

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ межотраслевой научно-популярный  
и производственно-практический ЖУРНАЛ

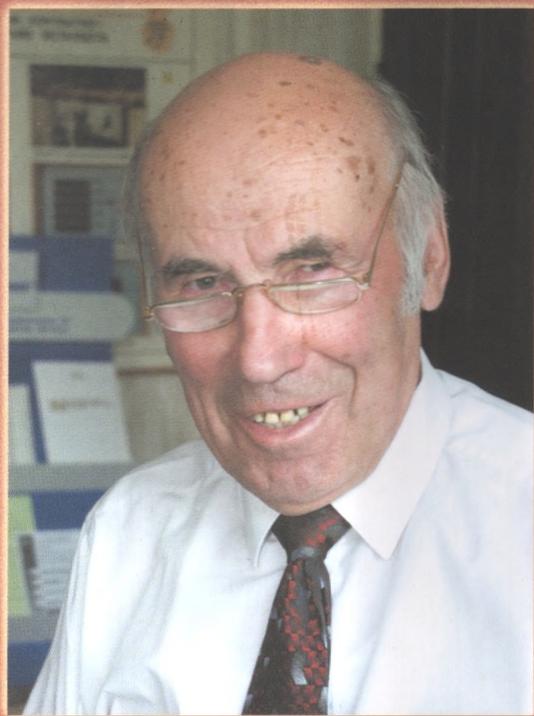
# КОНСТРУКТОР-МЕХАНИК



№ 1 (30)

январь - март

2006



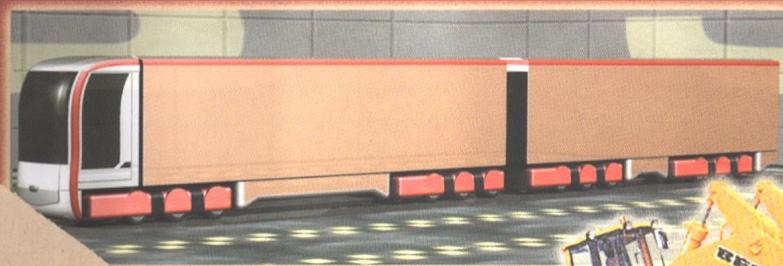
## Академик Высоцкий Михаил Степанович

### Дорогой Михаил Степанович!

Коллектив ОО «БОИМ» и редакция журнала «Инженер-механик» большой радостью восприняли весть о присвоении Вам высокого звания — Герой Республики Беларусь.

То, что автомобили семейства МАЗ работают более чем в 70 зарубежных странах и то, что МАЗы — лучшие рабочие машины стран СНГ, благодаря которым построены дороги, жилой фонд, заводы предприятия, — и сегодня составляют серьезную конкуренцию зарубежным аналогам — это заслуга, в первую очередь, Ваша — гениального конструктора автомобильной техники Беларуси, ученого академика - труженика.

Желаем Вам, дорогой Михаил Степанович, крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов в благородном труде на благо родной Беларуси.



27-29 марта 2006 г. в Физико-техническом институте НАН Беларуси прошла Международная научно-техническая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ». Предлагаем Вашему вниманию несколько докладов, заслушанных на конференции.

## ФИЗИКА И ТЕХНИКА ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

*Марукович Е.И., Пумпур В.А.*

*Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев*

В середине 50-х годов прошлого столетия в БПИ состоялся первый выпуск инженеро-литейщиков. Было положено начало школе белорусских литейщиков, которую возглавил молодой талантливый ученый А.И. Вейник. За достаточно короткий промежуток времени школа стала известна далеко за пределами Советского Союза, во многом благодаря историческому решению Президиума АН БССР от 12 октября 1970 года, который принял постановление об открытии Могилевского отделения физико-технического института АН БССР. Основной целью работы отделения было развитие фундаментальных и прикладных исследований в области литейного производства. Возглавить отделение было поручено ученику А.И. Вейника молодому доктору технических наук Г.А. Анисовичу, благодаря целеустремленности которого был создан крепкий научный коллектив, способный решать важнейшие научно-технические задачи.

Особенно плодотворной деятельность коллектива была до «развала» Советского Союза. Технологии института широко внедрялись в России, Литве, Грузии, Азербайджане и стали известными в зарубежных странах. Научный коллектив получил более 500 авторских свидетельств и около 30 зарубежных патентов. До 1990 года подготовлено более 10 кандидатских диссертаций.

В 1992 году постановлением Президиума АН Беларуси отделение преобразовано в академический институт технологии металлов. Новый статус налагал дополнительную ответственность. Но заложенный Г.А. Анисовичем прочный фундамент человеческих отношений не дал коллективу развалиться, а лишь сплотил его в то непростое для страны время.

Институт продолжал обновлять экспериментальную базу, создавая новые технологии. Безболезненно и совершенно естественно прошла смена руководства института. В 1997 году Г.А. Анисович возглавил Отделение физико-технических наук НАН Беларуси. Директором института был назначен доктор технических наук, профессор Е.И. Марукович. А в 1998 году Институт технологии металлов НАН Беларуси удостоен Между-

народного приза «За качество» (Франция), который ежегодно присуждается предприятиям и научно-исследовательским организациям, отличившимся качеством своей продукции и услуг.

В настоящее время основными направлениями научных исследований института являются: теплофизика и гидродинамика специальных видов литья; разработка теоретических основ управления процессами формирования структуры и свойств металлов и сплавов при их кристаллизации и затвердевании; создание новых материалов и технологических процессов их получения, обработки и упрочнения.

Научная и научно-техническая деятельность Института отвечает приоритетным направлениям научно-технической деятельности Республики Беларусь, фундаментальных и прикладных исследований, перечню приоритетных направлений создания и развития новых и высоких технологий, перспективных производств, основанных на таких технологиях, на 1997-2010 гг.:

- научно-техническая деятельность — литейное производство, придание специальных свойств материалам и покрытиям, утилизация промышленных отходов, разработка и внедрение в производство технологии литья гильз цилиндров, обеспечивающих оптимальное соотношение между прочностью износа и кавитационной стойкостью;

- фундаментальные исследования — теория, материалы, техника и технологии литейных, металлургических процессов, физико-технические основы процессов получения и использование наноструктурных материалов;

- прикладные исследования — новые многофункциональные и специализированные материалы;

- создание и развитие новых и высоких технологий, перспективных производств, основанных на таких технологиях — технологии, основанные на снижении норм расходования сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, включая технологическое оборудование, композиционные материалы и материалы с особыми свойствами, нанокристаллические и аморфные материалы и технологии получения.

В Институте сформировались научные школы, оказавшие существенное влияние на развитие науки и техники:

- ранее — научная школа академика НАН Беларуси Г.А. Анисовича «Теплофизика литейного производства»;

- в настоящее время — научная школа члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора Е.И. Маруковича «Кристаллизация и затвердевание многокомпонентных сплавов при интенсивном теплоотводе».

В ближайшее время можно прогнозировать формирование новой научной школы — «Структурообразование высокопрочных и износостойких сплавов, получаемых с использованием отходов черных и цветных металлов».

Институт проводит исследования и разработку новых специальных видов литья и усовершенствование известных. Специальные виды литья не являются универсальными, но там, где их можно применить, они обеспечивают высокое качество получаемых изделий и производительность труда, непрерывность процесса, высокую технологичность, большие возможности для автоматизации и механизации. Спецвиды литья в металлическую форму помимо перечисленных преимуществ практически не загрязняют окружающую среду — отсутствуют дымо-, газо- и пылевыведение в процессе подготовки формы, заливки, выбивки и обрубки отливок, а также образование отвалов горелой земли.

Одним из наиболее интересных и перспективных спецвидов является метод непрерывно-циклического литья намораживанием (НЦЛН) полых цилиндрических заготовок мерной длины без применения стержня (рис. 1). В его основу положен принцип направленного затвердевания, при котором наружная поверхность отливки ограничивается рабочей полостью кристаллизатора, а внутренняя формируется непосредственно из расплава, т.е. без стержня. Отсутствие стержня исключает такие трудоемкие и экологически вредные операции, как формовка, выбивка, очистка и обрубка литья. Высокая температура извлекаемых непосредственно из расплава отливок дает дополнительные возможности для управления структурообразованием при охлаждении вне формы. Высота заготовки определяется высотой формы, а толщина стенки — временем выдержки при формировании, теплофизическими свойствами и температурой заливаемого расплава, а также материалом и конструкцией кристаллизатора.

Получаемые этим способом отливки обладают повышенными физико-механическими свойствами. В результате проведенных исследований на основе метода НЦЛН разработаны новые техно-

логические процессы получения отливок диаметром 30–250 мм и длиной 100–300 мм из чугунов различных марок и классов (рис. 2).

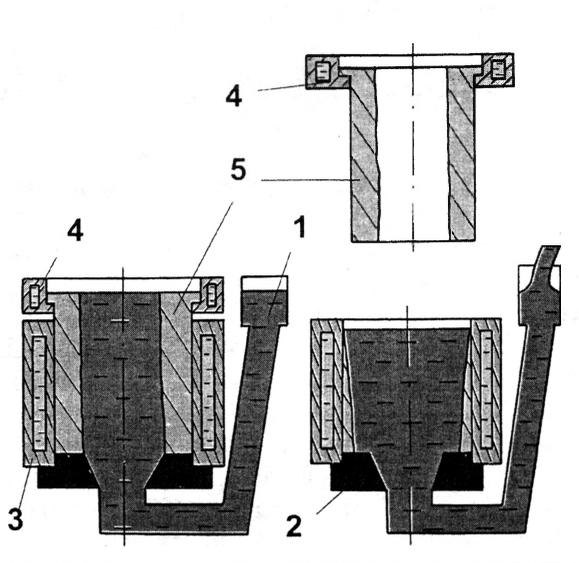


Рис. 1. Схема непрерывно-циклического литья на морозиванием: 1 — заливочная чаша; 2 — соединительный элемент; 3 — неподвижный кристаллизатор; 4 — подвижный кристаллизатор; 5 — затвердевшая отливка



Рис. 2. Изделия, получаемые из отливок, изготовленных методом литья на морозиванием

Гильзы цилиндров ДВС и пневмокомпрессоров поршневые и уплотнительные кольца различных модификаций поставляются для УП «ММЗ», РУП «МТЗ», РУП «Борисовский завод агрегатов», РУП «Гомельский завод пусковых агрегатов», «Дергачевский завод турбокомпрессоров», Украина).

Заготовки из ВЧШГ Ø12–35 мм нашли успешное применение для производства уплотнительных колец Ø10–29,6 мм турбокомпрессоров дизельных двигателей, при этом кольца Ø10–18 мм работают на турбинах при скоростях вращения ротора до 160000 об/мин.

Все известные в мире производители кольца диаметром менее 14 мм изготавливают из легированных сталей, чтобы обеспечить предъявляемые высокие требования к упругости с целью исключения проворачивания кольца при вращении ротора. Кольца  $\varnothing 10\text{--}14$  мм, получаемые по разработанной технологии с использованием нормализации вместо традиционной закалки с высоким отпусканием, имеют диаметрально упругую силу 14–21Н, что сравнимо и даже на 15–20% выше аналогичных характеристик колец, получаемых из сталей типа Х12М, в то время как трибологические характеристики ВЧШГ значительно выше стали. Производство колец диаметром менее 18 мм на территории СНГ освоено впервые. Стоимость колец таких типоразмеров составляет 0,7–1,2 доллара США, что в 2,5–3 раза меньше западно-европейских, американских и японских аналогов. С 2000 года для потребностей Борисовского завода агрегатов (БЗА) производятся и поставляются ежемесячно в среднем около 15 тыс. уплотнительных колец диаметром 13, 18, 23 и 29,6 мм, т.е. около 180 тыс. колец в год. По самым минимальным подсчетам годовой экономический эффект составляет свыше 250 тыс. долларов США.

С 2001 года поставка аналогичных колец осуществляется на Дергачевский завод турбокомпрессоров в Украине (некогда самый крупный завод в СССР), вытеснив оттуда известнейший Ставропольский ЗПК. Такие же кольца и впервые освоенную широкую гамму ремонтных типоразмеров поставляются практически всем ремонтным предприятиям Беларуси, России и Украины — всего свыше 100 тыс. штук в год.

Для гусеничной модели трактора «Беларус» впервые освоено из ВЧШГ уплотнительное кольцо  $\varnothing 32$  с замком лабиринтного типа. Кольца уплотнительные из ВЧШГ  $\varnothing 45$  мм освоены для гидромеханических КПП погрузчиков и тракторов «Амкодор». Эти кольца поставляем в запчасти, поскольку на заводе коробки комплектуют капроновыми, которые, по отзывам эксплуатации, выходят из строя значительно раньше гарантийного срока.

С 2004 г. освоены кольца поршневые из ВЧШГ диаметром 32–56 мм для двухтактных ДВС с замком под фиксатор для бензопил, триммеров и т.п. известных мировых производителей вместо применяемых ими колец из СЧ. Применение таких колец исключает их поломку при установке на поршень и в процессе эксплуатации. Потенциальная потребность только российского рынка по оценке специалистов составляет около полумиллиона колец в год.

С 2004 г. освоено из ВЧШГ производство различных неразрезных уплотнительных колец и

штуков для трансмиссий энергонасыщенных тракторов К700 и Т150, взамен применяемых термообработанных сталей 45, 40Х, 45Х и даже 18ХГТ. Освоено около десяти типоразмеров. Объемы производства — от десятков до сотен штук в месяц.

В то время как в мировой практике наметилась устойчивая тенденция замены серых чугунов высокопрочными, в ряде случаев за счет использования хороших пластических свойств, обеспечиваемых за счет особенностей метода литья намораживанием без стержня, успешно используем кольца из специальных серых чугунов там, где раньше применялся ВЧШГ. Наиболее ярким примером является работа с Минским тракторным заводом, для которого освоены и с 2000 года эксклюзивно поставляются специальные уплотнительные кольца с крючковым замком  $\varnothing 50, 70, 80, 125$  и  $175$  мм для комплектации гидropоджимных муфт привода передних ведущих мостов новых энергонасыщенных пропашных тракторов «Беларус». По данным ГСКБ МТЗ установка на тракторы «Беларус-1025»; –1221; –1522 колец вместо колец из ВЧШГ, получаемых ранее из Украины и Казахстана, позволяет снизить утечку масла через фрикцион с 2–2,5 л/мин до 0,4–0,7 л/мин, устранить внутрицеховой брак и полностью исключить рекламации по муфте привода ПВМ. На указанные кольца получены технические условия, зарегистрированные в Госстандарте Республики Беларусь.

Стоимость колец в 1,4–2,5 раза ниже применяемых на заводе ранее. С 2000 по август 2005 года на МТЗ поставлено 89,6 тыс. колец. Экономический эффект только по разнице цен за этот период составил 127,6 тыс. долларов США, что превышает стоимость более двух десятков базовых моделей тракторов «Беларус».

Производство аналогичных колец освоено для трансмиссии тракторов К700 и Т150 с поставкой предприятиям Беларуси. налажен их экспорт в Россию, Украину, Казахстан — всего свыше 100 тыс. колец в год на сумму свыше 300 тыс. долларов США.

Из серого чугуна изготавливаются поршневые кольца диаметром 72 мм для комплектации сборочного конвейера Гомельского завода пусковых двигателей — около 40 тыс. колец в год. Такие же кольца, а также кольца для различных компрессоров — для ремонтных предприятий Беларуси и стран СНГ.

При выполнении задания ГНТП «Белавтотракторостроение» создан технологический процесс, изготовлено оборудование для непрерывно-циклического литья и впервые в Республике на базе института технологии металлов организовано безотходное производство износостойких вставок из серого спе-

циального чугуна для биметаллических гильз цилиндров пневмокомпрессоров тракторов «Беларус» и для других дизелей производства Минского моторного завода. Брак с учетом всех технологических операций не превышает 4%, в то время как на альтернативных производствах он достигает 40-70% при существенно более низких эксплуатационных характеристиках гильз. Сделаны расчеты и определены оптимальные толщины стенок чугунной вставки и алюминиевой ребристой воздушно охлаждаемой рубашки, в результате интенсивность охлаждения биметаллического цилиндра увеличена в 1,7 раза, а износостойкость в 1,6–1,9 раза в сравнении с применяемыми ранее ребристыми чугунными. Номинальная экономия на одном цилиндре, т.е. без учета увеличения срока службы, составляет 0,9 доллара США. За пять лет работы экономический эффект составил свыше 100 тыс. долларов США.

Создана полуавтоматическая линия литья на морозивании, которая изготовлена УП «ММЗ» и передана институту для отработки технологии производства заготовок гильз цилиндров форсированного дизельного двигателя Д-260. Изготовлена и передана моторному заводу опытная партия заготовок гильз для проведения стендовых и ресурсных испытаний. Стендовые испытания, проведенные на УП «ММЗ» показали, что опытные гильзы цилиндров превышают показатели серийных гильз по прочностным характеристикам, а по мощностно – экономическим показателям и износостойкости равноценны, что позволяет использовать их для комплектации форсированных дизелей, выпускаемых УП «ММЗ». Создано опытно-промышленное производство заготовок гильз цилиндров (рис. 3).

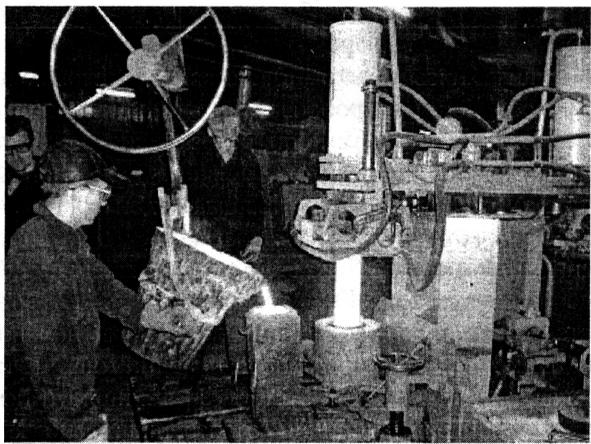


Рис.3. Опытно-промышленное производство заготовок гильз цилиндров ИТМ НАН Беларуси

Примером технологии высокого уровня является разработка экологически чистого ресурсосберегающего технологического процесса и оборудова-

ния для получения профильных заготовок из чугуна и бронзы методом горизонтального непрерывного литья (ГНЛ). ГНЛ металлов по сравнению с традиционными методами позволяет в 3–4 раза увеличить производительность труда, довести выпуск годных отливок до 90–92%, уменьшить припуски на механическую обработку в 2–4 раза, увеличить прочность и износостойкость деталей на 40–50%.

Предметом усовершенствования процесса ГНЛ является кинематика вытягивания слитка, тепловое состояние начальной корочки, тепловые и механические параметры кристаллизаторов и т.д. С помощью экспериментальных и теоретических исследований определены основные технологические параметры процесса: скорость и частота вытяжки, длина хода за цикл, толщина стенки кристаллизатора и оболочки слитка. В результате создана новая схема формирования заготовки, начальная корка которой формируется только в охлаждаемой зоне кристаллизатора. Важнейшим преимуществом этой схемы является возможность литья, как в графитовые, так и в металлические кристаллизаторы (рис. 4).

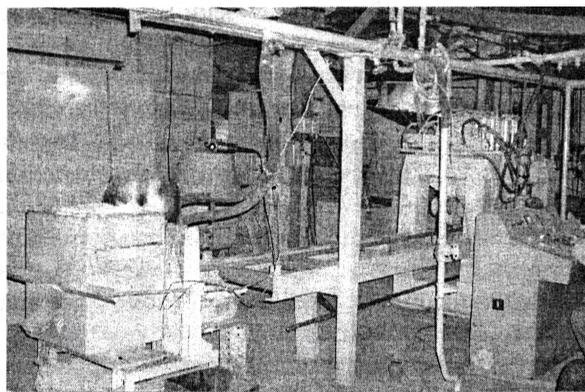


Рис. 4. Линия непрерывного горизонтального литья

Применение кристаллизаторов с металлической рабочей гильзой в десятки раз повышает их долговечность, в 2-10 раз производительность процесса, а также, в силу коренного изменения схемы формирования заготовки, расширяет область применения способа.

Разработанные технологии и оборудование для получения заготовок из разных марок бронз, латуней и чугуна поставлены:

1) в Беларуси: РУП «Завод «Могилевлифтмаш», РУП «Гомельский литейный завод «Центролит», литейному заводу «Универсал-Лит» г. Солигорск, ООО СП «БелТОР-Элит» г. Мозырь, НП ООО «Цветмет» г. Жодино, Концерну порошковой металлургии г. Минск;

2) в России: Московскому государственному институту стали и сплавов (МИСиС), ООО «Бакан», ООО «Компания СеверСплав» г. Санкт-

Петербург, ООО «Волгоградский завод цветных металлов», ООО «ПТК Кольчугмет» г. Кольчугино, ООО «Сигма-АВМ» Москва, ООО НПФ «БИТЕК» г. Екатеринбург, судоремонтному заводу им. Ф.Э. Дзержинского г. Туапсе, Новороссийскому машиностроительному заводу «Молот», ООО «Электросплав» г. Орехово-Зуево;

3) в других странах: ЧП «Укркристаллмет» г. Луцк, Украина; Каунасскому заводу «Центролит», Литва; Бакинскому опытно-механическому литейному заводу им. В.И. Воровского, Азербайджан; фирме «Dong Woo Development Co., Ltd» г. Сеул, корейскому институту промышленных технологий, фирме «Wonie Co., Ltd», Республика Корея.

ООО НПФ «БИТЕК», г. Екатеринбург изготавливает втулки для погружного насоса, применяемого для откачки грунтовых вод в нефтедобывающей промышленности. Ввиду того, что насос находится глубоко под землей, себестоимость ремонта и замены рабочих втулок в нем высока, к качеству заготовки, из которой изготавливаются втулки, предъявляются повышенные требования. Литье Института технологии металлов полностью удовлетворяет требованиям заказчика. Ежегодно отправляется до 50 тонн заготовок для втулок на нефтяной рынок России.

Одна из проблем, для решения которой используются отлитые в Институте заготовки — формирование ремонтной базы современного станочного оборудования. Из них изготавливают детали винтовых пар, зубчатые венцы червячных колес, вкладыши узлов скольжения для металлорежущего, металлообрабатывающего, деревообрабатывающего оборудования, втулки подшипников скольжения различных диаметров и формы для кузнечно-прессового оборудования. Для установок электрошлакового переплава изготавливаются токоподводящие пластины из меди. Для предприятий транспортного машиностроения изготавливаются плоские заготовки из БрА9Ж4 для плиты скольжения механизма перемещения стрелы автокрана. Для Борисовского завода агрегатов изготавливаются заготовки из бронзы 05Ц5С5 для подшипников скольжения турбокомпрессора дизельного двигателя.

В институте разработан принципиально новый способ непрерывного горизонтального литья полых заготовок. Непрерывный слиток формируется в многоступенчатом кристаллизаторе таким образом, что своеобразным «дорном» служит отливка, затвердевающая в предыдущей ступени. В результате получается «телескопический» непрерывнолитой слиток, который после поперечного разреза разнимается в продольном направлении по сопрягаемым поверхностям на сплошные и

полые заготовки (рис. 5). Выполнение ступеней кристаллизатора различной формы позволяет получать заготовки с различной комбинацией внутренней и наружной поверхностей: цилиндр, квадрат, шестигранник и т.д.

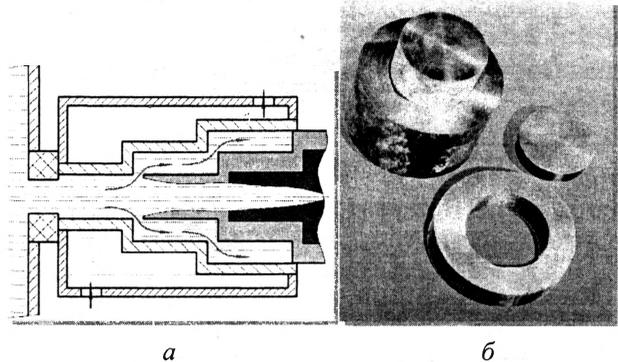


Рис. 5. Формирование телескопического слитка: а — схема формирования; б — сплошная и полая заготовки

Для завода «Ювелир» ПО «Кристалл», г. Гомель разработаны и внедрены технология и оборудование для получения специальных профилей из драгоценных металлов методом непрерывного вертикального литья (рис. 6).

В результате внедрения снижена трудоемкость на изготовление профилей не менее чем на 30%, сокращен расход плавильных тиглей в 3–5 раз, средний выход годного составил 99,54%. Внедренные технология и оборудование дают экономический эффект 60,5 тыс. долларов ежегодно.

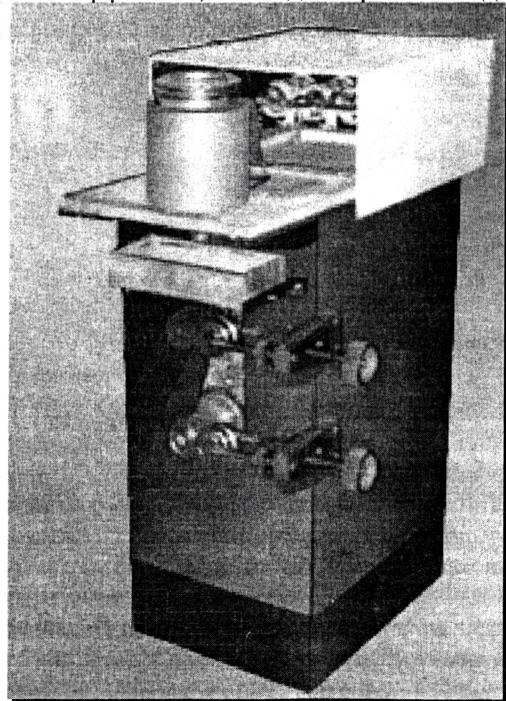
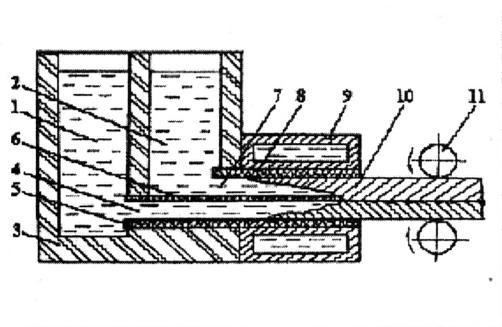
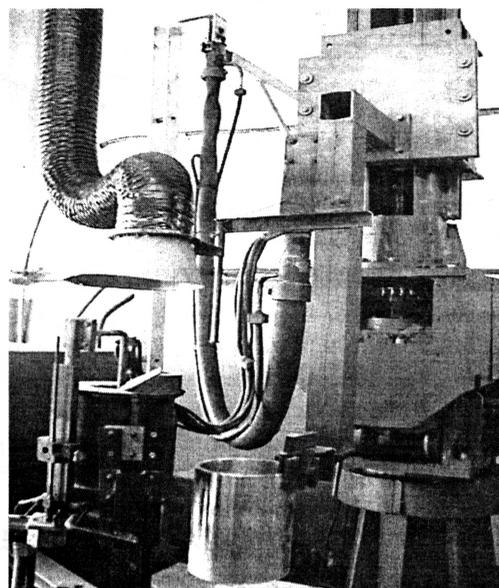


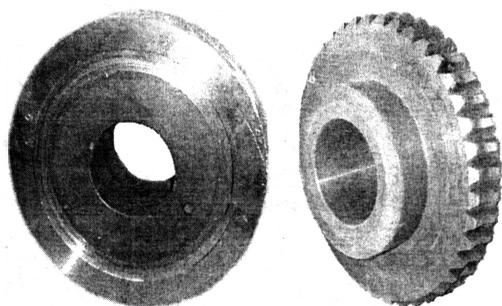
Рис. 6. Установка непрерывного вертикального литья проволоки



а



б



в

Рис. 7. Способы получения биметаллических заготовок: а — схема непрерывного литья; б — установка электрошлакового литья; в — заготовки типа червячных колес; 1 — металл 1; 2 — металл 2; 3 — металлоприемник; 4 — нижний канал; 5 — нижняя графитовая вставка; 6 — пластина; 7 — верхний канал; 8 — верхняя графитовая вставка; 9 — водоохлаждаемый корпус кристаллизатора; 10 — биметаллическая отливка; 11 — тянущие клетки

Использование биметаллов, как известно, обеспечивает деталям комплекс свойств, необходи-

мых в процессе эксплуатации, а также увеличивает ресурс работы. В ИТМ разработан технологический процесс получения биметаллических отливок непрерывным литьем, при котором компоненты соединяются между собой в жидкофазном состоянии не перемешиваясь (рис. 7 а). Это позволяет получить самое плотное соединение металлов. Кроме того, разработан процесс получения биметаллических отливок на основе метода электрошлакового литья (рис. 7 б).

Электрошлаковое литье основано на электрошлаковом процессе плавления расходуемого электрода. Электрод расплавляется с использованием теплоты, выделяющейся в электропроводном шлаке при прохождении через него электрического тока. Отливка при электрошлаковом литье кристаллизуется в тонкой корочке шлакового гарнисажа. В результате замедленной и строго направленной кристаллизации небольшого количества жидкого металла обеспечивается его высокая химическая и структурная однородность. В результате получают биметаллические заготовки высокого качества (рис. 7 в).

Типичными представителями деталей, получаемых методом электрошлакового литья, являются: заготовки штампового и режущего инструмента, заготовки крупногабаритных шестерен, колец, шкивов, зубчатых колес, различного вида вилки, проушины, корпуса, цапфы, биметаллические заготовки типа червячных колес, прокатных роликов и т. д.

Для РУП «Завод «Могилевлифтмаш» изготовлена и внедрена на заводе установка электрошлакового переplava для производства биметаллических червячных колес главного привода лифта. Это значительно повысит эксплуатационные характеристики отечественных лифтов. Планируемый годовой экономический эффект на предприятии составит — 187,7 млн. руб. за счет снижения материальных и трудовых затрат.

В Институте разработана технология непрерывного литья в валковый кристаллизатор с ребордами электродной ленты для водоактивируемых источников тока толщиной 0,4–0,9 мм и шириной 430 мм, из хлористой меди, армированной медной сеткой. Формирование отливки происходит в результате теплообмена расплава с кристаллизатором и армирующей сеткой. Созданы промышленные линии для изготовления электродной ленты (рис. 8), включающие в себя подготовку армирующей сетки, литье ленты и разрезку её на электроды. Решение этой проблемы позволило осуществить замену хлористого серебра в водоактивируемых химических источниках тока на хлористую медь, в результате было сэкономлено более 700 тонн серебра. Технологиче-

ские линии непрерывного литья в валковый кристаллизатор армированной хлористомедной ленты изготовлены и поставлены по контрактам в Китай и Индию совместно с соответствующим программным обеспечением к ним.

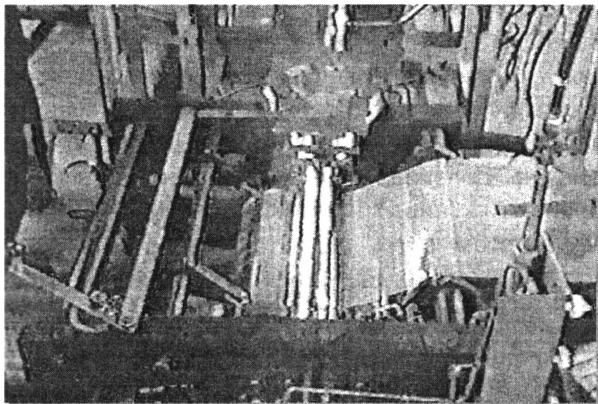


Рис. 8. Получение армированной хлористомедной катодной ленты непрерывным литьем в валковый кристаллизатор

Примером наиболее успешного сотрудничества ИТМ с производством может служить импортозамещающая ресурсосберегающая технология получения горячекатаных цинковых анодов для РУП «Белорусский металлургический завод». В основе этой технологии — усовершенствованный технологический процесс литья в кокиль, позволяющий использовать отходы гальванического производства БМЗ без ущерба качеству, что обеспечивается установкой в кокиле специальных фильтров, эффективной заливкой расплава и т.п. В 2005 году объем произведенных для БМЗ цинковых анодов составил 115,6 тонн на сумму 241 тысяча долларов США. До 30% анодов производится из отходов БМЗ.

В настоящее время институтом по заказу РУП «БМЗ» разрабатывается технология получения литых и горячекатаных медных анодов для гальванического покрытия металлокорда с использованием отходов гальванического производства. Выполняемый проект решает одну из важнейших задач народнохозяйственного комплекса: создание отечественного производства, высвобождающего валютные средства путем уменьшения закупок за рубежом готовой продукции. Экономический эффект возникает: 1) за счет разницы между покупкой готовой продукции за рубежом и закупкой сырья для изготовления последней на создаваемом отечественном производстве; 2) за счет использования в шихте наряду с чистой медью 30–40% отходов гальванического производ-

ства, образующихся на предприятии. Планируемая экономия валютных средств только за 3 первых года после внедрения технологии составит порядка 285 тыс. долларов США.

Все разработанные институтом технологии, процессы и оборудование не состоялись бы без достижений в области фундаментальных и прикладных исследований, без постоянного привлечения аппарата математического моделирования на этапах проектирования и усовершенствования технологических процессов.

Математическое моделирование использовалось при проектировании всех рассмотренных процессов литья. Численные решения позволили воссоздать тепловую картину формирования отливок, которая в графическом виде может выводиться на экран монитора в любой момент времени.

Для исследования процесса литья под давлением активно используется аналоговое (водное) моделирование, которое позволяет более детально изучить процесс заполнения формы расплавом, т.е. исследовать особенности и закономерности реальных гидродинамических процессов, возникающих при заливке расплавленного металла в форму.

Процесс заполнения формы снимается на видеокамеру и восстанавливается в трехмерном виде с помощью замедленной съемки для анализа. Результаты аналогового моделирования сравниваются с результатами математического моделирования с целью коррекции математической модели. На рис.9 представлена установка для аналогового моделирования.

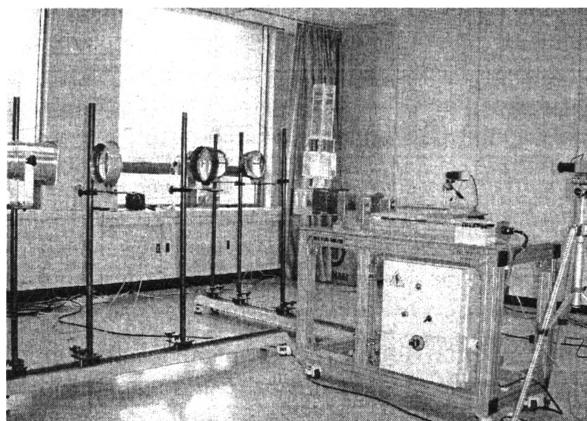


Рис. 9. Установка для аналогового моделирования

В ближайшей перспективе приоритетными будут научные исследования, направленные на совершенствование созданных технологических процессов, создание новых ресурсо- и материалосберегающих технологий, получение материалов с уникальными физико-механическими свойствами.

Одной из таких технологий является технология литья закалочным затвердением. Суть ее заключается в том, что отливка, после формирования начальной корки, затвердевает непосредственно в закалочной ванне. Это позволяет существенно увеличить скорость кристаллизации кремния в силуминах, изменить морфологию кристаллов с пластинчатой на компактную. В начале процесса в водоохлаждаемой металлической форме формируется начальная корка отливки толщиной 5–8 мм. Затем заготовка извлекается и помещается в закалочную ванну — затвердевает вне литейной формы. После чего, в нее заливают новую порцию расплава и формируют следующую отливку. Поэтому данная технология носит циклический характер с высокой производительностью процесса литья. Она определяется только временем заполнения литейной формы и продолжительностью формирования в ней начальной корки заготовки. Данный способ литья легко поддается механизации и автоматизации. В настоящее время разработана опытная литейная машина и оборудование для технологии получения силуминов методом литья закалочным затвердением (рис. 10).

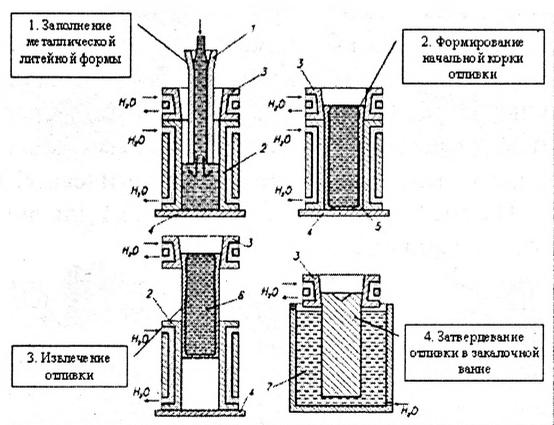


Рис. 10. Технология получения силуминов методом литья закалочным затвердением: 1 — заливочное устройство; 2 — стационарная литейная форма; 3 — подвижная металлическая литейная форма; 4 — металлическая плита; 5 — начальная корка отливки; 6 — отливка; 7 — закалочная ванна

Институт поддерживает широкие связи с научными организациями и фирмами ближнего и дальнего зарубежья. По вопросам исследований непрерывного литья черных и цветных металлов Институт сотрудничает с кафедрой литейного производства Стамбульского университета (Турция), Транспортным университетом и Институ-

том чугуна и стали г. Шанхая (КНР). По программе «Современные направления исследований и развития технологий производства высококачественных отливок» развивается сотрудничество с Институтом литья (Польша), Международным комитетом ассоциаций литейщиков (МКТАЛ), Научным центром технологии материалов (Индия), Корейским институтом промышленных технологий и Корейским институтом машин и материалов (Республика Корея). В 2005 году заключен Договор о научном сотрудничестве с Иранским университетом науки и технологий. Результатом сотрудничества являются совместные публикации, выполнение контрактов, чтение лекций, внедрение разработок.

Институт осуществляет экспортные поставки в страны ближнего и дальнего зарубежья: в 2002 году на сумму 354 тысячи \$ США (Россия, Китай, Республика Корея), в 2003 году — 237 тысяч \$ США (Россия, Китай, Индия, Республика Корея), в 2004 году — 455 тысяч \$ США (Россия, Китай, Индия, Республика Корея), в 2005 году на сумму 271 тысяча \$ США (Россия, Индия, Республика Корея). Объем экспортных поставок за последние пять лет составил около 1,5 миллиона долларов.

В 2005 году на 43% процента по сравнению с 2004 годом увеличился объем работ, выполненных по хозяйственным договорам с предприятиями Беларуси, и составил около 1 миллиарда 310 миллионов рублей.

В соответствии с Меморандумом соглашения между министерством торговли, промышленности и энергетики Республики Корея и Национальной академией наук Беларуси от 20.04.2004 г. создан филиал — «Центр технического сотрудничества», в круг задач которого входят следующие:

- определение приоритетных направлений международного сотрудничества;
- содействие выполнению совместных программ и проектов;
- трансферт технологий и научных разработок в соответствии с законодательством Республики Беларусь и многие другие.

В институте создан отдел инноваций и научно-технических разработок, главной задачей которого является содействие формированию инновационной структуры в регионе.

В новую пятилетку институт входит с большим научным потенциалом и готов успешно решать государственные научно-технические задачи.

# ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЦЕМЕНТУЕМЫЕ СТАЛИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ (СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ)

*Дудецкая Л.Р., Физико-технический институт НАН Беларуси  
Крупец Л.Н., Минский тракторный завод*

Важной задачей современного машиностроения является использование новых прогрессивных материалов и методов их упрочнения для повышения конструкционной прочности изделий и конкурентоспособности машин и оборудования. Наиболее отчётливо потребность в таких материалах наблюдается в тех отраслях производства, где наблюдается тенденция к созданию машин и оборудования, работающих при повышенных режимах эксплуатации. Примером таких отраслей может служить автотракторостроение.

Тяжелонагруженные зубчатые колёса трансмиссий (ТЗК) являются силовыми деталями сложной конструкции для редукторов и коробок передач в автомобиле- и тракторостроении [1]. В процессе эксплуатации эти детали подвергаются сложному силовому воздействию, вызывающему упругое и пластическое деформирование, наклёп, охрупчивание, мало- и многоцикловую усталость, динамическое старение, самоотпуск вследствие тепловых влияний и т.п. [2].

Использование новых материалов повышенного качества и надежности должно приводить к повышению долговечности тяжелонагруженных зубчатых передач (ТЗП), сокращению простоев техники, связанных с внеплановыми ремонтами, уменьшению вероятности аварий. Конструкционные стали, применяемые до сих пор для изготовления ТЗК с модулем зуба  $\geq 8$  мм, в ряде случаев не обеспечивают заданного уровня свойств и недостаточно технологичны [3].

Важной характеристикой, определяющей надежность деталей машин в современных условиях их эксплуатации, является склонность материала изделия к разупрочнению при повышенных температурах в зоне контакта сопрягающихся деталей. Используемые в настоящее время в производстве традиционные марки цементуемых сталей 18ХГТ, 20ХНР, 20ХНЗА, 20Х2Н4А и др., обладают относительно низкой теплостойкостью и не обеспечивают долговечности ряда перспективных машин отечественного производства на уровне ведущих фирм промышленно развитых стран. В последние годы такие ведущие зарубежные фирмы, как «Боинг», «Комацу», «НАСА», «Катерпиллер», «ВИАМ»

проявляют повышенный интерес к сталям, обладающим высокими теплопрочностью, усталостной прочностью и размерной стабильностью. [4...7]. Поведение рассматриваемых материалов при глупом насыщении поверхности углеродом ранее подробно не исследовалось. Основные сведения по технологии изготовления новых сталей и зубчатых колес из них являются закрытыми, а сами материалы запатентованы. Эти обстоятельства определяют стремление ведущих фирм создавать свои стали и технологию их обработки.

При разработке новых материалов и технологии их изготовления основной задачей является выбор таких критериев оценки их прочности, которые наиболее тесно связаны со служебными свойствами изделий или позволяют прогнозировать работоспособность изделий в условиях эксплуатации. В настоящее время под термином «конструкционная прочность» понимают работоспособность материала в изделии. Очевидно, что конструкционную прочность определяют прочность, надежность и долговечность изделия [5, 8].

Можно отметить несколько основных подходов к созданию высокопрочных сталей для ТЗК. Один из них заключается в повышении комплекса свойств существующих марок сталей за счет реализации оптимальной схемы легирования, другой — в применении таких технологических приемов, как вакуумный переплав, электрошлаковый переплав, модифицирование, использование чистой исходной шихты, способствующих созданию мелкозернистой исходной структуры. Такой подход основан на минимизации затрат на изготовление зубчатых колес и не всегда достигает поставленной цели. Следующий подход основан на предъявлении определенных требований к поведению материалов при повышенных температурах. Движение к более высоким температурам вызвано двумя факторами: синтезом высокотемпературных смазок и резким повышением рабочих температур в зоне контакта. Например, в трансмиссиях транспортных средств эти температуры могут достигать  $350^{\circ}\text{C}$ , что абсолютно неприемлемо для деталей из стандартных сталей, разупрочнение которых начинается уже при темпера-

туре 150 °С. В идеальном случае стали, применяемые для изготовления зубчатых колес, должны обеспечивать механические свойства и усталостную прочность при повышенных температурах, эквивалентные тем, которые гарантируют стандартные марки при комнатной температуре.

Теплостойкость цементуемых сталей необходима для сохранения твердости при шлифовании зубьев, а также для работы зубчатых передач при форсированных режимах, когда возможно повышение температуры локальных зон рабочих поверхностей зубьев шестерен и появляется опасность возникновения задира.

Выбор сталей для зубчатых колес в основном связан со способностью материала приобретать, в результате термической обработки, регламентированную структуру и свойства. Применяемая в настоящее время металлургическими заводами технология выплавки стали не обеспечивает стабильного получения мелкозернистой структуры в цементуемых сталях. Испытания выявили отрицательное влияние крупнозернистости цементованной стали 20X2H4A на контактную усталость и выносливость при изгибе. Поэтому применение цементованных сталей с наследственным зерном крупнее 6-го балла неприемлемо для нагруженных зубчатых колес, т.к. не обеспечивает их долговечности.

Согласно [9] такие характеристики могут быть обеспечены только при применении сталей, упрочняемых ХТО и дисперсионным твердением. В последние годы наметилась тенденция изготовления рядом ведущих зарубежных фирм зубчатых колес энергонасыщенных машин из высокопрочных дисперсионнотвердеющих никель-хром-молибденовых и никель-хром-ванадиевых сталей с глубоким насыщением поверхности изделий азотом и углеродом. Так, в промышленности США широкое распространение приобрели стали AISI 8620, Vasko X-2, CBS 1000M, CBS 600. Все они являются дисперсионноупрочняемыми. Отечественными аналогами являются стали типа ВКС (разработчик — ВИАМ) и типа 20X2H4M2ФСЮ (разработчик ФТИ НАН Б).

Выбор стали 20X2H4M2ФСЮ для изготовления ответственных зубчатых колес трансмиссий трактора «Беларус» произведен на основании предварительного исследования структуры и свойств более чем 20 составов мартенситностареющих сталей. При этом основным критерием для выбора марки стали служили ее механические свойства после термической обработки, теплостойкость при нагреве до температур 350-500 °С и способность к науглероживанию.

Для ответственных тяжело нагруженных деталей, какими являются и зубчатые колеса, в настоящее время применяют цементуемые стали с высокими

износостойкостью и теплостойкостью. Такими свойствами обладают низкоуглеродистые стали, соответствующие по системе легирования быстрорежущим сталям. В отличие от широко используемых в промышленности низколегированных цементуемых сталей процесс науглероживания высоколегированных низкоуглеродистых сталей, содержащих молибден, вольфрам, хром, ванадий, мало изучен. Известно, однако, что указанные элементы в значительной степени снижают растворимость углерода на границе аустенит-карбид.

Химический состав некоторых современных зарубежных сталей приведен в табл. 1.

Механические свойства сталей CBS 600 и CBS 1000M при комнатной и повышенных температурах приведены в табл. 2.

Таблица 1. Химический состав цементуемых сталей [5]

Сталь	Компонентный состав, % масс. (остальное – железо)								
	C	Si	Mn	W	Cr	V	Mo	Ni	Al
AISI 8620	0,21	0,23	0,76		0,47		0,23	0,61	0,035
CBS 600	0,23	1,08	0,65		1,58		0,96	0,15	0,04
CBS 1000	0,21	0,40	0,49		1,01	0,85	4,7	0,05	0,04
CBS 1000M	0,14	0,36	0,36		1,09	0,32	4,5	2,98	
Vasco X-2	0,24	0,88	0,88	1,44	4,87	0,54	1,37		0,04

Таблица 2. Механические свойства цементуемых сталей

Температура испытания, °С	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	КСУ Дж	Рекомендуемая температура эксплуатации, °С
CBS 600						315
20	1515	1240	12,5	55,0	47	
315	1480	1050	18,0	54,0	39	
370	1415	995	18,0	53,5	31	
CBS 1000M						425
20	1460	1200	16,0	64,0	14	
425	1270	1005	12,0	52,0	65	
480	1150	970	11,0	52,0	68	
540	1090	915	12,0	50,0	69	

Для достижения долговечности ТЗК нельзя допускать содержание углерода в цементованном слое более 1,2% и образование в нем большого количества остаточного аустенита. При этом необходимо обеспечивать прочность сердцевины, исключаящую продавливание слоя, и минимальное коробление сталей с оптимальной прокаливаемостью. В соответствии с этим оптимизация составов сталей для ТЗП развивается в направлении повышения комплекса механических свойств и экономии легирующих элементов за счет микродобавок карбидо- и нитридообразующих элементов — алюминия, ванадия, титана, ниобия, циркония, азота и др., а также редкоземельных (РЗМ) и щелочноземельных (ЩЗМ) металлов, измельчающих аустенитное зерно. При повышении прочности необходимо добиваться и повышения ударной вязкости, что достигается исполь-

зованием чистой исходной шихты, применением вакуумного и электрошлакового переплава для создания устойчивой мелкозернистой структуры. При производстве сталей для ТЗП рекомендуется также проведение внепечного рафинирования с вакуумной дегазацией металла или же двух рафинирующих переплавов в вакуумных индукционных и дуговых печах [10]. Рациональная термическая обработка усиливает эффект микролегирования и способствует дополнительному повышению прочности и пластичности стали.

Решение задачи обеспечения надежности и долговечности зубчатых колес и передач основано на изучении взаимосвязи конструкторских и технологических факторов с их эксплуатационными показателями. Для этого вопросы формирования качества зубчатых передач должны решаться комплексно для всего технологического процесса, с учетом проявления технологической наследственности на всех этапах производства и эксплуатации [4].

Зубчатые колеса ответственного назначения обычно подвергают цементации, которую производят после нарезания зубьев. Поковки подвергают предварительной термической обработке (отжиг, нормализация, улучшение). В результате цементации происходит изменение концентрации углерода от поверхности к сердцевине и, соответственно, меняется твердость от HRC 58–62 до 30 и выше. При этом поверхностные остаточные напряжения достигают 600 МПа. Оптимальную глубину цементованного слоя рекомендуется брать равной 10–15% делительной толщины зуба, но не свыше 1,5–1,8 мм. Чтобы исключить из технологического цикла термической обработки зубчатых колес операцию нормализации после цементации на заданную толщину науглероженного слоя, обеспечивают автоматическое регулирование концентрации углерода в слое с получением стабильного насыщения в пределах 0,8–0,9% на глубине около 0,2 мм.

Высокий отпуск проводят с целью подготовки структуры цементованного слоя под закалку. Это необходимо для предотвращения образования в цементованном слое после закалки большого количества остаточного аустенита, который отрицательно влияет на усталостную прочность.

В результате закалки и образования мартенситной структуры в зубчатых колесах возникают значительные внутренние напряжения, способные вызывать трещины. Для снижения этих напряжений при сохранении высокой твердости и износостойкости зубьев зубчатые колеса подвергают низкому отпуску при температурах 150–200 °С.

Твердость цементованных зубчатых колес ответственного назначения устанавливается на уровне HRC 60–63., однако требования к сталям

для зубчатых колес не должны ограничиваться только критериями содержания углерода и легирующих элементов. Большое влияние на качество цементованного слоя и прочностные свойства зубчатых колес оказывает величина зерна. При зерне № 5 и более ( $d \geq 60$  мкм) существенно снижается сопротивление цементованной стали хрупкому разрушению. Это можно объяснить более интенсивным науглероживанием и насыщением карбидами границ крупных зерен по сравнению с мелкими [11]. При последующей закалке карбиды полностью не растворяются и блокируют границы зерен, препятствуя перекристаллизации и измельчению зерна. Крупное зерно может явиться причиной образования сколов на зубьях колес после закалки и дробеструйной очистки. Во избежание образования этих дефектов сталь для зубчатых колес должна быть стабильно мелкозернистой (№ 6...9 по ГОСТ 5639–65), что достигается при использовании оптимальной технологии выплавки и штамповки.

Многолетние исследования экономнолегированных мартенситностареющих сталей (ЭМСС), проводившиеся в Физико-техническом институте НАН Беларуси, показали, что эти стали обладают комплексом свойств, позволяющим использовать их в качестве материала для зубчатых колес ответственного назначения.

Было установлено, что важнейшей предпосылкой получения мартенситностареющих сталей с повышенной конструкционной прочностью является создание в процессе закалки прочной и пластичной матрицы, подготовленной для дальнейшего упрочнения старением. Основой для таких сталей является система Fe-C-Ni-Cr-Mo. В качестве дополнительных элементов-упрочнителей твердого раствора могут быть использованы кремний, алюминий, ванадий, ниобий и др. Большое значение для достижения максимального эффекта упрочнения имеют правильное проведение предварительной термической обработки сталей и соблюдение оптимального соотношения между содержанием углерода, никеля и хрома. Содержание углерода и хрома ограничивается пределами, превышение которых вызывает уменьшение пластичности. При определенном соотношении никеля и хрома сталь приобретает мартенситную структуру в любом сечении независимо от скорости охлаждения, что позволяет производить сквозную закалку изделий даже при охлаждении на воздухе.

Для определения оптимального соотношения компонентов стали необходимо иметь данные о структурном состоянии сплавов системы Fe-C-Ni-Cr. Поэтому были проведены предварительные исследования структуры модельных сплавов при

следующем соотношении компонентов (мас.%): углерод — 0,15...0,25; никель — 2,0...4,0; хром — 2,0...5,0.

Сплавы были получены методом индукционной плавки в алуновом тигле в атмосфере аргона. Структуру сплавов фиксировали закалкой в интервале температур 1100–600 °С. Послековки и гомогенизирующего отжига образцы нагревали в вакуированных кварцевых ампулах до 1100 °С, выдерживали в течение 6 ч при заданной температуре, после чего охлаждали на воздухе.

Оценка структурного состояния сплавов системы Fe-C-Ni-Cr позволила установить следующие минимальные концентрации элементов, гарантирующие при закалке образование однофазной мартенситной структуры [12]:

при 0,15% углерода — 3,0% Ni и 3,0% Cr

при 0,20% углерода — 2,0% Ni и 3,0% Cr

при 0,25% углерода — 2,0% Ni и 2,0% Cr.

Эти композиции были положены в основу разработки новых сталей, причём, в дальнейшем был применён метод многофакторного планирования экспериментов. Произведена оценка влияния марганца, молибдена, ванадия, кремния, алюминия, ниобия на прочность, пластичность, твёрдость и ударную вязкость сплавов указанных составов в закалённом и состаренном состоянии. Анализ уравнений регрессии показал, что положительное влияние на ударную вязкость и прочность оказывают в присутствии углерода такие элементы, как хром (в пределах 0,5–2,5 мас.%), никель (3–5%), кремний (0,4–1,2%), ниобий. Прочность в закалённом состоянии в зависимости от концентрации этих элементов менялась незначительно (от 1450 до 1600 МПа), а после старения при температурах 450–550 °С она составляла 1600–1950 МПа. Относительное удлинение, соответственно, составляло 10–13% в закалённом и 5–7% в состаренном состоянии. Ударная вязкость в состаренном состоянии составляла 0,40–0,55 МДж/м<sup>2</sup>. Характер влияния легирующих элементов на комплекс свойств мартенситностареющей экономнолегированной стали можно охарактеризовать следующим образом

**Хром** упрочняет твёрдый раствор, снижает температуру начала мартенситного превращения. В мартенситностареющих сталях он не вызывает дисперсионного твердения, поэтому при его введении в малоуглеродистые стали не происходит охрупчивания. Хрома в присутствии углерода должно содержаться столько, чтобы не произошло образования вторичных карбидов и снижения пластичности. Обычно его содержание ограничивают 2–3%.

**Молибден.** Положительное влияние молибдена на свойства экономнолегированных мартенситностареющих сталей не вызывает сомнения.

Практически любая мартенситностареющая сталь содержит молибден. При содержании молибдена около 3% мартенсит упрочняется при старении за счёт частиц фазы Ni<sub>3</sub>Mo или (Fe,Ni)<sub>2</sub>Mo, которые по своей дисперсности, морфологии и характеру распределения обеспечивают стали высокие механические свойства. Введение малых количеств молибдена (0,5...2,5%) в сталь, содержащую титан или алюминий, резко повышает пластичность и вязкость стали [13]. При наличии углерода молибден связывает его в карбиды типа M<sub>6</sub>C. Положительное влияние молибдена проявляется также в препятствии росту зерна аустенита при нагреве и снижении температуры начала мартенситного превращения. В связи с высокой стоимостью и дефицитностью молибдена содержание его в стали не должно превышать 2%.

**Ванадий** стабилизирует в сталях карбидную фазу, что позволяет переводить в твёрдый раствор при нагреве под закалку подавляющее количество легирующих элементов. В присутствии ванадия усиливается эффект дисперсионного твердения и повышается устойчивость стали против перегрева из-за образования труднорастворимых карбидов типа V<sub>4</sub>C<sub>3</sub>. При содержании ванадия до 1% выделение в процессе отпуска дисперсных частиц карбида VC способствует повышению прочности и теплостойкости стали [14...16]. При большем содержании ванадия показатели снижаются.

В ЭМСС, содержащих углерод, ванадий образует дисперсные карбиды, упрочняющие металлическую матрицу. Вместе с тем ванадий повышает склонность стали к хрупкому разрушению. Обычно его содержание в экономнолегированных мартенситностареющих сталях не должно превышать 0,6%.

**Никель.** В мартенситностареющих экономнолегированных сталях никель играет положительную роль. Его вводят для улучшения прокаливаемости. При повышении его содержания от 1,0 до 3,0% предел прочности увеличивается примерно в 1,5 раза, а также возрастает ударная вязкость [17], особенно при высоких температурах.

Экономически целесообразно ограничить содержание никеля на уровне, не превышающем 4%, а дополнительный эффект упрочнения получать с помощью менее дефицитных легирующих элементов.

**Кремний** широко используется для легирования мартенситностареющих сталей. Его присутствие повышает сопротивление пластической деформации при температурах 400–500 °С [18]. Не являясь карбидообразующим элементом, кремний стимулирует процесс карбидообразования, что, вероятно, связано с увеличением в его присутствии термодинамической активности углерода в α- и γ-железе. Однако, из-за отрицательного влияния на пластические свойства содержание кремния в эко-

экономнолегированных мартенситностареющих сталей рекомендуется ограничивать 1,0...1,5% [16].

**Алюминий.** В состав экономнолегированных мартенситностареющих сталей алюминий вводят в качестве элемента-упрочнителя при старении. В результате низкой растворимости алюминия в мартенсите в присутствии никеля при нагреве происходит выделение интерметаллидных фаз типа NiAl, Ni<sub>3</sub>Al, [19] обеспечивающих повышение прочности стали. Особенно интенсивный прирост прочности происходит при концентрации алюминия до 1,2%. Первое требование, которое должно быть соблюдено при легировании алюминием — это высокая концентрация никеля или присутствие молибдена. Для экономнолегированных сталей его содержание не должно превышать 0,8%.

**Марганец.** Влияние марганца на структуру и свойства мартенситностареющей стали неоднозначно. Известно, что в двойной системе Fe-Mn увеличение содержания марганца приводит к повышению хрупкости, что связывают с образованием мартенсита двойникованного происхождения [20]. В системе железо-никель-марганец упрочнение связано с образованием тетрагональной фазы типа MnNi. По данным [21], при наличии в сталях титана и алюминия их пластичность и вязкость в присутствии марганца снижается, поэтому его содержание в сталях с пределом прочности более 1600 МПа следует ограничить.

**Углерод.** Для большинства мартенситностареющих сталей содержание углерода обычно не превышает 0,03%. Поведение углерода в ЭМСС зависит прежде всего от того, в состав какой фазы он входит. Углерод может входить в состав мартенсита замещения, трудно растворимых карбидов и карбонитридов, остаточного аустенита. При введении углерода до 0,2% пластичность и вязкость стали сохраняются на достаточно высоком уровне. Повышенное содержание углерода в таких сталях иногда желательно для увеличения прочности закалённого мартенсита [21]. Прирост предела прочности закалённого мартенсита с повышенным содержанием углерода составляет около 130...200 МПа и сохраняется после старения. При введении углерода в мартенситностареющие стали появляется возможность использования двойного (карбидно-интерметаллидного) упрочнения [22].

На основе этих композиций был разработан оптимальный компонентный состав стали с высоким уровнем прочности, пластичности и вязкости. Основу легирования стали составили никель и хром. В качестве дополнительных легирующих компонентов были использованы молибден, ванадий, кремний и алюминий. Для изготовления зубчатых колес была разработана сталь 20X2H4M2ФСЮ следую-

щего состава: углерод 0,12-0,20, никель 2,5-4,0, молибден 1,5-2,5, хром 1,5-2,5, кремний 0,8-1,2, марганец 0,2-0,5, ванадий 0,15-0,35, алюминий 0,08-0,12, азот 0,002-0,0026 мас. %

**Разработка технологических режимов выплавки стали и изготовления поковок**

**а) Выплавка стали в дуговых электрических печах открытого типа на свежей шихте и получение из нее поковок**

Технология выплавки стали 20X2H4M2ФСЮ в дуговых электропечах была освоена на ПО «Ижорский металлургический завод». Выплавку стали производили в электродуговой сталеплавильной печи ДСП-12 с основной футеровкой на свежих шихтовых материалах с полным окислением.

Разливку стали вели при температуре 1630 °С сверху в кузнечные изложницы без промежуточного устройства. Масса слитков составляла 5,0 т. Для защиты от вторичного окисления использовали металлический магний, который помещали на поддон внутрь изложницы непосредственно перед заливкой стали. Отгрузку слитков на ковку производили в автотермосе в горячем виде сразу после их затвердения.

Химический состав стали, выплавленной в дуговой электропечи, приведен в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав выплавленной стали

Массовая доля элементов, %									
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Al	S	P
0,15	0,92	0,39	2,03	2,80	2,10	0,69	0,15	0,01	0,015

Для уточнения режимовковки слитков были проведены исследования по определению технологической пластичности стали. Температурный интервал пластичности определяли методом кручения на торсионной установке фирмы «Сетерам».

По результатам испытания были построены графики зависимости числа оборотов до разрушения от температуры испытания при различных скоростях кручения, которые представлены на рис. 1 и рис. 2. Как следует из графиков, с повышением температуры от 950 до 1250 °С наблюдается четкая тенденция к увеличению пластичности с ростом скорости деформирования, причем эта разница наиболее ощутима при температурах 1050...1200 °С. При ковке на прессах скорость деформации соответствует 16,5 об /мин. Кривая зависимости  $n = f(t)$  пересекает границу удовлетворительной пластичности  $n=8$  об при температуре  $t=950^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, температура концаковки на прессе должна быть не ниже 950 °С. Полученные результаты были реализованы при получении поковок для зубчатых колес на ПО «МТЗ».

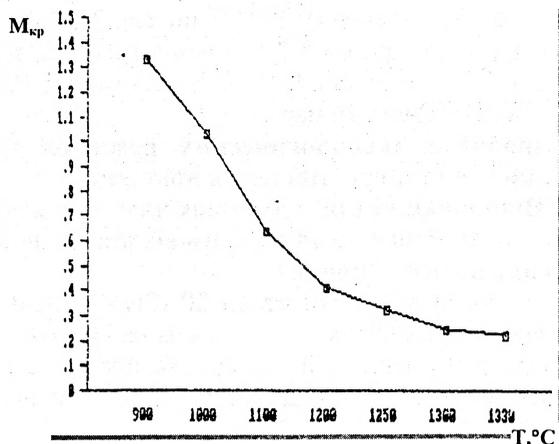


Рис. 1. Зависимость максимального крутящего момента деформирования от температуры

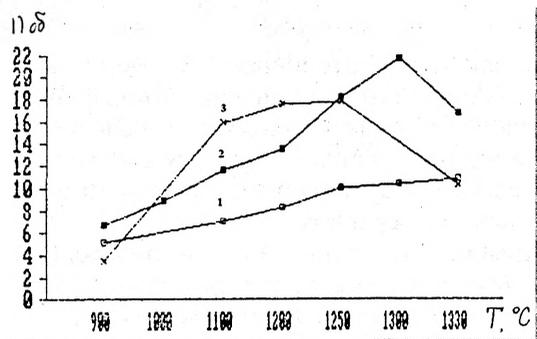


Рис. 2. Зависимость пластичности стали от скорости деформации: 1 – 1,65 об/мин; 2 – 16,5 об/мин; 3 – 165 об/мин

Предварительная (противофлокенная) термическая обработка поковок была проведена на агрегате изотермического отжига по следующему режиму:

1. Нагрев в печи аустенизации до температуры 920 °С, выдержка при данной температуре 12 ч.
2. Охлаждение в камере подстуживания до температуры 550 °С, выдержка 5 ч.
3. Охлаждение на воздухе до комнатной температуры.

4. Смягчающий отжиг при температуре 680 °С 4 ч.

Образцы для механических испытаний были подвергнуты закалке в масле с температуры 1050 °С и отпуску при температуре 500 °С в течение 4 ч.

**б) Выплавка стали в индукционных печах методом переплава отходов и изготовление поковок**

Сталь указанного химического состава на предприятиях Белоруссии не выплавляется, поскольку отсутствует необходимое вакуумное оборудование. Поэтому поковки нужного диаметра были изготовлены в институте «УкрНИИ Спецсталь» (г.Запорожье, Украина). Выплавку стали на первом этапе осуществляли в печи вакуумно-индукционного переплава (ВИП) «ULWAS» FMI-100 по следующей технологии: расплавлен-

ние → дегазация → корректировка расплава по температуре → раскисление → выпуск металла. В процессе выплавки были получены литые заготовки (слитки) диаметром 250 мм, которые были прокованы на круг диаметром 100 мм.

После ВИП слитки были подвергнуты адо-стажной обработке для удаления внешних дефектов и прибыльной части. Из шести слитков были сварены два электрода для переплава в печи ВДП. Переплав двух расходоуемых электродов производили в печи ВДП У-250 при силе тока 6 кА.

Слитки диаметром 250 мм, полученные методом ВИП+ВДП, подвергали ковке на прессе АКП-500 тс, с ковочным манипулятором МКП-1,25 грузоподъемностью 1,25 тс с ручным дистанционным управлением и автоматической интегральной системой управления. Температура нагрева слитков перед деформацией составляла 1180 °С. Ковку слитков производили с использованием протяжки, сначала с круга 250 мм на квадрат 150 мм, затем с квадрата 150 мм на круг 100 мм.

После окончания ковки прутки диаметром 100 мм помещали в накопительную печь при температуре 650 °С, выдерживали 4 ч и далее проводили противофлокенную обработку по указанному выше режиму.

После предварительной термической обработки твердость прутков составляла 363 НВ. С целью снижения твердости до уровня 255 НВ был проведен смягчающий отпуск поковок при температуре 660 °С.

Режим смягчающего отпуска был выбран на основании экспериментов, при проведении которых определяли твердость образцов стали после закалки с температуры 950 °С и выдержки при различных температурах в течение 4 ч. Данные приведены на рис. 3.

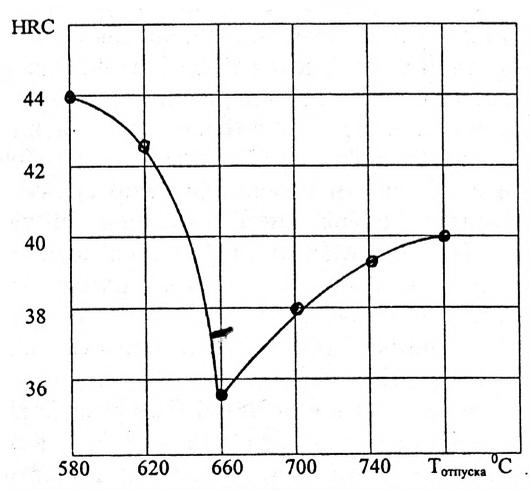


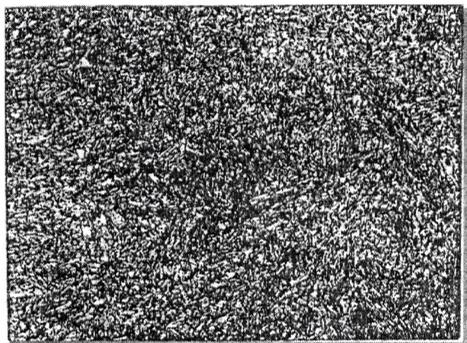
Рис. 3. Зависимость твердости стали 20Х2Н4М2ФСЮ от температуры отпуска

По разработанной технологии была произведена выплавка стали на РУП ПО МТЗ. Плавку вели в индукционной печи с кислой футеровкой методом

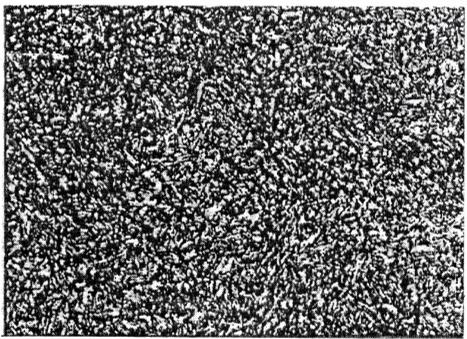
переплава отходов производства стали 20X2H4A, образующихся на заводе при изготовлении зубчатых колес, с подшипниковой ферросплавами. По результатам плавки скорректированы химический состав стали, режимы противоблохенной термической обработки, режимы закалки для изготовления опытных образцов зубчатых колес.

В кузнечнопрессовом цехе ПО МТЗ из слитков заводской плавки методом свободнойковки были изготовлены поковки 85 и 108 мм длиной 140 мм. Заготовки были прокованы с осадкой в размер  $\varnothing 85 \times 66$  и  $\varnothing 110 \times 72$  и подвергнуты термической обработке на агрегате изотермического отжига и смягчающему отжигу при температуре  $680^\circ\text{C}$  с выдержкой в течение 4 ч.

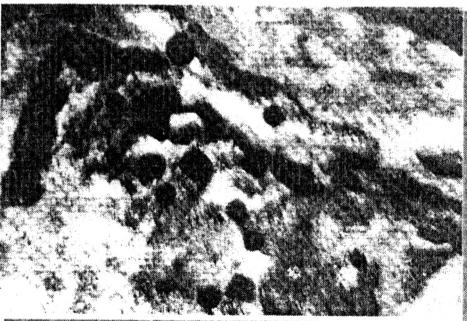
#### Исследование микроструктуры слитков электродуговой плавки



а  $\times 250$



б  $\times 250$



в  $\times 13000$

Рис. 4. Микроструктура стали 20X2H4M2FCЮ после закалки (а), нормализации (б), закалки и отпуска (в)

Для оценки микроструктуры и твердости материала слитков из металла пробы были вырезаны заготовки, которые подвергали отжигу, закалке в масле, охлаждению на воздухе с температуры  $1000^\circ\text{C}$ , старению при температуре  $500^\circ\text{C}$ , 4 ч.

Для выявления микроструктуры образцы были протравлены 5%-ным раствором азотной кислоты в спирте. Для выявления зеренной структуры осуществляли электролитическое травление образцов в течение 1,5–2 мин при напряжении 10 В.

В процессе закалки стали с охлаждением на воздухе или в масле формируется дисперсная структура речного мартенсита (рис. 4 а и рис. 4 б). В зависимости от химического состава стали в ней присутствует остаточный аустенит в количестве от 5 до 15%. Устойчивость мартенсита к распаду при последующей тепловой обработке обусловлена высокой плотностью дислокаций, превышающей  $10^{12} \text{ см}^{-2}$ . В процессе отпуска плотность дислокаций уменьшается и внутри мартенситных реек формируется субзеренная структура. По границам и внутри реечных пакетов, которые можно характеризовать как большеугловые, после отпуска наблюдаются выделения карбидов пластинчатой и округлой формы, а также наблюдаются выделения, когерентно связанные с матрицей (рис. 4 в). Зерно равномерное, мелкое и оценивается 7–8 баллом после нормализации и 9–10 баллом после закалки.

#### Механические свойства металла повокот стали 20X2H4M2FCЮ

Механические свойства образцов стали 20X2H4M2FCЮ, выплавленной в дуговой электрорпечи, определяли на образцах после закалки и старения. Результаты приведены в табл. 4.

Относительно невысокий уровень прочности стали, связан с применением повышенной температуры отпуска, которая составляла в обоих случаях  $500\text{--}550^\circ\text{C}$ . При этих температурах происходит разупрочнение, в результате которого начинается рост пластичности. Для определения температуры старения на максимальную твердость и прочность были проведены специальные эксперименты, результаты которых приведены в табл. 5.

Из данных, приведенных в табл. 5, видно, что максимальная твердость (а, значит, и прочность) стали достигается при температуре старения  $400^\circ\text{C}$ , а минимальная — при температуре  $650^\circ\text{C}$ . Образцы, отпущенные на максимальную твердость, были подвергнуты механическим испытаниям при температурах  $20\text{--}600^\circ\text{C}$ . Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Из приведенных данных видно, что разработанная сталь сохраняет высокие прочностные свойства при температурах до  $550^\circ\text{C}$ . По прочности эти свойства находятся на уровне известной теплостой-

кой стали Дн23, а по пластичности и вязкости значительно превосходят ее. Особенно этот эффект проявляется при повышенных содержаниях алюминия, что связано с началом выделения при температуре 500 °С упрочняющих дисперсных интерметаллидных фаз на основе никеля и алюминия.

Таблица 4. Механические свойства образцов стали 20X2H4M2ФСЮ, выплавленной в дуговой электропечи

Вид термо-обработки	Направление вырезки образцов	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCU, кгм/см <sup>2</sup>	Температура испытания, °С
Закалка в масле + старение	тангенциальное	155	155	10,5	38	5	20
Закалка в масле + старение	тангенциальное	155	132	10,5	38	5	20
	продольное	158	136	12,5	48	6	20
Нормализация + старение	тангенциальное	138	114	14	33	3	500
	продольное	142	120	15	50	9	500

Таблица 5. Зависимость твердости стали от температуры старения

№ пп	Термическая обработка				Твердость HRC
	Температура закалки, °С	Охлаждающая среда	Режим старения		
			Температура, °С	Выдержка, час	
1	1050	масло	550	4	28
2	1000	масло	550	4	44
3	1000	воздух	550	4	44
4	1000	масло	400	2	49
5	1000	масло	400	4	47
6	1000	воздух	200	2	44
7	1000	воздух	200	4	42
8	1000	воздух	500	2	46
9	1000	воздух	600	2	32
10	1000	воздух	600	4	30
11	1000	воздух	600+650	4+2	28

Таблица 6. Механические свойства стали 20X2H4M2ФСЮ после закалки и отпуска

Температура испытания, °С	Механические свойства					
	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$A_5$ , Дж	HRC
20	1670	1770	9	44	50	50
350	1600	1750	8,5		60	
550	1250	1400	11		65	
600	1150	1250	12		110	

На твердость стали после закалки и особенно после старения оказывает сильное влияние содержание в ней углерода. Так, его изменение с 0,18 до 0,24 мас. % приводит к изменению твердости в закаленном состоянии от 50 до 53 HRC и в состаренном при 500 °С состоянии с 34 до 47 HRC. Эту особенность следует учитывать при выборе температуры смягчающего отпуска.

На твердость и прочность стали после старения оказывает также влияние температура закалки, о чем свидетельствуют данные на рис. 5.

Из анализа приведенных данных можно сделать следующие выводы:

1). Температурная зависимость ударной вязкости стали носит немонотонный характер. При по-

вышении температуры испытания до 200 °С ударная вязкость снижается, что связано с выделением карбидов типа MC. При дальнейшем повышении температуры испытания эти карбиды начинают растворяться в матрице и формируются диффузионные зоны, обогащенные молибденом, никелем и алюминием и когерентно связанные с матрицей. Поскольку они не влияют на перемещение дислокаций, ударная вязкость при повышении температуры до 400 °С не меняется. В интервале температур 400...550 °С в связи с развитием упрочнения ударная вязкость снижается.

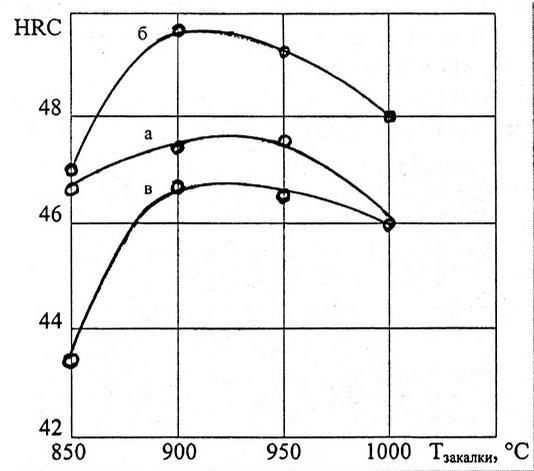


Рис. 5. Влияние температуры закалки на максимум твердости, достигаемый при температурах старения 450, 500, 550 °С

2). С увеличением температуры закалки прочность стали растет, достигая максимума при температуре старения 400 °С.

3). Прочностные характеристики стали после закалки в масле и старения выше, чем после охлаждения на воздухе и старения, а пластические характеристики, соответственно, несколько ниже после закалки и старения.

**Разработка и исследование технологических режимов химико-термической обработки зубчатых колес из стали 20X2H4M2ФСЮ**

Химико-термическая обработка (ХТО) конструкционных сталей занимает ведущее место в обеспечении высокого уровня усталостных характеристик. В автотракторной промышленности на долю процессов ХТО приходится 40–45% общего объема деталей трансмиссий, подвергаемых термическому упрочнению. Цементация и нитроцементация являются наиболее распространенными и широко используемыми процессами для обработки тяжело нагруженных зубчатых колес благодаря сочетанию высоких значений пределов выносливости при изгибе и контактном нагружении, а также износостойкости, что позволяет повысить их работоспособность [23]. Оценка каче-

ства химико-термической обработки зубчатых колёс представляет собой комплексную задачу. Для обеспечения хорошей работоспособности и получения высоких показателей прочности зубчатых колёс необходимо регулировать параметры, характеризующие строение и свойства слоя и сердцевины. К ним относятся толщина цементованного слоя с оптимальной концентрацией углерода, поверхностная твёрдость и микроструктура, отвечающая установленным для каждого изделия требованиям. Для зубчатых колёс толщина цементованного слоя регламентируется следующими пределами: нижний — 0,5–0,6 мм, верхний — не более 2,1 мм. Толщина диффузионного слоя зависит от температуры процесса, химического состава стали, размера зерна, времени и активности насыщающей среды. Разработка параметров технологического процесса химико-термической обработки для обеспечения требуемого распределения углерода в цементованном слое и исследование структуры и свойств диффузионных слоёв проводилось на экономнолегированной мартенситностареющей стали 20X2H4M2ФСЮ.

Химико-термическую обработку образцов из стали 20X2H4M2ФСЮ осуществляли на промышленных двухкамерных автоматизированных печах TF-2-25-E производства фирмы «Ипсен» в условиях ПО «МТЗ» Конкретные параметры технологических процессов приведены в табл. 7.

Таблица 7. Параметры технологического процесса цементации опытных образцов из стали 20X2H4M2ФСЮ

Технологические параметры процесса		Стадии технологического процесса			
		Цементационная печь TF-2-25-E(S)			Закалочная печь TQRA-2-25-EM
Наименование	Единица измерения	Активное насыщение 1 камера	Диффузионное выравнивание 2 камера	Подстуживание после цементации 3 камера	Нагрев под закалку
Температура	°С	930	930	550±15	900 подстуживание до 820
Углеродный потенциал	%С	1,0±0,05	0,95±0,05	-	0,95±0,05
Содержание CO <sub>2</sub>	%	0,1±0,01	0,11±0,01	-	0,15→0,35±0,02
Выдержка	час	6	1	2,5	1,5

Автоматическое регулирование углеродного потенциала с точностью ±0,05 %С производилось системой инфракрасного газоанализатора «Инфратроник» путем дозированной подачи метана и воздуха. Общее время науглероживания составляло 9 ч для обеспечения заданной глубины цементованного слоя.

По окончании процесса насыщения образцы поступали в третью камеру печи в зону подстуживания и охлаждались до 500±15 °С в атмосфере

эндогаза в течение 2,5 ч. Дальнейшее охлаждение образцов до комнатной температуры производили на воздухе. Последующий нагрев под закалку производили в камерной закалочной печи TQRA-2-25-EM в эндогазовой атмосфере с углеродным потенциалом 0,9±0,05 %С при температуре 900 °С. Длительность выдержки при 900 °С составляла 1 час, затем детали подстуживали совместно с камерой до 820 °С и закачивали в масло с начальной температурой 70 °С. Обработанные изделия подвергали мойке при температуре раствора 90 °С и последующему низкому отпуску при температуре 170 °С в течение 3 ч

Установленные таким образом значения температуры, углеродного потенциала, длительности выдержки при насыщении, подстуживании и закалке в сочетании с требованиями к параметрам насыщающей атмосферы и точностью автоматического регулирования определяют комплекс технических требований к технологии химико-термической обработки изделий из мартенситностареющей стали 20X2H4M2ФСЮ.

Цементованный слой исследовали металлографическим, химическим и дюротметрическим методами. При химическом методе распределения содержания углерода по глубине слоя применяли послойные образцы цилиндрической формы, диаметром 25,8 мм и длиной 100 мм. После полного цикла химико-термической обработки с цилиндрической поверхности образца последовательно снимали стружку через 0,01 мм на глубину 2 мм. На некоторых образцах максимальное содержание углерода у поверхности цементованного слоя составило 0,51%, на глубине 2 мм содержание углерода — 0,32%. Такое нетипичное, низкое содержание углерода в цементованном слое можно объяснить так называемой «пятнистостью» из-за неравномерного насыщения детали углеродом. Возможно, это вызвано образованием окисных плёнок алюминия и хрома. Известно, что через окисную плёнку при цементации насыщение стали углеродом затруднено.

#### Определение прокаливаемости цементованной стали

Под прокаливаемостью диффузионного слоя следует понимать возможность получения мартенситной структуры не только в поверхностных, но и во внутренних слоях изделия. Прокаливаемость определяется распределением твёрдости по толщине изделия или образца.

Прокаливаемость цементованного слоя мартенситностареющей стали 20X2H4M2ФСЮ исследовалась после цементации, закалки с температуры 950 °С и дополнительного отпуска при 450 °С в течение 4-х ч. Определение прокаливаемости стали проводили на торцевых образцах по методике ГОСТ

5657-69. Образцы цилиндрической формы, диаметром 25,8 и длиной 100 мм, разрезали вдоль образующей на две равные части методом электроэрозионной порезки, одну из которых использовали для измерения распределения твёрдости в цементованном слое. Измерения микротвёрдости (HV) при нагрузке 100 г проводили на цементованной поверхности образца после послойного шлифования этой поверхности на определённую глубину. Глубина шлифования образца определялась величиной съёма металла необходимой для устранения отпечатков от предыдущего измерения твёрдости. Распределение микротвёрдости по толщине слоя приведено на рис. 6. Анализ результатов показывает, что дополнительный отпуск приводит к увеличению твёрдости на 100 HV, что объясняется реализацией механизма упрочнения твёрдого раствора вследствие дисперсионного твердения, характерного для этой марки стали. Особенность механизма состоит в двухстадийном упрочнении, вначале происходит образование предвыделений карбидных фаз (VC и Mo<sub>2</sub>C), затем интерметаллидных, типа NiAl.

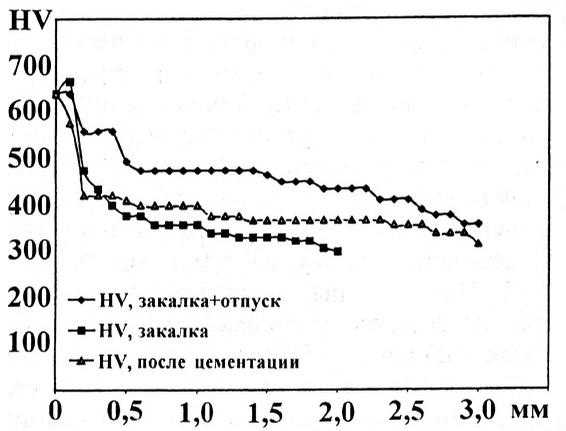


Рис. 6. Распределение микротвёрдости в цементованном слое мартенситностареющей стали 20X2H4M2ФСЮ

Микроструктура цементованного слоя на глубине 0,12–0,15 мм от поверхности представляет собой мелкодисперсный троостит с микротвёрдостью 650–680 HV; промежуточный слой, находящийся на глубине 0,15–0,5 мм состоит также из мелкодисперсного троостита с выраженной ориентацией бывших мартенситных игл, микротвёрдость этого участка слоя — 580 HV. Далее на расстоянии 0,5–2,5 мм имеет место тёмноотравающаяся трооститная структура равномерно ориентированная в пределах бывшего первичного аустенитного зерна, с расположением мельчайших карбидных включений как внутри, так и по границам зёрен в виде тонких цепочек. Микротвёрдость этого участка цементованного слоя составляет 480–490 HV. В среднем глубина цементованного слоя мартенситностареющей стали 20X2H4M2ФСЮ составила около 2 мм, на

некоторых образцах до 2,5 мм.

#### Определение теплостойкости цементованной стали 20X2H4M2ФСЮ

Под теплостойкостью понимают способность стали сохранять при нагреве структуру и свойства необходимые при эксплуатации изделия.

Теплостойкость сталей с карбидным упрочнением определяется главным образом свойствами металлической основы, так как количество и тип выделяющихся карбидных частиц мало различаются при изменении состава стали. Отсюда справедлив вывод [24] о том, что температура начала необратимого разупрочнения определяется составом твёрдого раствора и чем выше температура фазового превращения данной стали, тем больше её теплостойкость.

У сталей с интерметаллидным упрочнением сильнее влияние выделяющихся частиц фаз-упрочнителей. Эти частицы могут эффективнее задерживать общее разупрочнение стали из-за их большей дисперсности. Поэтому теплостойкость таких сталей может быть выше или равной теплостойкости сталей с карбидным упрочнением и при более низкой температуре превращения  $\alpha$  – раствора

Теплостойкость определяется по температуре нагрева, при которой начинает интенсивно развиваться необратимое изменение структуры и свойств и характеризуется температурой, до которой сталь после нагрева сохраняет твёрдость не ниже 50 HRC [25].

Для определения теплостойкости образцы после закалки и отпуска по стандартному режиму дополнительно нагревают 4 ч до температур, при которых ожидается развитие необратимого разупрочнения.

Исследование теплостойкости диффузионных слоёв проводилось на семи опытных образцах после цементации стали следующего химического состава (мас.%): C — 0,261; Cr — 2,44; Ni — 4,08; V — 0,542; Mo — 1,81; Si — 0,679; Al — 0,764; Mn — 0,788; P — 0,0802; S — 0,0123. Измерение микротвёрдости проводилось после закалки с температуры 950 °С и последующего старения при температурах 150, 250, 350 и 450 °С в течение 4-х ч.

На рис. 7 показана зависимость распределения микротвёрдости по глубине цементованного слоя стали 20X2H4M2ФСЮ от температуры испытания. По сравнению с закалённым состоянием, отпуск при 150 °С в течение 4-х ч снижает микротвёрдость диффузионного слоя ~ 50 HV, с повышением температуры старения имеет место тенденция к дальнейшему снижению микротвёрдости. При температуре 450 °С твёрдость цементованного слоя стали 20X2H4M2ФСЮ составляет ~580 HV. Это значение соответствует твёрдости цементованного слоя 20X2H4A при 250 °С (рис. 8). Микротвёрдость сердцевины имеет обратную

зависимость, с повышением температуры отпуска, происходит её повышение. Обеспечение повышенной теплостойкости происходит вследствие блокирования мартенситных игл дисперсными выделениями карбидов VC ванадия и предвыделений интерметаллидных фаз NiAl. Таким образом, исследования по определению теплостойкости свидетельствуют о возможности использования изделий из этой стали в более жёстких условиях контактного взаимодействия трущихся пар зубчатых передач по сравнению с традиционными цементуемыми сталями типа 20X2H4A.

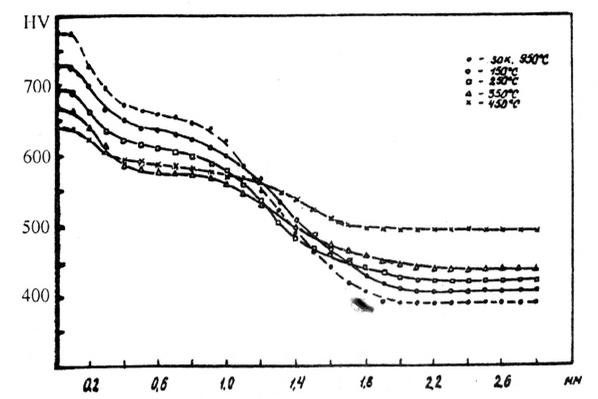


Рис. 7. Теплостойкость цементованного слоя ЭМСС 20X2H4M2FCЮ

Используя кривые прокаливаемости цементованных слоев с различным содержанием углерода, установили распределение содержания углерода по толщине слоя для конкретного зубчатого колеса из стали 20X2H4M2FCЮ для получения регламентированных значений твердости на основании ТУ ИМИНМАШ. Было установлено, что поверхностная твердость зубчатых колес из новой стали, имеющих модуль 5–6 мм, должна быть близка к 780 HV, эффективная толщина слоя до 750 HV — 0,2–0,4 мм, а эффективная толщина до твердости 600 HV должна находиться в пределах 0,9–1,1 мм.

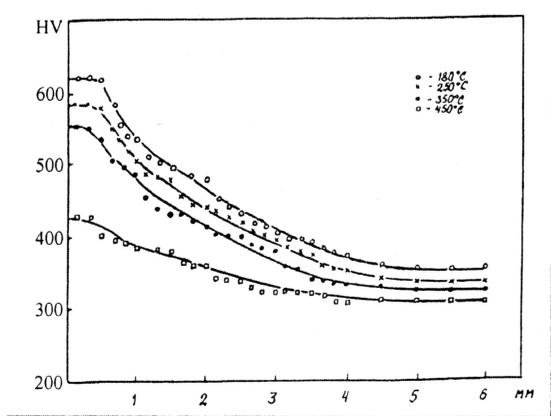


Рис. 8. Теплостойкость стали 20X2H4A

### Проведение испытаний опытной партии зубчатых колес

В ходе испытаний опытной партии зубчатых колес определяли следующие показатели: качество деталей после механической обработки, качество химико-термической обработки, теплостойкость цементованного слоя. В процессе испытаний производили отбор зубчатых колес для проведения стендовых испытаний (рис. 9).

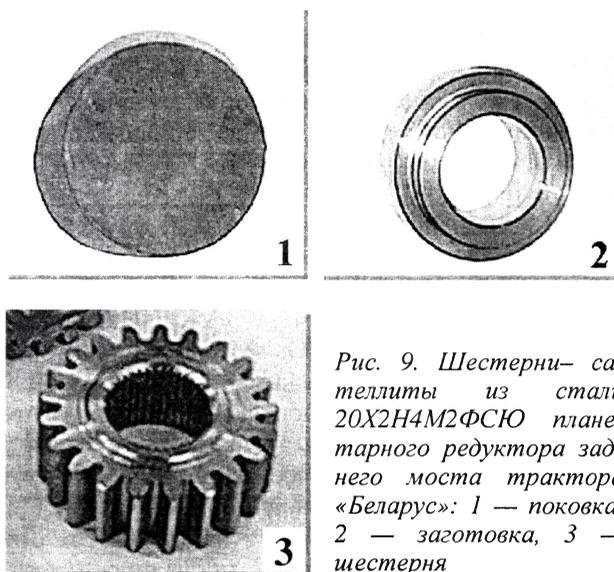


Рис. 9. Шестерни-сателлиты из стали 20X2H4M2FCЮ планетарного редуктора заднего моста трактора «Беларус»: 1 — поковка, 2 — заготовка, 3 — шестерня

Геометрические параметры зубчатого зацепления опытной партии зубчатых колес после механической обработки соответствовали требованиям конструкторской документации ПО МТЗ.

Качество ХТО оценивали по показателям твердости поверхности, сердцевины и по глубине цементованного слоя. При этом получены следующие результаты:

- поверхностная твердость 60–61 HRC<sub>3</sub>
- твердость сердцевины 41–43 HRC<sub>3</sub>
- глубина цементованного слоя 1,3–1,5 мм

О теплостойкости цементованного слоя судили по изменению твердости после отпуска при температуре 400–450 °С. Испытания показали, что твердость в этих условиях может повышаться на 180–200 HV у слоя с содержанием углерода 0,85–0,95% и на 120–130 HV у слоя с содержанием углерода 0,5–0,6%.

### Заключение

1. На основании проведенных исследований разработана дисперсионно-твердеющая цементуемая сталь 20X2H4M2FCЮ для зубчатых колес трансмиссии энергонасыщенных тракторов «Беларус». Состав стали защищен патентом Республики Беларусь BY 7301 C1 2005.09.30.

2. Проведены исследования и испытания опытных образцов новой стали в виде поволоков диаметром 100 и длиной 300 мм. Исследованы хими-

ческий состав, макро- и микроструктура продольных и поперечных образцов, проведены испытания механических свойств. Установлено, что высокие механические свойства стали сохраняются при температурах старения до 600 °С и разупрочнение стали происходит при температуре 650 °С. Полученные данные позволяют охарактеризовать данную сталь как обладающую высокой теплостойкостью.

По результатам исследований сделаны следующие выводы: качество химико-термического упрочнения (микроструктура, глубина и эффективная толщина упрочненного слоя, твердость, величина аустенитного зерна) зубчатых колес из новой стали марки 20Х2Н4М2ФСЮ соответствует техническим условиям ПО МТЗ к тяжело нагруженным зубчатым колесам.

3. Опытная технология получения заготовок для зубчатых колес, включая выплавку стали, освоена в институте «УКРНИИ Спецсталь (г. Запорожье) и на ПО «Минский тракторный завод». Разработаны режимы термической и химико-термической обработки заготовок, изготовлены опытные образцы зубчатых колес пяти типоразмеров для трансмиссии трактора «Беларус». Из слитков выплавленной в институте УКРНИИ-Спецсталь (г. Запорожье) и на ПО «МТЗ» стали изготовлены поковки трех типоразмеров и заготовки для зубчатых колес пяти типоразмеров

Результаты исследования макро- и микроструктуры образцов, вырезанных из поковок, показали, что по структуре и характеру изменения механических свойств в процессе термической обработки исследованная сталь относится к разряду дисперсионно-твердеющих сталей мартенситного класса. В механических цехах ПО «МТЗ» изготовлена опытная партия зубчатых колес пяти типоразмеров — планетарного редуктора заднего моста, коробки передач, вала отбора мощности

4. Проведены стендовые испытания опытной партии зубчатых колес планетарного редуктора заднего моста трактора «Беларус», показавшие перспективность применения новой высокопрочной стали для тяжело нагруженных зубчатых колес ресурсом выше 8000 моточасов. В то же время сделан вывод о необходимости корректировки состава стали в сторону уменьшения степени легированности для удешевления с целью более широкого использования в серийном производстве.

#### Литература

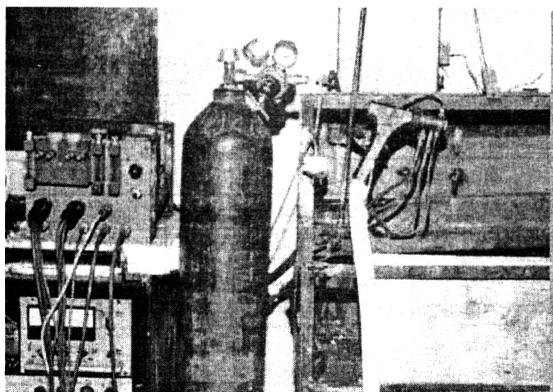
- Гришко В.А. Повышение износостойкости зубчатых передач. М.: Машиностроение, – 1977. – 232с.
- Сорокин Г.М. Аспекты металловедения в проблеме долговечности машин. // МиТОМ. – 1990. – № 2. С. 57–60
- Меньшикова Т.Я., Повар В.И. Высокопрочная цементуемая сталь для тяжело нагруженных деталей машин // МиТОМ, – 1988. – № 6. С. 17–19.
- Зубчатые соединения. Справочник. Л.: Машгиз, – 1980.
- Chester F.Jaczak. Speciality Carburizing Steels for Elevated Temperature Service // Metal Progress. № 4, 1978. P. 70–78.
- Полиханданов Е.Л., Хайдоров А.Д. Цементация теплостойких низкоуглеродистых сталей, содержащих молибден и титан. // МиТОМ. – 1991. – № 5. С. 5–7
- Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия. – 1982. – 527с.
- Блантер М.Е. Теория термической обработки. Учебник для вузов. М.: Металлургия, – 1984. – 328с.
- Проволоцкий А.Е., Першин Ю.И. Перспективные технологии изготовления изделий из хромомолибденовых сталей. Сб. трудов У1 междунар. конф. Донецк, 1999. – Т. 2. С. 293.
- High strength steel for gears // Elec. Furnace Steel. 1988. v.59. № 1. P. 65–66.
- Балтер М.А., Дукаревич И.С. Влияние качества материала на надежность и долговечность зубчатых колес. // МиТОМ №7, 1985. – С. 50–53.
- Горев К.В., Дудецкая Л.Р., Ткачёва В.А. Фазовые и структурные превращения аустенита в системе Fe-C-Ni-Cr // Весці АН Б, сер. фіз.-тэхн. навук. – 1985. – № 4. С. 17–20.
- Darbyshire J., Barford J. Comments on // An investigation of secondary hardening of a 1% vanadium - 0,2% carbon steel. Acta Met. 1967. 15. № 4. p. 671–672.
- Равин А.Н., Суходрев Э.Ш., Дудецкая Л.Р., Щербанюк В.Л. Формообразующий элемент для прессования и волочения профилей. Мн.: «Наука и техника». – 1988. – 232 с.
- Перкас М.Д., Кардонский В.М. Высокопрочные мартенситностареющие стали. М.: Металлургия. – 1971. – 224 с.
- Бирман С.Р. Экономно легированные мартенситностареющие стали. М.: Металлургия. – 1974. – 208 с.
- Бодяко М.Н., Астапчик С.А., Ярошевич Г.Б. Мартенситностареющие стали. Мн.: Наука и техника. – 1976. – 246 с.
- Tanaka M., Urshibara F., Yamamoto I. // Proceedings ICSTIS. 1971. № 6. p. 1196–1199.
- Tamura I., Fujiwara U., Nakata H. Proc. Int. Conf. Sci and Technol. Iron and Steel. Tokyo. 1971. p. 1184–1188.
- Немировский М.Р., Немировский Ю.Р., Кибальник В.Д., Хадыев М.С., Дудецкая Л.Р., Ткачёва В.А. // Исследование процессов старения в сталях типа 20Х2Н4М2ФСЮ. 1992. Физика металлов и металловедение. № 1. С. 100–110.

21. Darbyshire J., Barford J. Comments on //An investigation of secondary hardening of a 1% vanadium - 0,2% carbon steel. Acta Met. 1967. 15. № 4. p. 671-672.
22. Розенберг С.Э., Сусин А.А. Дефекты структуры диффузионноупрочнённых изделий. – Мн.: Беларуская навука. – 1997. – 224 с.
23. Блантер М.Е. Теория термической обработки. Учебник для вузов. М.: Металлургия. – 1984. – 328с.
24. A.Susin. A contribution to the problem of the reliability of high-loaded gear transmissions// 4<sup>th</sup> World Congress on Gearing and Power Transmission. March 1999;Paris. France, P. 234-238.
25. Проволоцкий А.Е., Першин Ю.И. Перспективные технологии изготовления изделий из хромомолибденовых сталей. Сб. трудов VI междунар. конф. Донецк, 1999. Т. 2. С. 293.

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ И УПРОЧНЯЮЩИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ

*Голозубов А.Л., Мозырский государственный педагогический университет*

Оборудование для новых технологических процессов должно удовлетворять целому ряду требований, предъявляемых современным производством. На стадии конструкторской проработки установки закладывались решения, не требующие применения дорогостоящего оборудования и материалов. Компоновка деталей и узлов производилась с учетом обеспечения легкого доступа и возможности быстрой замены. Основное внимание уделялось максимально возможному использованию стандартных узлов и сборочных единиц, что значительно упростило изготовление оборудования и снизило его себестоимость. Разработка узлов и деталей оригинальной конструкции велась с учетом технологичности и минимизации отходов при изготовлении.



*Рис. 1 Общий вид установки для нанесения ТП из дуговой плазмы*

Установка относится к многоцелевому технологическому оборудованию для плазменной сварки

и плазмохимического нанесения покрытий. Стоит из плазмотрона, блока управления, источника питания дуги, газовых баллонов (рис.1). Плазмотрон (рис. 3) связан с блоком управления гибким шлангом длиной 1,5 - 3,0 м, что позволяет наносить покрытие на деталях сложной конфигурации и крупногабаритном оборудовании. Небольшие размеры и вес плазмотрона позволяют обрабатывать детали и поверхности в труднодоступных местах, при этом обеспечивается возможность нанесения покрытий на внутренние поверхности сквозных отверстий малого диаметра.

В процессе экспериментальных исследований апробировались различные варианты конструкций электродуговых плазмотронов для нанесения тонкопленочных покрытий (ТП). По результатам экспериментов был разработан электродуговой плазмотрон для плазмохимических реакций [1] (рис. 2). Плазмотрон состоит из корпуса 1, внутри которого расположен водоохлаждаемый анод 2 и электронейтральная вставка 3, изолированная от корпуса и анода.

К корпусу через изолирующую втулку 4, присоединено вспомогательное сопло 5, изолированное от вставки 3. На нем с помощью резьбы укреплен вихревая камера 6 с водоохлаждаемым торцевым катодом 7. Для предотвращения электрического пробоя между цилиндрической частью катода 7 и вспомогательным водоохлаждаемым соплом 5 в кольцевом промежутке между ними установлена изолирующая втулка 8. Значительно упростить конструкцию устройства для генерации плазмы позволило использование в качестве катодного узла серийного плазмотрона для сварки УПНС-301. Катодный узел плазмо-

трона используется для возбуждения дежурной дуги с последующим зажиганием и стабилизацией основной сжатой электрической дуги, горящей между катодом плазмотрона и его анодом в потоке аргона. Сформированная в дуговом канале плазмотрона реакционная плазма имеет достаточные характеристики (температура, время существования) для пиролиза реагентов. Образование покрытия осуществляется за счет осаждения продуктов плазмохимической реакции из плазменной струи, выдуваемой через сопло, при ее контакте с подложкой.

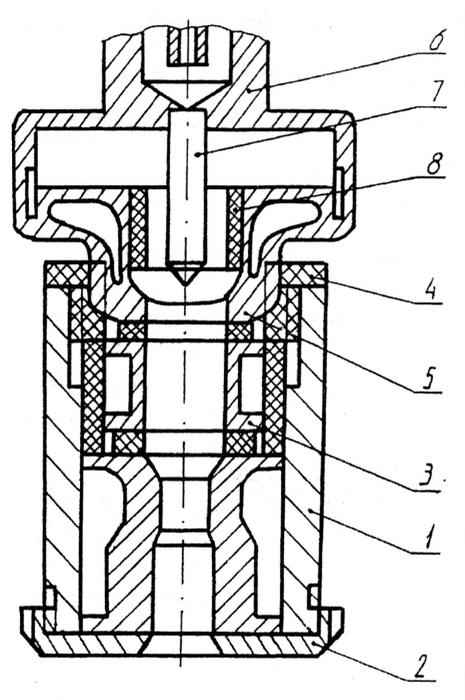


Рис. 2. Плазмотрон для плазмохимического нанесения покрытий: 1 — корпус, 2 — водоохлаждаемый анод, 3 — электронейтральная вставка, 4 — изолирующая втулка. 5 — вспомогательное сопло, 6 — вихревая камера, 7 — водоохлаждаемый торцевой катод, 8 — изолирующая втулка

Перед зажиганием дуги в плазмотрон подается охлаждающая вода и плазмообразующий газ. Напряжение холостого хода источника питания прикладывается между катодом и анодами дежурной и основной дуги. С помощью осциллятора, вырабатывающего высоковольтный электрический разряд, пробивается дуговой промежуток между электродом (катодом) и анодом дежурной дуги плазмотрона, в результате чего возбуждается дежурная дуга. Возбуждение основной дуги происходит после замыкания промежутка между катодом плазмотрона и анодом плазмотрона факелом выдуваемой дежурной дуги. Способ подачи реагентов в зону реакционной плазмы был обусловлен свойствами кремнийорганических соединений,

которые отличаются высокой летучестью - насыщение парами потока транспортирующего газа (аргона). Этот процесс происходит в специальном дозирующем устройстве (питателе).

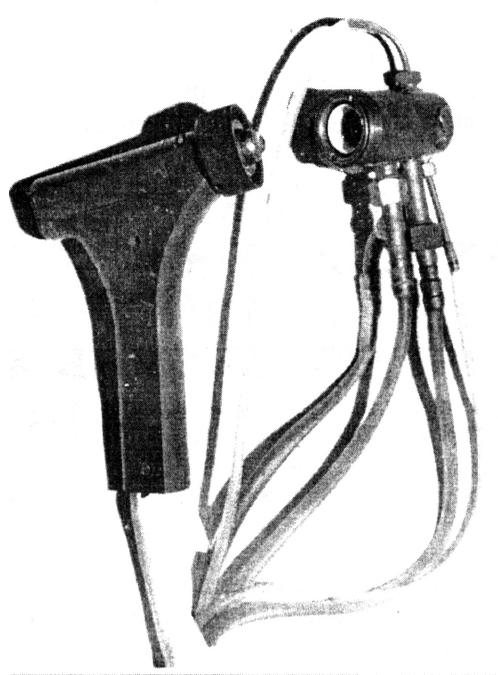


Рис. 3. Плазмотрон электродуговой

Регулирование расхода плазмообразующего и транспортирующего газов дает возможность варьирования в широких пределах основными параметрами процесса — температурой и временем существования реакционной плазмы, концентрацией реагентов в плазменной струе. Основные параметры установки приведены в табл. 1.

Блок управления состоит из питателя, обеспечивающего подачу реагентов и защитного газа в заданных пропорциях, ротаметров, газовых и водяных коммуникаций, осциллятора, токоподводов (рис. 4).

Таблица 1. Основные параметры установки

Наименование параметра	Значение
Используемый ток	Постоянный
Номинальный ток, А	120
Пределы регулирования тока, А	50-150
Система охлаждения	Водяная
Номинальное давление воды в системе охлаждения, МПа	0,2-0,3
Расход воды, л/час:	600-800
Используемый газ	Аргон
Расход газа, л/час	40-100
Номинальная мощность дуги, кВт	4-6
Масса, кг	20

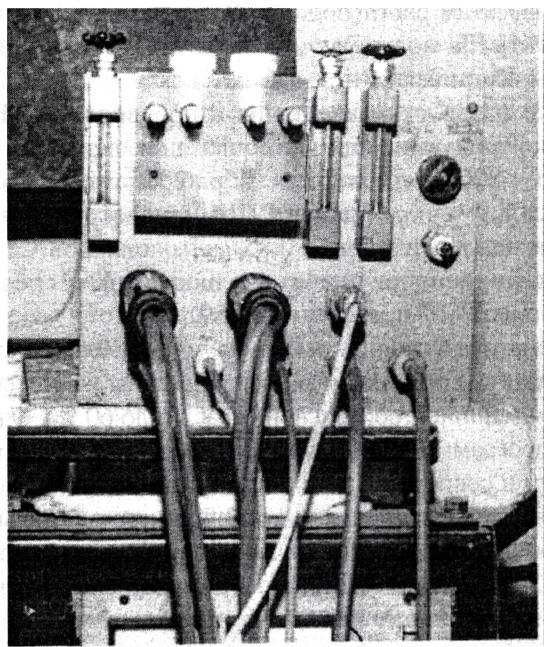


Рис. 4. Блок управления установкой

Исходя из условий генерации плазмы и учитывая необходимость электрического управления током дуги в качестве источника питания был использован серийно выпускаемый универсальный выпрямитель для дуговой сварки ВДУ-506. Для осцилляции дежурной дуги применялся блок поджига дуги БП-80-УХЛ-4. В качестве регуляторов-измерителей расходами газов использовались ротаметры с местными показаниями типа РМ. Система водяных и газовых коммуникаций выполнена из полихлорвиниловых трубок.

Опытный образец установки для нанесения плазмохимических покрытий и технологический процесс внедрены в условиях реального производства на базе открытого акционерного общества «Мозырский нефтеперерабатывающий завод».

Установка для нанесения тонкопленочных покрытий используется в условиях ремонтно-механического производства для защиты от коррозии валов центробежных насосов типа НК и позволяет получать защитные тонкопленочные покрытия

с коррозионной стойкостью, соответствующей техническим условиям, увеличивающей в 2–3 раза эксплуатационную работоспособность изделий.

Производственные испытания на протяжении 2002–2005 гг. показали: опытный образец установки для нанесения плазмохимических покрытий работает успешно, без отказов, что позволило решить важную производственную проблему — повышение срока службы деталей насосно-компрессорного оборудования.

Результаты производственных испытаний выявили, что для повышения устойчивости работы оборудования целесообразна разработка системы автоматизированного контроля за технологическим процессом нанесения тонкопленочных покрытий, для чего необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать алгоритм работы системы автоматизированного контроля за технологическим процессом нанесения тонкопленочных покрытий
2. Разработать системы контроля за охлаждением плазмотрона и давлением плазмообразующего газа.
3. Разработать систему контроля за током дуги.
4. Разработать системы аварийного останова установки.

Решение перечисленного комплекса задач даст возможность вплотную подойти к решению проблемы создания промышленного образца установки, отвечающего требованиям современного производства.

#### Литература

1. Пат. 2306 С1 ВУ, МКИ<sup>6</sup> Н 05Н 1/26. Плазмотрон для плазмохимического нанесения покрытий / А.Л. Голозубов., Э.М. Пархимович, О.В. Иванина, А.Р. Андреев. (РБ) -№ 950023; Заявл. 10.01.1995; Опубл. 16.03.1998 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 1998. – №3. – С.222.
2. Голозубов А.Л. Автоматизация процесса нанесения упрочняющих тонкопленочных покрытий из дуговой плазмы. Материалы 7-ой междунар. практ. конф.-выставки «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки» С.-Пб., РФ, 2005 г. С. 260–269.

## ПОДПРОГРАММА «ТЕХНОЛОГИИ». ИТОГИ ПЯТИ ЛЕТ (2001 – 2005 гг.)

Астапчик С.А., Замыслов А.С.

В 2005 году завершился цикл работ по «Государственной программе «Машиностроение», подпрограммы «Технологии». Подпрограмма «Технологии» государственной научно-технической про-

граммы «Машиностроение» утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 8 января 2004 г. №5. С 2001 по 2003 год выполнялась как государственная научно-техническая про-

грамма «Разработать и освоить в металлургии, машиностроении и других отраслях народного хозяйства республики новые технологии получения, упрочнения и восстановления деталей и узлов из металлических и неметаллических материалов («Технологии»)), утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 февраля 2001 г. № 141. Основной целью подпрограммы являлось создание и освоение в производстве технологий, основанных на новейших научных достижениях и мировом опыте, содействующих импортозамещению, экономии сырья и энергоносителей и обеспечивающих производство конкурентоспособных образцов отечественной продукции.

Работы по созданию технологий, обеспечивающих производство конкурентоспособными образцами отечественной продукции в машиностроительных, металлургических отраслях, в электронной промышленности, выполнялись силами ведущих предприятий республики — Минским автомобильным, Минским тракторным, Минским моторным, Минским заводом колесных тягачей, ОАО «Белкард» и другими предприятиями и организациями смежных отраслей промышленности республики.

Разработка новых технологий потребовала большого объема НИОКР, выполненных силами научных организаций и вузов в сотрудничестве с предприятиями по теоретическому и экспериментальному исследованию, внедрению разработок в производство.

Всего в выполнении заданий подпрограммы участвовало до сорока организаций республики.

В разработках приняли участие ряд институтов Национальной академии наук Беларуси, вузов, отраслевых научно-исследовательских организаций, располагающих высококвалифицированными научными кадрами и исследовательской базой.

В рамках проведенного финансирования из средств республиканского и с учетом дополнительного финансирования из собственных средств предприятий — потребителей все задания программы выполнены в полном объеме. Разработано 67 опытных техпроцессов, 3 комплекта программного обеспечения. Изготовлено более 20 опытно-промышленных образцов оборудования, 11 макетов оборудования, выпущено 44 опытных партий и опытно-промышленных партий деталей, 44 комплекта технологической оснастки. Создан технологический комплекс, 7 опытных участков, в т.ч. на промышленных предприятиях — 5, на площадях опытных производств предприятий разработчиков — 2.

Новизна разработок подтверждается тем, что по

результатам работ подано 18 заявок на получение патента РБ, получено - 11 патентов РБ, опубликованы 4 монографии.

Все разработки внедрены в производство. Выпуск продукции по завершённым заданиям за 2001 – 2004 годы на 31 декабря 2005 г. составляет более 8,9 млн. долларов США, при затратах бюджета не многим более 0,85 млн. долларов США. Коэффициент окупаемости бюджетных средств на конец 2005 г. составил 10,59.

Тематика заданий программы «Технологии» показывает, что они в основном направлены на решение задач машиностроительной отрасли (до 60 %). Однако программа «Технологии» обеспечивала потребности в современных технологиях и радиоэлектронную промышленность — до 13 %, инструментальное производство — до 12 %, литейное производство — до 15 % заданий. Часть проектов нацелена на решение проблем предприятий Министерства транспорта и коммуникаций, Минсельхозпрода.

Основные социально-экономические итоги выполнения подпрограммы:

- обеспечена научно-техническая поддержка устойчивого функционирования и развития промышленного комплекса за счет внедрения новейших отечественных технологий в производство конкурентоспособной отечественной техники;

- осуществлена государственная поддержка промышленного комплекса: металлургического, автотракторного, сельскохозяйственного машиностроения, электронной и электротехнической промышленности и их смежных отраслей;

- сохранены и расширены внутренние и внешние рынки сбыта продукции;

- обеспечено сокращение расходов валютных средств за счет значительного уменьшения импорта сырьевых ресурсов и комплектующих материалов;

- повышен экспортный потенциал промышленного комплекса: металлургического, автотракторного, сельскохозяйственного машиностроения, электронной и электротехнической промышленности и их смежных отраслей.

Наиболее значимые проекты подпрограммы. В рамках подпрограммы «Технологии», в технологический процесс изготовления поршня был внесен ряд передовых технологий, а именно, разработана методика получения нерезистивных вставок и внедрения их в тело поршня для придания жесткости поршневым кольцам (задание 1.27), создана технология формирования защитного теплостойкого покрытия (задание 4.21), а для приработки поршня разработана технология нанесения углеродосодер-

жащих покрытий (задание 1.33) (рис. 1). Были также проведены комплексные работы по совершенствованию производства рессор. Разработана технология поверхностного упрочнения рессор (задание 4.19), внедрена ресурсосберегающая технология высокотемпературной термомеханической обработки рессор (задание 1.36) (рис. 2).

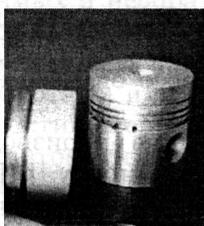
В 2005 г. разработаны и внедрены в производство такие техпроцессы, как технология изготовления уплотнительных колец из деформируемого высокопрочного чугуна, технология термической обработки стальной дробы, технология предвари-

тельной вальцовки заготовок под штамповку балки передней оси автомобиля МАЗ и др. (рис. 3).

Внедренные технологические процессы обеспечат дальнейшее развитие машиностроительной отрасли республики, будут способствовать постепенному обновлению технологической базы предприятий внутренними ресурсами, по возможности без импорта технологий и оборудования.

Большинство разработок завершены созданием опытных образцов продукции, успешно прошедших приемочные испытания и приняты к освоению на предприятиях – потребителях.

### ПОРШНИ ФОРСИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



#### Разработаны новые материалы и технологии

- высоколегированный чугун ЧХ15Д7 (нирезистовый сплав)
- технология получения вставок
- установка для центробежного литья
- состав для алюминирования
- технология алитирования
- устройство кокиля

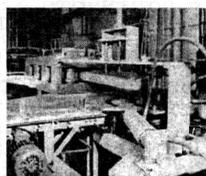
Организован участок на УП «Минский моторный завод»



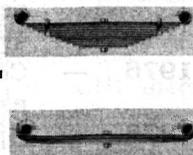
1

Рис. 1.

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАЛОЛИСТОВЫХ РЕССОР



16 патентов  
Беларуси,  
России, США и  
Великобритании.  
Продана лицензия  
и освоено  
производство на  
фирме «Итон»  
(США)



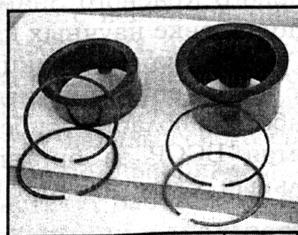
- увеличение производительности процесса в 4-5 раз;
- снижение энергозатрат на 35-40%
- увеличение срока службы рессор в 1,5-2,0 раза;
- уменьшение веса рессоры на 25-30 кг;
- снижение стоимости технологического оборудования в 4-5 раз.



2

Рис. 2.

### ШТАМПОВАННЫЕ ЧУГУННЫЕ ЗАГОТОВКИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ И ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ



Разработка  
внедрена  
на МЗКТ в 4-ом  
квартале 2005 г.



3

Рис. 3



## ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН БЕЛАРУСИ

### Краткая историческая справка

- 1931** — Физико-технический институт АН БССР образован 29 марта 1931 г. на базе кафедры физики в соответствии с Постановлением Президиума академии наук БССР от 29.03.1931 года №9.
- 1931** — Созданы лаборатории электромагнитных колебаний, электротехники, геофизики, металлофизики, рентгеноструктурного анализа.
- 1941** — Созданы лаборатории электрофизики, металловедения пластичности, физики поверхностных явлений, физики контактных явлений, физико-химической механики, термокинетики структурных превращений в металлах и сплавах, прикладной механики.
- 1944** — Созданы лаборатории электрофизики, металловедения пластичности, физики поверхностных явлений, физики контактных явлений, физико-химической механики, термокинетики структурных превращений в металлах и сплавах, прикладной механики.
- 1969** — Созданы лаборатории электрофизики, металловедения пластичности, физики поверхностных явлений, физики контактных явлений, физико-химической механики, термокинетики структурных превращений в металлах и сплавах, прикладной механики.
- 1970** — Создано Могилевское отделение.
- 1974** — Присуждена Государственная премия БССР за создание процессов и инструментов для размерно-чистовой и упрочняющей обработки деталей машин поверхностно-пластическим деформированием Коновалову Е.Г., Гришановичу Г.П., Дривотину И.Г., Пятосину Е.И., Сидоренко В.А.
- 1976** — Создано Специальное конструкторско-технологическое бюро с опытным производством.
- 1978** — Присуждена Государственная премия БССР за организацию производства гидравлического оборудования на ПО «Гидроавтоматика» Ящерицыну П.И. Присуждена Государственная премия БССР за организацию производства высококачественного алюминиевого литья с использованием вторичного сырья Гореву К.В., Пархутику П.А.
- 1980** — Присуждена Государственная премия БССР за создание и внедрение в производство технологических процессов и оборудования для электроимпульсной обработки материалов Чачину В.Н., Мрочеку Ж.А., Мицкевичу М.К., Скрипниченко А.А., Здору Г.Н., Журавскому А.Ю., Бакуто И.А., Малышкину В.К. Присуждена Премия Ленинского Коммунистического Союза молодежи Белоруссии за разработку и внедрение новых технологических процессов скоростной термической обработки титановых сплавов с особыми свойствами Божку В.П., Шипко А.А.
- 1981** — Институт награжден Орденом Трудового Красного Знамени за заслуги в развитии физико-технических наук и подготовке научных кадров.
- 1982** — Присуждена Премия ЦК ВЛКСМ за исследование фрикционного взаимодействия конструкционных материалов с целью снижения износа, энерго- и металлоемкости машин Белому А.В. (за работы в области триботехники)
- 1984** — Присуждена Государственная премия БССР за организацию производства низкопороговых больших интегральных схем на КМОП-структурах Гурскому А.И., Румаку Н.В. Присуждена Государственная премия БССР за внедрение в производство технологий и автоматизированных комплексов поперечно-клиновой прокатки Шукину В.Я., Макушку Е.М., Клушину В.А, Садко В.И., Воронцову Э.А., Шаховцу Н.Р., Андрееву В.Г.
- 1986** — Присуждена Государственная премия СССР за разработку и промышленное внедрение технологических процессов скоростного термического упрочнения сталей и сплавов Астапчику С.А.
- 1988** — Присуждена Государственная премия БССР за организацию серийного производства гетерогенных материалов методами электротермии Бодяко М.Н., Гордиенко А.И., Ивашко В.В., Дымовскому А.С., Семенюку Г.А., Жуковцу В.С. Присуждена Государственная премия БССР за организацию массового производства деталей автотракторного машиностроения с использованием холодной

- объемной штамповки Алифанову А.В., Белому А.В., Калиновской Т.В.
- 1990** — Присуждена Государственная премия БССР за внедрение технологических процессов получения высококачественных отливок в условиях централизованного производства Анисовичу Г.А., Маруковичу Е.И.  
Присуждена Премия Совета Министров БССР за разработку и внедрение в производство технологии и оборудования для нанесения плазменных защитных покрытий на трубы тепловых сетей Мрочеку Ж.А., Василевскому И.Н.
- 1991** — Структурная реорганизация путем упразднения Специального конструкторско-технологического бюро с опытным производством и создания при институте на его базе опытного производства.
- 1992** — Создание на базе Могилевского отделения Института технологии металлов АН БССР.
- 2004** — К институту присоединен Инженерный центр «Плазмотег».

Ученые института внесли большой вклад в разработку ряда фундаментальных и прикладных проблем. Ими разработаны методы фотопластичности и муаровых полос, установлен ряд закономерностей пластического формообразования, выполнен комплекс исследований по изучению фазовых и структурных превращений, физико-химических и специальных свойств сталей и сплавов. Разработаны научные основы тепловой теории литейных и термодинамики обратимых и необратимых процессов, теория, общая структура и классификация процессов формообразования, теории отдельных технологических процессов обработки металлов. Созданы научные основы получения ряда новых, в том числе композиционных материалов.

Разработаны и освоены промышленностью Республики Беларусь и других стран СНГ высокоэффективные ресурсо- и энергосберегающие технологии, оборудование и материалы, в том числе автоматизированные комплексы поперечно-клиновой прокатки, автоматизированные лазерные комплексы для термической обработки, резки и сварки материалов, технологии и оборудование для импульсной и магнитно-абразивной обработки, нанесения коррозионно-стойких, жаропрочных и декоративных покрытий, технологии получения жидкокристаллических знаков синтезирующих индикаторов, ультрабольших интегральных микросхем, многослойных композиций и термодинамических стабильных материалов для микроэлектроники, изготовления инструмента различного назначения, броневые материалы и средства для личной защиты и защиты спецтехники, безникелевые высокопрочные чугуны, литые эвтектические и антифрикционные алюминий-графитовые материалы.

На производственных участках института налажено серийное производство оборудования и оснастки для поперечно-клиновой прокатки путевых шурупов, лазерных комплексов, бронешитов, катодов-мишеней, проката из драгметаллов, ножей для деревообработки, заготовок эндопротезов и ряда других изделий и материалов, а также осуществляется электронно-лучевая сварка, нанесение с использованием лазерных и ионно-плазменных технологий упрочняющих, коррозионно-стойких, защитно-декоративных и биосовместимых покрытий.

Институт осуществляет сертификацию сосудов, работающих под давлением, алмазно-абразивных и лезвийных инструментов, рекуперацию природных алмазов из отработанного инструмента, переработку давальческого сырья, содержащего драгоценные металлы, с возвратом в виде изделий или полуфабрикатов.

В настоящее время институт работает по следующим основным направлениям:

- физика процессов генерации и транспортировки пучков частиц и энергии, их взаимодействия с конденсированными средами, разработка научных основ высокоэффективных процессов получения и обработки материалов с применением лазерных, ионных и электронных пучков, плазменных потоков, потоков тепловой энергии и электромагнитных полей;

- разработка методов и технологических основ создания новых multifunctional и специализированных материалов с улучшенными характеристиками для машиностроения и других отраслей промышленности;

- разработка технологий получения и обработки новых конструкционных материалов с повышенными механическими, износостойкими, коррозионно-, жаростойкими и другими специальными свойствами;

- разработка с использованием методов высокоэнергетического воздействия технологий нанесения защитных, защитно-декоративных, упрочняющих, износостойких и биосовместимых покрытий.

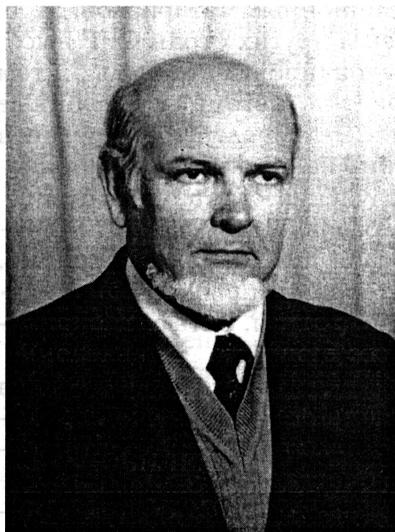
мых покрытий на детали машин и механизмов, металлообрабатывающий, штамповый и измерительный инструмент, медицинские имплантаты;

– создание для нужд микроэлектроники многокомпонентных материалов на основе термодинамически стабильных соединений.

Институт активно взаимодействует с ведущими вузами республики и научными центрами ряда зарубежных стран, выполняет значительный объем договорных работ с предприятиями и организациями республики, стран ближнего и дальнего зарубежья, участвует в координации и выполнении государственных программ научных исследований, государственных и региональных научно-технических программ.

Численность института составляет на сегодняшний день 324 человека, в том числе 100 научных работников, среди которых 9 докторов наук, включая 2 академиков и 2 членов-корреспондентов, 39 кандидатов наук. В аспирантуре института проходят подготовку 7 аспирантов и 7 соискателей. Сотрудниками института в ближайшие годы планируется защита 9 докторских и 25 кандидатских диссертаций.

ФТИ НАН Беларуси является одной из ведущих организаций республики, выполняющих научные исследования и разработки в области создания новых материалов и технологий их обработки, имеет значительный потенциал для дальнейшего развития и проведения научных исследований, активного внедрения их результатов в производство.



## **ГУРСКИЙ Леонид Ильич**

В январе 2006 г. член-корреспонденту Национальной академии наук Беларуси, профессору Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники Гурскому Леониду Ильичу исполнилось 70 лет.

Леонид Ильич Гурский — известный ученый в области микроэлектроники и физики твердого тела, внесший значительный вклад в создание методов проектирования микросхем, разработку новых термодинамически стабильных материалов, технологических процессов изготовления, приборов и методов контроля качества изделий микроэлектроники, получивших широкое признание в научных кругах ближнего и дальнего зарубежья, нашей республики.

Научная деятельность Гурского Л.И. неразрывно связана с Физико-техническим институтом. Здесь он прошел путь от аспиранта до заместителя директора по научной работе.

В настоящее время деятельность Леонида Ильича связана с педагогической работой со студентами и с подготовкой высококвалифицированных специалистов, кандидатов и докторов наук, активной общественной работой.

Обаятельный, доброжелательный и чуткий человек, с тонкой музыкальной и поэтической душой Гурский Леонид Ильич снискал симпатию и уважение всех, кто его знает.

От всего сердца желаем Вам, Леонид Ильич, крепкого здоровья, благополучия, долгих лет жизни и больших творческих успехов на благо нашей Республики.

*Редакционная коллегия*

УДК 621.436

## УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА

Вершина Г.А., Тамкович Е.С.

Белорусский национальный технический университет  
кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

Условия эксплуатации автотракторных дизелей характеризуются переменным во времени фактором скоростных и нагрузочных режимов. При этом наблюдается рассогласование характеристик системы автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ), что приводит к снижению производительности и экономичности ДВС, повышению дымности и токсичности выхлопных газов, росту динамических и тепловых перегрузок.

Особенно такие качества проявляются у высокофорсированных по наддуву дизельных двигателей, где высокие качественные характеристики турбокомпрессоров и промежуточных охладителей наддувочного воздуха (ПОНВ) являются необходимым условием обеспечения нормативных технико-экономических показателей и экологических характеристик. Следует отметить, что созданные и применяемые в настоящее время ПОНВ должны обеспечивать в соответствии с ГОСТом понижение температуры наддувочного воздуха до уровня не более чем на 25 °С выше по сравнению с температурой окружающей среды. Следует учесть, что данный показатель должен быть выполнен в первую очередь при номинальном режиме работы дизеля. При снижении нагрузки в условиях эксплуатации при отрицательных температурах будет иметь место переохладение наддувочного воздуха. Как показано в работах [1–3] такое обстоятельство приведет к снижению индикаторного давления и к достаточно серьезному увеличению расхода топлива. Более того, поступление в цилиндр переохлажденного свежего заряда на режимах низких нагрузок и в условиях переходных процессов приведет к нарушению процесса сгорания и, как следствие, к ухудшению экологических характеристик.

Из данного обстоятельства следует, что при понижении нагрузки целесообразно подогревать, а не охлаждать наддувочный воздух, поддерживая его температуру на выходе из ПОНВ в диапазоне 20-50

°С. Такое техническое решение может быть реализовано путем перепуска части воздуха мимо ПОНВ.

По результатам выполнения опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ, проведенных кафедрой «ДВС» БНТУ совместно с РУП «ММЗ» в рамках государственной научно-технической программы «Белавтотракторостроение» разработан опытный промежуточный охладитель наддувочного воздуха [4, 5] с автоматическим регулированием температуры воздуха на впуске рис. 1.

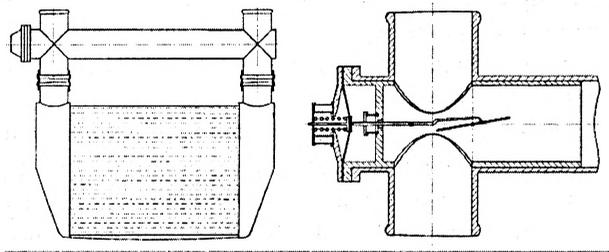


Рис. 1. ПОНВ с автоматическим регулятором температуры наддувочного воздуха

Особенностью данной конструкции является дополнительный канал, напрямую соединяющий напорный патрубок турбокомпрессора с впускным коллектором двигателя. Внутри данного канала установлен регулятор температуры наддувочного воздуха выполненный в виде чувствительного элемента по давлению наддува, а именно мембраны, и регулирующего расходного элемента в виде дроссельной заслонки. При изменении давления в напорном патрубке за счет разности давлений атмосферного и давления наддува мембрана регулятора температуры передвигаясь, начнет преодолевать сопротивление пружины и передвигать шток с асимметрично закрепленной на нем дроссельной заслонкой, изменяя тем самым проходные сечения каналов. Сжатый нагретый воздух из компрессора частично начнет поступать напрямую, с минимальными гидравличе-

скими потерями, минуя охладитель в проточный канал и далее во впускной коллектор, тем самым, повышая температуру до необходимого уровня.

Температура воздуха после компрессора определяется по формуле

$$T_k = T_0 \left( \frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{n}{n-1}}$$

где  $T_0, P_0$  — температура и давление окружающей среды;

$T_k, P_k$  — температура и давление наддувочного воздуха после компрессора;

$n$  — показатель политропы сжатия в компрессоре.

Из формулы видно, что температура наддувочного воздуха зависит от давление наддува  $P_k$  и условий окружающей среды  $T_0$  и  $P_0$ . Поскольку регулятор температуры наддувочного воздуха выполнен в виде чувствительного элемента по давлению, то с целью повышения точности регулирования в зависимости от температуры окружающей среды снаружи регулятора установлен температурный компенсатор, выполненный из материала с высоким коэффициентом линейного расширения, который, изменяя свои геометрические размеры под воздействием температуры  $T_0$  и следовательно жесткость пружины, обеспечивает необходимую поправку.

Таким образом, предлагаемая конструкция ПОНВ обеспечивает эффективное регулирование температуры наддувочного воздуха при динамическом нагружении и обеспечивает ее относительное постоянство во впускном коллекторе двигателя в независимости от параметров окружающей среды.

Исследования, выполненные с помощью приведенной математической модели [5], а также сравнительные испытания образцов ПОНВ серийной и экспериментальной конструкции, проведенные на РУП «Минский моторный завод», показали следующие результаты:

1. При коэффициентах избытка воздуха менее 3,2 экономические показатели двигателя при его работе с серийным и экспериментальным ПОНВ на установившихся режимах являются практически равнозначными (рис. 2).

2. При значениях коэффициента избытка воздуха более 3,2 наблюдается тенденция к снижению удельного эффективного расхода топлива (рис. 2, рис. 3).

3. Применение экспериментального ПОНВ обеспечивает увеличение на 7 % интенсивности прогрева охлаждающей жидкости при пуске двигателя, а также способствует увеличению отвода

тепла от масляного картера двигателя (рис. 4). Последнее объясняется снижением количества тепла, передаваемого материалом ПОНВ потоку охлаждающего воздуха с вентилятора, при перепуске наддувочного воздуха мимо охладителя.

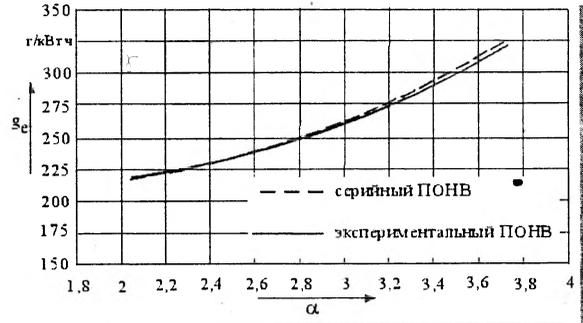


Рис. 2. Зависимость удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  от коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  по нагрузочной характеристике.

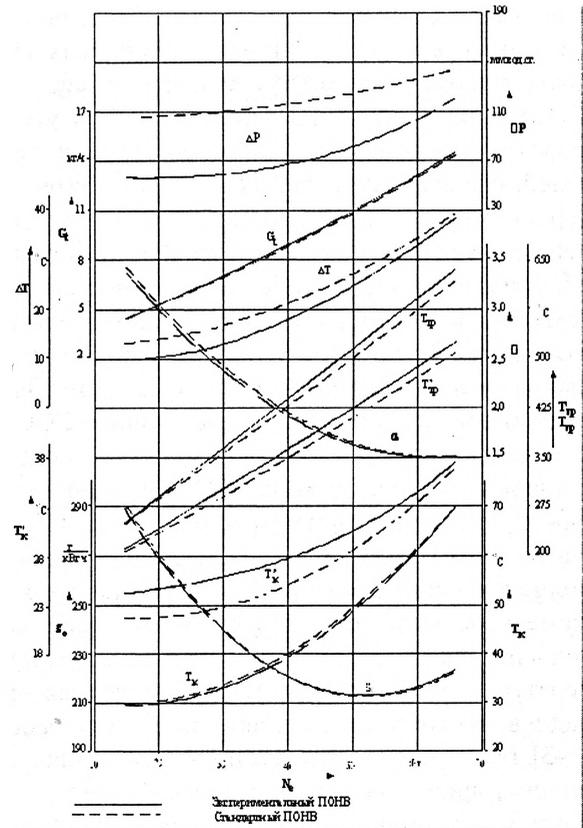


Рис. 3. Нагрузочная характеристика дизеля ( $n=1400$  об/мин):  $N_e$  — эффективная мощность двигателя;  $\alpha$  — коэффициент избытка воздуха;  $g_e, G_t$  — удельный эффективный и часовой расход топлива;  $T_k, T'_k$  — температура наддувочного воздуха перед и после ПОНВ;  $T_{tr}, T'_{tr}$  — температура отработавших газов перед и после турбины;  $\Delta T, \Delta P$  — перепад температуры и потери давления в ПОНВ

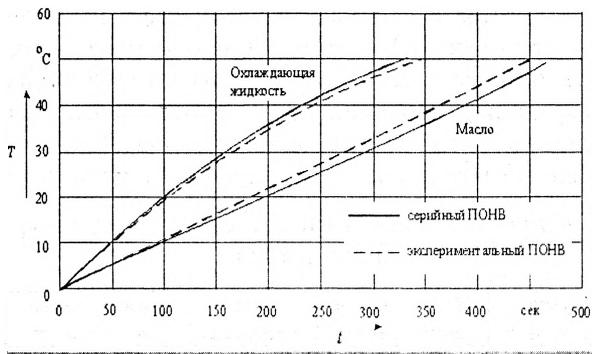


Рис. 4. Графики прогрева охлаждающей жидкости и масла

4. Перепуск части воздушного заряда, минуя ПОНВ, с целью сохранения его температуры при работе двигателя в области малых нагрузок и холостого хода способствует уменьшению периода задержки воспламенения и снижению выбросов СН и твердых частиц, так как температура свежего заряда на данных режимах возрастает на  $20 \pm 25$  °C.

5. Применение регулятора температуры наддувочного воздуха сокращает на 6–8 % время переходного процесса двигателя, при мгновенном наборе номинальной нагрузки.

6. Применение предложенного регулятора температуры не требует разработки специальной конструкции охладителя, так как за счет допол-

нительного канала он может применяться на дизелях оснащенных ПОНВ серийной конструкции.

#### Литература

1. Слотин Е. И. Подогрев наддувочного воздуха турбопоршневого двигателя при низких температурах, Ниинформтяжмаш, «Двигатели внутреннего сгорания», – 1978. – № 4. С. 13–15.
2. Слотин Е. И. О влиянии условий окружающей среды на показатели работы транспортного дизеля с турбонаддувом. Труды МАДИ, «Автомобильные двигатели внутреннего сгорания», Вып. 178, – М., – 1978. – С. 33–36.
3. Молодцов Н. И. Охлаждение наддувочного воздуха дизелей. Ниинформтяжмаш, – М., – 1966.
4. Пат. № 6510 РБ, МКИ<sup>6</sup> F 02 В 29/04, 33/44. Двигатель внутреннего сгорания Вершина Г.А., Тамкович Е.С., Янченко П.Н. – Оpubл. Информационный бюллетень «Изобретения, полезные модели и промышленные образцы» №3, Минск, 2004 г.; приоритет 03.13.2001.
5. Вершина Г. А., Тамкович Е. С. Теоретические и экспериментальные исследования высокофорсированного дизеля с регулятором температуры наддувочного воздуха. // Вестник Бел. нац. тех. ун-та. – 2005. – № 4. С. 30–34.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Козлов А.И., к.т.н., Герасимова А.Г., к.т.н.

Белорусский национальный технический университет, кафедра «ТЭС»

Вопросы энергобезопасности республики и соответственно стратегия ресурсосбережения в первую очередь энергоэффективность особенно актуальны в настоящее время из-за стремительного роста цен на теплоэнергоресурсы (ТЭР) и необходимости их импорта.

Так из 35 млн. тонн условного топлива (т.у.т.) потребляемых РБ на долю импорта ТЭР приходится не менее 80%, не говоря о таких ресурсах как сталь и другие материалы, применяемые в энергетике.

Весомую долю энергопотребления для выработки пара и горячей воды в промышленности и ЖКХ приходится на котельные, которых по данным Проматомнадзора в республике насчитывается 8446 (более 15 тысяч котлов), потребляющие до 7 млн.т.у.т. [1].

Снижение энергоемкости 1 Гкал тепловой энергии (ТЭ) в промышленных и коммунальных котельных достигается по двум основным направлениям:

- увеличение объема использования местных видов топлива (МВТ), в первую очередь древесных отходов, вторичных энергоресурсов (ВЭР) и торфа;
- внедрение ресурсосберегающих технологий (РТ) в т.ч. энергоэффективного оборудования, в первую очередь котлов.

Рассмотрим эти аспекты.

Классическая схема получения ТЭ (пар, горячая вода) состоит из трех стадий (рис. 1).

Проанализируем, какие факторы влияют на эффективность использования энергии и материалов.

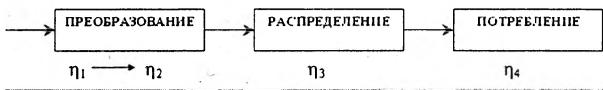


Рис. 1. Классическая цепочка получения ТЭ:  $\eta_1$  — КПД «брутто»;  $\eta_2$  — КПД «нетто»;  $\eta_3$  — КПД распределения;  $\eta_4$  — КПД потребления

Эффективный КПД равен

$$\eta_{эф} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \quad (1)$$

Преобразование

Для газообразного, жидкого и твердого топлива функциональную зависимость КПД «брутто» можно представить следующим образом

$$\eta_1 = f(Q_n(X), W, G, d, A, \alpha, T_{ок}, T_{мон}, n_1, n_2, \dots), \quad (2)$$

где  $Q_n$  — теплотворная способность, кДж/кг;  $X$  — хим. состав топлива;  $W$  — влажность;  $G$  — тип горелочных устройств;  $d$  — размер частиц;  $A$  — содержание минеральной части в топливе;  $\alpha$  — коэффициент расхода окислителя;  $T_{ок}$  — температура окислителя (воздух);  $T_{мон}$  — температура топлива;  $n_1, n_2, \dots$  — прочие факторы.

Оценка КПД показала четкую зависимость

$$\eta_{эф}^{газ} > \eta_{эф}^{жс} > \eta_{эф}^m, \quad (3)$$

где  $\eta_{эф}^{газ}$ ,  $\eta_{эф}^{жс}$ ,  $\eta_{эф}^m$  — эффективный КПД газообразного, жидкого и твердого топлива, соответственно.

Это объясняется в первую очередь тем, какой вид топлива используется в котле. Конечно, наиболее предпочтительным является газообразное топливо. В этом случае до минимума сводятся затраты, и неслучайно, все современные котлы используют газ.

Так, доля природного газа потребляемого в республике в 2005 году составила 22,8 млн.т.у.т. (77,2 %) и все другие источники энергии: биомасса, отходы древесины (МВТ) стремятся превратить в газообразное топливо.

Однако, использование МВТ, доля которых на выработку тепловой энергии должна быть доведена до 25%, осложняется целым рядом обстоятельств: влажностью, зольностью, размерами частиц, заготовкой, удаленностью источников МВТ от котельной, и самое главное их калорийностью ( $\beta = Q_n^p / Q_{y.m.}$ ). Калорийный эквивалент различных видов топлива показан в табл. 1 [2]. Немаловажное значение также имеет и цена поставщика (лесного хозяйства).

В процессе выработки пара и горячей воды возникают неизбежные потери  $\Delta\eta$

$$\eta_2 = \eta_1 - \Delta\eta = \eta_{нетто} \quad (4)$$

Здесь

$$\Delta\eta = f(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, n_{1,2,3, \dots}), \quad (5)$$

где  $K_1$  — затраты на подготовку топлива к сгоранию;  $K_2$  — вид вырабатываемого теплоносителя (вода, пар), продувка;  $K_3$  — затраты на химводоподготовку воды, дэарацию,  $K_4$  — затраты э/э на вентиляторы, дымососы, водяные насосы;  $K_5$  — собственные затраты;  $n_{1,2,3, \dots}$  — прочие факторы.

Таблица 1. Калорийный эквивалент различных видов топлива

Вид топлива	Калорийный эквивалент	Вид топлива	Калорийный эквивалент
ПГ	~ 1,15	Дрова	~ 0,27-0,18
Нефть	~ 1,43- 1,49	Отходы	~ 0,36-0,05
КУ	~ 0,87-0,68	Лигнины	~ 0,27
Торф	~ 0,34-0,37		

В табл. 2 представлены ориентировочные КПД «брутто» и КПД «нетто» [2], оценка которых ясно показывает, какой вид топлива с теплотехнической точки зрения предпочтителен. Этим и объясняются основные мероприятия по созданию энергосберегающих технологий и оборудования. К ним в первую очередь можно отнести:

- внедрение стальных котлов с соответствующим КИП и А, позволяющим оптимизировать работу ( $\alpha_{opt}$ ), пуски и остановки котла, до минимума снизить температуру уходящих газов (газообразное топливо), вплоть, при многократном охлаждении дымовых газов приблизить теплотворную способность топлива, до высшей (использование тепла конденсации пара);
- внедрение частотно-регулируемых электроприводов насосного и воздуходувного оборудования, горелочных устройств, эффективных теплообменников типа  $\alpha$  - Лаваль и ряда других.

Таблица 2. Ориентировочные КПД «брутто» и КПД «нетто»

Вид топлива	η, %		η, %	
	Паровые	Водогрейные	Пар	Вода
Газ	90	92	80	82
Мазут	87	91	74	77
КУ	75	80	70	74
Торф	72	66	50	55
Дрова	60	62	40	45

Распределительная сеть

Эффективность распределительной сети зависит от следующих факторов:

$$\eta_3 = f(l, T, \Phi, M, \Delta H, \dots, n), \quad (6)$$

где  $l$  — длина трубопровода;  $T$  — температура теплоносителя;  $\Phi$  — теплотехнические характеристики изоляции;  $M$  — моральный износ;  $\Delta H$  — гидравлические потери;  $n$  — прочие факторы.

В качестве примера приведем нормируемые потери по трубопроводу ТЭ (табл. 3) [3].

Таблица 3. Нормируемые потери по трубопроводу (Ø 108 мм)

Температура рабочей среды, °С	20	50	100	150	200	250
Удельные тепловые потери q, Вт/м	13	28	50	76	87	112

Из табл. 3 ясно видно, что чем выше температура теплоносителя, тем больше потери. Фактические потери ТЭ с учетом изношенности в первую очередь изоляции, гораздо выше (по нашим оценкам в 2–3 раза, а то и больше). Особенно это относится к трубопроводам пара.

Среднестатистическое значение  $\eta_3 \approx 80\%$  от величины КПД «нетто» [2].

Основными мероприятиями по сокращению расхода ресурсов при транспортировке на наш взгляд являются.

1. Перевод котла на водогрейный режим. При этом достигаются следующие преимущества:

- снижение потерь тепла в 2–3 раза, в т.ч. и в процессе преобразования т.к.  $t_{гв} \approx 100-110\text{ }^\circ\text{C}$ , а  $t_{пара} \approx 200\text{ }^\circ\text{C}$  (см табл.1,2);

- нет дэарационных систем;
- более надежный учет расхода пара;
- возможность применения пластмассовых труб,  $t \leq 130\text{ }^\circ\text{C}$  и снижение гидравлических потерь (насосы малой мощности).

2. Применение более эффективных изоляционных материалов, позволяющих:

- сократить время холостого хода;
- уменьшить толщину теплоизоляции при сохранении нормативных тепловых потерь;
- снизить трудоемкость монтажа;
- продлить срок службы до 20-25 лет.

3. Децентрализация с установкой в местах максимальной удаленности от котельной ( $l_{max}$ ) мобильных (передвижных) котлов.

4. Конденсатоотводчики.

5. Использование современных компенсаторов и шаровой запорной арматуры.

6. Наиболее ярким решением повышения эффективности в процессе преобразования и распределения является установка когенерирующих систем, пример показан на рис. 2.

Т.е. с созданием такого типа технологий можно решить сразу несколько задач: получение э/э и ТЭ.

7. Внедрение количественного и качественного регулирования.

Все это позволит в соответствии с государственной программой на 2006-2010 гг (Указ Президента РФ № 339 от 25.08.2005) снизить расход на транспорт ТЭ в объеме 25,5 тыс.Гкал/год (3640 млн.т.у.т).

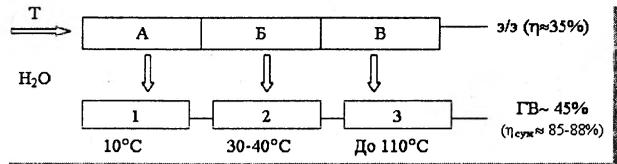


Рис.2 Установка когенерационных установок с выработкой э/э и тепла: А — тепло охладж. антифриза; Б — тепло охлаждения двигателя; В — тепло дымовых газов

Конечные потребители

Именно на этой решающей стадии определяется эффективность энергетической системы, т.к. здесь в процессе преобразования тепловой энергии срабатывает второй закон термодинамики — «тепловая ловушка»

$$\eta_4 < \eta_{теор} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (7)$$

При этом значение  $T_2$  определяется целым рядом условий поставщика ТЭ: температурой возврата обратной сетевой воды, конденсата и т.д.).

С одной стороны для повышения  $\eta_4$  надо  $T_2 \rightarrow \min$ , а с другой стороны для повышения  $\eta_1$  и  $\eta_2$  надо  $T_2 \rightarrow \max$ . КПД конечной стадии  $\approx 80-90\%$ , причем нижнее значение характерно для паровой системы.

Таким образом, даже в нормируемых вариантах величина эффективного КПД 50–55% [2], т.е. около половины входящей в систему энергии теряется в силу различных причин на этих стадиях и из 7 млн.т.у.т. полезно используется  $\approx 3,5$  млн.т.у.т.

Здесь и возникают задачи, как найти в конкретных условиях, наиболее разумные экономически оправданные решения — уменьшить расход ТЭР, не снижая выработки продукции.

Технико-экономические расчеты показали, что нужно в первую очередь снижать конечное потребление до минимальных значений за счет различных мероприятий. Приоритетность этого направления показана на рис. 3.

Пример

Котельная потребляет ТЭР  $\sim 100$  ГДж (рис.3А.). В результате внедрения определенных организационных и технологических решений конечное потребление снизилось на 10 ГДж (23,8%) при том же объеме продукции (рис.3Б.) и при неизменном КПД преобразования и распределения. Исходное потребление уменьшилось на 28 ГДж.

Повысив КПД преобразования и распределения (рис.3В) и оставив потребление на прежнем уровне — 42 ГДж мы получим выигрыш 100 – 65 = 35 ГДж, а если увеличим КПД на всех стадиях (рис.3Г.) расход ТЭР снизится на 100 – 47

=53 ГДж, т.е. в два раза. Это показывает, что наиболее приоритетным направлением является этап конечного потребления.

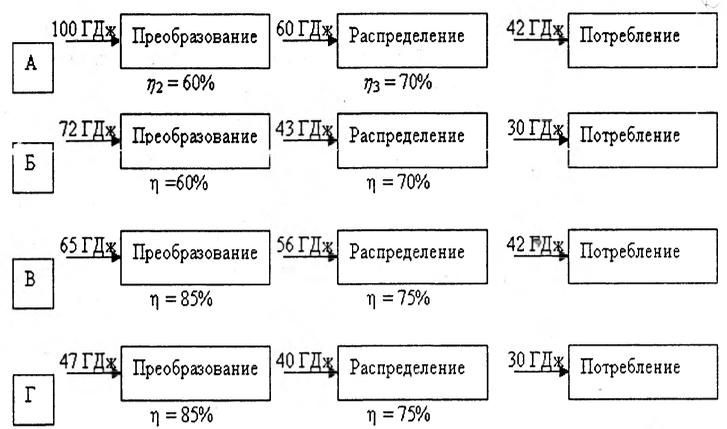


Рис.3. Пример повышения энергоэффективности энерго-снабжения

**Выводы**

Оценивая вышесказанное можно утверждать, что всегда можно найти экономичное и рациональное энергосберегающее решение, учитывая термодинамические и теплотехнические препятствия.

**Литература**

1. Программа до 2010 года // Энергия и менеджмент.— 2005. — №5. — С. 4 – 5.
2. Инструкция по нормированию расходов топливно-энергетических ресурсов для котельных номинальной производительностью 0,5 Гкал и выше. Комитет энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь. Минск, 2002. – 100с.
3. Методические указания по определению нормативных потерь в водяных и паровых сетях. РД РБ 34.33.301. Минск, 1995.

УДК 62-235

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГИДРООБЪЕМНОЙ ТРАНСМИССИИ ПОГРУЗЧИКА С БОРТОВЫМ ПОВОРОТОМ

*Котлобай А.Я., к.т.н., доцент, Котлобай А.А., инженер  
Белорусский национальный технический университет*

Одной из тенденций развития однокосовых погрузчиков строительной отрасли является использование гидрообъемных трансмиссий, обеспечивающих бесступенчатое регулирование скорости и плавность передачи крутящего момента к ведущим колесам; реверсирование движения; возможность автоматизации выбора оптимального режима работы трансмиссии; простоту конструкции и легкость обслуживания; свободу компоновки; облегчение управления и повышение маневренности.

В колесных и гусеничных погрузчиках с бортовым поворотом за двигателем устанавливается раздаточный редуктор, приводящий два (и более) гидронасосов [1]. Каждый из насосов приводит во вращение гидромотор борта, связанный через редуктор с колесом (звездочкой) борта.

Реализация гидрообъемной трансмиссии погрузчика с одним насосом привода ходового оборудования позволит отказаться от громоздкого редуктора привода насосов.

При использовании одного насоса на привод двух гидромоторов колес бортов необходимо обеспечить деление потока рабочей жидкости

насоса по напорным магистралям гидромоторов. Точность деления потока рабочей жидкости определит курсовую устойчивость машины при прямолинейном движении. Построение гидрообъемной трансмиссии с одним насосом и точным делением потока рабочей жидкости по напорным магистралям гидромоторов бортов может оказаться более предпочтительным с точки зрения обеспечения курсовой устойчивости машины, чем использование двух насосов бортов, управляемых оператором исходя из внешней обстановки. Сложность поддержания прямолинейного движения машины с двумя насосами проявляется при работе машины в зоне технологических скоростей при неустойчивой работе насосов с малыми расходами рабочей жидкости.

Задача совершенствования гидрообъемной трансмиссии погрузчика может решаться по двум направлениям [2]: применения двухпоточных насосов; применения гидравлических агрегатов деления — суммирования потока рабочей жидкости насоса (дозировочные системы).

В рамках реализации первого направления может быть применен аксиально-поршневой насос с модернизированным опорно-распределительным диском [3].

Основой гидросистемы (рис. 1) является насосный моноагрегат НА, представляющий собой совокупность регулируемого аксиально-поршневого насоса хода НХ, шестеренного нерегулируемого насоса подпитки контуров привода хода НП, нерегулируемого аксиально-поршневого насоса привода рабочего оборудования НО и системы клапанов.

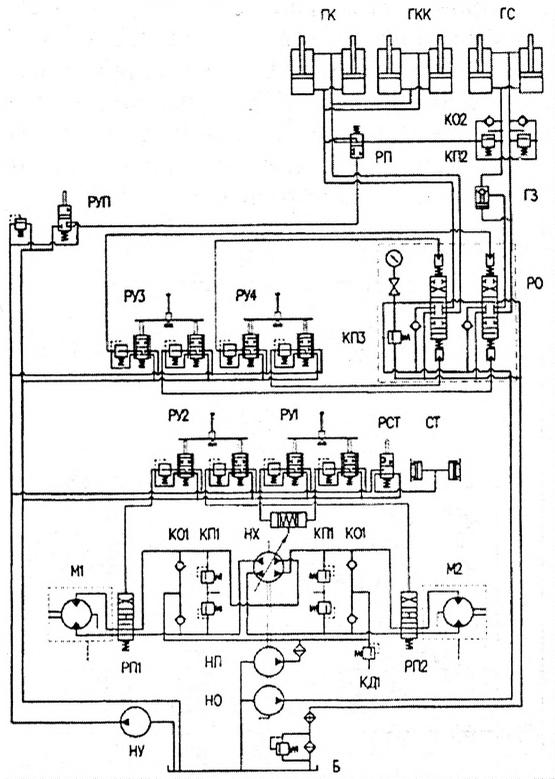


Рис. 1. Гидросистема погрузчика на базе двухконтурного насоса ходового оборудования

Особенностью моноагрегата является двухконтурный регулируемый аксиально-поршневой насос НХ. Подача обоих контуров насоса может изменяться от нуля до номинального значения, как в положительном, так и в отрицательном направлении, обеспечивая прямолинейное движение погрузчика вперед и назад с плавным регулированием скорости.

Использование одного насоса НХ требует применения дополнительной гидроаппаратуры для рассогласования скоростей колес бортов при повороте [4].

Для маневрирования машины гидросистема оснащена золотниковыми распределителями поворота РП1, РП2, обеспечивающими поворот с необходимым радиусом.

Гидроприводы моторов колес погрузчика состоят из контура насоса НХ, предохранительных

клапанов КП1, клапанов заполнения КО1, клапана давления подпитки КД1, золотниковых распределителей поворота РП1, РП2, и гидромоторов колес М1, М2.

Управление ходом погрузчика осуществляется посредством двух двухконтурных дифференциальных распределителей управления РУ1 и РУ2, конструктивно выполненных в виде 4-направленного джойстика. Джойстики питаются шестеренным насосом управления НУ, установленным на двигателе погрузчика.

Конструкция распределителя поворота обеспечивает в нейтральном положении прямое подключение секции насоса к мотору. В положении золотника, близком к среднему, обеспечивается плавающее положение гидромотора колеса. Дальнейшее перемещение золотника вызывает реверсирование гидромотора.

Гидросистема рабочего оборудования погрузчика состоит из насоса рабочего оборудования НО, управляемого 2-секционным золотниковым распределителем РО и гидроцилиндров – подъема стрелы ГС, опрокидывания ковша ГК и корректирующих положение ковша ГКК. Для предотвращения динамических перегрузок в линии управления гидроцилиндрами подъема стрелы установлены предохранительные клапаны КП2. Сброс жидкости в случае их срабатывания происходит через клапана КО2 в соответствующую сливную линию. Дополнительно поршневые полости гидроцилиндров подъема стрелы оснащены гидрозамком ГЗ.

Корректирующие гидроцилиндры ковша ГКК установлены на стреле. При подъеме стрелы гидроцилиндрами ГС поршень корректирующего цилиндра вытесняет часть жидкости в соответствующую полость гидроцилиндра ГК, чем обеспечивается неизменность положения ковша относительно земли при подъеме стрелы.

Управление секциями распределителя РО осуществляется дифференциальными распределителями РУ3 и РУ4, по конструкции аналогичными РУ1 и РУ2.

Для защиты системы от перегрузок при выполнении рабочих операций в гидрораспределитель РО встроен предохранительный клапан КП3.

Удержание погрузчика в заторможенном состоянии осуществляется стояночной тормозной системой, состоящей из тормозных многодисковых механизмов задних колес СТ и распределителя управления РСТ.

Для обеспечения плавающего положения ковша, что необходимо для некоторых технологических операций, имеется контур плавающего положения, состоящий из распределителя управле-

ния плавающим положением РУП и исполнительного распределителя РП.

Одним из недостатков гидрообъемной трансмиссии погрузчика является малый диапазон изменения скоростей движения. Существенным резервом увеличения диапазона изменения скоростей погрузчика может быть изменение режима работы насоса привода рабочего оборудования. Для увеличения скоростного диапазона погрузчика при транспортном движении насос НО может быть включен в напорные магистрали гидромоторов М1, М2.

В рамках реализации второго направления для привода ходового оборудования применяется однопоточный аксиально-поршневой насос переменной производительности (рис. 2). Гидросистема оснащена модульной дозирующей системой ДСП, работающей в режимах деления и суммирования потоков. ДСП обеспечивает независимость контуров гидромоторов М1, М2.

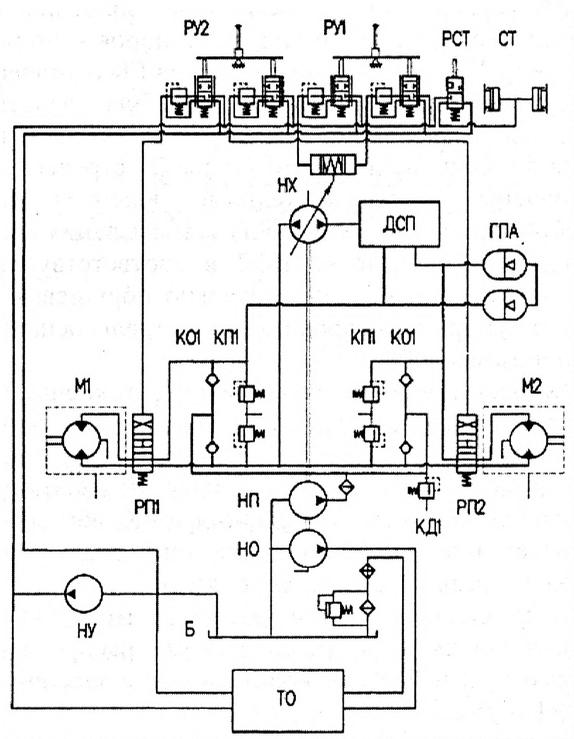


Рис. 2. Гидросистема погрузчика на базе однопоточного насоса ходового оборудования и модульной дозирующей системы

Известны модульные дозирующие системы, реализованные на базе одноцилиндровых возвратно-поступательных гидромашин [5]. Плунжер дозирующего модуля образует две торцевые рабочие полости, каждая из которых циклически связана с напорной магистралью потребителя, и с источником давления, и баком, при использовании дозирующего модуля в режимах делителя и

сумматора потоков. Цикличность подачи рабочей жидкости в напорные магистрали гидромоторов требует введения в гидросистему гидропневматических аккумуляторов ГПА, включаемых в напорные магистрали гидромоторов М1, М2 [6].

Возможны технические решения модульных дозирующих систем на базе крановых распределителей [7]. Рабочая жидкость у такого распределителя подводится в осевой канал вращающегося вала и раздается потребителям через радиальный канал вала. Привод вала кранового распределителя может осуществляться от вала шестеренной гидромашины, работающей в режиме гидромотора.

Использование такой модульной дозирующей системы ДСП в гидросистеме погрузчика (рис. 3) позволит применить два насоса, реализованных в едином блоке: однопоточные НХ и НО.

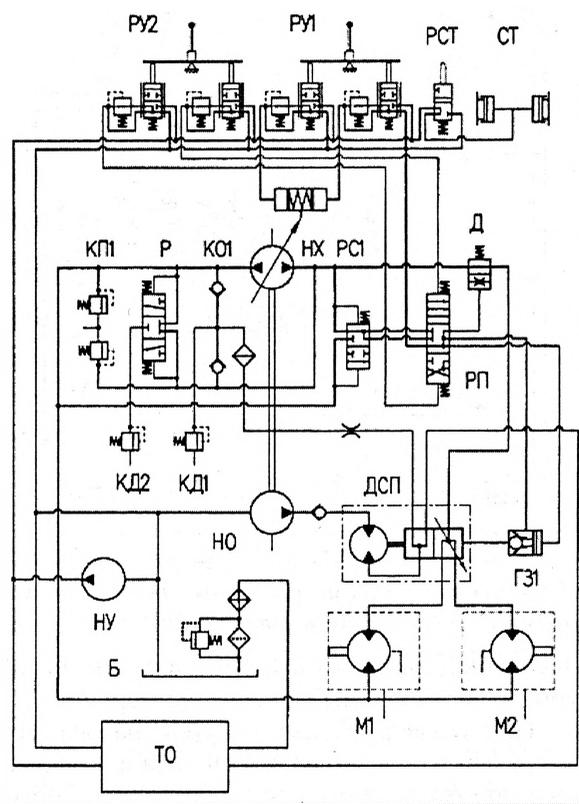


Рис. 3. Гидросистема погрузчика на базе однопоточного насоса ходового оборудования и модульной дозирующей системы с регулированием параметров расхода рабочей жидкости

Один модуль ДСП делит поток рабочей жидкости насоса НО на два: один — на привод рабочего оборудования ТО, второй — на подпитку насоса НХ. Поскольку насос НО имеет постоянную производительность, а НХ — переменную, шестеренная гидромашина ДСП включается в напорную магистраль насоса НО. Модуль ДСП с регулированием параметров рас-

хода рабочей жидкости по напорным магистралям гидромоторов колес М1, М2 позволяет обеспечить различную частоту вращения гидромоторов колес М1, М2, и маневрирование машины.

Регулирование параметров расхода рабочей жидкости по напорным магистралям гидромоторов колес М1, М2 обеспечивается осевым перемещением вала ДСП [7, 8], посредством соединения торцевой управляющей полости, запертой гидрозамком ГЗ1, с насосом НХ, либо сливом в бак Б через трехпозиционный гидрораспределитель поворота РП. В напорной магистрали распределителя поворота РП установлен распределитель согласования РС1, включающий распределитель РП в напорную магистраль насоса НХ при реверсировании его. При подаче рабочей жидкости в управляющую полость ДСП при прямом ходе машины в напорную магистраль насоса НХ включается дроссель Д, ограничивающий расход жидкости в полости гидромоторов колес М1, М2.

Создание гидрообъемной трансмиссии погрузчика на базе многопоточных насосных агрегатов и модульных дозирующих систем позволит исключить из состава трансмиссии механические устройства привода насосов, увеличить диапазон изменения рабочих скоростей машины, полностью реализовать все положительные качества гидрообъемных передач.

#### *Литература*

1. Петров В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин. – М.: Машиностроение, – 1988. – 248 с.
2. Леонович И.И., Котлобай А.Я., Котлобай А.А. О модернизации структуры многомоторных приводов технологических машин. Современные методы проектирования машин: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Выпуск 2. Том 3. Проектирование приводов машин. Минск УП «Технопринт». – 2004. – с. 75 – 82.
3. Котлобай А.Я., Котлобай А.А. Аксиально-поршневая гидромашин. Патент РБ № 1543U. АБ № 3 (42) 2004 г.
4. Леонович И.И., Котлобай А.Я., Котлобай А.А. Гидрообъемная трансмиссия самоходной машины. Патент РБ № 1690U. АБ № 4 (43) 2004 г.
5. Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Маров Д.В. О создании гидравлических модульных дозирующих систем приводов машин. Вестник Белорусского национального технического университета, 2005, №2.
6. Пилипенко В.М., Котлобай А.Я., Котлобай А.А. Гидрообъемная трансмиссия самоходной машины. Патент РБ № 1480U. АБ № 3 (42) 2004 г.
7. Леонович И.И., Котлобай А.Я., Котлобай А.А. Насос шестеренный. Патент РБ № 1982U. АБ № 2 (45) 2005 г.
8. Котлобай А.Я., Котлобай А.А. Дозирующие агрегаты трансмиссий технологических машин. Промышленная безопасность, 2006, №1.

## **АРМИРОВАННЫЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ТРУБЫ С ЗАДАННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

*И.Г. Новик, А.Э Сечко*

*Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения НАН Беларуси*

Трубы из термопластов эффективно используются в технике, но диапазон рабочих давлений и температур эксплуатации таких труб ограничен [1].

Поскольку преимущества полимеров в качестве трубного материала совершенно очевидны и использование их при производстве труб, предназначенных для более высоких рабочих давлений, крайне желательно, такие трубы должны быть конструктивно усилены.

Исследования и разработки в данном направлении весьма активно уже в течение ряда лет ведутся в зарубежных странах. В Республике Беларусь имеются как технологические возможности организации производства труб из армированных термопластов, так и потенциальные потребители таких труб.

В Научно-исследовательском центре проблем ресурсосбережения Национальной Академии наук Беларуси проводились работы по разработке технологии изготовления труб из термопластичных полимеров, армированных волокнами.

Для достижения требуемых характеристик применяли различные методы упрочнения. Один из вариантов — создание многослойной структуры с армирующими слоями, в частности, армирование полимерных труб высокопрочными волокнами, воспринимающими напряжение, возникающее в стенке трубы при повышении внутреннего давления. В качестве наполнителя в экспериментах использовали стеклоровинг марок ЕС13–2400–30А, выпускаемый ОАО «Полоцк–

Стекловолокно», и РБО 24–2400–76 (ТУ 5952–05763895–047–98) производства Гусь – Хрустального стеклозавода (Россия). Разрывная прочность стекловолокна ЕС13–2400–30А не менее 1 кН, РБО 24–2400–76 – 1,2 кН.

В качестве матричного полимера в основном использовали полипропилен (ПП) марки каплен (ТУ 2211–015–00203521–99) с показателем текучести расплава не менее 20 г/10 мин при 230 °С. Для изготовления стеклоармированных лент применяли и другие типы матричных полимеров — полиамид-6, вторичный полиэтилентерефталат, смеси полимеров. В матричный полимер могут быть введены также красители, модификаторы, стабилизаторы и другие добавки, не снижающие механические свойства и не приводящие к значительному повышению вязкости расплава. В частности, в матричный ПП при изготовлении лент вводили сажу в количестве до 1 масс. %.

Для формирования высокопрочных армированных труб и оболочек наиболее подходит процесс непрерывной намотки. Современные технологические линии намотки в качестве связующих материалов используют терморезистивные смолы на основе эпоксидных, полиэфирных и др. матриц. Для данных связующих достаточно хорошо изучены и рассчитаны основные технические параметры намотки. Актуальной является разработка аналогичной технологии на основе термопластичных смол.

#### Ленточная технология

Технология формирования армированных труб включает процесс получения высокопрочных лент из армированных термопластов и линию устройства намотки, обеспечивающих консолидацию лент [2].

Отдельные технологические стадии предложенной технологии были промоделированы и отработаны в лабораторных условиях. Армирующую ленту получали на экструзионной установке ЧП-32, оснащенной щелевой головкой индивидуального изготовления, путем нанесения расплава полимера с пропиткой волокнистой структуры ткани. В качестве армирующего элемента использовали технические тканые материалы (преимущественно стеклоткани). По данной технологической схеме получены образцы армирующей ленты на основе полимерной матрицы из полиэтилена низкого давления (ПЭНД), полиэтилена высокого давления (ПЭВД), полипропилена (ПП) и полиамида (ПА) со степенью пропитки стеклоткани до 80%.

Армирующую ленту шириной 50 мм использовали для отработки технологии намотки окруж-

ного армирующего слоя. Обязательным условием намотки полимерной ленты является наличие источника ее нагрева выше температуры плавления полимерной матрицы на 50–80 °С. В качестве источника нагрева может применяться пламенная газовая горелка, ИК-лазер либо ИК-лампы. В лабораторных экспериментах для намотки ленты использовали ИК-лампы.

При помощи разработанного намоточного устройства (рис. 1), оборудованного лампами ИК-нагрева типа КГ220-2000-20, производили намотку армирующего слоя на металлическую оправку с последующим снятием полученной армированной трубы, или намотку с приплавлением на герметизирующую полимерную оболочку. Намоточное устройство состоит из подающей бобины 1 с армирующей лентой 2. Натяжение ленты с заданным усилием  $N$  осуществляется при помощи фрикционного механизма. С помощью укладчика 3 армирующая лента под заданным углом наматывается на вращающуюся металлическую оправку (герметизирующую полимерную оболочку) 4. Прижимной ролик 5 служит для консолидации укладываемых слоев ленты. Для разогрева полимерной армирующей ленты используется ИК-нагреватель 6.

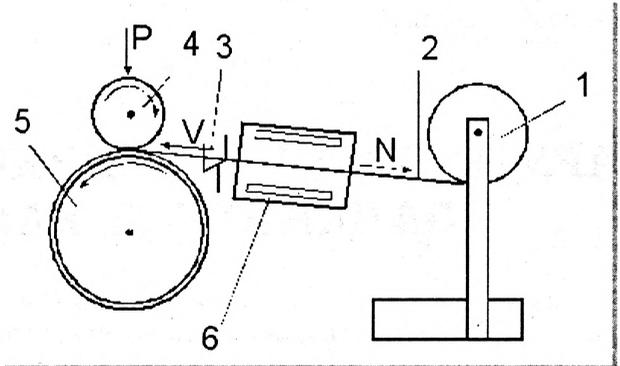


Рис. 1. Схема намотки армирующей тканевой ленты

Намоточное устройство установлено на каретке манипулятора индивидуального изготовления, который обеспечивает заданную скорость вращения и продольного перемещения оправки. Угол намотки ленты устанавливается изменением положения устройства на стойке. Намотка проводилась в один ручей.

Свободный конец ленты проходит через устройство ИК-нагрева и крепится к оправке. ИК-нагреватель устанавливается на расстоянии 10–30 мм от места контакта ленты с поверхностью оправки. Скорость подачи ленты зависит от времени ее прогрева при обеспечении требуемой прочности консолидации наматываемых слоев и опре-

деляется экспериментально. В данном случае она составляла до 3,5 м/мин. Продольное перемещение ленты выбиралось таким образом, чтобы за два оборота оправки получить смещение на эффективную ширину ленты. Натяжения ленты при намотке составляло  $30 \pm 5$  Н.

Для оценки механических свойств полученных образцов проведены испытания на прочность при растяжении кольцевых образцов [3].

Для оценки механических свойств были изготовлены кольцевые образцы из труб следующих видов:

- 1) стандартная полимерная труба ГОСТ 18599-2001 в качестве оболочки;
- 2) опытная труба из стеклоткани Эз-200 пропитанная ПП;
- 3) полимерная труба ПЭ 32, армированная лентой Эз-200, пропитанная ПЭВД (6 слоев);
- 4) полимерная труба ПЭ 32, армированная лентой Эз-200, пропитанная ПП (4 слоя);
- 5) полимерная труба ПЭ 32, армированная лентой Эз-200, пропитанная ПП (2 слоя).

В результате испытаний были определены пределы прочности при разрыве (табл. 1).

Таблица 1. Расчетные данные предельного гидравлического давления образцов армированных труб

Тип трубы	Толщина стенки, мм	Внутренний радиус, мм	Предельное гидравлическое давление, МПа
Тип 1	2,9	1,75	3,0
Тип 2	3,5	2,0	10,5
Тип 3	4,5	1,75	9,2
Тип 4	6	1,75	11,3
Тип 5	4	1,75	5,6

Для сравнения характеристик труб из традиционно применяемых полимерных материалов и многослойных труб с армированной структурой с учетом зависимости прочностных характеристик от геометрии трубы, произвели расчет толщины стенок труб при одинаковых условиях нагружения. В качестве предельного гидравлического давления принимали предельную величину гидравлической прочности армированного образца.

Расчеты показали, что при использовании армированных труб 2 типа материалоемкость может быть снижена в 4–6 раз при замене армированными труб из ПЭВД, в 2–3 раза при замене труб из ПЭНД, до 2 раз при замене труб из ПП, до 2 раз при замене труб из ПВХ, в 1,5–2 раза замене труб из полистирола, в 2 раза при замене труб из АБС пластика, в 4–12 раз при замене труб из политетрафторэтилена.

При использовании армированных труб 3 типа вместо ПЭВД материалоемкость может быть снижена в 2–5 раз, до 2 раз при замене ПЭНД, до 1,5 раз при замене ПП и ПВХ, в 2–6,5 раз при замене политетрафторэтилена; при использовании полистирола, полиамида и АБС-пластика весовые характеристики труб приблизительно равны.

При использовании армированных труб 4 типа материалоемкость может быть снижена в 2,5–4 раза по сравнению с трубами из ПЭВД, до 2 раз при замене ПЭНД, до 1,5 раз при замене ПП, ПВХ и полистирола, в 2–7 раз при замене политетрафторэтилена; при использовании полиамида и АБС-пластика весовые характеристики труб приблизительно равны.

При использовании армированных труб 5 типа материалоемкость может быть снижена в 1,5–5 раз при замене армированными трубами ПЭВД, в 1,5–4 раза при замене политетрафторэтилена; при использовании ПЭНД весовые характеристики приблизительно равны, трубы из ПП, ПВХ, полистирола, АБС-пластика будут легче, чем армированные 5 типа.

**Кабельная технология**

По одностадийной схеме были отработаны технологические операции по получению армирующего элемента по кабельной технологии [3].

Схема технологического процесса приведена на рис. 2. Для отработки технологии использовался экструдер ЧП-32 (1), оснащенный кабельной головкой (3). В качестве армирующих элементов использовали полиамидные, и стеклянные нити (4). В качестве полимерной матрицы — сополимер этилена и винилацетата 118 (СЭВА) и полипропилен (ПП).

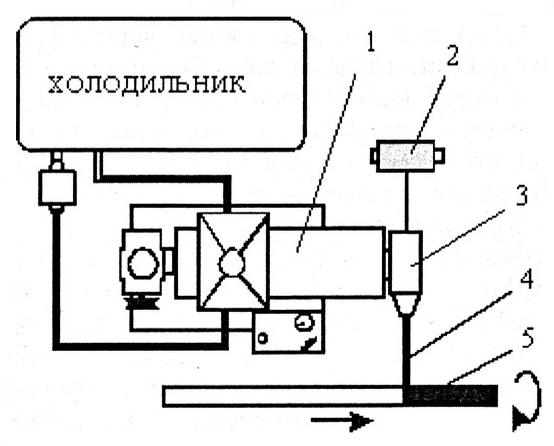


Рис. 2. Схема формирования армирующей ленты по кабельной технологии

С помощью экструдера расплав полимера подавали в кабельную головку, через которую протягивали волокна. При выходе из головки волокна покрывались слоем расплава полимера (4), и ис-

пользовались для намотки образцов армированных полимерных труб (5).

В зависимости от скорости протяжки и производительности экструдера получали армирующую ленту с содержанием волокнистого наполнителя 30–50 (по массе). Предел прочности при растяжении полученных лент составляет 120–160 МПа.

Для намотки образцов лент использовали манипулятор, на который устанавливали оправку. При высоких скоростях намотки армирующая нить покрывается тонкой полимерной оболочкой с содержанием наполнителя более 35% (по массе) при использовании стеклоровинга. Такая лента при укладке на полимерную оболочку (из ПЭВД или ПП) быстро остывает, а стекловолокна местами прорывают оболочку полимера и выступают наружу.

При более низкой скорости протяжки стеклоровинга и более высокой температуре расплава формируется нить с содержанием наполнителя около 25%. Как показали эксперименты, именно такая армирующая нить однородней всего укладывается на вращающуюся оправку с формированием сплошного силового окружного слоя.

Экспериментальные исследования показали, что описанная технология получения армированных труб наиболее производительна и характеризуется наиболее низкой энергоемкостью при намотке полимерной армированной ленты на вращающуюся оправку.

#### *Соединения армированных труб*

Наличие герметизирующей оболочки и матрицы силовых слоев, выполняемых из термопластичного полимера, позволяет рассматривать в качестве возможного сварное соединение, наиболее распространенное в практике соединения пластмассовых труб [4]. В свою очередь многослойная структура трубы требует, чтобы ее торец был надежно защищен от окружающей и транспортируемой среды. В противном случае возможно попадание транспортируемого вещества под давлением внутрь стенки трубы через капилляры армирующего слоя с последующим ее расслоением и разрушением.

В связи с изложенным, процесс известной электромужфтовой сварки предложено изменить: сварное соединение расположить на внутренней поверхности трубы. Подвергающейся обработке поверхностью в результате является внутренняя сторона трубы. В подготовленные таким образом концы трубы вставляются и привариваются сварочные гильзы. После этого концы трубы свариваются с помощью электромужфты. От обычной такая муфта отличается большей монтажной длиной и армированной структурой [5].

Более простыми и технологичными являются раструбные соединения. Для повышения надежности соединения волокна в продольном силовом слое располагают вдоль диагонали буртика. В других вариантах исполнения продольным силовым слоям придают форму раструба, укладывая их на предварительно намотанные упорные кольца.

При изготовлении труб из армированных термопластов буртик может быть отформован в два приема. Сначала на конце трубы в нагретом состоянии формируется раструб — путем давления на внутреннюю поверхность увеличивается диаметр трубы. Затем в нагретом состоянии раструб сжимается в осевом направлении, в результате на конце трубы образуется утолщение. Подбором геометрии формообразующих элементов и режимов формования можно достичь благоприятной ориентации волокон продольных силовых слоев. Для повышения надежности соединения волокна в продольном силовом слое необходимо располагать вдоль диагонали буртика. В других вариантах исполнения продольным силовым слоям придают форму раструба, укладывая их на предварительно намотанные упорные кольца.

С использованием разработанного опытного оборудования и технологических процессов показана возможность получения армированных термопластичных труб с улучшенными эксплуатационными параметрами. Работа выполнялась в рамках задания ГНТП «Ресурсосбережение».

#### *Литература*

1. Каган Д.Ф. Трубопроводы из пластмасс. М.: Химия, 1980. – 296 с.
2. Ставров В.П., Гоманькова А.Б., Карпович О.И., Свириденко А.И. Конструкция и технология изготовления труб из термопластичных полимеров, армированных непрерывными волокнами // Материалы 24-й междунар. конф. «Композиционные материалы в промышленности». – Ялта, 2004. С. 336-338
3. Сечко А.Э., Новик И.Г., Цехан В.Н. Технология изготовления армированных термопластичных труб // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: Сборник докл. 6-й международной науч.-техн. конф. – Гродно, ГрГУ, 2005 – (в печати).
4. Новик И.Г. Трубопроводы из полимерных материалов. Справочное пособие. Мн.: БОИМ, (в печати) -128 с.
- Роберт Экерт. Новый способ соединения армированных полиэтиленовых труб. // Полимерные трубы. №3 (8) октябрь 2005.

## КОМБРИГ ДАНУКАЛОВ



*Алексей Федорович Данукалов... Он был одним из организаторов и руководителей партизанского движения на территории Витебской области. Герой Советского Союза. Подполковник. Командир легендарной партизанской бригады «Алексей».*

За ним охотились агенты абвера и гестапо, а он погиб в бою при выходе из блокады. Сын русского народа Алексей Данукалов остался вечно молодым

партизанских бригад, действовавших на территории Беларуси в 1942–1944 годах. В разное время в состав бригады «Алексей» входило 20 партизанских отрядов.

Когда в июле 1944 года эта бригада, которой к тому времени уже было присвоено имя А.Ф. Данукалова, соединилась с частями Красной армии, в ее составе насчитывалось 1817 человек.

Партизаны проводили диверсии на вражеских коммуникациях, в том числе на железных дорогах Витебск–Орша, Витебск–Смоленск, Полоцк–Молодечно. В июле–ноябре 1942 года они разгромили вражеские гарнизоны в деревнях Шапурово, Будянка, Лешево Суражского, Стасево Лизненского районов. В декабре 1942 – феврале 1943 года данукаловцы участвовали в боях, когда фашисты проводили карательную операцию в Бешенковичском районе, трижды нападали на гарнизон в деревне Бачейково, участвовали в Лепельской операции 1943 года. В «рельсовой войне» на железнодорожных участках Подсвилье–Крулевщина, Замосточье–Лычковское, Сосновка–Замосточье подорвали более 2,9 тысяч рельсов.

Трудное положение в феврале 1943 года создавалось в треугольнике Витебск–Городок–Сураж. Против дислоцировавшихся там партизанских бригад М.Ф. Бирюлина, Д.Ф. Райцева, А.Ф. Данукалова и нескольких отрядов 1-й Белорусской бригады немцы бросили крупные силы пехоты, которую поддерживал бронепоезд, более десяти артиллерийских и минометных батарей, бомбардировочную авиацию.

Партизаны стойко обороняли занимаемые позиции. Бои продолжались почти месяц. Отступив под натиском превосходящих сил противника в район щербовских лесов, они оказались отрезанными от своих баз. Положение некоторых отрядов было отчаянным. И все-таки они выстояли. Партизанские комбриги совершили обходный маневр, в результате которого партизаны атаковали фашистов с тыла и заставили их спешно ретироваться. Таким образом, широко задуманная операция полного разгрома данукаловцев не принесла немецкому командованию желаемых результатов.

К апрелю 1944 года гитлеровцы подготовили

— одним из самых молодых партизанских комбригов Беларуси. Ему было только 28.

В мемуарах начальника Белорусского штаба партизанского движения П.З. Калинина «Партизанская республика» есть такие строки: «Радовали донесения Витебского обкома партии. Только за полмесяца — с 1 по 15 августа 1942 года партизанская бригада А.Ф. Данукалова уничтожила на шоссе Витебск–Смоленск и Витебск–Орша двадцать шесть автомашин с военными грузами и пять легковых — с гитлеровскими офицерами, при этом было убито более трехсот фашистов. За тот же период на железнодорожных магистралях Витебск–Смоленск и Витебск–Орша пущено под откос два воинских эшелона. Всего за август бойцы бригады организовали крушение пяти железнодорожных составов, взорвали шесть мостов, сожгли семьдесят пять автомашин, уничтожили более тысячи фашистов».

Алексей Федорович Данукалов родился 29 февраля 1916 года в Саратовской области. В 20 лет окончил Балашовский техникум механизации сельского хозяйства, в 1941 году — Иркутское военное училище. С 1937 года Алексей уже в рядах Красной армии.

С первых дней Великой Отечественной войны он находился на фронте. Был участником обороны Лепеля, Орши, Смоленска. В августе 1941 года Данукалов в Смоленской области из групп таких же, как сам, попавших в окружение военнослужащих организовал партизанский отряд «Родина».

В апреле 1942 года этот отряд был преобразован в партизанскую бригаду «Алексей», командиром которой и стал А.Ф. Данукалов.

Пожалуй, это была самая крупная из всех пар-

крупную экспедицию против партизан Полоцко-Лепельской зоны. Подтянули части и подразделения общей численностью до 6 дивизий. Немецкое командование намеревалось отбросить партизан в западную часть зоны. После этого в ходе операции под кодовым названием «Фрюлингсфест» («Праздник весны») войска группы фон Готтберга, не вводимые до особого распоряжения в действие, должны были завершить разгром. 16 апреля бригада «Алексей» вступила в бой. Накал сражения нарастал. 17 апреля противник вызвал авиацию. Три часа 15 самолетов вели массированную бомбардировку. Затем последовали атаки пехоты. Два часа шел неравный бой. Только к вечеру партизаны оставили свою позицию у деревень Ветче и Храменки. В ночь на 19 апреля 14-й отряд «Истребитель» и 17-й отряд «Мститель» снова заняли эти деревни.

«На участке бригады «Алексей» обстановка тяжелая, — доносил в Белорусский штаб партизанского движения руководитель оперативной группы ЦК КП(б)Б и БШПД В.Е. Лобанок. — Фашисты почти непрерывно подвергают позиции партизан артиллерийскому и минометному обстрелу, бомбят с воздуха. В бою за деревню Казимирово атаковую вражескую пехоту поддерживали танки, самоходные пушки, до пятнадцати бомбардировщиков. Часто бои доходят до рукопашных схваток. Командир бригады Алексей Данукалов умело организует маневренную оборону, личным примером увлекает партизан на подвиги».

Бригада Данукалова сорвала попытки гитле-

ровцев прорвать оборону на узком участке и выйти в тыл соседним формированиям. Тройное численное превосходство наступающих частей, усиленных бронетанковыми, мотомеханизированными, артиллерийско-минометными и авиационными средствами, было сведено на нет. В беспримерной злобе 27 апреля 1944 года массированному удару вражеской авиации была подвергнута деревня Великие Дольцы, где размещался штаб бригады «Алексей», самолеты засыпали бомбами всю деревню, изрешетили дома, в том числе и помещение штаба бригады. Осколком одной из бомб был убит комбриг Алексей Данукалов.

А в ночь на 3 мая 1944 года вместе с другими отрядами его бригада прорвала блокаду. Разгромив вражеские гарнизоны данукаловцы отомстили врагу за смерть своего комбрига.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 15 августа 1944 года Алексею Федоровичу Данукалову было посмертно присвоено звание Героя Советского Союза. Белорусский народ хранит благодарную память об этом мужественном талантливом человеке. В городе Лепеле на могиле Данукалова поставлен памятник. Его именем названы улицы в Витебске, Лепеле, Лиозно, Ушачах, колхоз в Лиозненском районе и совхоз в Сенненском районе, школа в деревне Сосновка Витебского района. В деревне Ковали Лиозненского района создан музей А.Ф. Данукалова, установлен его бюст.

*По материалу Э. Иоффе  
«Р», 25.02.2006 г.*

## ИЗ ИСТОРИИ АВИАЦИИ

# РАССКАЗ О ПЕРВЫХ АВИАТОРАХ

*Клеванец Ю.В., г. Осиповичи*

Во все времена находились чудачки, которые хотели летать, как птицы. С развитием техники таких чудачков становилось все больше и больше.

Несмотря на смертельную опасность, люди с модельными крыльями прыгали с колоколен, пытались подниматься вверх на больших змеях, строили некие крылатые чудовища с паровыми машинами.

Перелом наступил с изобретением бензинового двигателя. Теперь уже десятки ненормальных в

разных странах вдохновенно искали пути в небо. Между тем подавляющее большинство серьезных ученых относились скептически к затеям энтузиастов. Так, председатель Британского королевского научного общества лорд Кельвин заявил в 1902 году: «Очень далек тот день, когда человеческие существа смогут летать, как птицы». Лорд не знал, что еще в прошлом, 1901 году в Америке Вильбур и Орвилл Райты добились устойчивого

парящего полета на планере собственной конструкции и решили теперь строить настоящий самолет. До прихода «очень далекого дня» осталось ждать около года.

Автор этой статьи нашел дословный рассказ Вильбура Райта. Здесь будут приводиться выдержки из той давней работы. Кто же расскажет об изобретении лучше самого изобретателя?

Люди, увлеченные какой-либо деятельностью, говорят, что толчком в их работе послужило какое-то событие в детстве. Райты не были исключением. Вильбур вспоминает, что еще в 1878 году их отец принес домой некую вещь, которую старательно прятал от детей, а потом вдруг бросил в воздух. Вместо того, чтобы упасть, этот предмет перелетел через комнату, ударился о потолок и еще некоторое время трепетал там, как бабочка. Это была механическая игрушка, которую тогда называли «геликоптер» — два винта из тростника и бумаги с резиновым моторчиком. Мальчики немедленно окрестили ее «летучей мышью» и запускали до тех пор, пока не сломали. Тогда-то они и решили сами сделать такую же. Игрушка была сделана. За ней последовала «летучая мышь» больших размеров. Она, несмотря на все ожидания, летала хуже. Мальчики еще не знали, что для поднятия в воздух машины в два раза большей по размерам, требуется в 8-мь раз больше энергии.

Братья очень внимательно читали всю литературу, какую только могли найти по авиации. Надо сказать, что человек, отваживающийся в те времена на полет, был одновременно и летчиком, и конструктором, и исследователем. Так, немец Отто Лилиенталь, совершивший около 2000 полетов на балансирном планере своей конструкции, оставил несколько опубликованных работ, где давались формулы расчета подъемной силы крыла в зависимости от его площади, угла установки и выгнутости профиля. Лилиенталь стал заочным учителем братьев Райт.

Впрочем, Лилиенталь — предшественник не только братьев Райт. К нему ездил из России Н.Е. Жуковский, научился летать на его планере.



Вильбур и Орвилл Райты

Учитель подарил ученику один из своих аппаратов (в последующем — почетный экспонат музея МВТУ).

Но вернемся к Райтам. Таким же, как и Лилиенталь, заочным учителем для них стал и американец Октавиан Шанют. Шанют, следуя по стопам Лилиенталя, усовершенствовал его планер: сделал бипланную ко-

робку, ввел горизонтальное и вертикальное рулевое управление. Только крен он парировал движениями собственного тела.

В то время в авиации было два направления. Одно, имевшее своими представителями таких людей, как профессора Лэнгли и Максим, отдавало свое внимание двигателю. Второе, представителями которого были Лилиенталь и Шанют — технике самого полета. Симпатии Райтов принадлежали второй школе — отчасти из-за юношеской нетерпеливости, отчасти из-за того, что их привлекала сама красота полета, любое проявление смелости и находчивости.

Уже в 1900 году братья в собственной велосипедной мастерской построили первый планер, взяв все лучшее от аппаратов Лилиенталя и Шанюта. Полеты проводились с дюн вблизи деревни Китти Хаук на берегу Атлантического океана. Планер оказался неудачным — неправильно выбран угол установки крыла. Однако, не решившись на пилотирование, братья проделали все-таки несколько полетов с грузом вместо летчика.

В 1901 году был сделан новый аппарат с увеличенным крылом и более выпуклым профилем. Райты теперь совершенно отказались от балансирного управления. «Балансирование летчика кажется с первого взгляда очень простым, но вместе с тем все исследователи говорят единогласно, что это именно то, с чем труднее всего справиться», — говорит Вильбур Райт. Братья, наблюдая за парением птиц в дюнах (тут и они сами стали заправскими исследователями, рассуждения Вильбура на тему полета орла, ястреба или сарыча впечатляют, в этом он — настоящий знаток), решили применить перекашивание крыла для управления по крену — как у птиц.

При первых же полетах выяснилось, что у нового планера неправильно рассчитана центровка. Положение летчика пришлось сместить на 1 фут назад, но и при этом «все время требовалось полное напряжение горизонтального руля, ... чтобы удержать аппарат от снижения или от чрезмерного подъема». Тем не менее, было сделано несколько полетов. Планер часто стремился задрать нос, но летчику, в отличие от Лилиентала, перемещением руля быстро удавалось всякий раз вернуть равновесие. «Это нас успокоило», — говорит Вильбур. Их аппарат, несмотря на просчеты, был сделан все-таки лучше, чем у учителя (в скобках замечу, что Лилиенталь погиб из-за падения на хвост, с которым он не успел справиться). Полеты были по 100–120 метров в длину. Братья занялись экспериментами. Так, измеряя вертикальные и горизонтальную скорости планера, по формулам Лилиентала они вычислили силу сопротивления своего аппарата, которая равнялась 40 англ. фунтам. Следовательно, решили они, при установке мотора в 6 л.с. весом в 100 фунтов, можно сделать попытку моторного полета.

Надо отметить, что и планер, и самолет братьев были все-таки неустойчивыми. Схема, которую они выбрали, «утка» (горизонтальное оперение перед крылом) сама по себе до сего времени не считается самой простой для пилотирования. Ну, а с учетом ошибок при постройке получается, что пилотировать аппарат Райтов теперь может только летчик с квалификацией испытателя. Впрочем, сами конструкторы под впечатлением от наблюдения за полетами птиц очень сильно надеялись на выучку пилота, стремясь приобрести «птичью» реакцию. Надо сказать, что в этом они преуспели.

«При достаточной практике управление аэропланом должно быть таким же инстинктивным, как и балансирующее движение человека при ходьбе. Но вначале ошибки неизбежны, — говорит Вильбур. — Каждый авиатор должен быть готовым к колебаниям скорости и направления. Эти-то колебания вызывают нарушение равновесия и еще много других неожиданностей опасного свойства. Так, порыв ветра может ударить по передней части аппарата, не задевая заднюю, или правое крыло попадет в течение ветра другой скорости и наклона чем левое, и аппарат рискует опрокинуться».

Полеты на планере в 1901 году закончились катастрофой. Рассказ Вильбура Райта: «В этот день опыт производил мой брат Орвилл. После нескольких предварительных полетов... он полетел. Одно крыло поднялось немного выше другого, что заставило аэроплан повернуть налево. Брат подо-

ждал немного, думая, что аппарат сам выправит положение, но так как оно не изменялось, решил прибегнуть к механизму. Но в ту же минуту, как он сделал это, правое крыло внезапно поднялось гораздо выше и, хотя брат не трогал переднего руля, которым придерживалось продольное равновесие, перед машины стал подниматься все выше и выше, пока положение не стало угрожающим. Авиатор, занятый исправлением бокового равновесия, не замечал этого, а наши крики терялись в завываниях ветра. Только когда аэроплан остановился, летчик почувствовал толчок назад и увидел опасность положения. Аппарат понесся с высоты 30 футов по диагонали вниз и упал на землю. Каким-то чудом авиатор остался невредим, но аппарат разбился вдребезги. Этот случай был единственным несчастьем во время наших опытов».

Братья занялись постройкой моторного аппарата. Он был еще больше, чем планер 1901 года, пилот в нем сидел (на планере пилот занимал положение лежа). Поскольку мотор был очень слаб, конструкторы не стали оснащать свой самолет шасси. Они сделали длинный разборный рельс, по которому должна была съезжать колесная тележка. Если полет происходил с холма, тележка разгонялась под действием своего веса и веса самолета. При взлете с равнины к одному концу рельса крепилась металлическая вышка с падающим грузом, который через систему блоков тросиком приводил в движение тележку. Когда самолет доезжал до конца рельса, он уже набирал необходимую скорость и отправлялся в полет, а тележка сваливалась с рельса. В постройке самолета и катапульты для его запуска прошло полтора года.

В конце 1903 года братья со своим аппаратом вновь появились на побережье в окрестностях деревни Китти Хаук.

«Первые полеты на самолете с мотором были совершены нами в декабре 1903 года. Первый полет длился только 12 секунд. Четвертый — 59 секунд.

Весной 1904 года мы возобновили полеты в окрестностях Дэйтона. Новый самолет был тяжелее и сильнее, чем предыдущие. Когда все было готово, сообщение о предстоящих полетах попало в газеты и прибыло человек двенадцать представителей прессы. Мы просили не делать фотографических снимков и хотели по возможности избежать толпы. Всего присутствовало человек 50. Погода была неблагоприятная, дул ветер скоростью всего в 3–4 мили, несомненно, слишком слабый. Но из-за прибывших зрителей не хотелось откладывать испытания. К первому затруд-

нению прибавилось второе: мотор плохо работал. Самолет вовсе не поднялся, и опыт пришлось отложить. На следующий день дело обстояло немного лучше; после планирования на высоте 60 футов самолет спустился».

Неустойчивость аппарата в полете давала себя почувствовать.

«Вскоре мы убедились, что задача равновесия еще далеко не была нами разрешена. Иногда во время поворота самолет вдруг опрокидывался на бок, несмотря на все усилия пилота сохранить равновесие, выправить его. Во время одного из полетов, облетая кругом дерева, на высоте 50 футов, аппарат внезапно накренился на один бок и устремился на дерево. Пилот старался снизиться, но левое крыло все-таки ударило по дереву на высоте 10 или 12 футов от земли и сломало несколько веток».

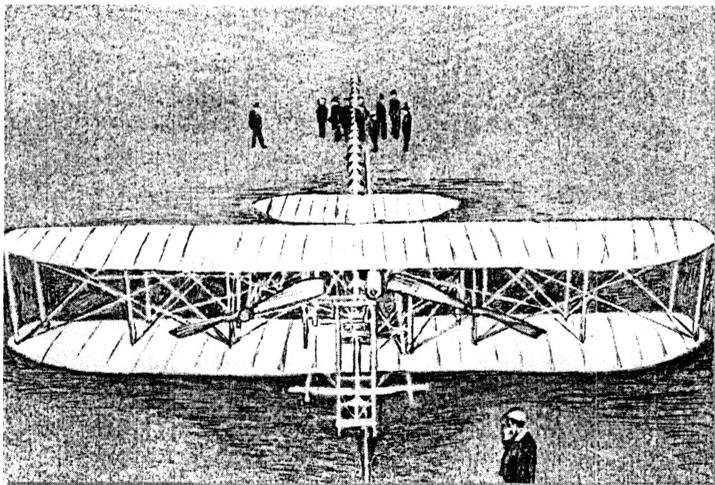
В то время мало кто придавал серьезное значение опытам, производимым Райтами, несмотря на большое количество народа, ежедневно собиравшегося на полетах. В Европе на полеты Райтов смотрели, как на газетную выдумку. Беннет Берлей, военный корреспондент газеты «Дэйли Телеграф», писал, что 4 «публика не имеет, пока что, никакого основания праздновать покорение воздуха».

Райты скоро убедились, что соотечественники не намерены оказывать им никакой поддержки. Все опыты производились за их личный счет и все попытки привлечь деньги богатых американ-

цев оказались напрасными. Тогда они устроили показательный тур по городам Европы. Во Франции они встретили восторженный прием. Орвилл и Вильбур Райты летали в различных местностях Франции и в Берлине. К этому времени относятся их первые полеты с пассажирами. Среди них был Чарльз Струот Роле, скоро сделавшийся учеником Вильбура. Роле погиб в 1910 году вскоре после перелета через Ла-Манш на аэроплане Райта.

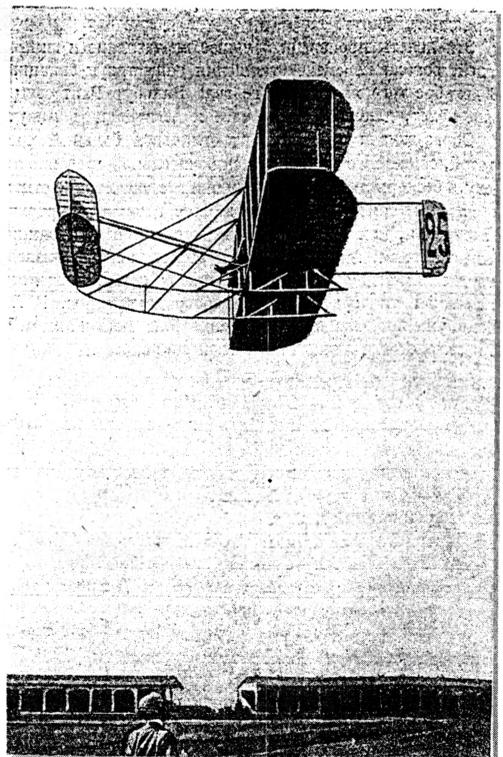
В одном из демонстрационных полетов с пассажиром — лейтенантом Сельфриджем — лопнула велосипедная цепь, которую Райты приспособили для передачи от вала двигателя к винтам. Произошла катастрофа. Самолет упал, Сельфридж погиб, Орвилл Райт сломал ногу. Однако в том же 1908 году неугомонный Орвилл установил наивысшее достижение для своего самолета — полет продолжительностью более часа.

В дальнейшем братья отошли от практической авиации. Они запатентовали усовершенствование типографской наборной машины и занимались издательской деятельностью. Известно также об их судебных исках против тех авиаторов, которые пытались копировать самолет Райтов. Все это уже неинтересно. Главное дело жизни Орвилла и Вильбура, одно из основных событий начала XX века — полет на моторном рукотворном аппарате тяжелее воздуха — было уже сделано.



Самолет братьев Райт

В полете



## ГЕОГЛИФЫ КАМЕНИСТОЙ НАСКИ

*Окончание (начало см. № 4 (29) 2006 г.)*

В журнале «НЛО» была опубликована статья Ю. Морозова «Золотая эскадрилья», в которой приведена интересная информация.

«Золотой эскадрилей» называют совокупность древних крылатых фигурок, выполненных из золота, которые обычно находили в захоронениях индейских вождей. Впервые такие фигурки были найдены в Колумбии в среднем течении реки Магдалена. Они даже выставлялись как экспонаты Музея золота при государственном банке Колумбии, но впоследствии оказалось, что они уж слишком похожи на современные самолеты.

Споры вокруг колумбийских «самолетиков» продолжались до тех пор, пока в 1996 году два исследователя — медик Алгунд Энб и авиационный офицер Петер Белтинг из немецкого города Лер — не изготовили две их увеличенные в 16 раз радиоуправляемые модели. Поскольку по внешнему виду колумбийских «самолетиков» трудно было определить, какого рода двигатель мог на них стоять, Белтинг создал модели двух вариантов — с пропеллером и реактивным двигателем.

«Летные испытания» радиоуправляемых моделей принесли поразительные результаты: они не только летали и маневрировали, но выполняли даже такие фигуры высшего пилотажа, как «бочка» и «петля»! В процессе испытаний обе модели подтвердили высокие аэродинамические качества: даже с выключенными двигателями они уверенно планировали!

После этих «летных испытаний» стало ясно, какие совершенные конструкции летательных аппаратов могли видеть индейцы доколумбовой Америки. И в то же время культура аборигенов того времени не располагала базой для создания таких «летательных аппаратов». Выходит, что золотые поделки индейцев копировали виденные ими реальные объекты, которые могли принадлежать только...

И последнее, что можно сказать по этому поводу... Золотые фигурки самолетов были найдены не только в Колумбии, но и в Коста-Рике, в Венесуэле и... в Перу!..

Допустим, что у древних южноамериканцев действительно были легкие летательные аппараты. Но где же они могли применяться?.. Ответ довольно простой: там, где в любое время имеются восходящие потоки воздуха (так называе-

мые — термики, волны и подсос облаков), способные поднять и удержать на своих «могучих плечах» эти летательные аппараты.

Так вот, оказалось, что одним из таких «идеальных» мест и являются крутые склоны Анд, расположенных в Перу, от океанского побережья до каменистого плато пустыни Наска. Для того чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на метеорологические карты и графики вертикальных разрезов погоды данного района...

На 350-метровом склоне горы, в районе уютной бухты, полого спускающейся к океану, есть гигантский рисунок — трезубец, который многие называют «паракасским Канделябром». Он напоминает симметричный подсвечник для семи свечей. Впрочем, его можно принять и за стилизованное дерево или за три птичьих пера — символ легкости, продолжительного полета в воздухе и т.п.

Существует, казалось бы, достаточно убедительная версия о том, что «паракасский Канделябр», очень хорошо видимый с моря, с давних пор служил ориентиром для местных рыбаков, которые могли укрыться от наступившей непогоды в бухте Паракаса. Однако оказалось, что трезубец можно рассмотреть и с воздуха. При этом его отлично видно как с малых, так и с достаточно больших высот.

По мнению ученых, возраст этого своеобразного знака — примерно два тысячелетия, хотя, если быть откровенным, конкретной датировки его не имеется. Кто и зачем «нарисовал» Канделябр на хорошо видимом месте?..

Авиационным специалистам «паракасский Канделябр», например, напоминает... силуэт двухкилевого летательного аппарата. Возможно, «трезубец» — это своеобразный знак, предназначенный для пилотов планеров, потерявших высоту, и говорящий им: «Лети сюда, здесь всегда есть мощный восходящий поток!»

От Канделябра в глубь материка, как удалось установить, тянется белая, хорошо наблюдаемая только с высоты нескольких сотен метров прямая линия... Она проходит через горы и долины, а заканчивается на подходе к горному плато Наска.

Естественно предположить, что эта «загадочная линия» ЯВЛЯЕТСЯ УКАЗАТЕЛЕМ НАИБОЛЬШЕГО «БЛАГОДЕНСТВИЯ» ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ.

Если современный планер, например, «выпарив» у склона, обозначенного «паракасским Канделябром», полетит по этой указательной линии, то он не только не потеряет высоту, а сможет увеличить ее до 3—4 тысяч метров. Это обстоятельство означает, что даже менее совершенные, чем современные, летательные аппараты древних перуанцев могли летать только за счет снижения на расстояние до 100 километров, а при удачном «парении» — до нескольких сотен километров.

Интересно, что вдоль этой «линии-подсказки» попадаются рисунки... подпрыгивающих существ. Возможно, они как бы предупреждали пилота-планериста о неравномерности (по нашим современным понятиям — турбулентности) воздушного потока.

Имеющиеся на плато «треугольники» информируют планериста о возможном на этой полосе боковом ветре, а «квадраты» — о наилучшем

месте приземления. Стилизованные фигуры птиц, например, могут означать места межполетных стоянок. Именно около них попадают крупные валуны, которые по своей форме и весу вполне годны для «швартовки» планеров.

Особое внимание обращает на себя рисунок «птицы без головы и клюва». Вместо них изображена как бы длинная, изогнутая в семь колен «шея». Не похоже ли все это на развернутый перед планером «трос», «канат» или «резиновый амортизатор»?..

Исходя из всего вышесказанного, так и напрашивается вывод о том, что... каменное плато Наска являлось не чем иным, как «ПЛАНЕРОДРОМОМ» ДРЕВНИХ ПЕРУАНСКИХ АЭРОНАВТОВ!..

*Материал подготовлен Ходариной Л.П.*



**ДАВАЙТЕ  
УЛЫБИТЕСЯ**



**РАЗРАБОТКИ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ**

Физика и техника процессов литья . . . . .	1
Высокопрочные цементуемые стали для тяжело нагруженных зубчатых передач . . . . .	9
Оборудование для реализации технологического процесса нанесения защитных и упрочняющих тонкопленочных покрытий . . . . .	21
Подпрограмма «Технологии» . . . . .	23

**ЮБИЛЕИ**

Физико-технический институт (Краткая историческая справка) . . . . .	26
Гурский Леонид Ильич . . . . .	28

**РАЗРАБОТКИ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ**

Улучшение технико-экономических показателей высокофорсированных дизелей за счет регулирования температуры надвучного воздуха . . . . .	29
Технологические и теплотехнические основы ресурсосберегающих технологий в промышленных котельных . . . . .	31
Совершенствование структуры гидрообъемной трансмиссии погрузчика с бортовым поворотом . . . . .	34
Армированные термопластичные трубы с заданными характеристиками . . . . .	37

**СТРАНИЦЫ ПАМЯТИ**

Комбриг Данукалов . . . . .	41
-----------------------------	----

**ИЗ ИСТОРИИ АВИАЦИИ**

Рассказ о первых авиаторах . . . . .	42
--------------------------------------	----

**ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Геоглифы каменистой Наски . . . . .	46
-------------------------------------	----

Ж «И-М» издается с июля 1998 года. Выходит один раз в три месяца. Подписной индекс 00139.

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков

Журнал зарегистрирован в Госкомитете РБ по печати, свидетельство № 1132 от 21 апреля 1998 года

Главный редактор академик НАН Б С.А. АСТАПЧИК

Редакционная коллегия: М.С. ВЫСОЦКИЙ, ДАШКОВ В.Н., 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

Компьютерный набор, верстка, дизайн Ходарина Л.П.

Журнал выходит на русском и белорусском языках.

Мнение авторов публикуемых материалов может не совпадать с мнением редакции.

Заказчики несут ответственность за содержание своих объявлений и рекламы.

Наш адрес: 220141, г. Минск, ул. Купревича, 10. Тел. 264-43-85, 264-60-10, 226-73-36.

Лицензия ЛП № 02330/0133131 от 30.04.2004 г. Подписано к печати 13.04.2006 г.

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печатных листов 5.

Тираж 475 экз. Заказ № 393 . Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

# НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ

Обсуждение и подготовка  
материала.  
Слева направо: Божок В.П.,  
Гришанович В.М.,  
Мицкевич М.К.,  
Астапчик С.А.,  
Гордиенко А.И.



Верстка и дизайн.  
Ходарина Л.П.



Типографская подготовка.  
Быстрик И.В., Мужин Ю.В.



Печать и комплектовка.  
Селицкая Н.М., Сенькова Е.В.

# МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
Физико-технический институт  
НАН Беларуси

75  
МИНСК • 2006



СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ  
СОЗДАНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

27-29 марта 2006 г.

