической эффективности сооружений, а также позволяет защитить капиталовложения в оборудование и материалы.

Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси располагает Центром коллективного пользования по теплофизическим и тепло-техническим измерениям.

Основными направлениями исследований Центра является проведение экспериментальных работ, а именно: измерение температур и темпера-

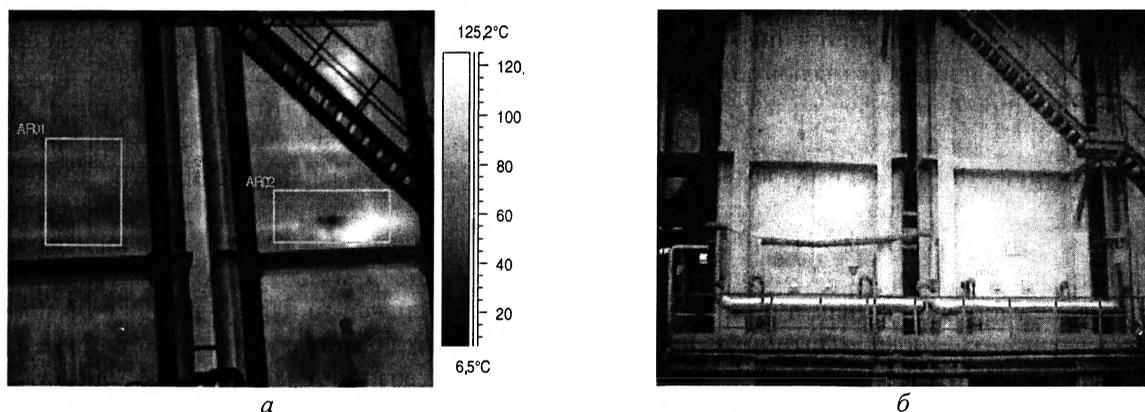


Рис. 1. Термограмма (а) и фотография (б) фрагмента боковой поверхности печи

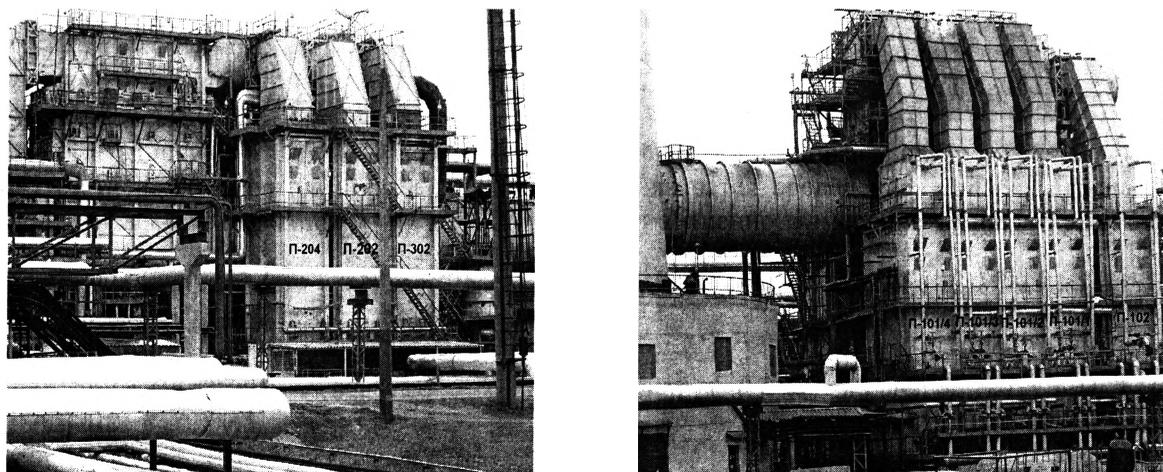


Рис. 2. Общий вид технологических печей

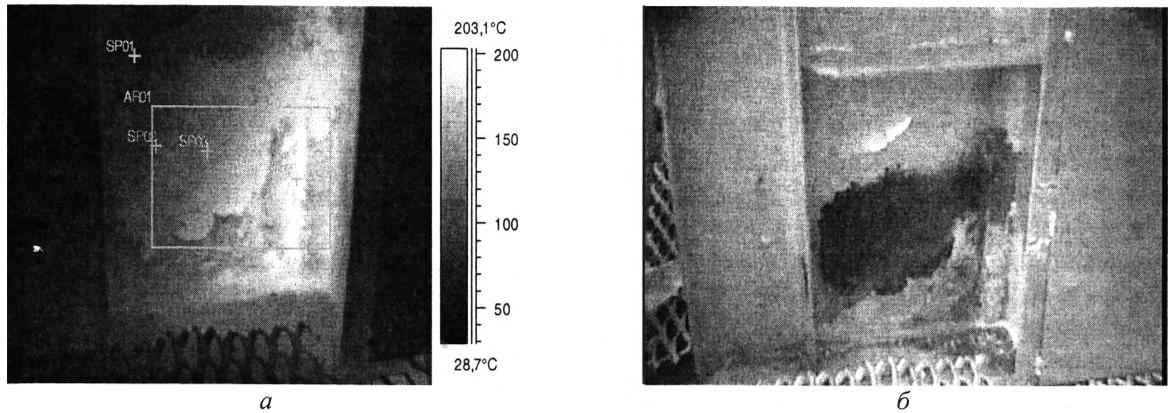


Рис. 3. Термограмма и фотография боковой поверхности печи с нарушением теплозащиты (трещины)

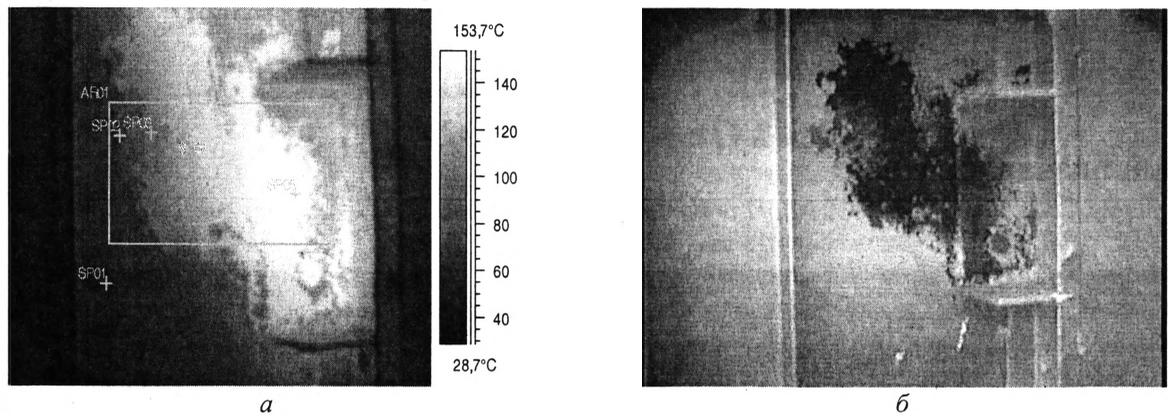


Рис. 4. Термограмма и фотография боковой поверхности фрагмента котла с нарушением теплозащиты (утонение материала)

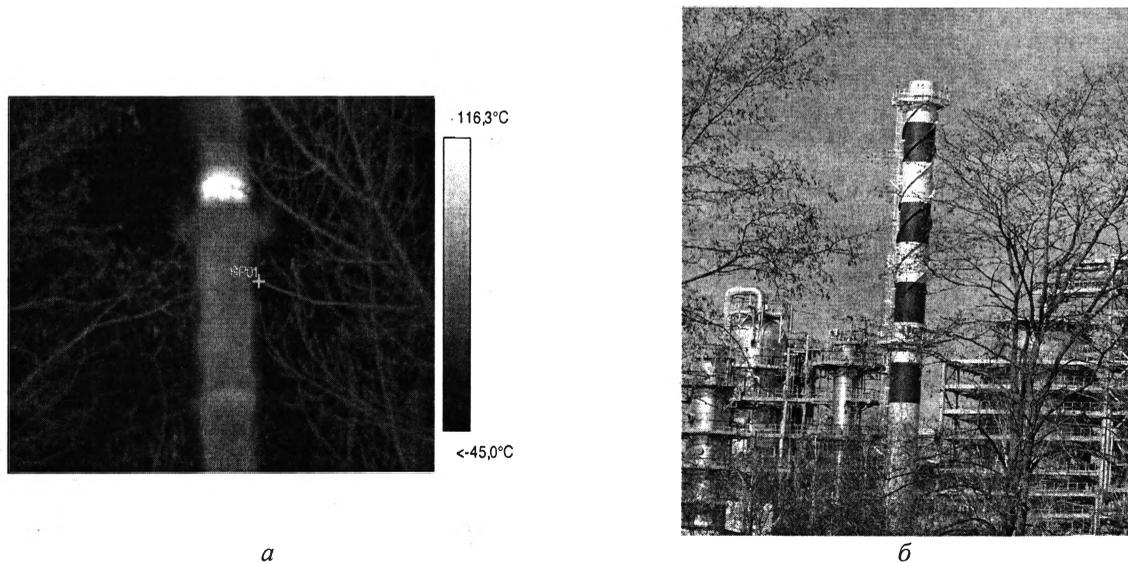


Рис. 5. Термограмма и фотография трубы дымохода с дефектом

турных полей различных объектов контактными и бесконтактными методами в диапазоне температур 77-3500 К, измерение тепловых потоков, коэффициентов теплопередачи и др.

Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси располагает тепловизионным оборудованием для проведения вышеперечисленных работ, а именно:

портативный компьютерный термограф ИР-ТИС-2000:

- спектральный диапазон – (3 – 5) мкм;
 - диапазон измерений: – 10°C – 1200°C;
 - точность измерения: ±1% или 1°C;
 - рабочие температуры: - 20°C - +50°C
- тепловизионная камера типа IR SnapShot модель 525:
- спектральный диапазон – (8 – 14) мкм;
 - диапазон контролируемых температур -10 – +460°C.
 - точность измерения +1% или 3°C;
 - рабочие температуры: 0°C – +40°C.

Литература

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. – М: Мир, 1988 – 416 с.
2. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: Справочник. – М: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Жуков А.Г., Горюнов А.Н., Кальфа А.А. Тепловизионные приборы и их применение. – М: Радио и связь, 1983. – 167 с.
4. Ллойд Дж. Системы тепловидения. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
5. Драгун В.Л., Филатов С.А. Тепловизионные исследования в исследованиях тепловых процессов. – Минск: Наука и техника, 1989. – 175 с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

*Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Пальченко Г.И., Рабинович О.С., Акулич А.В., Корбан В.В.
Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси*

Крупными нетрадиционными постоянно возобновляемыми ресурсами энергетики являются коммунальные и производственные отходы, которые содержат в значительных количествах органические компоненты и сопровождают хозяйственную деятельность человека. Интенсивное накопление таких отходов, измеряемое только по твердым бытовым отходам (ТБО) от 250 до 700 кг на одного человека в год и проблема их эффективной утилизации является сложной многоплановой задачей, решение которой связано с необходимостью обеспечения нормальной жизнедеятельности населения, экологии, энерго- и ресурсосбережения [1-12].

В Беларуси ежегодно образуется более 3 миллионов тонн твердых коммунальных отходов. Объем их образования имеет устойчивую тенденцию к росту на 6-10% ежегодно. Показатель удельного образования ТБО составляет около 0,92 кг/чел/день.

ТБО имеют разный морфологический состав, изменяющийся в зависимости от климатических зон, уровня жизни населения, времени года и др. Их основными компонентами (в % по массе) являются: бумага и картон (20-37%), пищевые отходы (20-50%), текстиль (2-8%), пластик (4-15%), металл (1-9%), стекло (1-16%) и др. В среднем доля органических компонентов на сухую массу отходов составляет от 68 до 80%. Имеется тенденция

к увеличению содержания пластмасс, бумаги и картона, понижению доли пищевых отходов, что приводит к повышению теплоты сгорания ТБО.

Известны следующие методы ликвидации ТБО:

1. Утилизация (рецикл) – повторное использование отдельных видов отходов по известным технологиям переработки вторичного сырья в силу сложности организации его сортировки имеет ограниченное распространение.

2. Захоронение. Наиболее массовый и традиционный в настоящее время способ решения проблемы – вывоз на полигоны (свалки), представляющие собой достаточно сложные инженерные сооружения, кардинально не решает проблемы.

3. Термическое уничтожение, теплоутилизация. Органические компоненты отходов имеют достаточно высокую теплотворную способность, которая приближается к низкокалорийным углям (табл. 1). Так, потенциальная энергия, заключенная в образующихся на территории Беларуси ТБО, оценивается в 470 тыс.т у.т. в год (табл. 2).

Методы энергетического использования ТБО предполагают: 1) прямое сжигание, 2) пиролиз/газификация с последующим сжиганием образующегося синтез-газа, 3) получение биогаза (с содержанием до 60% метана) на полигонах захоронения путем компостирования и его сжигание. Экономическая эффективность различных технологий утилизации ТБО представлена в табл. 3.

Таблица 1
Сравнительная характеристика твердых бытовых отходов

Топливо	Влажность, %	Зольность, %	Низшая теплота сгорания, кДж/кг
Бурый уголь	12-60	12-45	5600-6400
Древесина	25-55	0,5	9600
Торф	35-60	3,5-20	8000-14000
Сланцы	5-25	44-64	5040-9200
ТБО	20-58	20-55	3200-6400

Таблица 2
Энергетическая эффективность альтернативных топлив (тонн условного топлива на 1 тонну продукта)

Бурый уголь	1.04
Углеотвалы	0.1-0.4
Торф	0.7-0.8
Древесина	0.67
Маслоотходы и нефтешламы	1.3-1.4
Автомобильные покрышки	1.13
ТБО	0.15-0.25

Таблица 3
Экономическая эффективность различных технологий переработки ТБО

Показатели	Технологии					
	сжигание	компостирование	сортировка + сжигание	сортировка + компостирование	комплексная переработка	сортировка + компактирование
Удельные капитальные вложения (на 1 т ТБО), долл./т	280	90	330	100	240	44
Удельные эксплуатационные затраты (на 1 т ТБО), долл./т	9,6	10	12,8	8,7	13,5	3,5
Неутилизируемая фракция (подлежит захоронению), %	30	30	15	55	8	60
Удельные затраты на захоронение неутилизируемой фракции, долл./т	9	9	4,5	16,5	2,4	18
Общие удельные затраты, долл./т	46,6	28	50,3	35,2	39,9	25,9
Суммарная реализация продукции из 1 т ТБО, долл./т	23,7	9,2	33,9	18,7	30,2	34
Экономическая эффективность технологий, долл./т	-22,9	-18,8	-16,4	-16,5	-9,7	8,1

Следует отметить наблюдаемую в мировой практике тенденцию постепенного перехода от полигонного захоронения ТБО к их промышленной переработке на основе применения интенсивных технологий. При этом обеспечиваются обезвреживание, утилизация и ликвидация отходов, одновременно происходит санитарная очистка с наименьшими затратами и максимально возможной выгодой, без негативного экологического влияния. Наиболее активная промышленная переработка отходов реализуется в странах с высокой плотностью населения и высоким уровнем технологий. Так в качестве топлива в Дании и Швейцарии используется около 80 % от общего объема образующихся отходов, в Японии – 85%, Франции – 65%, Германии – 60%, в России – менее 5%.

В ряде стран законодательно установлена обязательность выработки энергии при сжигании отходов. Активно ведется поиск наиболее экологически безопасных и экономически выгодных методов использования теплотворной способности горючих компонентов отходов. Это не удивительно, например, при прямом сжигании даже по малоперспективным технологиям 1000 кг ТБО образуется такое же количество тепловой энергии, как при сжигании 250 кг мазута.

Сжигание ТБО представляет собой сложный высокотехнологичный процесс с использованием различных методов сжигания: на колосниковых решетках, в кипящем слое, во вращающихся барабанных печах и др. (табл. 4).

Таблица 4
Современные термические технологии переработки ТБО

№	Вид термического процесса	Основные технологические характеристики
1	«Низкотемпературные» термические процессы (при температуре ниже температуры плавления шлака)	1.Слоевое сжигание с принудительным перемешиванием материала; 2.Сжигание в кипящем слое; 3.Сжигание - газификация в плотном слое кускового материала без принудительного перемешивания.
2	«Высокотемпературные» термические процессы (при температурах выше температуры плавления шлака)	2.1. Сжигание в слое шлакового расплава; 2.2. Сжигание в плотном слое кускового материала и шлаковом расплаве с принудительным перемешиванием; 2.3. Комбинированные процессы (пиролиз-сжигание, пиролиз-газификация и др.).

Важным аспектом технологии сжигания является устойчивость работы энергетического оборудования в широком интервале влажности, морфологи-

ческого состава и теплотворной способности ТБО. Только в этом случае одновременно обеспечивается как обезвреживание отходов, так и используется их энергетический ресурс. Снижаются расходы на их складирование на полигонах. Вместе с тем, этот метод требует особой организации процессов горения и очистки дымовых газов, т.к. в противном случае, особенно при прямом неквалифицированном сжигании, происходит образование и выброс в атмосферу значительных количеств сажи, монооксида углерода, соединений хлора, оксидов серы и азота, а также таких супертоксикантов, как диоксины и полиароматические углеводороды.

Для ликвидации этого недостатка технология непосредственного сжигания отходов предполагает наличие дополнительных устройств, которые обеспечивают дожиг горючих компонентов в дымовых газах, дооснащение системами промывки, фильтрации с активным углем и т.д. Очень важной составляющей технологического процесса при сжигании ТБО является газоочистка, стоимость которой может составлять более чем 60% от стоимости мусоросжигательного завода. Не менее жесткие требования предъявляются к золошлаковым остаткам от сжигания отходов, складирование которых на полигонах тщательно контролируется.

Альтернативой процесса прямого сжигания горючих отходов является термохимическая технология, существенно повышающая эффективность горения и предусматривающая их предварительное термическое разложение в бескислородной атмосфере (пиролиз) и газификацию, после чего в образовавшейся концентрированной парогазовой смеси (пирогаз) в режиме управляемого дожига происходит перевод токсичных веществ в менее опасные.

Для достижения полного сгорания основных вредных компонентов пирогаза необходимо обеспечить следующие условия: 1) избыток окислителя ($\alpha > 1,2$); 2) интенсивное смешивание парогазовой смеси с горячим окислителем; 3) высокая температура процесса горения ($T = 1250-1400^\circ\text{C}$); 4) достаточно продолжительное время нахождения продуктов в зоне высоких температур (от 3 до 5 сек). При соблюдении этих условий 99 % диоксинов разлагается в нетоксичные вещества.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности двух подходов к обеспечению экологической чистоты выбросов при теплоутилизации горючих отходов: либо сделать акцент на очистку дымовых газов, либо организовать процесс таким образом, чтобы уменьшить возможность образования вредных компонентов в дымовых газах.

Возможна и комбинация этих методов.

Многие технические решения по теплоутилизации ТБО и других горючих отходов базируются на технологии кипящего слоя. Зарубежная практика показала ее высокую эффективность с минимальным воздействием на окружающую среду для многих высоковлажных отходов различной крупности и сложности по составу. Особенно перспективным представляется совместное сжигание таких отходов с углем, которое дает существенное снижение вредных выбросов.

Определенный интерес представляет теплоутилизация в местах первоначального накопления с минимальной предварительной сортировкой широкой номенклатуры твердых горючих отходов, содержащих резинотехнические, упаковочные, древесные материалы, остатки лакокрасочных, текстильных и пластмассовых изделий, бумаги, картона и т.д., а также медицинских отходов.

Разработанная в ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ опытная установка состоит из двух блоков оборудования – камеры нагрева измельченных отходов (А) и камеры дожигания (Б), которые герметично стыкуются по оси шнека-пиролизатора (рис.).

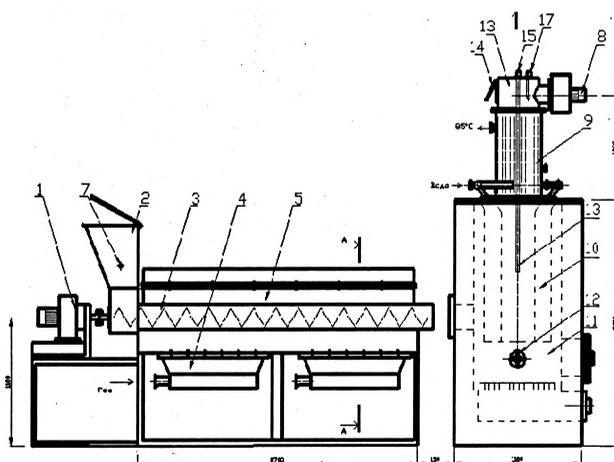


Рис. Схема опытной установки

А: 1 – мотор-редуктор привода шнека; 2 – бункер загрузки измельченных отходов; 3 – подвижно-составной шнек - пиролизатор отходов; 4 - газовые ИК - нагреватели шнека; 5 - теплоизолированная камера нагрева шнека; 6 – датчик температуры камеры нагрева; 7 – датчик температуры в бункере.

Б: 8 – дымосос установки; 9 – водогрейный (кожухо - трубный) теплоутилизатор газов; 10 – цилиндрическая камера дожигания летучих фракций; 11 – камера сжигания твердых фракций; 12 – газовый инжекционный запальник камеры; 13 – приточно – газоходная камера дымососа; 14 – заслонка притока наружного воздуха; 15 – датчик температуры дожигания; 16 – датчик температуры уходящих газов

Предложенная технология предполагает, что пиролиз измельченных отходов происходит по длине нагрева шнека, из которого твердая фракция - продукты пиролиза выгружаются в камеру сжигания, а летучие под разрежением дымососа втягиваются в цилиндрическую камеру дожига, в которой концентрируется все тепловыделение и обеспечивается температура не менее 1250°C. Зольный остаток периодически удаляется по мере накопления.

Режим пиролиза поддерживается и регулируется посредством газовых ИК – горелок. Заданная температура в камере нагрева шнека достигает 600-700°C, при которой пиролиз утилизируемых горючих отходов происходит после их предварительной сушки и нагрева до 250-300°C. За счет тепла уходящих дымовых газов в теплоутилизаторе происходит нагрев воды, которую можно использовать на технические нужды и для обогрева помещения.

Таким образом, горючие отходы производства и потребления можно рассматривать, как важный энергетический ресурс, способный в определенной степени заместить природный газ и мазут. Вместе с тем основными сдерживающими причинами являются:

- отсутствие отечественных технологий и оборудования для теплоутилизации горючих отходов в промышленном масштабе;
- высокая стоимость импортируемого оборудования;
- отсутствие в Беларуси опыта работы современных мусороперерабатывающих предприятий и установок.

Литература

1. Масликов В.И., Федоров М.Л. Природотехнические системы в энергетике // Известия РАН, Энергетика, 2006, № 5. - С 7-16.
2. Федоров М.Л. Вторичные энергоресурсы в системах обращения с отходами // Известия РАН, Энергетика, 2002, № 6.-С.3-10.

3. Боровков В.М., Зысин Л.В., Сергеев В.В. Итоги и научно-технические проблемы использования растительной биомассы и органосодержащих отходов в энергетике // Известия РАН, Энергетика, 2002, № 6. – С.13-23.

4. Рябов Г.А. Использование биомассы и отходов производства для решения проблем энергосбережения // Электрические станции, 2005, № 7. – С.33-38.

5. Рябов Г.А., Литун Д.С., Дик Э.П., Земсков К.В. Перспективы и проблемы использования биомассы и отходов для производства тепла и электроэнергии // Теплоэнергетика, 2006, № 7. – С.61-66.

6. Шубов Л.Я., Петруков О.П., Погадаев С.В. и др. Концепция управления муниципальными отходами мегаполиса // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, вып. № 6, М., ВИНТИ. С.2-77.

7. Шубов Л.Я. Проблема муниципальных отходов и рациональные пути ее решения // Экология и промышленность России, 2005, декабрь. – С.34-39.

8. Манелис Г.Б., Полианчик Е.В., Фурсов В.П. Энерготехнологии сжигания на основе явления сверхадиабатических разогревов // Химия в интересах устойчивого развития, 2000, № 8. – С.537-545.

9. Салтанов А.В., Павлович Л.Б., Калинина А.В. Современные проблемы утилизации углеродсодержащих отходов // Химия в интересах устойчивого развития, 2000, № 8. – С.865-874.

10. Бельков В.М. Методы, технологии и концепция утилизации углеродсодержащих промышленных и твердых бытовых отходов // Химическая промышленность, 2000, № 11. – С.9-25.

11. Волков Э.П., Двоскин Г.И., Молчанова Й.В. и др. Энергию на свалку? Это не по-хозяйски // Энергия, экономика, техника, экология, 2001, № 5. –С.48-52.

12. Тугов А.Н., Москвичев В.Ф., Рябов Г.А. и др. Опыт освоения сжигания твердых бытовых отходов на отечественных ТЭС // Теплоэнергетика, 2000, № 7. – С.55-60.

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКРЕМНИЯ

Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Пальченко Г.И., Рабинович О.С., Акулич А.В., Корбан В.В.

Энергетика является основой мирового экономического прогресса и непосредственно влияет на благополучие человечества. Надежное обеспечение современного общества различными видами энер-

гии по приемлемым ценам с минимальным ущербом для окружающей среды – один из важнейших факторов устойчивого развития цивилизации.

Более 200 лет потребности в энергии удовле-

творялись за счет ископаемого углеводородного топлива: угля, нефти и природного газа. Ограниченные запасы и глобальные изменения климата не позволяют увеличивать объемы использования этих видов топлива. Альтернативой использованию ископаемого топлива называют атомную энергетику. Однако высвобождаемая при этом теплота, может привести к так называемому «тепловому загрязнению» атмосферы Земли, последствия которого в настоящее время не определены. Так же атомная энергетика несет в себе определенную угрозу радиационного загрязнения окружающей среды. Вместе с тем, основным источником природных процессов на поверхности планеты является энергия солнечного излучения. Данный вид энергии является неисчерпаемым, экологически безопасным, достаточно равномерно распределенным и доступным для всех.

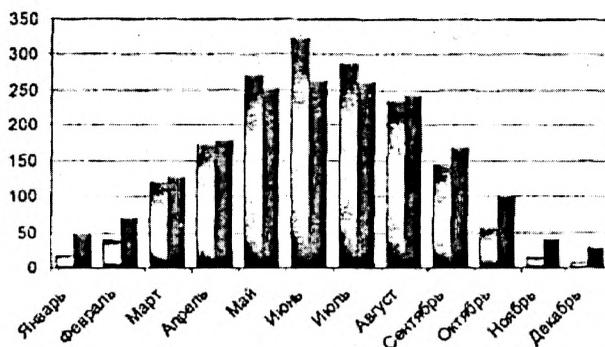
Потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в соответствии с данными Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь в 2005 году составило порядка 35 млн. т.у.т., что соответствует $1,03 \cdot 10^{12}$ МДж/год. С учетом географической широты, облачности, атмосферных явлений, времени года и суток, годовое количество суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности составляет $3500...3800$ МДж/м² в зависимости от географической широты. Соответствующая этой энергии среднегодовая плотность солнечного излучения на горизонтальную поверхность для Республики Беларусь – $110...120$ Вт/м². В течение года территория Беларуси получает в среднем $7,5 \cdot 10^{12}$ МДж солнечной энергии, что в 750 раз превышает общее потребление ТЭР в республике. Таким образом, солнечная энергия может составить достаточно весомую долю в топливно-энергетическом балансе Беларуси.

В настоящее время имеются два основных направления использования энергии солнца: преобразование ее в электрическую энергию и получение теплоты для различных нужд.

Одна из проблем использования солнечного излучения в качестве источника энергии связана с его сезонной неравномерностью. По данным многолетних наблюдений метеорологических станций Государственного комитета по гидрометеорологии Республики Беларусь (рис. 1) максимум солнечного излучения приходится на период года с апреля по август (порядка 80 % от общего количества). Максимум потребления энергии, напро-

тив, приходится на зимние месяцы.

Еще одной проблемой является стоимость получаемой электрической энергии (рис. 2), хотя существуют оптимистичные прогнозы (рис. 2, вкладка).



Светлые столбики – месячные суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности, МДж/м²
Темные столбики – средняя за месяц продолжительность солнечного сияния, часов

Рис. 1. Годовое распределение солнечной энергии для Беларуси

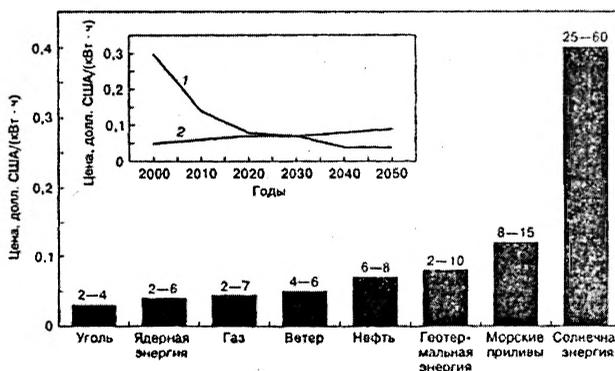


Рис. 2. Стоимость электроэнергии получаемой различными источниками энергии

Промышленно развитые страны планируют к 2031г. иметь совокупную установленную мощность электрогенераторов на солнечной энергии 1700 ГВт (для сравнения: в 2004г. – 1256 МВт). Если сегодня солнечная энергетика занимает менее 1% в общемировом балансе произведенной электроэнергии, то к 2040г. эта доля должна возрасти до 30% [1, 2].

В 2005г. было произведено ФЭП суммарной мощностью 1656 МВт (в том числе 1500 МВт на кремнии, 165 МВт на других материалах; рост объема производства составил 30% по отношению к 2004г.). В 2006г. произведено 2400 МВт (рост производства – 45%). После 2004-2005 гг. солнечная индустрия стала развиваться быстрыми темпами. Общий валовой доход отрасли (с учетом внутриот-

раслевых продаж) в 2005 г. составил 12 млрд долл. США, а общая условно чистая (до уплаты налогов) прибыль – 2,7 млрд долл. США. В 2006 г. общий валовой доход составил – 19 млрд долл. США, а условно чистая прибыль – ~5,7 млрд долл. США. Следствием этого бума явился сохраняющийся до настоящего времени дефицит исходного сырья для производства ФЭП [1, 2].

Первоначально (до 2000-2001 гг.) сырьевой базой солнечной энергетики являлись отходы «электронной» индустрии: некондиционный (off-grade) поликремний, получаемый в цикле производства поликремния электронного качества — куски слитков с повышенным содержанием лимитирующих примесей, например углерода (7-8% от общего произведенного количества поликремния), а также верхние и нижние конусы выращенных слитков кремния «электронного» качества (~10% от общего количества выращенных кристаллов).

Теперь источники сырья изменились: свыше 60% общей потребности обеспечивает поликремний, специально произведенный для солнечной энергетики двумя путями:

- по традиционной, но «упрощенной» технологии (либо прутки поликремния, полученные осаждением из трихлорсилана (ТХС) в «сименсовских» реакторах, либо гранулы поликремния, полученные пиролизом моносилана в реакторах кипящего слоя);

- по технологиям, специально разработанным для производства «солнечного» поликремния.

В технологической цепочке современного производства поликристаллического кремния существенная роль отводится методу кипящего слоя (КС). Кипящий слой обеспечивает интенсивный теплообмен между взвешенными твердыми частицами и газовым потоком, а также между слоем и поверхностью теплообмена; значительно возрастает площадь контакта реагентов, выравниваются температурные характеристики в рабочей зоне реактора. Вследствие этого – высокая производительность реактора кипящего слоя, сравнительная простота оборудования и возможность организации непрерывного автоматизированного технологического процесса, а также снижение удельного потребления энергии по сравнению с используемыми реакторами стержневого типа. Это позволяет значительно сократить затраты на производство солнечного кремния и сделать его более массовым, и как следствие – уменьшить стоимость получаемой энергии.

В лаборатории дисперсных систем ИТМО

НАНБ создана экспериментальная установка кипящего слоя для получения поликристаллического кремния (ПК) из моносилана, являющаяся прототипом промышленного реактора (рис. 3).



Рис. 3. Экспериментальная установка кипящего слоя для получения поликристаллического кремния

Проведенные на этой установке эксперименты продемонстрировали работоспособность и высокую эффективность технологии КС производства ПК из моносилана [3, 4]. Так, показатели реактора кипящего слоя значительно превосходят аналогичные показатели реакторов стержневого типа: его производительность при равных расходах моносилана возрастает в несколько раз, а удельный расход электроэнергии, соотношенный с производительностью, в 20-30 раз ниже. Выход кремния по отношению к стехиометрическому достигает 97%, что исключает необходимость введения рецикла обработанного газа [3, 4].

Созданная установка применялась на заключительной стадии лабораторной отработки предложенной в Беларуси новой технологии производства высокочистого поликристаллического кремния. Технологическая схема предполагает получение из кремнефторидной кислоты (побочного продукта при очистке экстракционной фосфорной кислоты от соединений фтора) кремнефторида натрия. На I стадии в результате термического разложения кремнефторида натрия выделяется газообразный тетрафторид кремния. На II стадии происходит химический передел тетрафторида кремния в моносилан, III стадия - пиролитическое разложение моносилана с образованием кремния и водорода.

Технология не имеет экологических проблем, т.к. продукты производства связывают фтор в нелетучие, малорастворимые в воде твердые химические соединения, которые легко утилизировать или использовать как товарные продукты.

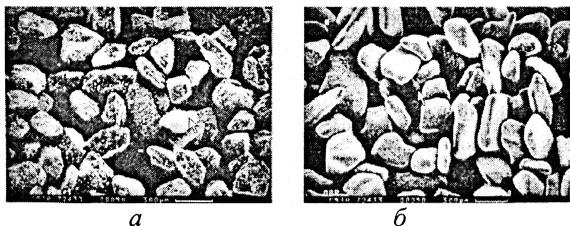


Рис. 4. Образцы исходных частиц-затравок (а) и гранулированного кремния при увеличении (б) в 50 раз

Для более глубокого изучения процессов, происходящих при пиролизе моносилана в реакторе кипящего слоя, оптимизации режимных параметров и устранения нежелательных эффектов, созданы численные модели реакторов кипящего слоя. Предложено несколько взаимодополняющих моделей, которые представляют собой различные уровни описания рассматриваемых явлений – от одномерного феноменологического до полного двух- или трехмерного описания гидродинамики и тепло- и массообмена. Сочетание различных подходов позволяет найти компромисс между производительностью (скоростью) численного расчета и достоверностью и детализацией получаемой в результате информации [3, 5].

Полученные результаты являются предпосылкой для создания опытно-промышленной установки с реактором кипящего слоя для получения поликристаллического кремния пиролитическим разложением моносилана.

Литература

1. А.В. Наумов. Производство фотоэлектрических преобразователей и рынок кремниевого сырья в 2006-2010 гг. // Известия вузов. Материалы электронной техники, №2, 2006. С.29-35.
2. А.В. Наумов. Ещё раз о развитии солнечной энергетики и рынке кремниевого сырья в 2007-2010 гг. // Известия вузов. Материалы электронной техники, №1, 2007. С. 15-20.
3. А.П. Достанко, О.Л. Кайдов, В.П. Василевич, В.Н. Степаненко, В.И. Хитько, Л.М. Виноградов, А.В. Акулич, А.В. Васюков, Е.В. Глушко. Энергосберегающая технология получения поликристаллического кремния из отходов переработки апатитов гомельского химического комбината. // Доклады НАНБ, 2005, 49, №3, с. 56-60.
4. Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Рабинович О.С, Акулич А.В. Теоретический анализ и моделирование получения поликристаллического кремния в реакторе кипящего слоя. // Инж.-физич. журн, 2005, 78, №1, с.48-53.
5. Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Рабинович О.С, Пальченко Г.И., Акулич А.В., Корбан В.В. Моделирование тепло- и массообмена в реакторах кипящего слоя, используемых на различных стадиях производства поликристаллического кремния // Тепло- и массоперенос - 2007. Минск: ИТМО НАНБ, 2007. С. 20-25.

РАЗРАБОТКА ГЕЛИОСТАНЦИИ НОВОГО ТИПА

*Северянин В.С., доктор технических наук, Почетный профессор
Брестского государственного технического университета*

В стадии экспериментального изготовления находится описываемая ниже солнечная установка, не имеющая аналогов. Эта гелиостанция может быть применена как по известным, так и новым солнечным технологиям.

На рис. 1 изображена конструктивная схема гелиоустановки, где обозначено: конус – 1, радиус – 2, кольцо – 3, ось – 4, рычаг – 5, тяга – 6, приёмник лучистой энергии – 7, колонна – 8, кожух – 9, выступ – 10, поворотник – 11, стойка – 12, штифт – 13, цилиндр – 14, щель – 15, стержень – 16, накладка – 17, ролик – 18, опора – 19, колесо – 20, прижим – 21, основание – 22, платформа – 23, привод – 24, труба холодная – 25. Труба горячая – 26, А – наклонный верх цилиндра 14, Б – наклонный верх опоры 19. Стрелки вверх – солнечные лучи.

Гелиоустановка состоит из конусов 1, это ленты из листового материала, согнутые в виде усеченных конусов, внутренняя поверхность выполнена зеркальной, угол образующей конуса к его оси выбирается таким, чтобы солнечный луч направлялся в фокус. Конусов 1 несколько штук, между ними зазор, размеры конусов такие, чтобы их проекции на Солнце, не перекрывая друг друга, полностью, без пропуска, заполняли солнечный поток. Конусы 1 концентрические, все имеют один и тот же фокус.

Конусы 1 дистанционируются относительно друг друга радиусами 2, при этом образуется продуваемая прочная пространственная конструкция. Радиусы 2 – плоские элементы с углами, к которым крепятся конусы 1. Радиусы 2 закреп-

лены на кольцо 3, имеющем по диаметру оси 4 и рычаги 5. Плечо рычага 5 обуславливает поворот кольца 3 вокруг оси 4. На рычаги 5 надеты тяги 6.

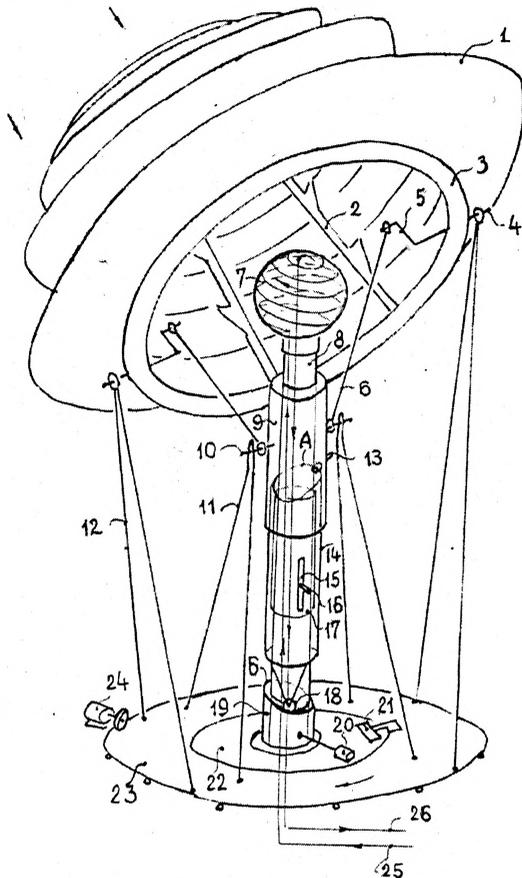


Рис. 1. Общий вид станции

В фокусе конусов 1 расположен приёмник лучистой энергии 7. Это полая сфера, установленная наверху трубчатой колонны 8, на которую надет кожух 9, имеющий выступы 10, связанные с тягами 6 и поворотником 11. Оси 4 опираются на стойки 12.

Приёмник лучистой энергии 7 для нагрева имеет зачерненную внешнюю поверхность, для освещения люминофора – прозрачную (внутри сферы организованы спиральные каналы), для выработки электротока сфера собрана из фотоэлементов на её поверхности. Кожух 9 имеет штифт 13, который проходит внутрь него, до поверхности колонны 8, но не прикреплён к ней. Этот штифт 13 опирается сверху на наклонный верх А цилиндра 14, который, в свою очередь, имея щель 15, способен перемещаться вверх-вниз на стержне 16 по накладке 17. Снизу цилиндра 14 имеет ролик 18, он находится на наклонном верхе Б опоры 19. Последняя может вращаться вокруг колонны 8 при помощи колеса 20, надетого на ось, прикреплённую к опоре 19. Над колесом 20 располагается

прижим 21. Это небольшая площадка, прижимающая в соответствующий момент колесо 20 к неподвижному основанию 22. Прижим 21 прикреплён к платформе 23. Стойки 12 и поворотник 11 установлены на платформе 23, способной вращаться вокруг оси колонны 8, дистанцируемой основанием 22, при помощи привода 24 (например, электродвигатель с редуктором и зацеплением или соленоид, см. далее).

Внутри колонны 8 проходят до приёмника лучистой энергии 7 труба холодная 25 и труба горячая 26 (или для темного и осветлённого люминофора, или электропривода).

При монтаже и строительстве гелиоустановка ориентируется так, чтобы верхняя часть наклонного верха цилиндра 14 была направлена строго на ЮГ, а верхняя часть верха Б опоры 19 – то же; при этом в полдень 21 июня конусы 1 своим широким основанием направлены на Солнце так, чтобы фокус лучей лежал на приёмнике лучистой энергии 7. Если настройка идёт в другое время, надо знать, что угол между зенитом и направлением конусов на Солнце равен широте минус угол наклона оси Земли к плоскости эклиптики (23°). Минимальный угол подъёма конусов – 21 декабря, полдень.

Привод 24 обеспечивает скорость вращения платформы 23, равной 1 обороту за сутки. Этим задаётся горизонтальное перемещение системы конусов 1. Это перемещение в системе 1-3 идёт благодаря стойкам 12, которые через оси 4 поворачивают систему 1-3.

Одновременно поворотник 11 поворачивает благодаря выступам 10 кожух 9, штифт 13 скользит по наклонному верху А цилиндра 14, под действием веса всей системы 1-3 весь цилиндр опускается (или поднимается) и тяги 6, воздействуя на рычаги 5, поворачивают систему 1-3 вокруг осей 4. Так обеспечивается вертикальное перемещение оптической системы 1-3, а вместе с горизонтальным – суточное слежение за Солнцем для постоянной фиксации фокуса лучей на приёмнике лучистой энергии 7.

Когда прижим 21 проходит над колесом 20, он его поворачивает, колесо прокатывается по основанию 22 так, что увлекает опору 19, поворачивая её вокруг колонны 8 на $1/365$ (365 – число дней в году). Коррекция поворота может идти отдельным поворотом колеса 20. Таким образом цилиндр 14, поднимаясь или опускаясь при помощи ролика 18 на наклонном верхе Б опоры 19, щели 15 и стержня 16, поднимает или опускает наклонный верх А – это «сезонная коррекция». Ночью – холостой

ход, система 1-3 направлена горизонтально, штифт 13 скользит по горизонтальному участку накладки 17, т.к. цилиндр 14 опущен. Привод 24 работает круглосуточно. Расход энергии минимален, т.к. скорость вращения платформы 23 мала.

Холодный теплоноситель по холодной трубе 25 подается насосом в приёмник лучистой энергии, тем нагревается и выводится из гелиоустановки горячей трубой 26.

Как видно из описания, оптическая система гелиостанции представлена гелиоконцентратором, состоящим из комплекса концентрических конусных зеркальных поверхностей.

Геометрические особенности конструкции гелиоконцентратора даются далее.

На рис. 2 изображена оптическая схема гелиоконцентратора (правая симметричная половина), где обозначено: конусная поверхность – 1, радиальный упор – 2, зацеп – 3, крепящее кольцо – 4, цилиндр – 5, пазы – 6, объект воздействия – 7, ось – 8, рычаг – 9, ФР – фокусное расстояние, НК – нижний край, РК – средний радиус конусной поверхности, (РК)₂ – меньший радиус последующей (к Солнцу) конусной поверхности, (РК)₃ – больший радиус её, (РК)₄ – меньший радиус предыдущей, У – угол между образующей конуса и его осью, АВ – ширина конусной поверхности, В – её середина, БГ – проекция конусной поверхности на плоскость, нормальную её оси, а-б – фокусная линия, Ф – фокус (условный), ОФ – ось устройства на Солнце, РГ – внешний радиус устройства, стрелки сверху – солнечные лучи, одинаковые углы – дуги, отрезки – штрихи.

Гелиоконцентратор состоит из группы соосных концентрических конусных поверхностей 1, внутренняя поверхность которых является зеркальной. Геометрические параметры этих усеченных конусов удовлетворяют решению поставленной задачи. Чтобы лучи попадали на фокусную линию а-б (её центр-фокус Ф) угол У между образующей конуса АО и осью ФО, по геометрическим построениям находится из условия

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\text{РК}}{\text{ФР} + \sqrt{(\text{РК})^2 + (\text{ФР})^2}},$$

где РК – средний радиус конусной поверхности, при АВ=ВВ, ФР – фокусное расстояние.

Этот угол необходим при изготовлении развёртки конуса. Проекции конусных поверхностей шириной АВ на плоскость, нормальную потокам солнечных лучей, БГ, – эти проекции соседних конусных поверхностей не перекрывают друг друга и не оставляют свободных полос, т.е. – больший

радиус последующего конуса (РК)₃ равен меньшему радиусу предыдущего конуса (РК)₄. Для увеличения компактности группы конусов расстояние между нижним краем последующей конусной поверхности (ближе к Солнцу) и фокусной линией а-б должно быть равно

$$\text{НК} = \frac{(\text{ФР})(\text{РК})_2}{(\text{РК})},$$

где РК₂ – меньший радиус последующей конусной поверхности.

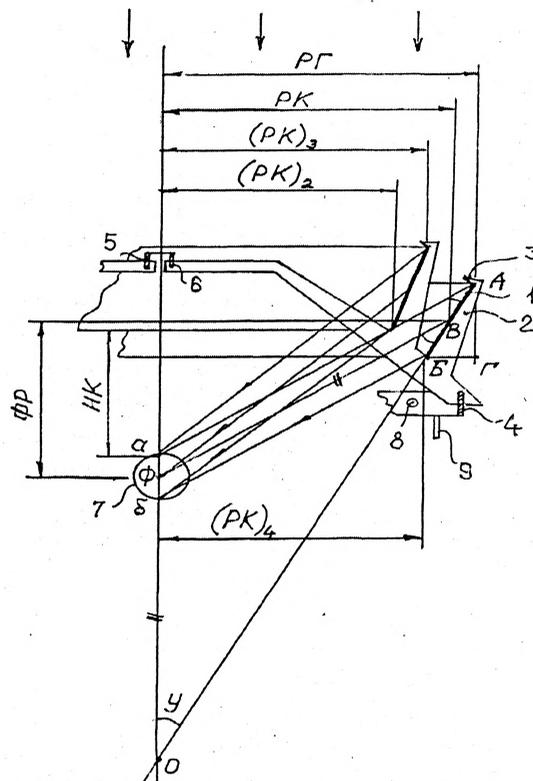


Рис. 2. Оптическая схема гелиоконцентратора

Конусные поверхности 1 вставлены в радиальные упоры 2 и зафиксированы зацепами 3. Радиальные упоры 2 (их количество – 6 или 8 шт) введены в крепящее кольцо 4 и цилиндр 5 при помощи пазов 6. В фокусе Ф находится неподвижный объект воздействия 7 (нагреватель и электропреобразователь), вокруг которого может перемещаться крепящее кольцо 4 при помощи оси 8 и рычага 9 связанных с приводом. Размеры гелиоконцентратора задаются максимальным радиусом установки РГ.

Конусные поверхности 1, изготовленные по развёрткам с учетом углов У, длин АО, АВ, и свободно вставленные в радиальные упоры 2 с зацепами 3, направляются крепящим кольцом 4 с пазами 6, осью 8, рычагом 9 на Солнце: ось ОФ выводит лучи на фокусную линию а-б, её центр –

фокус Φ относительно B . От всех конусных поверхностей 1 лучи концентрируются на объекте воздействия 7, находящемся на расстоянии ΦR , оно одинаково для всех конусов. Так как все конусные поверхности по оси ΦO сближены друг к другу на расстояние HK , размеры по оси ΦO устройства минимальны. Так как $(PK)_3 = (PK)_4$, то холостого пропуска лучей через гелиоконцентратор не будет, все проекции БГ используются. Зазор между конусными поверхностями позволяет существенно снизить воздействие ветра. Мощность установки обусловлена величиной PG .

В настоящее время идёт отработка как общей архитектуры, так и отдельных элементов гелиостанции с целью создания конкурентноспособной энергоустановки мощностью до 100...200 кВт.

На рис. 3 представлена схема устройства привода гелиоконцентратора (вверху – поперечный разрез станции, снизу – конструкция привода). Обозначения: основание – 1, платформа – 2, стойки – 3, гелиоконцентратор – 4, теплоприёмник – 5, соленоид поворота – 6, коробка – 7, шайба – 8, наклонная сторона – 9, открытая часть коробки – 10, пружина коробки – 11, пружина шайбы – 12, пружина соленоида поворота – 13, реле – 14, задатчик – 15, штырь – 16, рычаги – 17, соленоид коррекции – 18, пружина рычагов – 19, ролики – 20, контакты – 21, часы – 22, кулиса отжатия – 23, механизм поворота гелиоконцентратора в вертикальной плоскости – 24, A – сектор раскрытия рычагов 17, OC – ось гелиоконцентратора, стрелка – вращение платформы за Солнцем.

Установка закреплена на установленной на основании 1 платформе 2 в виде диска, способного вращаться вокруг своей оси. На платформе имеются стойки 3, несущие гелиоконцентратор 4 (например, многоконусной конструкции), в фокусе которого на колонне установлен теплоприёмник 5 (так называемый солнечный котёл). На основании 1 закреплён соленоид поворота 6 – электромагнитная катушка с сердечником внутри. Этот сердечник тягой соединён с коробкой 7, внутри которой находится свободноперемещаемая в ней шайба 8. Коробка 7 имеет наклонную стенку 9 и открытую часть коробки 10. Коробка 7 поджата к платформе 2, не касаясь её благодаря шайбе 8, пружиной коробки 11. Шайба 8 поджата к наклонной стенке 9 и к боковой поверхности платформы 2 пружиной шайбы 12. Пружина соленоида поворота 13 фиксирует коробку 7 прижатием хвостовика сердечника. Катушка соленоида поворота 6 электрически связана с реле 14, пи-

тающимся от сети. Для установки времени включения, периода и длительности, в сети реле 14 имеется задатчик 15, с ручной установкой и обратной связью от собственных контактов.

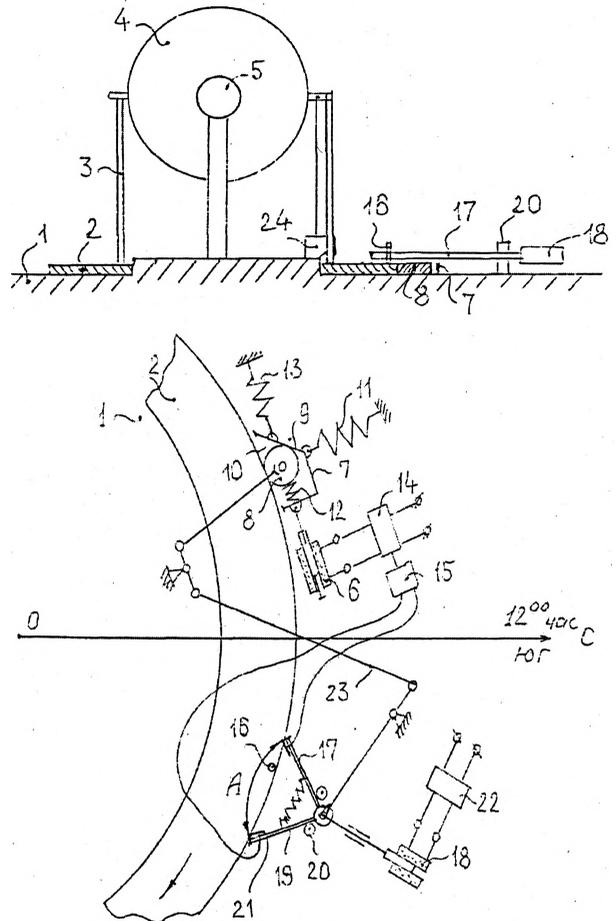


Рис. 3. Электромеханический привод

На периферии платформы 2 вставлен штырь 16. На его уровне на основании 1 смонтированы рычаги 17, имеющие общую ось, связанную с сердечником соленоида коррекции 18. Рычаги раздвинуты пружиной рычагов 19 и имеют упоры в виде роликов 20. На концах рычагов 17 закреплены контакты 21 обратной связи задатчика 15. (их может быть несколько по длине рычагов, для увеличения точности обратной связи). Гелиостанция подключена к электрическим контактам часов 22. Ось рычагов 17 связана с коробкой 7 кулисой отжатия 23.

На стойках 3 смонтирован механизм 24 поворота в вертикальной плоскости, его тяги связаны с горизонтальной осью гелиоконцентратора.

Действует система следующим образом. На основании 1 вращается платформа 2, стойки 3 поворачивают в горизонтальной плоскости гелиоконцентратор 4, который фокусирует солнечные

лучи на неподвижном теплоприёмнике 5. В него насосом подаётся вода, она превращается в пар, который подаётся в турбину, вращающую электрогенератор (это пример действия гелиостанции в качестве паросиловой установки).

Вращение платформы 2 осуществляется импульсами при помощи соленоида поворота 6. При его включении внутрь катушки втягивается сердечник, он тянет коробку 7, которая заклинивает шайбу 8 между наклонной стороной 9 и боковой поверхностью платформы 2 через открытую часть коробки 10, с прижатием пружины коробки 11 (аналог – «обгонная муфта»). Поэтому движение сердечника передаётся платформе 2, она поворачивается вокруг своей оси О (здесь – по часовой стрелке). Параметры движения: ход сердечника, шайбы, коробки 5...50 мм, поворот платформы 1...10°, период выключения 10сек...5 мин, время выключения 0,1...0,5 сек. Эти параметры обусловлены недопущением схода фокусного пятна с теплоприёмника 5 и надёжностью работы фрикционных элементов.

При отключении соленоида поворота 6 пружина соленоида поворота 13 оттягивает коробку 7 назад (по чертежу – вверх), шайба 8 выходит из зацепления с платформой 2, система возвращается в исходное состояние, готовая к новому включению соленоида поворота. Так осуществляется импульсное («цифровое») движение гелиоконцентратора.

Частота включения соленоида поворота 6 должна быть такой, чтобы: 1) полный оборот платформы совершался ровно за 24 часа и 2) направление оси гелиоконцентратора точно соответствовало по времени сторонам света (в 12 часов местного времени точно на юг). Частота реле 14 регулируется

задатчиком 15. Точно подобрать частоту выполнения соленоида поворота 6 трудно, он может меняться от внешних и внутренних непредвиденных причин, поэтому требуется корректор поворота.

В 12⁰⁰ часов каждые сутки (может быть и другой режим) от электрических часов 22 подаётся импульс на катушку соленоида коррекции 18, сердечник втягивается по направляющим, оси рычагов 17 движутся к соленоиду коррекции 18, ролики 20 сдвигают рычаги 17, сжимая пружину рычагов 19. Конец одного из рычагов 17 соприкасается со штырём 16: если вращение платформы отстаёт от графика, штырь 16 в секторе А ближе к верхнему рычагу 17, он его передвигает (по чертежу – по часовой стрелке), линия ОС устанавливается на юг. Если вращение платформы 2 опережает график, штырь 16 находится в секторе А ближе к нижнему рычагу 17, и он передвигает штырь вверх (по чертежу), линия ОС возвращается «на юг». Если в этот момент штырь 16 находится строго на радиусе «О – ось рычагов 17», коррекция не нужна, рычаги просто сжимаются. После отключения импульса от 22 рычаги расходятся, давая свободный проход штырю 16. Для облегчения поворота платформы 2 во время коррекции кулиса отжатия 23 отводит коробку 7 с шайбой 8 от платформы 2. Если срабатывает верхний рычаг 17, контакт 21 подаёт сигнал в задатчик 15 реле 14 на увеличение частоты включения соленоида поворота 6, если нижний – на оборот. Движение гелиоконцентратора 4 в вертикальной плоскости происходит благодаря подъёму (опусканию) тяги механизма 24 поворота гелиоконцентратора в вертикальной плоскости, движущейся вместе со стойкой 3.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

Колпащиков В.Л., Кривошеев Ю.К.

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

Как известно [1], солнечное теплоснабжение, т.е. использование солнечной энергии для горячего водоснабжения и отопления в жилищно-коммунальной и производственной сферах получило в мировой практике наибольшее распространение по сравнению с другими направлениями применения этого энергисточника. Для оценки эффективности солнечного теплоснабжения в том

или ином пункте или регионе недостаточно только климатической информации, но необходимо иметь количественные данные, характеризующие эффективность применения солнечных энергоустановок. Под установками солнечного теплоснабжения подразумеваются наиболее распространённые установки и системы, основанные на использовании плоских солнечных коллекторов, в которых осу-

ществляется нагрев теплоносителя. Такие системы называются активными в отличие от пассивных систем, в которых поглощение и аккумулирование солнечной энергии осуществляется непосредственно элементами строительных конструкций зданий. Режимы работы активных энергоустановок могут быть следующими:

- участие в покрытии нагрузки отопления и горячего водоснабжения (режим круглогодичного горячего водоснабжения);
- участие в покрытии нагрузки только горячего водоснабжения в течение всего года (режим круглогодичного горячего водоснабжения);
- участие в покрытии нагрузки только горячего водоснабжения и только в неотапительный период (режим сезонного горячего водоснабжения).

Первые два режима требуют исполнения установки по двухконтурной схеме, когда в первом (коллекторном) контуре теплоносителем является незамерзающая жидкость, а тепло к потребителю отводится через теплообменник. Установки, работающие по третьему режиму, могут быть одноконтурными, заполненными водой. Такие установки представляют из себя плоский солнечный коллектор, состоящий из теплоизолированного с тыльной и боковых поверхностей корпуса, внутри которого размещена тепловоспринимающая панель, как правило, металлическая, окрашенная черной матовой краской. Сверху панель закрыта светопрозрачным ограждением, представляющим собой одностекольное покрытие, для уменьшения конвективных и радиационных потерь в атмосферу. Панель внутри имеет каналы, по которым прокачивается нагреваемая вода, и является теплообменником. Нагретая вода направляется в бак-аккумулятор, гидравлически соединенный с солнечным коллектором. Циркуляция воды между солнечным коллектором и баком-аккумулятором может осуществляться принудительно с помощью циркуляционного насоса или за счет естественной конвекции, при этом бак должен располагаться выше солнечного коллектора. Коллектор устанавливается под углом к горизонту β , равным широте местности $\varphi - 15^\circ$.

Методы расчета активных систем позволяют на основе использования климатической информации и с учетом характеристик используемого оборудования определять их основные параметры – коэффициент замещения нагрузки (доля солнечной энергии в покрытии нагрузки) f за некоторый рассматриваемый период времени (месяц, сезон, год), полезная производительность уста-

новки Q за этот период, площадь солнечных коллекторов в установке S . При фиксированной площади коллекторов F величины f и Q связаны очевидным соотношением $Q = fL$, где L – тепловая нагрузка за рассматриваемый период.

Проведена работа по расчетному определению указанных основных характеристик солнечных установок горячего водоснабжения в различных регионах Беларуси с целью выявления эффективности использования таких установок. Для этого было выделено 3 населенных пункта: Витебск, Минск, Гомель (север, центр, юг Беларуси), по которым имелась необходимая климатическая информация, а именно средние за месяц значения суммарной и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность и среднемесячная температура воздуха. Результаты расчета прихода суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность коллектора (МДж/м²день) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Приход солнечной радиации на наклонную поверхность коллектора для различных климатических зон РБ

	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Витебск	13,89	17,27	19,24	18,29	15,52	11,92
Минск	14,19	17,88	19,57	18,55	15,97	12,64
Гомель	14,76	17,95	19,55	19,05	17,20	13,71

Для дальнейшего расчета был использован так называемый f – метод [2]. Он состоит в том, что вначале определяется расход теплоты на горячее водоснабжение в данном конкретном месяце Q . Сезонная доля солнечной энергии в покрытии тепловой нагрузки (или степень замещения топлива) равна:

$$f_{\text{сез}} = \sum f Q_{\text{сез}} / \sum Q_{\text{сез}}$$

Коэффициент замещения f , рассчитанный для каждого месяца, эмпирически можно связать с двумя безразмерными комплексами:

$$X = F \cdot K (T_A - \overline{T_B}) \Delta t / Q, \quad Y = F \eta_0 \overline{E}_D / Q,$$

где Δt – число секунд в месяце; T_A – базисная температура, принятая равной 100°C; T_B – среднемесячная температура наружного воздуха, °C; \overline{E}_D – среднемесячный дневной приход суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность коллектора, Дж/(м²день), F – площадь коллектора, м², K – суммарный коэффициент тепловых потерь, Вт/(м²К), η_0 – эффективный оптический КПД коллектора.

Безразмерные комплексы X и Y имеют определенный физический смысл: Y можно трактовать как отношение количества энергии, поглощаемой пластиной коллектора в течение месяца, к полной тепловой нагрузке; X — отношение месячных тепловых потерь коллектора при базисной температуре к полной месячной тепловой нагрузке.

Зависимость между X , Y и f можно аппроксимировать следующим уравнением:

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3,$$

где $0 < Y < 3$ и $0 < X < 18$.

Были проведены расчеты для простейшего коллектора с однослойным остеклением ($K=8$ Вт/(м²К), $\eta_0=0,85$) при ежедневном расходе 90 литров на человека горячей воды температурой 55°C. Установлено, что в условиях г. Гомеля

(юг Беларуси) при площади коллектора 1 м², приходящейся на одного человека, будет достигнут коэффициент замещения $f=0,5$. На севере Беларуси этот коэффициент составляет величину $f=0,45$, что говорит о возможности использования солнечных систем сезонного горячего водоснабжения в нашей республике.

Литература

1. Системы солнечного тепло- и холодоснабжения // Под ред. Э.В.Сарницкого и С.А. Чистовича. М.: Стройиздат, 1990.
2. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. - М.: Энергоиздат, 1982.

ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ – НАДЕЖНАЯ ЗАЩИТА ДЕТАЛЕЙ ОТ РАЗРУШЕНИЯ

Манойло Е.Д.

Институт сварки и защитных покрытий НАН Беларуси

Интенсивное развитие различных отраслей народного хозяйства сопровождается потребностью в материалах с высокими эксплуатационными характеристиками. Так как все детали машин, механизмов и сооружений находятся во взаимодействии с окружающей средой – газами, жидкостями и твердыми телами, то на их поверхностях протекают физико-химические процессы – адсорбция, коррозия, эрозия, трение и т.д., от активности которых зависит ресурс работы изделий. Существенно снизить скорость процессов взаимодействия рабочей поверхности изделия с окружающей средой позволяет использование защитных покрытий [1]. При этом следует изготавливать основную часть детали из мало дефицитного (дешевого) материала с достаточными технологическими и физико-механическими свойствами, а поверхностный слой – из материала, обладающего комплексом защитных свойств от воздействия окружающей среды. Для формирования на деталях слоев покрытий с необходимыми функциональными свойствами широко применяются методы газопламенного напыления покрытий.

Первый аппарат для напыления покрытий из расплавленного металла подогретым газом был изобретен швейцарским инженером Максом Ульрихом Шоопом в 1905г. В 1912г. им же был скон-

струирован работающий на горючем газе аппарат для распыления проволоки, названный «пистолетом». Таким образом, газопламенному напылению покрытий – 100 лет.

Основными причинами создания процесса в начале 20 века были [2]:

- безвозвратные потери выплавленного металла от коррозии – до 30% в год;
- дефицит некоторых конструкционных материалов;
- возникновение технически сложных и совершенных объектов, теряющих работоспособность при потере от износа сотых долей от общей массы;
- недостаточное количество существующих технологий для решения проблем защиты от комплексного разрушающего воздействия окружающей среды.

Первые попытки использования газопламенного напыления в Российской империи относятся к 1912-1914 гг., когда М.У. Шооп получил Российскую «привилегию» на некоторые свои изобретения и в Санкт-Петербурге было организовано Товарищество «Металлизаторь», которое не смогло развернуть свою деятельность из-за начала мировой войны. Из-за дефицита ацетилена, только к концу 30-х годов газопламенное напыление возникло в Отделе металлизации Монтажно-технической конторы Глававтогена

Народного комиссариата тяжелого машиностроения. Важной вехой в становлении процесса напыления покрытий является создание в 1937г. инженерами Е.М. Линником и М.В. Катцем первого советского электродугового металлизационного аппарата «ЛК-1». Это послужило основой для формирования условий, благодаря которым к началу 50-х годов 90% техники газотермического напыления в СССР было электродугового распыления [3].

Методы газопламенного напыления покрытий основаны на подаче материала в виде порошка, проволоки, гибкого шнура или стержня через аппарат-распылитель к сопловому наконечнику, в котором концентрично с каналом для прохода материала выполнены каналы для подачи горючей смеси в зону нагрева. На срезе соплового наконечника горючую смесь поджигают. При сгорании горючей смеси образуется кольцевое пламя, которое нагревает распыляемый материал до температуры, близкой к температуре его плавления и переносит частицы на напыляемую поверхность.

Для нагрева и переноса частиц при газопламенном напылении покрытий используется энергия, выделяющаяся при сгорании смеси горючего газа с кислородом. В качестве горючего газа используются ацетилен, пропан-бутан, водород и некоторые синтетические газы – пропилен, метилаленовая фракция (МАФ) и др.

Важным вкладом в развитие технологии газопламенного порошкового напыления покрытий послужило создание в 1945г. американской фирмой «Колмоной» никелевых самофлюсующихся сплавов, с температурой плавления около 1000°С, обеспечивших возможность нанесения «идеальных» покрытий на стальные и чугунные поверхности. Входящие в состав этих сплавов флюсующие элементы – бор и кремний, обеспечили в процессе формирования покрытия защиту металлической поверхности от кислорода и получение прочных диффузионных связей между материалом покрытия и подложкой [4]. Однако на начальном этапе они использовались только для газопорошковой наплавки.

Возможность получения значительных скоростей истечения газовых струй при сжигании горючей смеси внутри камеры и за счет этого повышение скорости и температуры частиц при распылении, а также плотности и прочности покрытий из различных материалов, способствует созданию и применению, новых процессов и материалов. Одним из таких примеров являются оксидно-керамические стержни «Rokide», созданные в 1955г. американской фирмой Norton. Про-

цесс «Rokide» используется на американском континенте до настоящего времени. Стержни получают предварительным формованием оксидных порошков с последующим спеканием при высоких температурах. Распыление стержней производится специальными аппаратами [5].

В 1956г. фирмой Metco Inc. (США) созданы первый надежный аппарат – Метко N и способ газопламенного напыления покрытий из четырех марок порошков: нихрома, алюминиевой бронзы, алюминид никеля и нихром алюминия [6].

В 1964г. фирмой Метко (США) создает процесс ThermoSpray (Термонапыление) и два аппарата для его осуществления: тип 5P – для ручных и 6P – для стационарных работ. Это позволило осуществить напыление плотных, прочных и износостойких, покрытий с широким диапазоном твердости (25...62 HRCэ) из порошков самофлюсующихся никелевых сплавов, типа «Колмоной», а также порошков чистых металлов, их сплавов, композиций и оксидов более чем 30 типов. Данный процесс и аппараты значительно расширили технологические возможности метода газопламенного порошкового напыления [7].

Ограниченная длина стержней «Rokide» фирмы Norton, их низкая прочность и другие причины, связанные с перерывами процесса напыления, послужили основанием для создания в 1974г. французским инженером Клеманом материалов в форме шнура длиной более 50 м и процесса шнурового газопламенного напыления покрытий – «Sfecord». Процесс изготовления шнуров состоит в компактировании на специальном прессе порошков с помощью сублимирующей во время распыления полимерной связки. Для изготовления шнуров «Sfecord» были использованы порошки оксидных керамик, NiCr, NiAl и никелевых самофлюсующихся сплавов [8].

Создание процессов ThermoSpray и «Sfecord» позволило расширить номенклатуру газопламенных покрытий, значительно повысить их качество и послужило толчком к активному созданию новых процессов и аппаратуры различными фирмами. Так, объединением двух фирм Castolin (Швейцария) и Eutectic (США) были созданы процессы и аппараты Rototec, Eutalloy RW, Rotoloy (1975г.), Rototec 80 (1978г.), CastoDyn 2000 (1980г.), CastoDyn DS 8000 (1991г.) [9-12]. К этому следует добавить разработки фирмы Metco Inc, которая создала новые аппараты для газопламенного напыления порошков: Metco 5P-II и Metco 6P-II и серию порошков для нового «One step» процесса

[13-14]. Благодаря увеличению расхода ацетилен на 30% и новым конструкциям газовых сопел, прочность сцепления покрытий с основой достигает 40 МПа при пористости – 2...15% [15].

В это же время создаются за рубежом новые фирмы, например, в Австрии – MTS (Metallizing Technology System). Она производит и продает оборудование для газотермического напыления, включая газопламенное, американской фирмы Metallizing Company of America, с торговой маркой Mogul [16]. Для процесса Mogul фирма MTS предлагает более 60 типов порошков: металлов, сплавов на их основе, механических смесей этих сплавов с карбидом вольфрама, а также оксидных керамик и композитов [17].

Однако качество покрытий, напыляемых с использованием аппаратов фирмы Метко и процесса ThermoSpray, до настоящего времени превосходит подобные покрытия других фирм, а процесс и аппаратура получили широкое распространение во всем мире, не претерпев принципиальных изменений.

В начале 80-х годов американский инженер Д. Браунинг впервые осуществил промышленное производство аппарата высокоскоростного газопламенного напыления покрытий High Velocity Oxygen Fuel (HVOF). Для распыления материалов в виде порошков использовалась ракетная струя небольшой мощности [18]. Это позволило получить покрытия с пористостью менее 1% и прочностью сцепления – до 80 МПа.

В нашей республике газопламенное напыление порошковых покрытий начало развиваться в начале 70-х годов, когда на кафедре «Технология машиностроения», которую возглавлял профессор Г.М. Яковлев, начали проводиться первые эксперименты по созданию аппаратуры и технологии нанесения защитных покрытий из порошков самофлюсующихся никелевых сплавов. В 1972г. на базе аппарата Метко 5П отделом износостойких покрытий кафедры была создана установка ТРГ для газопламенного напыления покрытий из порошков на основе меди, никелевых сплавов и экзотермически реагирующих соединений типа никель-алюминий. Она позволила впервые реализовать процесс нанесения толстослойных покрытий при упрочнении торцевых уплотнений насосов магистральных нефтепроводов. В соответствии с процессом, после струйно-абразивной обработки упрочняемой поверхности напыляли слой сплава толщиной 0,1-0,5 мм, производили его оплавление, а затем при температуре более 800°C наносили

слой сплава требуемой толщины и покрытие дооплавливали. В соответствии с данным процессом были нанесены покрытия более чем на 4000 торцевых уплотнений различных насосов.

В результате совершенствования основных узлов установки ТРГ в конце семидесятых годов была создана новая – УПТР-1-78 [19]. Этому способствовали работы, выполнявшиеся совместно с сотрудниками института физики АН БССР, позволившие создать один из первых приборов для исследований скорости пламени и полета частиц – ИССО-1 [20]. Интересно отметить, что в конце семидесятых, в дни празднования 60-тилетия АН БССР, нашу лабораторию посетили руководитель нашей республики – П.М. Машеров и президент АН СССР академик А.И. Александров.

В ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Беларуси работы по созданию процессов газопламенного напыления покрытий ведутся с 1982 года. В 1982-1987 гг. на предприятиях Минлеглапрома РБ (Могилевском КШТ, Жлобинской ФИМ, Барановическом ПХБО, Витебском ковровом комбинате и др.) были созданы ремонтные участки газопламенного напыления защитных покрытий для восстановления-упрочнения быстрознашивающихся деталей технологического оборудования [21].

Опыт создания участков показал, что для их эффективной работы недостаточно наличия аппаратуры для газопламенного напыления покрытий. необходимо создать специальное технологическое оборудование: для подготовки поверхности перед напылением – струйно-абразивное, и специальное – для вращения детали и перемещения относительно детали аппарата-распылителя.

Для этих целей в 1992г. было создано научно-производственное предприятие по газопламенной обработке материалов «ТЕНА», которое осуществило создание и производство комплекта технологического оборудования для участка газопламенного напыления покрытий [22].

В настоящее время предприятием «ТЕНА» производится комплект технологического оборудования, который включает: установку струйно-абразивной обработки камерного типа деталей длиной до 1300 мм – УСАО-1300 (рис. 1); камеру полуавтоматического напыления покрытий КПАН-1300 (рис. 2); установку для струйно-абразивной обработки и напыления покрытий на детали длиной до 2000 мм – вращатель ДМВ-2000 (рис. 3) и установку струйно-абразивной обработки «беспыльная» – УСАО-БП, с циклоном и

вакуумным отсосом пыли (рис. 4) [23].

Важной особенностью установки УСАО-1300 является наличие двух инжекторов: первого - для подачи дробы от бункера к соплу аппарата и второго, в аппарате – для дальнейшего ускорения и транспортировки абразива к обрабатываемой поверхности. Это позволяет более эффективно использовать энергию при обработке изделий. Снабжение установки УСАО-1300Пв приводом вращения позволило повысить качество обработки деталей типа «вал». В настоящее время установки эксплуатируются в Беларуси: на Хойническом ремонтном заводе, Березовском мотороремонтном заводе, Беларуском металлургическом заводе и др. предприятиях, а также на предприятиях Украины, России и Израиля.

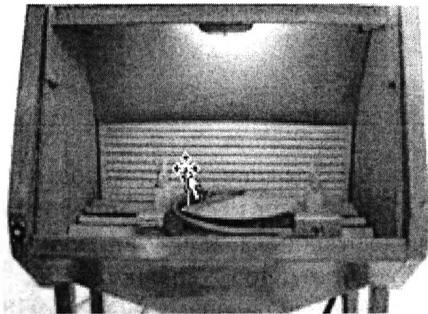


Рис. 1. Установка УСАО-1300

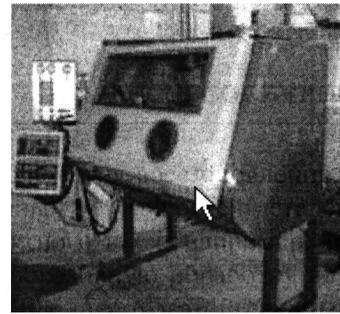


Рис. 2. Камера КПАИ-1300

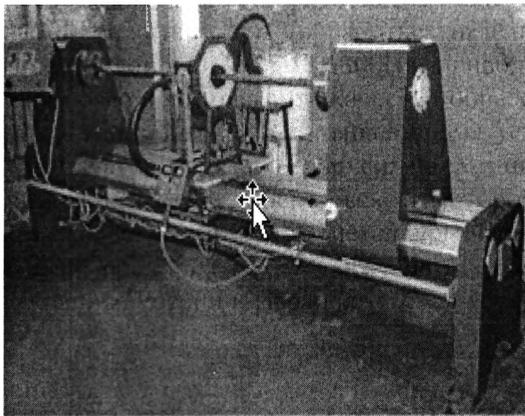


Рис. 3. Установка ДМВ-2000

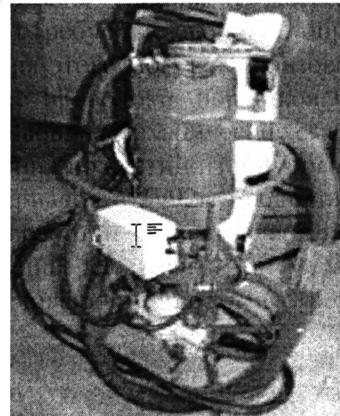


Рис. 4. Установка УСАО-БП

Следует также отметить, что при создании установки струйно-абразивной обработки УСАО-Бп была создана принципиально новая система очистки отходящего воздуха, состоящая из 12 керамических труб длиной 450 мм и диаметром около 50 мм. Это позволило обеспечить сбор и удаление пыли без подключения к системе вытяжной вентиляции. Аналогичной системой очистки отработавшего воздуха снабжена и установка ДМВ-2000.

Обычно технология восстановления и упрочнения изношенных поверхностей деталей включает снятие дефектного слоя, например, шлифованием, струйно-абразивную обработку для придания нужной степени шероховатости напыляемой поверхности и газопламенное напыление слоя покрытия требуемой толщины из материала, обеспечивающего требуемые свойства, определяемые чертежом. Для этого могут использоваться материалы в виде проволоки, порошков чистых металлов и сплавов, их механические смеси.

Для нанесения покрытий из шнуровых и проводочных материалов в 1992г. предприятием «ТЕНА» был разработан и изготовлен аппарат «ТЕНА-ГШ» и универсальный пульт управления газами, обеспечивающий требуемые режимы про-

цесса при работе аппарата-распылителя. Совместными усилиями ОХП «Институт сварки и защитных покрытий» и предприятием «ТЕНА» были разработаны технологии и оборудование для газопламенного напыления покрытий из проволок, шнуров типа «Сфекорд», порошков, а также газопорошковая наплавка, которые успешно используются как на предприятиях республики так и за ее пределами для упрочнения новых и вос-

становления изношенных деталей различного функционального назначения [24].

В 1996-2000 гг. в НИИ «Порошковой металлургии» нами разработана и внедрены технологии газопламенного напыления износостойких покрытий проволоками из Zn, Al и Cu технология газопламенного напыления проволоочного алюминиевого покрытия аппаратом «ТЕНА-ГШ» для защиты от коррозии корпуса диффузионного аппарата Городейского и Слуцкого сахарных комбинатов, которая используется да настоящего времени. Ранее на предприятиях использовалась технология электродугового напыления покрытий. Пористость покрытий при этом составляла 8-13%. Использование технологии газопламенного напыления позволило снизить пористость покрытий до 1,5-2,5%, уменьшить толщину слоя, сократить время напыления и материальные затраты в два раза, при меньшей запыленности атмосферы. Были разработаны также технологии газопламенного напыления цинкового покрытия на закладные детали автовокзала «Московский», г. Минск, медного покрытия – на валы печатных машин и алюминиевого покрытия – на криволинейный брус отбойника дорожного полотна.

Напыление композиционного двухслойного покрытия «цинк – Полиамид-11» газопламенным напылением проволоки и порошка нами впервые было реализовано в 1996г. для защиты от абразивно-коррозионного износа внутренней поверхности кузовов – разбрасывателей солепесчаной смеси ПО «Белкоммунмаш» (г.Минск). Цинковый слой наносился из проволоки диаметром 2 мм аппаратом «ТЕНА-ГШ». На этот слой газопламенным аппаратом-распылителем «ТЕНА-П» наносился порошок Полиамид-11 - «Рильсан» (Франция) [25,26]. Опыт эксплуатации изделий с таким покрытием оказался положительным.

В 2000-2005 гг., на основании результатов исследований основных свойств и структурных особенностей исходных порошков и покрытий из самофлюсующегося никелевого сплава ПГ-10Н-01, были разработаны технологии газопламенное напыление износостойких покрытий на детали сельхозмашин (рис. 5).

Одна из них – высокоэффективная технология упрочнения рабочих поверхностей лап сеялок методом газопламенного напыления с последующим оплавлением ТВЧ внедрена в РУП «Лидагропромаш», где создан участок газопламенного напыления покрытий на такие детали, оснащенный необходимым оборудованием и аппаратурой. В резуль-

тате разработанный технологический процесс обеспечил такт выпуска детали с покрытием, равный 25-30 с, при толщине покрытия – 0,8-1,2 мм. В настоящее время с использованием вновь созданной технологии упрочнено более 5 тыс. шт. деталей, которые установлены на сеялки и прошли испытания в различных хозяйствах республики, в России, Казахстане и Алтае. Во всех случаях испытаний ресурс работы деталей увеличился более чем в 2-3 раза по сравнению с серийными деталями. Работа выполнялась в рамках ГНТП «Новые материалы и защита поверхностей», подпрограмма «Инженерия поверхностей», задание №1. 30 (2001-2002 гг.). Данная технология была использована при разработке методов упрочнения таких деталей, как лемех и долото плуга, нож и противорежущая пластина кормоуборочного комбайна и т.п. [27].

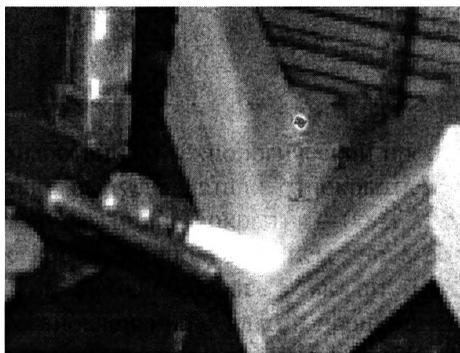


Рис. 5. Газопламенное напыление износостойких покрытий на детали сельхозмашин

В этот же период создается ряд технологий газопламенного напыления покрытий из шнуров «Sfecord». Одной из наиболее важных работ при этом следует отметить разработку технологии напыления износостойкого покрытия шнуром никелевого самофлюсующегося сплава Rok Dur - 47 с последующим оплавлением ТВЧ крупногабаритной детали – шкворня поворотного кулака большегрузного автомобиля БелАЗ.

Нанесения этого покрытия вместо твердого хрома увеличило срок службы деталей более чем в четыре раза. Другой процесс – напыления покрытия на винтовые плунжеры скважинных откачивающих нефтяных насосов шнуром никелевого самофлюсующегося сплава Rok Dur - 67, вместо хромирования, был реализован нами по контракту, успешно используется в Канаде до настоящего времени [28].

Для защиты от износа высоко нагруженных поверхностей трения насосов, в частности, уплотнений колеса центробежного насоса Бобруйского машиностроительного завода было использовано напыление покрытия шнуром Экзо-40 [29].

Данный процесс использовался и для восстановления крупногабаритных цилиндрических валов насосов станций вилейско-свислочской водной системы.

Новый метод – высокоскоростного газопламенного напыления аморфных и наноструктурных керамических покрытий был использован для напыления защитных покрытий из керамического шнура «Черный корунд» на шток компрессора ОАО «НАФТАН» и длинномерные детали печатных машин позволил увеличить ресурс деталей, по сравнению с хромовым покрытием в 3–5 раз (рис. 6) [30].

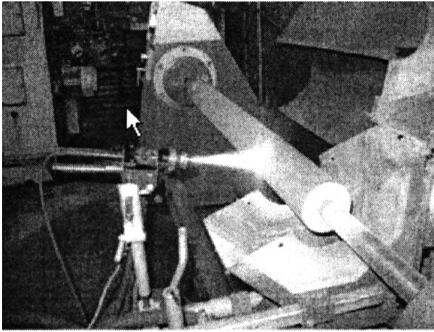


Рис. 6. Шток-компрессора ОАО «Нафтан» – покрытие «Черный корунд»

Опыт, полученный при создании проволочных и шнуровых покрытий, был использован нами при создании новых технологий газопламенного напыления покрытий из порошков.

Одним из примеров является нанесение покрытий методом высокоскоростного газопламенного напыления покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов на крестовины дифференциала (рис. 7), плунжеры трех плунжерного насоса (Франция) защитные втулки насосов, ролики прокатных станков, поршневые пальцы ДВС и т.п. [31].

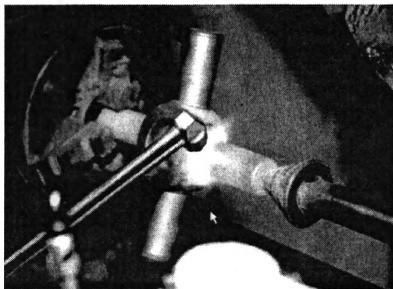


Рис. 7. Крестовина дифференциала

Снижение пористости в процессе напыления до 2,5–4,5%, позволило значительно увеличить износостойкость покрытий за счет формирования большего количества карбоборидных соединений в процессе их оплавления. Эксплуатационные испытания подтвердили высокую эффективность упрочнения защитных втулок насосов и прокат-

ных роликов металлургического производства газопламенным напылением многокомпонентными высокотвердыми самофлюсующимися сплавами с последующим оплавлением. Использование на ЗАО «Гидродинамика» стальных защитных втулок с газопламенным покрытием из самофлюсующегося сплава, позволило заменить ими спеченные из твердого сплава карбид вольфрама никель втулки, импортируемые из Украины, и снизить при этом затраты более чем в два раза. Срок службы прокатных роликов металлургического производства РУП «Белорусский металлургический завод», упрочненных газопламенным порошковым напылением покрытия из самофлюсующегося сплава увеличился в 2–2,5 раза [32].

Создание специальных механических смесей из порошков в сочетании с методом высокоскоростного напыления позволило разработать ряд технологических процессов напыления покрытий на быстроизнашивающиеся поверхности стальных и чугунных деталей узлов трения. Это коленчатые валы, тормозные валы прицепов, шестерни конечной передачи, винты компрессоров ротор электродвигателя погружного насоса [33]. Нами, например, разработана технология газопламенного напыления аппаратом ТЕНА-Ппм покрытий из многокомпонентной механической смеси порошков на коренные шейки чугунных коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания автомобилей ГАЗ-53. Для улучшения связи покрытия с подложкой наносился подслои связи из композиционного порошка никель алюминия. Стендовые и ходовые испытания показали удовлетворительный ресурс работы двигателей с упрочненными таким образом коленчатыми валами.

Литература

1. Анциферов В.Н., Бобров Г.В., Дружинин Л.К. и др. Порошковая металлургия и напыление покрытий. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
2. Полонский Л.Г. Историко-технические аспекты развития газотермического напыления покрытий. – // Сб. докл. «5-я Международная конференция «П и П – 98». С.-Петербург, 1998 г., – С. 47–51.
3. Полонский Л.Г., Муковоз Ю.О., Клименко С.А. Развитие техники газотермического напыления покрытий и их механической обработки в Украине. // Труды МНТК, посв. 100 летию механико-машиностроительного и 50 летию сварочного факультетов 25–28 мая 1998 г. Киев, 1998. С. 315–318.

4. Манойло Е.Д. Повышение основных свойств газопламенных порошковых покрытий путем управления скоростью, температурой и тепло-содержанием частиц: Дис. к-та техн. наук: 05.16.06.– Минск, 2002 г.–168 с.
5. Norton, Rokide Ceramic, Spray Coatings. Norton Industrial Ceramics Division, Worcester, Massachusetts, Cat. N2768 CMX-12-79-B. Print. in USA.– 6 p.
6. The revolutionary new Metco Type N Metallizing System. Bulletin 183.
7. Идеальные покрытия. Metco, S.p.A., Italia, 1977.– 20 p.
8. Получение покрытий высокотемпературным распылением / Под ред. Л.К. Дружинина и В.В. Кудинова.– М.: Атомиздат, 1973.– 312 с.
9. Manuel d'utilisation Rotoloy. Procédé polyvalent Castolin + Eutectic // 1977 by Institute Castolin + Eutectic. Imprime en Suisse. 3476 – 1771 –300.– 16 p.
10. Промышленный каталог № 6384-86. The most advanced multi – process delivery system for applying new Meta Ceram wear resistant coatings. CastoDyn System 2000. Imprime en Suisse.
11. Противоизносные покрытия E + C “Tero Cote” наносимые «холодным» или «теплым» способом. Roto Tec 80 // Castolin +Eutectic. Castolin S.A. Case postale 1020. CH – 1001, Lousanne Suisse. 5308-0851-2000-XO.
12. CastoDyn DS 8000 Operating Manuel. Castolin S.A. 1991.– 26 p.
13. Type 5 P II Thermo Spray Gun. Instruction Manuel // Metco Inc. Westbury, L.I., N.Y. Cat. N5P 999. (Рекламный проспект).
14. Промышленные каталоги № 19393-85; 823-87. Metco one-step coatings for self-bonding metal build-ups. Bulletin 234A. Metco Inc., USA, 1976.– 7 p.
15. Type 6PII. Thermo Spray Gun. Instruction Manuel // Metco Inc. Westbury, L.I., Cat. N 6P999. (Рекламный проспект).
16. MTS. Metallizing Technology Systems. Новые границы в области покрытий напылением. А-2540. Bad Voelau, Flugfeldstr. 60. (Рекламн. просп).
17. Промышленный каталог № 9142-87. Mogul Metallizing // Могул. Порошки. Проволока. Д-5650. Solingeri 1.– 5 p.
18. J.B. Browning. And Now, Hypersonic Velocity Impact Fusion Spraying / PITSC. USA. 1992. – p. 123–125.
19. Манойло Е.Д., Сахнович В.Т., Дорожкин Н.Н. Установка для газопламенного напыления порошковых материалов УПТР-1–78 // Информ. листок № 36–1979:– Мн.: БелНИИНТИ.–1979.– 4 с.
20. А.с. 553537 СССР, МПК G 01 P 5/00. Устройство для измерения скорости потока частиц // Манойло Е.Д., Хилькевич Л.П., Шиманович В.Д., Шипай А.К. (СССР).–№ 2166268/10; Заявлено 22.08.75; Опубл 05.04.77, Бюл. №13 // Открытия. Изобретения.–1977.–№13.–С. 165.
21. Восстановление и упрочнение деталей технологического оборудования методами газопламенного напыления и наплавки. Механика и энергетика. Вып.1 (Составители: А.П. Волков, В.С. Ивашко, Е.Д. Манойло). Обзорная информация, ЦНИИТЭИ Легпром, М.– 1988. – 44 с.
22. Манойло Е.Д. Новейшая серия оборудования предприятия “ТЕНА” для газопламенного напыления // Технология судоремонта.–1992. – С. 27–30.
23. Ильющенко А.Ф., Манойло Е.Д., Толстяк Э.Н. Восстановление–упрочнение деталей машин газопламенным напылением многокомпонентных покрытий // Тяжелое машиностроение.– 1999.– №2.– С. 6–8.
24. Манойло Е.Д. Газопламенные покрытия из шнуровых композиционных материалов / 29–й межгосударств. семинар (24 апреля 1998, г. Минск) «Защитные покрытия и сварка». Сб. докл. Минск:1998.– С. 57–59.
25. А.Ф. Ильющенко, В.С. Ивашко, В.А. Оковитый, А.В. Беляев, Е.Д. Манойло, А.И. Шевцов. Разработка процессов нанесения газотермических покрытий в НИИ ПМ. / Сб. докладов 29-го межгосударственного семинара. «Защитные покрытия и сварка» г. Минск. 1998. – С. 31–36.
26. Гуцин В.И., Манойло Е.Д., Бучкин Ю.В. Газопламенное нанесение двухслойных покрытий металл-полимер для защиты от коррозии поверхностей крупногабаритных деталей. Композиционные материалы в промышленности. / Материалы международной конференции 3–5 марта 1998 г. (п. Славское, Львовской обл., ч.II). Славполиком – 98. Киев. – 1998г. – С.30-32.
27. Ильющенко А.Ф., Круглый В.В., Манойло Е.Д. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин газопламенным напылением покрытий. // Порошковая металлургия. – Вып. 27.– 2004.– С. 111–115.
28. А.Ф. Ильющенко, Е.Д. Манойло, Э.Н. Толстяк. Перспективы развития газопламенного напыления высококачественных покрытий // Тяжелое машиностроение.– 2000.– №2. – С. 14–17.
17. Витязь П.А., Ивашко В.С., Ильющен-

- ко А.Ф., Шевцов А.И., Манойло Е.Д. Теория и практика нанесения покрытий.– Минск: Беларуская навука, 1998.– 583 с.
29. Е. Д. Манойло, Л. В. Юрченко. Защита от интенсивного износа рабочих поверхностей уплотнений насосов высокоскоростным газопламенным напылением порошковых покрытий. 7-я международная НТК «Новые матер. и технологии: порошок. металлургия, композ. матер., защитные покрытия». Минск. Беларусь, 16–17 мая, 2006.–С. 293–294.
30. Г.Г. Горанский, Е.Д. Манойло, Г.П. Окатова. Эволюция структуры оксидной керамики при высокоскоростном газопламенном нанесении аморфных и наноструктурных керамических покрытий // Порошковая металлургия.– Вып. 29.–2006.– С.249–256.
31. Е.Д. Манойло. Восстановление и упрочнение плунжеров насосов газопламенным напылением защитные покрытия из самофлюсующихся никелевых сплавов // Порошковая металлургия.– Вып. 29.– 2006.– С. 257–262.
32. Манойло Е.Д. Упрочнение защитных втулок насосов и прокатных роликов металлургического производства газопламенным напылением. // Порошковая металлургия. – Вып. 25.– 2002.– С. 65–73.
33. Ильющенко А.Ф., Манойло Е.Д., Толстяк Э.Н., Федукевич Е.Л. Восстановление бочек роторов электродвигателей погружных насосов газопламенным напылением покрытий. // Порошковая металлургия. – Вып. 27.– 2004.– С. 101–107.

3–5 октября 2007 г. в г. Минске в Физико-техническом институте
НАН Беларуси состоялась

II Международная научно-техническая конференция «Современные методы и технологии создания и обработки материалов»,

посвященная Первому съезду ученых Беларуси





80 Евгений Маркелович МАКУШОК

26 января 2007 г. известному белорусскому ученому в области обработки металлов давлением, доктору технических наук, профессору Евгению Маркеловичу Макушку исполняется **80 лет**. Его трудовая деятельность началась в 15 лет: в 1943-1944 гг. работал токарем на заводе № 65 Народного комиссариата авиационной промышленности (г. Москва), в 1944 г. вернулся с семьей в г. Минск и продолжил обучение в средней школе, а в 1945 г. поступил в Белорусский политехнический институт, который окончил в 1950 г., получив специальность инженера-механика в области технологии машиностроения. Уехав по направлению в г. Ленинград, работал мастером на Ленинградском металлургическом заводе, а затем старшим инженером-технологом секретного завода. В 1953 г. поступил в аспирантуру БПИ и с тех пор полностью посвятил себя научной работе.

В 1956 г. защитил кандидатскую, а в 1967 — докторскую диссертации по специальности «обработка металлов давлением» и с 1957 г. работает в Физико-техническом институте АН БССР, сначала старшим научным сотрудником, а с 1970 г. — заведующим лабораторией. Основными направлениями научной деятельности Е.М. Макушка в этот период являлись теория обработки металлов давлением, механика пластического деформирования, механика трения. В прикладном плане в сфере его интересов оказались процессы поперечно-клиновой прокатки, холодного объемного деформирования, поверхностной пластической деформации. Благодаря глубокой научной эрудиции,

оригинальности мышления, хорошо продуманной экспериментальной работе Е.М. Макушку удалось внести серьезный вклад во все эти научные и прикладные направления. За период работы в Физико-техническом институте он опубликовал 220 научных трудов, в том числе 14 монографий, 103 авторских свидетельства на изобретения, подготовил 17 кандидатов и 3 докторов наук, являлся научным руководителем заданий, выполняемых в рамках ГКНТ СССР и отраслевых министерств. Результаты работ в области поперечно-клиновой прокатки и холодного объемного деформирования широко внедрены в производство как в Республике Беларусь, так и за её пределами. За эти работы сотрудники лаборатории, возглавляемой Е.М. Макушкой, получили две Государственные премии Республики Беларусь в области науки и техники, а сам Е.М. Макушок удостоен Госпремии в области науки и техники за научный вклад в развитие процессов поперечно-клиновой прокатки.

Существенные научные результаты получены Е.М. Макушкой в процессе изучения принципа самоорганизации неоднородных деформационных процессов: обоснованы критерии самоорганизации, уточняющие и упрощающие систему расчета напряженно-деформированного состояния упруго-пластических систем и связанных с ними технологических процессов, позволяющие количественно оценить уровень сопротивления деформированию и существенно повысить точность расчетного аппарата.

С 1991 года Е.М. Макушок работает в других уч-

реждениях (ЗАО «Белтехнологии и М», Институт повышения квалификации при Белорусском национальном техническом университете), продолжая заниматься теоретическими исследованиями в области пластического деформирования. Он являлся научным руководителем или ответственным исполнителем большого количества госбюджетных тем, в том числе научным руководителем проекта, выполняемого по заданию Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № 97-311 «Разработка концепции механики твердого деформируемого тела на основе представлений синергетики»). В этот период Е.М. Макушок подготовил двух докторов наук, в составе авторского коллектива выпустил учебное пособие «Технология и оборудование для прессования и штамповки» для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов (2007 г.), опубликовал ряд серьезных научных статей.

В канун своего юбилея он работает над статьей «Роль структуры напряженно-деформированного

состояния в формировании турбулентности деформационного движения».

Благодаря неиссякаемой научной любознательности, высокому научному профессионализму, активной жизненной позиции Е.М. Макушок и в настоящее время востребован и глубоко уважаем в широких научных кругах. Он является членом Совета по защитах докторских диссертаций при БНТУ, часто привлекается в качестве оппонента, эксперта при защите кандидатских и докторских диссертаций, работает над новыми научными проблемами.

Друзья, коллеги по работе, многочисленные ученики выражают восхищение неугасимой жизненной энергией Е.М. Макушка и желают ему еще много лет жить и трудиться так же ярко, насыщенно, с большой отдачей и в добром здравии.

*А.В. Алифанов
д.т.н., зав. отделом
ФТИ НАН Беларуси*

80 Нил Николаевич ДОРОЖКИН



26 ноября 2007 г. исполнилось 80 лет со дня рождения известного ученого в области технологии машиностроения и трения материала члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора, лауреата премии Совета Министров СССР Нила Николаевича Дорожкина.

После окончания в 1952 г. Ленинградского механического института Нил Николаевич был направлен на работу инженером-исследователем на

одно из подмосковных предприятий. С 1955 г. он ассистент кафедры «Технология металлов» Белорусского политехнического института. В 1959 г. Н.Н. Дорожкин поступает в аспирантуру Физико-технического института АН БССР, которую успешно заканчивает. В 1962 г. он защищает кандидатскую, а в 1975 г. — докторскую диссертацию, посвященную упрочнению деталей машин.

С 1963 по 1971 гг. Нил Николаевич — старший научный сотрудник Центрального научно-иссле-

довательского института механизации и электрификации сельского хозяйства Нечерноземной зоны СССР. С декабря 1971 г. по апрель 1991 г. он возглавлял лабораторию износостойких покрытий деталей машин Института проблем надежности и долговечности машин АН БССР. С 1991 г. по 2007 г. Нил Николаевич работал главным научным сотрудником Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси. С 1979 г. Н.Н. Дорожкин — профессор по специальности «Технология машиностроения», а в 1986 г. он избран членом-корреспондентом АН БССР по специальности «Технология порошковых материалов».

С первых лет своей трудовой деятельности Нил Николаевич проявил способности к исследовательской работе. Он принимает активное участие в развитии в Беларуси технологии порошковой металлургии. Его кандидатская диссертация была посвящена исследованию процесса калибрования металлокерамических деталей в пресс-формах. Первые авторские свидетельства выполнены Н.Н. Дорожкиным по созданию специальных самосмазывающихся подшипников скольжения с компенсационными резервуарами, по способам и устройствам ультразвуковой пропитки капиллярно-пористых тел, по восстановлению зубчатых колес методом пластического передеформирования.

В 1969 г. Н.Н. Дорожкин совместно с учениками предложил теорию активирующих факторов при создании защитных покрытий, основанную на применении термодинамики необратимых процессов и теории Онзагера к порошковым системам. В это же время им предлагается новая технология получения покрытий методом припекания. В основе технологии заложена идея получения порошковых покрытий при температурах, не превышающих температуры плавления исходных порошковых материалов, с максимальным использованием их «наследственных» свойств. Предложенная Н.Н. Дорожкиным технология электроконтактного припекания вошла в комплекс работ, удостоенных в 1984 г. премии Совета Министров СССР за разработку и внедрение в производство новых способов и оборудования для восстановления и упрочнения деталей машин электроконтактной приваркой присадочных ма-

териалов. За творческие успехи и подготовку научных кадров Нил Николаевич награжден почетной грамотой Верховного Совета БССР, в 1993 г. ему присвоено звание академика Академии транспорта России, в 1994 г. он удостоен звания лауреата премии им. Н.Е. Жуковского.

Научная деятельность Нила Николаевича тесно связана с изобретательской работой. Его авторские свидетельства и патенты (свыше 300) посвящены способам и устройствам по получению покрытий методами центробежного и электроконтактного припекания, магнитно-импульсной напрессовкой, газотермическими методами, активированной электродуговой металлизацией и наплавкой, виброударным и электросиловым припеканием и др. Созданный вместе с учениками метод электроконтактного припекания алмазоносных слоев позволил решить ряд важных задач в алмазообработке. На десятках предприятий стран СНГ используется оригинальное оборудование по газоплазменному напылению и центробежному припеканию, созданное Н.Н. Дорожкиным и учениками.

Н.Н. Дорожкиным опубликовано более 360 научных работ, в том числе 14 монографий. В течение почти 40 лет работает возглавляемый им республиканский семинар по прогрессивным методам получения защитных покрытий.

Свою научную деятельность Н.Н. Дорожкин успешно сочетает с общественной и педагогической работой. Под его руководством подготовлено большое число высококвалифицированных специалистов, в том числе более 30 кандидатов наук. В течение ряда лет Нил Николаевич читает в Белорусском национальном техническом университете курс лекций «Теоретические основы защитных покрытий».

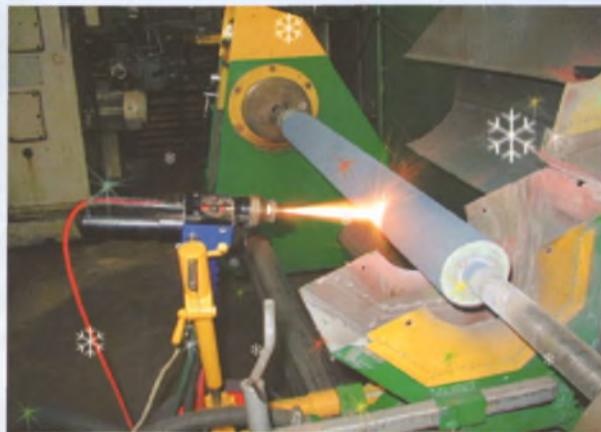
В яркой личности юбиляра гармонично сочетаются качества талантливого ученого, организатора науки, педагога, оригинального мыслителя и поэта. В активе Н.Н. Дорожкина уже есть несколько поэтических сборников, к печати подготовлена очередная книжка.

Отделение физико-технических наук НАН Беларуси горячо и сердечно поздравляет Нила Николаевича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья, счастья и дальнейших творческих успехов.

Газоплазменные функциональные защитные покрытия

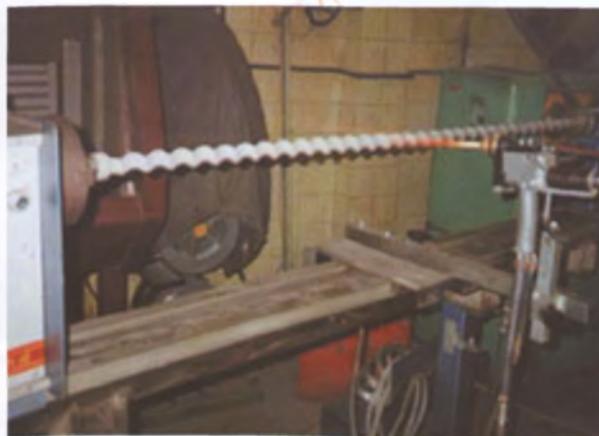
Напыление покрытий из шнуров "Sfecord"

Шток компрессора ОАО "Нафтан" - покрытие "Черный корунд"



Уплотнительная поверхность колеса центробежного насоса БМС - покрытие Экзо-40

Ротор винтового нефтяного насоса - покрытие Rok Dur-67



Напыление покрытий из порошков

Ротор электродвигателя



Напыление покрытий проволоками из Zn, Al и Cu

Нанесение покрытия на печатной машины



Научная библиотека
ВНТУ
* 8 0 0 2 9 7 7 3 9 *

МУЗЕЙ ПОД ОТКРЫТЫМ НЕБОМ

