

ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 1 (70)
январь – март
2016

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

Учредитель: Общественное объединение
«Белорусское общество инженеров-механиков»
(ОО «БОИМ»)

Главный редактор академик С.А. Астапчик

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

Адрес редакции:
220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодин-
ская, 4)
тел./ факс 203-88-80; 226-73-36
E-mail: mail@boim.by
Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс **00139**

Компьютерная верстка Н.В. Райченко

Подписано в печать 25.03.2016.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.
Тираж 200 экз. Заказ №
Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ
«Физико-техническом институте НАН Беларуси».
Лицензия ЛП № 02330/152 от 14.04.2014 г.
220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

СОДЕРЖАНИЕ

Страницы истории

Внизу полным-полно места: приглашение в
новый мир физики.....2

Материалы конференции «Совре- менные методы и технологии соз- дания и обработки материалов»

Формирование металлических покрытий в
импульсном электромагнитном поле.....5

Разработки ученых и специалистов

Бейнитный чугун или стальной прокат: гра-
ницы возможностей при изготовлении от-
ветственных изделий.....9

Газогенераторные технологии утилизации
горючих технологических и коммунальных
отходов.....22

Основные направления модернизации
траншейных машин.....26

Устройство трубных резервуаров резервно-
го газоснабжения объектов газопотребления.....31

Получение методом центробежного литья
градиентных композиционных материалов35

Патентуем сами

Предупредительно-оповестительная ин-
формационная система для автотранспорт-
ных средств.....39

Из истории авиации

Труженик неба.....44

УДК 539.2

Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики*

Р. Ф. Фейнман

РИЧАРД ФИЛЛИПС ФЕЙНМАН — (1918–1988) — знаменитый американский физик-теоретик, один из создателей квантовой электродинамики (Нобелевская премия 1965 г.)

В предлагаемой читателям лекции, прочитанной в Калифорнийском технологическом институте на Рождественском обеде Американского физического общества в канун 1960 г., обсуждаются возможности научно-технического направления, которое в наши дни получило название нанотехнологии. Лекция печатается с некоторыми сокращениями; полный текст доступен в Интернете: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman/html>

... Мне хочется обсудить одну малоизученную область физики, которая представляется весьма важной и перспективной и может найти множество ценных технических применений. Речь идет о проблеме контроля и управления строением вещества в интервале очень малых размеров. Внизу (т.е. «внизу или внутри пространства»), если угодно) располагается поразительно сложный мир малых форм, и когда-нибудь (например, в 2000 г.) люди будут удивляться тому, что до 1960 г. никто не относился серьезно к исследованиям этого мира.

Чудеса биологических систем

Поразительны примеры микроскопической, сверхкомпактной записи в биологических системах. В биологии информация не просто записывается, она обрабатывается и используется. Несмотря на то, что сами биологические системы (имеются в виду биоклетки) очень малы, они могут осуществлять весьма разнообразные и очень активные действия: вырабатывать различные вещества, изменять собственную форму и выполнять другие сложные операции. Представьте себе возможности, которые открываются в случае изготовления микроскопических объектов, способных выполнять такие действия!

В сущности, производство таких сверхмалых объектов может быть коммерчески интересным. Например, можно напомнить о некоторых проблемах, связанных с вычислительной техникой. Компьютеры должны хранить огромное количество информации. Очень важно иметь возможность «стирать» предыдущую информацию и записывать на ее место новую, причем всегда жалко уничтожать материал, на котором осуществляется запись. Однако если для записи требуется лишь ничтожный объем легко воспроизводимого вещества, то материал можно не экономить, а просто выбрасывать после считывания информации.

Миниатюризация компьютеров

Существующие вычислительные машины слишком громоздки, и мне хочется обсудить (не вдаваясь в детали практической реализации предлагаемых идей) возможность существенного изменения их размера. Если,

например, диаметр соединяющих проводов будет составлять от 10 до 100 атомов, то размер любой схемы не будет превышать нескольких тысяч ангстрем. Каждый, кто связан с компьютерной техникой, знает о тех возможностях, которые обещает ее развитие и усложнение. Если число используемых элементов возрастет в миллионы раз, то возможности компьютеров существенно расширятся. Они научатся рассуждать, анализировать опыт и рассчитывать собственные действия, находить новые вычислительные методы и т.п. Рост числа элементов приведет к важным качественным изменениям характеристик ЭВМ.

Рассмотрим, например, следующую проблему. Любой из нас без труда воспринимает изображение или лицо другого человека, однако пока не удалось создать компьютер, который был бы способен достаточно быстро воспринимать изображение и распознавать на нем человеческие лица. Разумеется, компьютеры не могут идентифицировать эти лица (пока они способны лишь сопоставить два абсолютно одинаковых изображения). Между тем человек без каких-либо проблем узнает знакомое лицо через много лет, на разных расстояниях или при разном освещении, т.е. микрокомпьютер, заложенный в наш мозг природой, легко справляется с задачей, совершенно непосильной для самых мощных современных вычислительных систем. Причина этого в том, что число логических элементов внутри нашей маленькой черепной коробки (ее можно рассматривать как выполненный из кости корпус этого микрокомпьютера) значительно превышает число элементов в самых высококлассных современных компьютерах, имеющих внушительные размеры. Дело не в том, что существующие компьютеры слишком велики, а в том, что элементы мозга имеют микроскопические размеры, и это наводит меня на мысль о создании субмикроскопических элементов.

Миниатюризация методами напыления

Естественно, нужно задуматься о методах создания таких устройств. Как можно изготавливать такие сверхмалые элементы и какие производственные процессы должны для этого применяться? При мысли об использовании заданным образом расположенных атомов вспоминаются возможности применения тонких напыленных

* Перевод с английского канд. физ.-мат. наук А. В. Хачояна

словес из атомов проводников и изоляторов. Действительно, уже сейчас мы умеем формировать напылением нужные конфигурации, содержащие все требуемые крошечные элементы электрических схем (катушки, конденсаторы, транзисторы и т. п.) в необходимом порядке.

Однако хочется предложить, хотя бы в шутку, и совсем другие методы. Почему бы, например, не производить крошечные компьютеры теми же методами, какими мы производим большие? Почему бы не научиться обрабатывать микроскопические объекты точно так же, как обрабатываются большие изделия, т. е. научиться штамповать или отливать их, сверлить в них отверстия, резать, паять и т. п.?

Давайте всерьез задумаемся над тем, что мешает создать сверхмалую копию какого-либо механического устройства, например обычного автомобиля? Прежде всего должны возникнуть проблемы с точностью обработки деталей. Предположим, что автомобиль изготавлиется с точностью 10^{-5} м (при меньшей точности поршни будут, например, застревать в цилиндрах двигателя и работа машины будет нарушена). При микроскопической обработке следует позаботиться о размерах порядка атомных. Копия автомобиля, уменьшенного в 4000 раз, будет иметь в длину около 1 мм, так что указанная выше стандартная точность обработки деталей двигателя (10^{-5} м) должна в крошечной модели соответствовать размерам порядка 10 атомов (разумеется, если несколько снизить требования к эксплуатационным характеристикам этого микроавтомобиля, то можно дополнительно уменьшить его размеры).

Обсуждение проблем, связанных с созданием столь малых механизмов, ставит перед нами ряд интересных физических проблем. Уменьшение размеров ведет, естественно, к соответствующему уменьшению массы и площадей контактов, так что некоторые параметры механизмов (например, масса и силы инерции) теряют свое значение. Другими словами, мы можем просто считать, что прочность используемых материалов значительно возросла. Более того, механические напряжения и связанные с ними деформации (возникающие, например, во вращающихся деталях) должны значительно уменьшиться (они останутся неизменными лишь в том случае, если скорость вращения возрастет во столько же раз, во сколько уменьшатся размеры). В то же время следует помнить и о зернистой структуре металлов, из-за чего на микроуровне могут возникнуть серьезные проблемы, обусловленные микронеоднородностью материалов. Поэтому, возможно, сверхмалые механизмы следовало бы изготавливать из аморфных веществ, обладающих высокооднородной структурой (типа пластика или стекла).

Некоторые проблемы могут возникнуть и при изготовлении деталей электрооборудования (например, медных проводов или магнитных устройств), поскольку магнитные свойства объектов существенно зависят от их размеров (это связано с так называемой доменной структурой магнитных материалов). Поэтому нам придется задуматься о возможностях создания и использования магнитов, состоящих не из миллионов доменов (как принято считать в физике), а из одного единственного домена. Разумеется, схему электропитания автомобиля нельзя просто уменьшить в несколько тысяч раз, а следует существенно изменить. Но я не считаю, что

при этом могут возникнуть какие-то принципиальные осложнения.

Проблемы смазки

Гораздо более важные проблемы должны возникнуть при обеспечении смазки таких сверхмалых механизмов. Дело в том, что вязкость смазочных масел растет по мере уменьшения размера зазоров (и при соответствующем увеличении скорости). Если не стремиться к очень высоким скоростям и применять вместо масла керосин или другие жидкости, то ситуация может оказаться не безнадежной. Однако я хочу обратить внимание на то, что реально можно обойтись, вероятно, вообще без смазки! Существует масса других возможностей. Например, микроскопические подшипники смогут работать и в сухом состоянии, поскольку выделяющееся в таких устройствах тепло может рассеиваться настолько легко и быстро, что подшипники не будут нагреваться.

Однако мгновенный отвод тепла в микрообъемах не позволит нагреть до достаточной температуры бензин в камере сгорания, вследствие чего в микроавтомобильчиках нельзя использовать привычные двигатели внутреннего сгорания. Придется поискать какие-то другие химические реакции, позволяющие получать энергию при низких температурах (возможно, наилучшим решением станет просто подача электроэнергии от внешнего источника).

Сотни крошечных манипуляторов

Я думаю о создании системы с электрическим управлением, в которой используются изготовленные обычным способом «обслуживающие роботы» в виде уменьшенных в четыре раза копий «рук» оператора. Такие микромеханизмы смогут легко выполнять операции в уменьшенном масштабе. Я говорю о крошечных роботах, снабженных серводвигателями и маленькими «руками», которые могут закручивать столь же маленькие болты и гайки, сверлить очень маленькие отверстия и т. д. Короче говоря, они смогут выполнять все работы в масштабе 1:4. Для этого, конечно, сначала следует изготовить необходимые механизмы, инструменты и руки-манипуляторы в одну четвертую обычной величины (на самом деле, ясно, что это означает уменьшение всех поверхностей контакта в 16 раз). На последнем этапе эти устройства будут оборудованы серводвигателями (с уменьшенной в 16 раз мощностью) и присоединены к обычной системе электрического управления. После этого можно будет пользоваться уменьшенными в 16 раз руками-манипуляторами! Сфера применения таких микророботов, а также микромашин может быть довольно широкой — от хирургических операций до транспортирования и переработки радиоактивных материалов.

Я надеюсь, что принцип предлагаемой программы, а также связанные с ней неожиданные проблемы и блестящие возможности понятны. Более того, можно задуматься о возможности дальнейшего существования уменьшения масштабов, что, естественно, потребует дальнейших конструктивных изменений и модификаций (кстати, на определенном этапе, возможно, придется отказаться от «рук» привычной формы), но позволит изготовить новые, значительно более совершенные устройства описанного типа.

Ничто не мешает продолжить этот процесс и создать сколько угодно крошечных станков, поскольку не имеется ограничений, связанных с размещением станков или их материалоемкостью. Их объем будет всегда намного меньше объема прототипа. Легко рассчитать, что общий объем 1 млн уменьшенных в 4000 раз станков (а следовательно, и масса используемых для изготовления материалов) будет составлять менее 2% от объема и массы обычного станка нормальных размеров.

Понятно, что это сразу снимает и проблему стоимости материалов. В принципе, можно было бы организовать миллионы одинаковых миниатюрных заводов, на которых крошечные станки непрерывно сверлили бы отверстия, штамповали детали и т. п.

По мере уменьшения размеров мы будем постоянно сталкиваться с очень необычными физическими явлениями. Все, с чем приходится встречаться в жизни, зависит от масштабных факторов. Кроме того, существует еще и проблема «слипания» материалов под действием сил межмолекулярного взаимодействия (так называемые силы Ван-дер-Ваальса), которая может приводить к эффектам, необычным для макроскопических масштабов. Например, гайка не будет отделяться от болта после откручивания, а в некоторых случаях будет плотно «приклеиваться» к поверхности и т. д. Существует несколько физических проблем такого типа, о которых следует помнить при проектировании и создании микроскопических механизмов.

Атомная архитектура

И наконец, рискну предложить еще одну идею (рассчитанную, возможно, лишь на очень далекое будущее), которая мне представляется исключительно интересной. Речь идет о возможности располагать атомы в требуемом порядке — именно атомы, самые мелкие строительные детали нашего мира! Что произойдет, когда мы научимся реально выстраивать или укладывать атомы поштучно в заданной последовательности (разумеется, при этом будут сохраняться какие-то ограничения, например укладка атомов в структуры, соответствующие нестабильным химическим соединениям).

С древних времен человечество старательно добывает из недр Земли минералы, перерабатывает их в огромных количествах и изготавливает из них различные предметы. Мы заботимся о химической чистоте веществ, о составе и уровне примесей и т. д., однако при этом мы всегда работаем с тем набором и распределением атомов, которые предоставляет нам природа. Например, у нас нет возможности изучать или использовать вещество с «шахматной» структурой, где атомы примесей аккуратно располагаются на расстоянии 100 нм друг от друга.

Мы даже не очень задумываемся над тем, что можно сделать со слоистой структурой, состоящей из правильно уложенных слоев атомов. Какими свойствами, вообще говоря, могут обладать материалы, построенные из атомов, которые мы сами будем располагать в заданном порядке? Это очень интересный вопрос с точки зрения чистой теории, и я уверен (хотя, конечно, на эту тему нельзя пока сказать ничего определенного), что, научившись регулировать и контролировать структуры на атомном уровне, мы получим материалы с совершенно неожиданными свойствами и обнаружим совершенно необычные эффекты.

Предположим, например, что мы создали кусочек вещества, внутри которого сформированы маленькие электрические цепи из конденсаторов и катушек индуктивности (или их твердотельные аналоги). Такие цепи, с размером от 100 до 1000 нм, могут быть снабжены антеннами и, будучи взаимосвязаны, могут покрывать довольно значительную площадь. Такие наборы сетей и антенн обычного размера уже в настоящее время широко используются для излучения радиоволн, поэтому существует вероятность, что аналогичный набор «атомарных» антенн будет излучать световые волны или даже точно направленные пучки света.

Применительно к сверхмалым электрическим цепям наиболее важными представляются проблемы, связанные с электрическим сопротивлением. Дело в том, что с уменьшением размеров цепи ее собственная частота возрастает (поскольку длины волн собственных колебаний уменьшаются), однако толщина поверхностного слоя (так называемого скин-слоя) при этом уменьшается пропорционально лишь квадратному корню из характерного размера, вследствие чего при расчете электрического сопротивления должны возникать дополнительные сложности. Возможно, впрочем, что эти проблемы удастся решить, используя какие-либо специальные технические приемы (сверхпроводимость при достаточно низкой частоте и т. п.).

При переходе к изучению самых маленьких объектов предлагаемого типа (например, электрических цепей, составленных из нескольких атомов) мы сталкиваемся со многими разнообразными явлениями, создающими новые возможности. Поведение отдельных атомов подчиняется законам квантовой механики и не имеет аналогов в макроскопическом масштабе, поэтому «внизу» мы будем постоянно наблюдать новые закономерности и эффекты, предполагающие новые варианты использования. Например, очень возможно, что в мире атомов, вместо привычных электрических цепей, мы научимся работать с квантовыми уровнями энергии, с взаимодействиями квантовых спинов и т. п.

Известные нам принципы физики не запрещают создавать объекты «атом за атомом». Манипуляция атомами, в принципе, вполне реальна и не нарушает никаких законов природы. Практические же трудности ее реализации обусловлены лишь тем, что мы сами являемся слишком крупными и громоздкими объектами, вследствие чего нам сложно осуществлять такие манипуляции.

И, наконец, размышляя в этом направлении, мы доходим до проблем химического синтеза. Сейчас химики используют для синтеза сложные и разнообразные приемы. Как только физики создадут устройства, способные оперировать отдельными атомами, многие методы традиционного химического синтеза могут быть заменены приемами «атомной сборки». Мне представляется особенно интересным то, что физики, в принципе, действительно могут научиться синтезировать любое вещество, исходя из записанной химической формулы. Химики будут заказывать синтез, а физики — просто «укладывать» атомы в предлагаемом порядке. Развитие техники манипуляции на атомарном уровне (а я убежден, что этого нам просто не избежать) позволит решить многие проблемы химии и биологии. . .

Из материалов Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева), 2002, т. XLVI, №5

УДК 669

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

¹В. Миронов, ¹П. Станкевич, ²И. Бойко, ³М. Кольбе

¹Лаборатория порошковых материалов, Рижский Технический Университет,

²Институт Технологии Машиностроения, Рижский Технический Университет,
г. Рига, Латвия

³Высшее техническое училище Западной Саксонии. Институт машиностроения
г. Цвиккау, Германия

В настоящей работе рассмотрены электрофизические аспекты получения, обработки и удаления металлических покрытий с использованием импульсного электромагнитного поля (ИМП). Показаны результаты исследований влияния основных параметров ИМП, а также свойств материалов основы и покрытия на эффективность процесса. Особое внимание уделено методам получения покрытий из медной фольги, а также технологии удаления медных напыленных покрытий. Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании в Рижском техническом университете и в Высшем техническом училище Западной Саксонии (Цвиккау, Германия).

In the present work the electro-physical peculiarities of producing, machining and destroying of metallic coatings by using pulse electromagnetic field (PEMF) are examined. The results of research on the influence of PEMF parameters, base material and coating material on the effectiveness of the coating process are offered. The emphasis is on producing of coating from the copper foil and destroying of sprayed copper coatings. Experiments were done in Riga Technical University (Riga, Latvia) and West-Saxony Technical School (Zwickau, Germany).

Введение

Среди многочисленных методов нанесения металлических покрытий на металлические поверхности известны методы, использующие воздействие импульсного электромагнитного поля (ИМП). Особый интерес представляют методы магнитно-импульсной сварки (МИС) и формования трубчатых деталей [1, 2], магнитно-импульсного прессования порошков (МИПП), нанесения и обработки порошковых покрытий [3], сборочные операции в ИМП. Данные методы позволяют использовать высокоинтенсивные ИМП для получения импульсных, в том числе локальных воздействий, что дает возможность получать неразъемные соединения однородных и разнородных металлов в узкой зоне, соединять металлы и неметаллы [4], получать тонкие покрытия [3].

Основными показателями качества получаемых покрытий и соединения их с основой яв-

ляются прочность сцепления ($\sigma_{\text{сц}}$) и факторы, характеризующими поверхность покрытия. На прочность сцепления влияют параметры ИМП, электрофизические и механические свойства материала покрытия и основы, внешние условия при выполнении технологической операции (температура, давление и др.), геометрические факторы изделий (табл. 1).

Для нанесения покрытий в ИМП используют как металлические пластины, трубчатые оболочки, фольгу, так и предварительно спеченные порошковые заготовки [5].

Основы магнитно-импульсного прессования и обработки порошков и порошковых покрытий

Метод МИПП основан на взаимодействии ИМП с обрабатываемым материалом. Эффективность такого взаимодействия определяется зависимостями:

Основные факторы, влияющие на прочность сцепления покрытия при воздействии ИМП

Параметры ИМП	Характеристики материала покрытия	Показатели основы	Дополнительные факторы
Энергия разряда, кДж	Толщина	Электропроводность	Начальный зазор между покрытием и основой
Амплитуда импульсного тока, А	Пористость	Магнитная проницаемость	Площадь поверхности покрытия
Частота импульсного тока, Гц	Электропроводность	Толщина	Температура предварительного нагрева основы
Рабочее напряжение на индукторе, В	Магнитная проницаемость	Твердость	Скорость соударения покрытия с основой
Декремент затухания тока	Твердость и прочность	Прочность	Чистота обработки поверхности

- величина электромагнитного давления P_m ;
- электропроводность и магнитная проницаемость материала;
- прочностные и пластические свойства.

Для повышения P_m необходимо повышать напряженность электромагнитного поля, уменьшить расстояние между индуктором и заготовкой.

Чем выше магнитная проницаемость порошкового материала и его электропроводность, тем выше P_m . Поэтому эффективно обрабатывать в ИМП предварительно спрессованные и спеченные заготовки на основе меди, медных сплавов и некоторые порошковые сплавы на основе железа. Другие материалы можно обрабатывать только через промежуточную среду (оболочку, плиту) из материала с высокой электропроводностью, например, из меди.

Деформируемость порошковой заготовки в ИМП зависит от ее прочностных свойств, как и при статическом деформировании. Однако с увеличением частоты разрядного импульса обнаруживаются эффекты, присущие динамическим методам нагружения: неравномерность материала по сечению, появление трещин и др.

Экспериментальные исследования

Для проведения исследований использовалась магнитно-импульсная установка с максимальной величиной запасаемой энергии 30 кДж с частотой разряда от 15 до 30 кГц. Характеристики оборудования приведены в работах [4–6]. В работе ис-

пользовалась установка МИУ-30 (РТУ) и ВВС-60 (Цвиккау, Германия) (рис. 1). Энергоемкость 60кДж, частота разряда от 30 до 300 кГц: конденсаторный блок (а) и индуктор (б).

Использовались три основные схемы (рис. 2): а) «на обжим» с помощью индуктора, расположенного снаружи; б) «на раздачу» с помощью индуктора, расположенного внутри; в) плоская схема.

В качестве материала основы использовались заготовки из стали 50, а также спеченного железа с пористостью 15–20 % (рис. 3). На стальную основу наносились покрытия из спеченной бронзы (рис. 3, а), кольца из меди М1 на спеченную порошковую заготовку из железо-графита (рис. 3, б). Увеличение уровня энергии более 30 кДж приводило к трещинообразованию покрытий (рис. 3, в). Прочность сцепления ($\sigma_{сц}$) определяли штифтовым методом с помощью универсальной разрывной машины

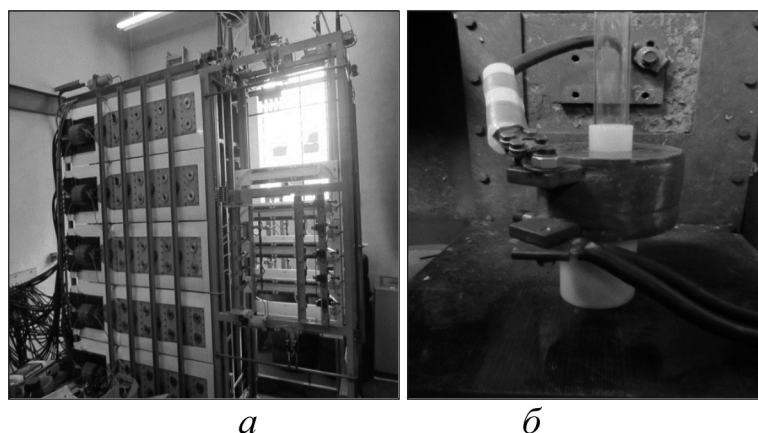


Рис. 1. Магнитно-импульсная установка ВВС-60

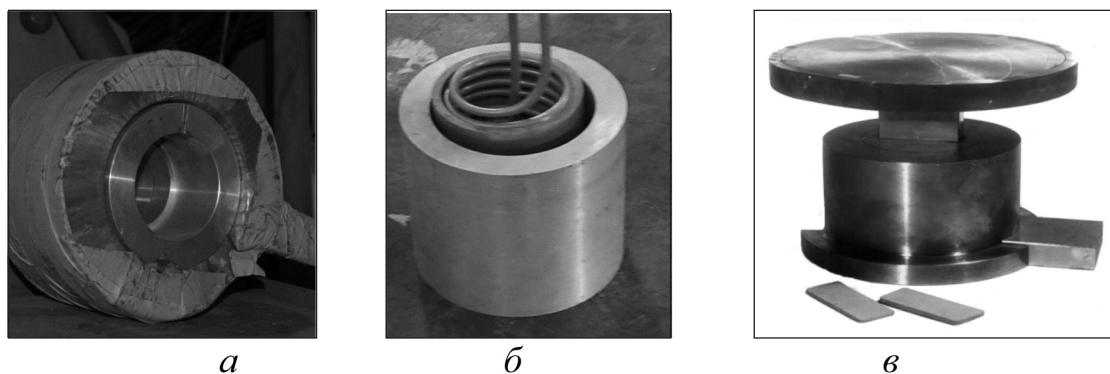


Рис. 2. Схемы обработки в ИМП: а - обжим; б - раздача; в - плоская схема

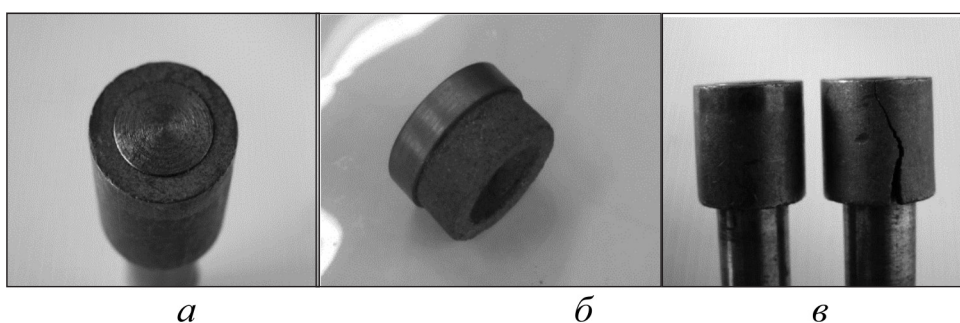


Рис. 3. Образцы с покрытиями с использованием обработки в ИМП

PM-1000. Давление ИМП определяли по результатам измерения импульсного разрядного тока в индукторе. Максимальное значение давления ИМП при экспериментах изменялось в пределах 200–450 МПа.

Были исследованы следующие образцы с покрытиями, полученными с использованием обработки в ИМП рис. 3, а) покрытие из спеченного материала (бронзо-графит БР ОФ10) толщиной 3 мм на цилиндрической стальной заготовке диаметром 12 мм. Длина покрытия 35 мм, исходная пористость – 10 %, энергия 10 кДж. Максимальная прочность сцепления ($\sigma_{сц}$) – 100 МПа; б) покрытие толщиной 1,2 мм и шириной 15 мм). Основа из спеченного железомедного порошкового материала (содержание меди 12 %), пористость – 10 %, наружный диаметр – 35мм, внутренний – 20 мм. Максимальная прочность сцепления ($\sigma_{сц}$) – 35 МПа; в) аналогично, а) при уровне энергии разряда 30 кДж.

Результаты и дискуссия

Исследования показали, что прочность сцепления покрытия с основой ($\sigma_{сц}$) изменялась в пределах от 30 до 150 МПа, при этом она увеличивается при увеличении электромагнитного давления. При этом:

Пористость покрытия из порошковой спеченной бронзы, полученного методом МИПП, после

нанесения на основу уменьшалась с 10 до 5 %.

Установлено, что $\sigma_{сц}$ увеличивается с повышением шероховатости поверхности материала основы.

Повторная обработка ИМП после промежуточного спекания при температуре 950 °С позволила повысить $\sigma_{сц}$ отдельных образцов до 180 МПа.

Схема нанесения и обработки покрытий с использованием индукторов на раздачу оказывается эффективной при внутреннем диаметре заготовки не менее 50 мм. При меньших размерах снижалась стойкость индуктора и эту операцию возможно было осуществить только с применением одноразовых индукторов (рис. 2, б).

Плоская схема (рис. 2, в) представляет интерес для динамического уплотнения порошковых материалов многократными импульсами.

Дополнительно была исследована возможность нанесения тонких покрытий из медной фольги на заготовки, свернутой в рулон (рис. 4, а). Покрытие обжимали в ИМП на установке ВВС-60 с энергией 16 кДж и с частотой разряда 30 кГц [7]. При увеличении энергии разряда более 29 кДж покрытие получало значительную деформацию. А также, нанесение на (0,5 мм) на стальную перфорированную ленту. Диаметр рулона – 80 мм, высота – 100 мм. Энергия разряда 16 кДж(а) и 30 кДж (б).

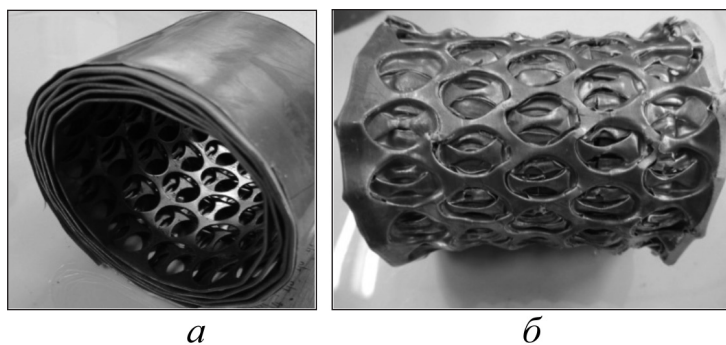


Рис. 4. Использование ИМП для нанесения медной неотожженной фольги

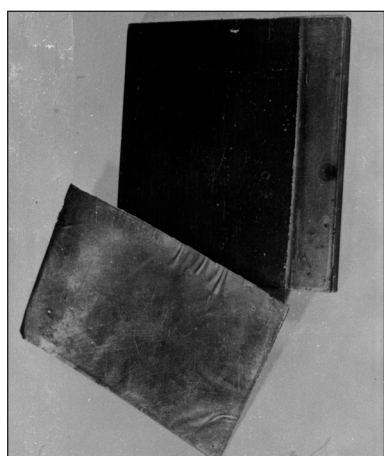


Рис. 5. Снятие напыленного медного покрытия толщиной 50 мкм со стальной подложки однократным импульсом

Исследован процесс воздействия ИМП на медное покрытие (толщина 50 мкм), предварительно нанесенное вакуумным напылением. Обработка покрытия ИМП при частоте разряда 50 кГц позволило получить его отслоение от поверхности стальной основы (рис. 5).

Заключение

1. Технологические методы с использованием ИМП в диапазоне частот от 10 до 30 кГц являются эффективными для получения толстостенных металлических покрытий из материалов с высокой электропроводностью, например, из меди и медных сплавов на стальных подложках.

2. Применение предварительного отжига медного покрытия способствует увеличению эффективности процесса и увеличению прочности сцепления.

3. Методы ИМП могут быть использованы для удаления тонкостенных металлических покрытий.

В экспериментальной части работы принимали также участие сотрудники Лаборатории порошковых материалов Рижского технического университета А. Шишкин и В. Земченков.

Список используемых источников

1. PSTproducts GmbH: <http://www.english.pstproducts.com/videochannel.htm>
2. Psyk, V., Risch, D., Kinsey, B.L., Tekkaya, A.E., Kleiner, M. Electromagnetic forming-A review. Journal of Materials Processing Technology, 211,787-829,2011.
3. Электрофизические методы получения покрытий из металлических порошков. Дорожкин Н.Н., Миронов В.А, Кот А.А.– Рига: Зинатне, 1985. 131 с.
4. Mironov, V., Levin, P. Joining of parts from metals and metals powderby means of electromagneticpulsed fields. In Proc. of the Int. Conf. "Joining of Materials" (JOM-4). Helsingor, Denmark, 1989, pp.380-385.
5. Mironovs, V., Boiko, I., Kolbe, M. Application of Pulse Electromagnetic Field for Joining of Powder Details. In Proc. of the 9-th Int. Conf." Mechatronic Systems and Materials" (MSM-2013), Vilnius, Lithuania, 2013, pp.170-172.
6. Mironov, V., Boyko, I. Research of surface condition of powder details. In Proceeding of 12-th Int. Conf. «Trends in the Development of Machineryand associated Technology», TMT 2008, Istambul, Turkey, 2008, pp.1113-1116.
7. Mironovs, V., Lapkovskis, V., Kolbe, M., Zemcenkovs, V., Shishkin, A. Application of Pulsed Electromagnetic Field in powder materials High Speed Forming. In Proceeding of the 6-th Int. Conf." High Speed Forming-2014 "(CHSF2014), Daejon, Korea, 2014, pp. 61-67.

УДК 669.112.227.33 + 669.15-194

БЕЙНИТНЫЙ ЧУГУН ИЛИ СТАЛЬНОЙ ПРОКАТ: ГРАНИЦЫ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.И. Покровский, А.П. Ласковнев, Л.Р. Дудецкая

Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси.

Беларусь, г. Минск

Анализируя мировые тенденции и используя результаты собственных исследований по получению ответственных изделий из высокопрочного чугуна с бейнитной структурой, авторы рассматривают его преимущества и недостатки. Обсуждаются возможности замены легированной стали на бейнитный чугун при изготовлении ответственных изделий. С использованием ряда материаловедческих и технологических аргументов показаны ограничения применимости бейнитного чугуна для длинномерных деталей, работающих в условиях циклических и ударных нагрузок и температурных колебаний.

Введение

В последние десятилетия использование высокопрочных чугунов, особенно обладающих аустенитно-бейнитной структурой, стремительно расширяется, вытесняя во многих областях легированные стали [1]. Это объясняется лучшими литейными и технологическими свойствами чугуна по сравнению со сталью, более низкой температурой плавления, хорошей обрабатываемостью резанием. Чугун обладает и некоторыми уникальными, присущими только ему особенностями. Наличие графитных включений обеспечивает хорошие антифрикционные свойства, способность быстро гасить вибрации и резонансные колебания, малую чувствительность к надрезам, меньший, чем у стали, удельный вес, повышенную теплопроводность. Все это обуславливает широкое применение высокопрочного чугуна для изготовления ответственных изделий.

Для очень многих областей чугун действительно перспективный материал, причем для ряда деталей – единственно оптимальный. Примерами таких деталей в автомобилестроении являются блоки цилиндров, коленчатые и распределительные валы, тормозные барабаны, диски сцепления, поршневые кольца, тормозные барабаны, ступицы колес, коробки дифференциалов,

кронштейны, гидравлические муфты, подвески рессор, картеры задних мостов [2].

Из чугуна изготавливают прокатные валки, станины прокатных станков, детали кузнечно-прессового и дробильно-размольного оборудования, турбин, автомобилей, тепловозов, тракторов, компрессоров, насосов и многие другие. Примеры деталей из чугуна в станкостроении: зубчатые колеса и шестерни, суппорты, резцедержатели, планшайбы, шпиндели, конические оправки, корпуса токарных патронов и т. п.

Особенность чугуна по сравнению со сталью – гетерогенная структура, включающая несколько абсолютно разнородных структурных составляющих:

1) металлическая матрица – достаточно прочная и пластичная;

2) графитные включения – непрочные (по сравнению с прочностью матрицы фактически являются порами), но зато обеспечивающие высокие триботехнические, демпфирующие показатели изделий.

Основные тенденции совершенствования структуры чугуна следующие:

1. Переход от разветвленной формы графита к компактной и сферической, то есть переход от класса серых чугунов к классу высокопрочных чугунов с шаровидным графитом (ВЧШГ).

История высокопрочного чугуна не насчитывает и 100 лет. Считается [3], что впервые высказал намерение совершенствовать форму графита в сером чугуне J.W. Bolton в 1943 году на съезде Американской ассоциации литейщиков (AFS). Несколько недель спустя американец Keith Dwight Millis в лаборатории «International Nickel Company» (INCO) обнаружил, что при добавлении магния в расплав чугуна, при его последующей кристаллизации графит приобретает практически идеальную шаровидную форму.

Публичное заявление о получении высокопрочного чугуна с шаровидным графитом было сделано 7 мая 1948 г. на съезде американских литейщиков в г. Филадельфии (США) фирмой «International Nickel Company» [4]. Эту дату многие считают днём рождения высокопрочного чугуна. Есть и другая точка зрения [5], основанная на дате первой публикации, в таком случае нужно ориентироваться на 25 октября 1949 г., когда был опубликован патент на «Cast ferrous alloy» автора Keith Dwight Millis и двух его соавторов [6]. С сегодняшней точки зрения по прошествии такого времени, споры о конкретной дате кажутся чисто историографическими.

Гораздо важнее то, что 1948–1949 гг. произошла фактически мини-революция в области металлургии чугунов, начали активнейшим образом развиваться способы получения чугуна с шаровидным графитом. На сегодняшний день опубликованы тысячи статей, созданы целые научные школы по разработке технологий получения ВЧШГ и изучению их свойств.

Действующий с 1985 г. по настоящее время в странах СНГ межгосударственный стандарт «Чугун с шаровидным графитом для отливок» [7] предусматривает достаточно широкую гамму марок высокопрочных чугунов, в том числе наиболее высокую – ВЧ 100, обладающую показателем предела прочности при растяжении на уровне 1000 МПа.

2. *Второй тенденцией совершенствования структуры чугуна является переход, начиная с 70-х годов прошлого века, на аустенитно-бейнитную структуру металлической матрицы (или на т.н. «бейнитный чугун»).*

Структура металлической матрицы этого чугуна не полностью бейнитная, а содержит кроме бейнита еще и нераспавшийся аустенит. В российской литературе этот чугун обозначают аббревиатурой АБЧШГ – аустенитно-бейнитный чугун с шаровидным графитом; англоязычное сокращение ADI – Austempering Ductile Iron, в

немецкоязычной литературе употребляют термин Zwischenstufenvergütung von Gusseisen mit Kugelgraphit, который можно перевести как «улучшение в промежуточной области превращений чугуна с шаровидным графитом».

Первые публикации по аустенитно-бейнитному чугуну относятся к 50-м годам прошлого века [8]. Большой вклад в 1970 – 1990-х гг. в теорию и практику бейнитного чугуна внесли работы Dodd J., Matti Johanson, Stenfors S.E., Klaus Rohrig и др. [9–16].

Аустенитно-бейнитная структура обеспечивается двумя факторами: специальным легированием, а также особой термической обработкой (изотермической закалкой).

Увеличение прокаливаемости и стабилизация аустенита, как правило, обеспечивается такими элементами, как никель, медь, марганец, молибден. Типовой диапазон химического состава бейнитного чугуна следующий (% масс.) [17]: углерод – 3,2–3,8; кремний – 2,0–2,4; марганец – 0,2–0,5; никель – 0,8–2,5; медь – 0,5–1,5; молибден – 0,2 – 0,8. Следует отметить, что, начиная с 70-х годов, во всем мире происходило активное патентование бейнитных чугунов [18–20].

Термическая обработка бейнитного чугуна состоит из двух важных этапов:

1) аустенизация (нагрев до температур порядка 950 °С);

2) изотермическая закалка – быстрый (обязательно до начала наступления мартенситного превращения) перенос в охлаждающую среду с температурой в диапазоне 300–500 °С с последующей выдержкой в ней. При этом прерывается распад аустенита и в структуре формируются две фазы: бейнит (феррито-карбидная смесь) и остаточный аустенит. Бейнит обеспечивает прочность, аустенит – пластичность.

Различают два основных типа бейнитов в чугунах – нижний и верхний бейнит, которые получают, соответственно, при более низких (в интервале 280 – 350 °С) и более высоких (350 – 450 °С) температурах изотермической выдержки.

Детали со структурой нижнего бейнита обладают максимальными прочностью, твёрдостью и износостойкостью при хорошей ударной вязкости и относительном удлинении, а детали со структурой верхнего бейнита – высокой прочностью наряду с высокими ударной вязкостью и относительным удлинением. Диапазон механических свойств аустенитно-бейнитных чугунов со структурой нижнего и верхнего бейнита приведён в таблице 1.

Таблица 1

Некоторые механические свойства чугуна с аустенитно-бейнитной структурой [17].

Тип микроструктуры бейнита в чугуне	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость, HRC	Ударная вязкость, МДж
Нижний бейнит	1100–1500	1–4	42–48	0,2–0,5
Верхний бейнит	800–1200	3–10	36–45	0,2–0,4

Особенностями бейнитного превращения являются мартенситный механизм $\gamma \rightarrow \alpha$ перехода с перераспределением углерода по диффузионному механизму.

Возможны два способа получения чугунов с аустенитно-бейнитной структурой [17]:

1) в литом состоянии за счёт индивидуально подобранного легирующего комплекса, а также конструкции отливки и технологии литья;

2) в результате термической обработки литых заготовок.

По первому способу целесообразно изготавливать детали массового производства, не требующие механической обработки. При этом дополнительные затраты на разработку конструкции и технологии изготовления отливки, а также на дополнительное легирование такими элементами, как никель и молибден, компенсируются исключением затрат на достаточно сложную термическую обработку. Номенклатура таких отливок весьма ограничена. Более часто используют второй метод изготовления деталей из высокопрочных аустенито-бейнитных чугунов. При этом на стадии изготовления отливки необходимо правильно подобрать химический состав и технологические параметры для получения в литой заготовке оптимальной структуры с точки зрения механической и термической обработки.

Самым важным для практики получения ответственных изделий является то, что, изменяя соотношение бейнита и аустенита в структуре чугуна, можно получать сочетание одновременно высокой прочности с повышенной пластичностью. Кроме того, дополнительно используя горячую пластическую деформацию литой заготовки, можно повысить прочность материала до 1700–1900 МПа [21].

Достижимые высокие показатели свойств позволили использовать бейнитный чугун для изготовления весьма ответственных изделий, заменяя при этом сталь. В частности, уже к 80-м годам прошлого века относятся первые упоминания об использовании бейнитного чугуна для зубчатых колес [22–24]. После того, как на опытных образ-

цах были достигнуты значения предела прочности при растяжении на уровне 1500 МПа и относительного удлинения до 10 %, началось широкое освоение высокопрочного бейнитного чугуна для ответственных изделий. В настоящее время в промышленных масштабах выпускаются (в частности, фирмами «General Motors» и «Ford») сотни типоразмеров деталей, причем за рубежом наиболее массовыми изделиями являются зубчатые колеса [25].

Активнейшим образом велись работы по освоению изделий из бейнитного чугуна в России, в частности, на автомобильных заводах ВАЗ [26] и КамАЗ. Большое внимание внедрению бейнитного чугуна уделял директор КамАЗа Н.И. Бех [27–29]. В России была разработана комплексная программа «Разработка и внедрение аустенитно-бейнитных чугунов с шаровидным графитом и технологии получения из них литых деталей в автомобилестроении», участниками которой являются АО «КамАЗ», НХМА «Авангард» (Москва), НТКЦ «САНТОКАМ» (С-Петербург), ЦНИИ Материалов (С-Петербург) и другие – всего 25 организаций. Следует отметить, что в настоящее время это направление продолжает активно развиваться, о чем свидетельствуют последние публикации [15, 16, 30, 31].

Авторами данной статьи, с использованием сложившегося мирового опыта, была сделана попытка применить бейнитный чугун к условиям литейного производства Минского автомобильного завода при изготовлении средних и крупных зубчатых колес. Работу выполняли в рамках заданий двух государственных научно-технических программ (ГНТП): 1) «Технологии», задание № 1.03 «Разработать и освоить литейную и литейно-деформационную технологии изготовления зубчатых колес из бейнитного чугуна» и 2) «Белавотракторостроение», задание № АТ-01.08.07 «Разработать опытно-промышленную технологию изготовления конических шестерен трансмиссии автомобиля МАЗ из бейнитного чугуна». Научным руководителем заданий являлась к.т.н. Дудецкая Л.Р., исполнителем

– Покровский А.И. Большую помощь в выполнении работ оказали главный инженер МАЗа Гаухштейн И.С. и начальник ЦЗЛ Гурченко П.С. Немаловажным оказалось и то, что МАЗ на тот момент был заинтересован иметь в своем распоряжении импортозамещающую технологию, основанную на механической обработке проката легированной стали 20ХНЗА, поставляемого из Российской Федерации.

Технологию отработывали на шестернях дифференциала заднего моста автомобиля МАЗ 5336: шестерни полуоси (№ 5336-2402050) и сателлита (№ 5336-2402055). Было установлено следующее:

1. Доказана технологическая возможность применения водовоздушной закалки чугуновых заготовок для получения деталей с бейнитной структурой. Это было достаточно важно в условиях МАЗа, располагающего соответствующим оборудованием.

2. Производственные испытания опытных и опытно-промышленных партий штампованных шестерен из чугуна показали, что их прочностные показатели повышаются до уровня легированных сталей (1200 МПа и более), а уровень шума при работе зубчатой пары снижается на 2–4 дБ [37], что крайне важно для соответствия современным европейским нормам ЕЭК ООН, предъявляемым к автомобильной технике.

3. Применение горячей пластической деформации чугуновой заготовки в составе технологического процесса способствует устранению литейных дефектов, дальнейшему повышению механических свойств [32–35] и изменяет кинетику бейнитного превращения. Особенностью сплава с наложением пластической деформации является возможность формирования бейнитной структуры в низколегированном чугуне [36].

Эффективность предложенной технологии при замене стали на литой или деформированный чугун заключалась в следующем: 1) Экономия импортруемого проката стали 20ХНЗА, достигающая по детали «сателлит» 200 тонн на всю программу; 2) Снижение массы деталей на 9 % за счет меньшей плотности чугуна по сравнению со сталью, что позволяло облегчить каждую шестерню на 700 г; 3) Снижение затрат на термическую обработку за счет устранения цементации; 4) Уменьшение трудоемкости механической обработки и расхода инструмента за счет получения более точной заготовки и лучшей обрабатываемости чугуна. Предполагаемый экономический эффект от внедрения новой технологии при изготовлении годовой программы зубчатой пары

сателлитов дифференциала составлял 442400 долларов США.

В качестве следующего этапа работы в рамках ГНТП «Белавтогортростроение» для шестерен главной передачи автомобиля МАЗ 5551 с повышенными массогабаритными характеристиками (диаметр более 300 мм, вес более 13 кг: ведущей (№ 5551-2402017) и ведомой (№ 5551-2402060) были разработаны литейно-деформационные технологии изготовления деталей и предложен состав бейнитного чугуна взамен импортруемого легированного стального проката.

Технологию реализовывали на производственных площадях МАЗа. Первоначально была разработана опытная технология плавки и разливки высокопрочного чугуна в объеме 300 кг. Литые заготовки передавали в цех редукторов МАЗа, где производили их предварительную и окончательную механическую обработку. Обработанные детали подвергали изотермической закалке на термическом участке инструментально-штампового производства МАЗа, после чего проходили производственные испытания в собственном испытательном центре. По результатам испытаний провели корректировку технологии. На следующем этапе работ была разработана опытно-промышленная технология изготовления зубчатых колес. Она включала выплавку высокопрочного чугуна в 3-хтонной печи, предварительную термообработку, горячую пластическую деформацию, предварительную и окончательную механическую обработку на автоматических линиях, изотермическую закалку в соляных ваннах, притирку зубьев и шлифовку.

Стендовые испытания на специальной установке в испытательном центре МАЗа заключались в том, что одну из шестерен зубчатой пары закрепляли жестко, а вторую, находящуюся с ней в зацеплении, плавно вращали с очень малой скоростью. При определенном угле закручивания происходило разрушение одной из деталей. Результаты испытаний шестерен на прочность при кручении показали следующее. У шестерен из литого чугуна значения максимального крутящего момента невелики, разрушение происходило при 15,2 кН·м, а угол закручивания составлял всего 7 градусов. У серийных стальных (20ХНЗА) и чугуновых изотермически закаленных шестерен величины крутящего момента, при котором происходило разрушение, сопоставимы (для стальных – 26,0–29,0 кН·м, для чугуновых – 26,4–26,8 кН·м). Значения углов закручивания, соответствующих максимальному крутя-

шему моменту, отличаются друг от друга. Для стальных шестерен эти величины соответствуют 19–23°, для чугунных – 28–38°, то есть чугунные шестерни оказались гораздо более пластичными.

Таким образом, исследования подтвердили известные данные об эффективности применения бейнитного чугуна для изготовления шестерен. Кроме того, полученные результаты имели определенную новизну. В частности, впервые была исследована специфика получения бейнитной структуры у низколегированного ковкого чугуна, доказана возможность его использования для изготовления шестерен, показана эффективность применения горячей пластической деформации для улучшения свойств чугунных изделий.

Подобные работы в Беларуси проводились и в более поздний период (2006–2010 гг.) на ПО «Гомсельмаш» под руководством главного инженера Н.В. Псыркова применительно к шестерням редукторов. Разработаны состав бейнитного чугуна с повышенной пластичностью и сопротивлением усталости [38] и технология изготовления из него крупногабаритных зубчатых колес для бортовых редукторов комбайнов. В 2011–2012 гг. изготовлены опытные партии зубчатых колес из высокопрочного чугуна и начаты их эксплуатационные испытания [39]. На «Гомсельмаше» с 2011 г. активно используют бейнитный чугун не только как конструкционный, но и как материал для ножей режущих барабанов кормоуборочных комбайнов, при этом обеспечивается требуемая эксплуатационная стойкость [39].

Железнодорожные рельсы из чугуна – что это: новые перспективы или многие проблемы

После рассмотрения результатов использования бейнитного чугуна при изготовлении машиностроительных деталей имеет смысл перейти к существу вопроса о целесообразности выдвинутого предложения [40] об изготовлении из чугуна таких ответственных изделий, как железнодорожные рельсы.

Общеизвестна сегодняшняя сложившаяся ситуация – рельсы изготавливают из стали. Но какие же все-таки материалы являются оптимальными для изготовления рельсов?

Чтобы понять, перспективна ли замена материала рельсов на чугун, или она принесет только проблемы, необходимо совершить небольшой исторический экскурс. Известно ироничное выражение «забегать впереди паровоза» но, тем не менее, абсолютно достоверным является факт, что как раз рельсы появились гораздо раньше

паровоза. Одним из предшественников рельсового пути был древнегреческий диолк – каменная дорога – волок для перевозки кораблей через Коринфский перешеек. И форму тогда рельс имел совсем не теперешнюю, возвышающуюся над поверхностью земли. В качестве направляющих служили глубокие желоба, в которые помещали полозья, смазанные жиром.

В виде направляющих, расположенных над поверхностью земли, рельсы, как элемент колесных дорог, вероятно, появились в рудниках и угольных шахтах. Первые упоминания о них относятся к середине XVI века (рис. 1).



Рис. 1. Лежневая дорога в средневековой шахте. Гравюра из книги «Космография». Германия, 1550 год

То, что мы теперь называем рельсами, представляло собой в то время деревянные бревна или брусья – лежни. По таким путям передвигались тележки (вагонетки). Затем стали укладывать лежни, которые имели скруглённую форму, а на колёсах тележек появились желоба (рис. 2).

Сход тележек с лежневой дороги предотвращал направляющий стержень, укрепленный в нижней части тележки и входивший в промежуток между лежнями. Первоначально тележки перемещали вручную, позднее стали впрягать лошадь, лежни не только служили направляющими, но и воспринимали основную нагрузку. По такому колесному пути лошадь могла везти груз в 4 раза больший, чем по обыкновенной грунтовой дороге. В XI–XIV веках лежневые дороги были уже на многих рудниках и шахтах, использовались при строительстве военных укреплений.

Однако деревянные лежни быстро изнашивались и ломались. Что бы это исправить, вначале поверх лежней набивали доски. Затем, чтобы уменьшить износ деревянных рельсов, их укрепляли железными или чугунными полосами.

1767 год – первая и очень важная веха, касающаяся применения чугуна для изготовления рельсов. На железоделательном заводе в г. Коулброукдейле (Англия) излишний остаток плавки чугуна был отлит в виде пластин $11 \times 3,5$ см длиной 1,5 метра. В дальнейшем эти пластины укрепили поверх деревянных лежней (рис. 3).



Рис. 2. Деревянная вагонетка и лежни круглого сечения, связанные между собой поперечинами – прообразами современных шпал, а на колесах тележки имеются центрирующие желоба. Экспонат хранится в Немецком техническом музее



Рис. 3. Укрепленные поверх деревянных лежней чугунные пластины – прообраз современных стальных рельс (фото из [41])

Интересно, что первоначально данные заготовки рассматривались только как отходы плавки, их намеревались переплавить и продать. Однако выяснилось, что по такой чугунной полоске вагонетка катилась легче, что позволило предложить новое направление использования чугуна.

Первые цельные чугунные рельсы появились в начале 18-го века. Профиль рельса в то время был уголковым, а всю конструкцию тогда понимали как некий «монолит» – рельсы отлиты заодно с чугунными шпалами (рис. 4).

Чугунные рельсы были хрупкими и быстро изнашивались, их малая прочность послужила причиной неудач при испытаниях первого в мире рельсового паровоза Треветика [42]. На этом недолгий период изготовления рельсов из чугуна заканчивается. Изобретение в конце 18-го века процесса пудлингования (преобразования чугуна в сварочное железо) позволило удешевить технологию.

Дальнейший прогресс в технологии производства рельсов выразился в замене чугуна сталью, которая с 1803 года начинает безраздельно царствовать во всем мире в качестве материала для рельсов. Рельсы из сварочного железа впервые применил в Англии инженер Никсон в 1803 г., а к 1820 г. в Англии было освоено производство железных рельсов. Нужно заметить, что это было не цельно-металлическое изделие. В то время все профили катали из пакетов пудлингового железа и в готовом рельсе насчитывалось до 20-ти слоев железа [42].



Рис. 4. Сохранившиеся фрагменты чугунных рельсов на территории Александровского пушечного завода (основан в 1788 г.) в г. Петрозаводске (в наст. время «Онежский тракторный завод»). Рельсовый путь длиной 173,5 м связывал доменный, сверильный и расточный цеха. Ширина колеи тогда составляла 0,8 м. Заметно, что профиль рельса в то время был уголковым, а всю конструкцию понимали как некий «монолит» – рельсы отлиты заодно с чугунными шпалами

Первый мощный трехвалковый стан для прокатки стальных рельсов сконструировали в США в 1857 г. Массовое применение прокатки стальных рельсов из более качественной бессемеровской стали началось с 1865 г. [42] Такие рельсы были значительно прочнее сварных. Можно сказать, что изготовление рельсов прокаткой и вывело этот метод в число главных при обработке металлов давлением.

Представления об оптимальной конструкции рельсов, геометрии их профиля, структуре и свойствах рельсовой стали сложились к 1870 году [43, 44] и отражены во многих руководящих документах того времени. Например, в документе, утвержденном Министром путей сообщения России, говорится о новых стальных рельсах типа 24½ фунтов в погонном футе, которые «представляются следующими заводами:

1) рельсы типа 24½ фунтов в погонном футе пятью заводами: Демидовским, Донецким, Новороссийским, Русский Провиданс и Александровским Южно-Российским Брянского Акционерного Общества;

2) рельсы типа 22½ фунтов в погонном футе шестью заводами: Демидовским, Донецким, Новороссийским, Русский Провиданс, Таганрогским и Александровским Южно-Российским Брянского Акционерного Общества».

Следует отметить, что стандартизации и безопасности железнодорожного движения в государстве Российском уделялось огромное внимание. В 1884 при царе Александре 2-м под руководством известного государственного деятеля, тогдашнего министра путей сообщения и финансов Сергея Юльевича Витте была создана специальная Рельсовая комиссия, для соблюдения стандартов качества. В свое время ее возглавляли известный ученый-металлург, член-корреспондент АН СССР В.Е. Грум-Гржимайло и академик И.П. Бардин. Рельсовая комиссия – совершенно уникальное сообщество железнодорожников, металлургов и ученых многих отраслей народного хозяйства, поскольку отвечает за безопасность движения, наделена огромными полномочиями, о ее важнейшей роли в государстве говорит тот факт, что она пережила все революции и перестройки.

На сегодняшний день общие требования к рельсам определяются межгосударственным стандартом «Рельсы железнодорожные» [45]. Что касается материала рельсов, ГОСТ обязывает изготавливать их из спокойной стали мартеновского, конвертерного или электросталеплавильного производства.

К настоящему времени сформировались следующие совершенно определенные тенденции совершенствования структуры стальных рельсов:

а) максимальное устранение неметаллических включений [45];

б) формирование однородной и максимально дисперсной структуры тонкопластинчатого перлита. В частности, межпластиночное расстояние в перлите достигло предельно возможных на сегодняшний день значений 0,08 – 0,12 мкм.

Такая структура обеспечивается химическим составом стали с повышенным содержанием углерода, близким к эвтектоидным значениям (0,8 %), легированием марганцем (около 1 %), а также хромом, никелем, медью (по 0,2 %).

Современная технология плавки рельсовой стали нацелена на максимальное удаление примесей. Разливка рельсовой стали ведется только в автоматическом режиме контроля технологии и с обязательной выдачей паспорта плавки. Сложившаяся уникальная система предусматривает автоматическую отбраковку заготовок при нарушении технологических параметров разлива заготовки.

Технология прокатки рельсов помимо придания заготовке точной формы, обеспечивает глубокую и полную проработку литой структуры: уплотнение осевой зоны, закрытие и заварку усадочных пустот и несплошностей, возникших при кристаллизации металла, раздробление, благоприятное формообразование и ориентирование неметаллических включений и крупных дендритов. Важно отметить, что в заявляемом проекте изготовления рельсов из литого чугуна [40] такой глубокой проработки структуры не будет.

Технология термической обработки стальных рельсов на сегодня основывается на строго регламентированном быстром охлаждении, что обеспечивается сложившейся десятилетиями достаточно сложной инфраструктурой прокатного производства и автоматизированным оборудованием.

Программной статьей, обосновывающей перевод железнодорожных рельсов с материала «сталь» на материал «чугун» является публикация [40]. Остановимся подробнее на представленных в ней материалах.

Данные о высоких прочностных характеристиках бейнитного чугуна (достигнуты значения предела прочности до 1000–1400 МПа) можно признать вполне достоверными и совпадающими с общемировыми тенденциями. Однако на сегодняшний день они отнюдь не являются макси-

мальными. Достаточно сказать, что еще с 1991 г. стандарт одного из лидеров в производстве бейнитных чугунов – корпорации «Mechanite Worldwide» (Великобритания) заканчивается маркой K-12003 [2]. Для данной марки предусмотрен предел прочности не ниже 1200–1500 МПа при значениях относительного удлинения 3–5 %. Другой зарубежный стандарт («Общество чугуна с шаровидным графитом» (DIS, США) предусматривает марку ADI-6 с еще большими показателями ($\sigma_b=1585$ МПа и $\sigma_T=1240$ МПа.) [2].

Следует отметить, что программная публикация [40] по замене стальных рельсов на чугунные содержит всего лишь четыре литературных источника. Причем все они являются ссылками на работы самих же авторов и, к тому же не относятся к статьям в рецензируемых изданиях, а представляют собой тезисы докладов. Это нельзя признать достаточным, так как общее число публикаций в мире по бейнитным чугунам давно превысило тысячу.

В работе [40] используется устаревшая терминология. Авторы используют термин «сталистый чугун», при выплавке которого применяют металлическую шихту, содержащую стальной лом наряду с чушковым чугуном и чугуном возвратом (согласно толкового машиностроительного словаря). Но от термина «сталистый чугун» предлагали, (цитируем известный справочник [46]): «отказываться от употребления» еще в 1947 г. В современных справочниках [2, 47] этот термин вообще отсутствует.

Используемый авторами термин «молибденовый каркас» вообще никак не согласуется с существующими материаловедческими представлениями, т.к. многими публикациями еще в 70-е годы показано, что молибден в количестве 0,5 % (как у авторов проекта) полностью (разумеется, при условии качественной плавки) растворяется в аустените [48, 49]. Не подвергая сомнениям, достоверность полученных авторами данных, предложим им более реалистичное и достоверное объяснение. Вероятнее всего, обнаруженные флуктуации молибдена связаны с неполным растворением ферросплавов или недостаточным перемешиванием металла в печи, т.е. обусловлены некачественно проведенной плавкой.

Как положительный момент следует отметить, что состав высокопрочного чугуна, из которого предлагается изготавливать рельсы, защищен одним патентом Республики Беларусь [38]. Однако, для того, чтобы начинать такой крупный проект, необходимы заделы по приоритетам в десятки

патентов (на параметры литья и химические составы, на режимы термообработки, на оборудование).

Предлагаемая в [40] аббревиатура «ВЧТГ» создана так, что из-за игры слов (точнее букв), она стала очень созвучна с широко известной литейщикам аббревиатурой «ВЧШГ» (высокопрочный чугун с шаровидным графитом). Только авторы в данном случае буквой Г обозначают слово «Гомсельмаш». Выражаем сомнения, что стоило так «вплотную прижиматься» к известной марке, ведь это напоминает стиль подражания оригинальной обуви, когда вместо известной марки «Adidas», пишут и «Adibas» и «Abidas».

Предлагаемая авторами [40] аббревиатура высокопрочного чугуна «МОНИКУ» (на том основании, что он легирован элементами Mo, Ni, Cu), пожалуй, будет только мешать, т.к. она опять-таки весьма созвучна с уже известными «нимониками» – сплавами для газотурбинных двигателей. К тому же общепринятый принцип маркировки, основанный на условном обозначении, выраженном буквами и цифрами, показывающими примерный химический состав, и так имеет слишком много исключений. На сегодня в резолюции любой мало-мальски представительной научной конференции по чугунам и сталям записывают «избегать нестандартных маркировок».

Что касается главной идеи авторов [40] о замене стальных рельсов чугунными, несмотря на заманчивость устранения из технологической цепочки операции прокатки в случае производства литых чугунных рельсов, выскажем осторожные опасения в вероятности успешной реализации проекта.

Свою позицию обоснуем рядом указанных ниже аргументов, которые относятся как к микроструктуре и технологии, так к экономике и строительству.

1. Микроструктура чугунных рельсов

1.1 О включениях графита в структуре чугунных рельсов Мы уже описывали структуру стали, используемой для железнодорожных рельсов – чрезвычайно мелкая, однородная (практически без включений), равнопрочная, с очень малым расстоянием между пластинами перлита – примерно 0,1 мкм. Хотим еще раз акцентировать внимание на ключевые слова: «чрезвычайно мелкая, равнопрочная».

Что же мы наблюдаем в структуре чугуна? В структуре чугуна присутствуют крупные включения графита размером 50–100 мкм, что на три порядка больше, чем в стали. Причем структурные

составляющие чугуна весьма различаются между собой по прочности. Прочность графитных включений по отношению к бейнитной матрице в тысячи раз меньше, по сравнению с ней он является фактически пустотой. Поэтому в одной и той же детали эффективное сечение (сечение металлической матрицы, отвечающее за общую прочность), если ее изготавливать из стали – больше, а если из чугуна – меньше. То есть равнопрочная стали деталь из чугуна должно иметь большее сечение.

В структуре чугуна графитные включения могут располагаться по-разному. Разумеется, целью литейщиков является их равномерное распределение. Но в реальности так получается не всегда, что обусловлено множеством факторов: спецификой литейной формы, временем срабатывания и живучестью модификатора и др. Характерный пример расположения графитных включений в структуре высокопрочного чугуна приведен на рис. 5.

На такой протяженной детали как рельс (длина 25 метров) статистически неизбежно обнаружится место, где графитные включения будут располагаться неравномерно, сгруппируются или выстроятся в цепочку. Это приведет (если не на первом, то на десятом или сотом рельсе) к появлению трещин, последующему разрушению и аварии.

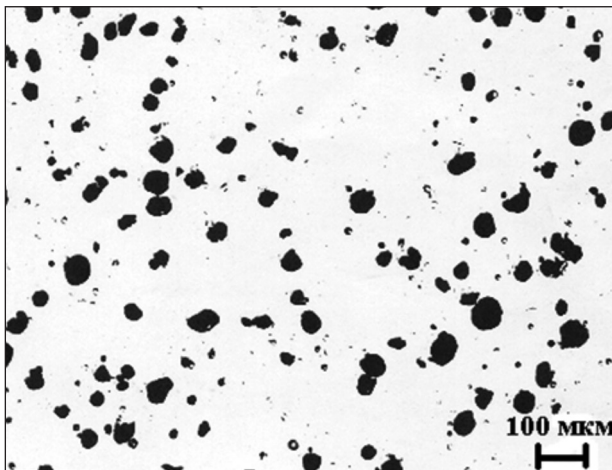


Рис. 5. Пример микроструктуры высокопрочного чугуна с шаровидными включениями. Не травлено. $\times 100$. Хорошо видны включения графита, попавшие в плоскость шлифа. На длинномерной детали статистически неизбежно появление неоднородных зон группирования графитных включений или их выстраивания в цепочку, провоцирующее развитие трещины

1.2. Дефекты и дефектоскопия рельсов В настоящее время большинство исследователей признает [50, 51], что трещина в рельсе возникает на базе инородных включений, микропустот, флокенов и развивается между ними.

Для изучения дефектов ученые изучают их макро- и микроструктуру, неметаллические включения, испытывают образцы при различных температурах. Но наиболее полную оценку качества рельсов дают полигонные испытания рельсов в условиях Экспериментального кольца на станции Щербинка (РФ). Полный реестр дефектов рельсов ведет зав. отделением конструкций железнодорожного пути ВНИИЖТа Л.Г. Крысанов. Под его руководством составлена классификация дефектов рельсов и каталог дефектов, насчитывающий десятки позиций. В своем выступлении на очередном совещании рельсовой комиссии [52] Л.Г. Крысанов рассказал, что рельсы отечественного производства выдерживают 500 млн. тонн пропущенного груза. Уровень отказов рельсов составляет 5 шт. на километр пути. Он назвал также основные дефекты рельсов, по которым их приходится демонтировать. У рельсов производства Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК) это поперечные трещины в головке (дефект 21), горизонтальное расслоение головки из-за наличия неметаллических включений (30 Г), отслоение и выкрашивание металла по поверхности катания в закаленном слое (при отсутствии наплавки, дефект 17). Дефекты 21 и 17 также наблюдаются у рельсов производства Кузнецкого металлургического комбината (КМК). Кроме того, встречается дефект 10 – отслоение и выкрашивание металла на поверхности катания головки из-за недостатков технологии. Специалистов особенно беспокоит наличие дефекта 17 (отслоение и выкрашивание), которое влечет за собой снижение скорости движения поездов.

Таким образом, вся сложившаяся дефектоскопия рельсов построена на максимальном выявлении инородных включений. Включения графита в чугуне будут распознаваться и трактоваться приборами как дефекты. Понадобится создание с нуля новой системы дефектоскопии.

1.3. О коэффициенте трения. Наличие в структуре чугунного рельса графитных включений, выходящих на его поверхность, будет способствовать улучшению смазывания при качении стальной колесной пары и, соответственно уменьшать коэффициент трения. Следовательно, тормозной путь поездов увеличится, что повлияет на всю организацию движения.

1.4. О металлической матрице чугуна. Еще одной проблемой, которую авторы проекта, не рассматривают, является то, что соотношение бейнита и аустенита в структуре чугунного железнодорожного рельса будет нестабильным по времени. По мере эксплуатации (воздействия на рельс колесной пары, а величины нагрузок при этом превышают 300 кН) остаточный аустенит будет постепенно распадаться. Это известный факт, на котором основаны упрочнение обкаткой роликами, а также дробеструйная обработка. Поэтому доля пластичной фазы, аустенита, в структуре будет постепенно уменьшаться и, соответственно, возрастет хрупкость рельсов.

1.5. О различии в значениях порога хладноломкости чугуна и стали. Известно, что повышение содержания углерода облегчает переход железоуглеродистых сплавов в хладноломкое состояние. В случае чугунных и стальных рельсов содержание углерода будет отличаться от 0,8 % у стали до примерно 3,6 % у чугуна. Считается, что каждые дополнительные 0,1 % С повышают температуру порога хладноломкости примерно на 20 °С. Это делает проблемным использование чугунных рельсов в северных климатических регионах.

1.6. О структуре сварного шва. Современные рельсы имеют длину не только 25 метров, широко используются сваренные из нескольких рельсов т.н. «плети» длиной 120 метров. Сварка чугуна – отдельная проблема, обусловленная рядом факторов:

- высокой текучестью чугуна в жидком состоянии, вызывающей необходимость использования подформовки;
- сильным образованием газов в жидкой ванне, вызывающим пористость шва;
- высокой неравномерностью распределения температур при нагреве или охлаждении, вызывающем появление трещин в процессе сварки.

Но даже не технологические проблемы главное. Допустим, чугунные рельсы сварили, но из-за ускоренного охлаждения металла сварочной ванны полученный шов будет содержать совсем иную, не содержащую графита, отбеленную, очень хрупкую, ледебуритную структуру. Как известно, показатели ее пластичности практически равны нулю, о каком же динамическом воздействии в данной зоне и ее усталостной прочности тогда можно говорить?

2. Неучтенные особенности предполагаемой технологии изготовления чугунных рельсов. Рельс – длинномерная деталь, следовательно, его структура должна быть однородной, а свойства

должны быть гарантированно стабильными и одинаковыми по всей длине.

Аксиомой для литейщиков является то, что литой чугун характеризуется, во-первых, неизбежными литейными дефектами (поры, раковины), во-вторых, нестабильностью структурных характеристик по сечению (форма, размер и распределение графита).

И если структуру металлической матрицы после литья еще можно как-то исправить, выровнять термической обработкой, с графитными включениями так поступить невозможно: такими, какими они сформировались при отливке – такими и будут в готовой детали.

Например, Лидский литейно-механический завод изготавливает гильзы из чугуна для Заволжского моторного завода по давно отработанной технологии, но периодически имеет претензии из-за нестабильности структуры. Однородность и стабильность структуры чугуна – проблема даже для именитых фирм. Лидер в производстве поршневых колец «Goetze® Piston Rings» при производстве заготовки в виде втулки длиной порядка 400 мм вынужден выбрасывать в отходы срединную часть, т.к. в ней наблюдаются пористость и пониженные свойства. А в данном случае предполагается получать изделие в десятки метров длиной ..., каким же образом из него будут вырезать дефектные куски?

Во-вторых, где будут отливать такие длинномерные детали? Очевидно, что литье в песчаные формы не обеспечит стабильных и воспроизводимых результатов. Перспективны технологии и оборудование непрерывного литья. Но существуют ли в Беларуси отработанные технологии для серийного литья таких ответственных и длинномерных деталей или их нужно создавать с нуля? Как будут ликвидироваться типовые дефекты структуры непрерывного и полунепрерывного литья – места «неслитин», «неспаев», трещин, т.н. «линий отсечки» и др.?

В-третьих, важно заранее представлять, где будет проводиться термическая обработка рельсов? Для того, чтобы образовалась аустенито-бейнитная структура необходимо до начала изотермической выдержки не допустить мартенситного превращения. Обычно это обеспечивается за счет быстрого (секунды, десятки секунд) переноса изделия из печи в среду, обладающую повышенной теплоемкостью, чтобы быстро выровнять температуру по сечению. Как правило, для этого используют специальные термические ванны с расплавленной солью или селитрой. Где и как будет

происходить перенос 25-тиметровых деталей?

Возможной альтернативой ваннам могут быть ведущие сейчас за рубежом и в России разработки по автоматизированному управляемому охлаждению в газовой среде, а также водо-воздушному охлаждению (употребляют еще термины «спрейерное охлаждение» или «душирование»). При этом водо-воздушная смесь, содержащая капли воды заданной дисперсности, создается специальными устройствами и равномерно распределяется по поверхности охлаждаемого тела. Управление скоростью охлаждения обеспечивается за счёт изменения плотности орошения поверхности. Но реализуема ли такая технология для длинномерных изделий типа рельсов?

3. Возможные проблемы при строительстве рельсового завода. Если предполагается осуществить окупаемый проект изготовления чугунных рельсов, то прибыльную работу обеспечит только специализированное высокопроизводительное и массовое производство. На российском рельсовом «поле» давно сосуществуют два гиганта: Нижнетагильский и Кузнецкий металлургические комбинаты, между которыми всегда идет негласное соревнование за качество рельсов. В Беларуси литейное производство, например, МАЗа, или Гомсельмаша, совершенно несопоставимо с ними по мощностям, и маловероятно что, выполняя основные заказы, эти предприятия между делом смогут выпускать еще и рельсы.

Авторы проекта предлагают создать передвижной литейный завод, располагающийся непосредственно на железнодорожных платформах [40, с. 19]. Но как в этом случае осуществляется подвод электроэнергии, систем водоохлаждения печи, как решаются вопросы смесеприготовления, удаления отходов, экологии? Авторы

предлагают еще более экстравагантное решение – мобильный завод для литья чугунных рельсов на базе колесного тягача [40, с. 19]. Но к такому варианту размещения еще больше аналогичных вопросов.

Мы являемся сторонниками классического подхода к рельсовому производству и считаем, что если в Беларуси, да еще в период кризиса вообще стоит начинать заниматься массовыми производством рельсов (что крайне сомнительно), то необходим новый специализированный завод. Но строительство такого завода будет соизмеримо по масштабу и затратам со строительством атомной электростанции. Приведем для примера типичные примеры рельсовых производств – Нижнетагильский, Чусовской металлургический заводы, Кузнецкий металлургический комбинат, завод «Азовсталь». Они занимают площади, сопоставимые с полноценными городскими районами.

Свежий пример такого строительства «с нуля» – Актюбинский рельсобалочный завод [53], запущенный в Казахстане в сентябре 2015 года. Завод производит продукцию фасонного проката и стальные удлиненные термоупрочненные рельсы длиной 120 метров. Насколько огромны масштабы строительства можно представить из фотографий на рис. 6.

После запуска завода на предприятии работает более 700 человек. Отметим, что капитальное строительство завода – это лишь часть проекта, существенная доля затрат пришлась на оборудование и технологии, большинство которых импортные (рис. 7). Компания Siemens VAI обеспечивает подготовку специалистов, в частности материаловедов: 14 человек прошли обучение в Римском университете материаловедения, который действует в составе Siemens VAI.



Рис. 6. Монтаж оборудования в цехах Актюбинского рельсобалочного завода [53]



Рис. 7. Установленное на Актюбинском рельсобалочном заводе (Казахстан) оборудование компании Siemens VAI [53]

4. Экономические показатели производства рельс из чугуна.

Предположения авторов об удешевлении в 2 раза чугунных рельсов по сравнению со стальными не являются убедительными т.к. необходимые расчеты не приведены. На практике в ряде случаев, производство чугуна оказывается дороже, чем стали. К тому же не учтена стоимость всего цикла термической обработки на бейнитную структуру (особенно изотермической выдержки). А она крайне затратная и энергоемкая. Для таких длинномерных деталей, как рельсы, необходимо специальное оборудование для аустенизации и изотермической выдержки. Это оборудование непрерывного цикла, постоянно потребляющее электроэнергию.

Нужно отметить, что в Российской Федерации именно по причине дороговизны технологии изотермической закалки так медленно происходит переход изготовления тяжело нагруженных рельсов из стали перлитного класса на сталь с бейнитной структурой.

Авторы проекта по выпуску чугунных рельс пока еще не начинали считать стоимость затрат. Так может и не стоит начинать, поскольку уже есть не только теоретический, но и реальный пример. В Казахстане (экономика которого будет посильней белорусской) стоимость проекта по строительству рельсового завода в 2015 году превысила 400 млн долларов. Важно отметить, что даже богатый Казахстан использовал в основном, не собственные средства, а до 70 % заемных.

Авторы утверждают, что белорусские чугунные рельсы будут востребованы в Казахстане. Может быть, до 2015 года Казахстану и не хвата-

ло рельсов. Но в сентябре 2015 г. вступил в строй Актюбинский рельсобалочный завод (АРБЗ). Теперь Казахстан – третий в мире завод по прокатке длинномерных рельсов длиной до 120 метров. Причем используется прогрессивная технология фирмы Siemens дифференцированного упрочнения поверхности за счет закалки водовоздушной смесью.

О каком импорте Казахстаном белорусских рельсов теперь может идти речь? Ведь мощность АРБЗ составляет 430 тысяч тонн проката, из них 230 тысяч тонн именно высококачественных рельсов. И на сегодня в Казахстане не только полностью закрыта потребность в рельсах, но и начаты поставки на экспорт в Узбекистан и Туркменистан, ведутся переговоры с Беларусью. А мы им собираемся делать встречное предложение о продаже еще несуществующих чугунных рельсов...?

5. Зарубежный опыт. Почему за рубежом не занимаются рельсами из чугуна?

И, наконец, почему за рубежом не проводят исследований по изготовлению рельсов из литого чугуна? Почему, если задать в интернете – поисковике: «rails made of cast iron» (железнодорожные рельсы из чугуна), обнаруживаются ссылки лишь на столетней давности исторические упоминания о чугунных рельсах. Это при том, что данная тематика не является ни закрытой, ни секретной областью исследований. Если же для сравнения мы наберем в поисковике Google, к примеру: «gears of bainitic cast iron» (шестерни из бейнитного чугуна) – то можно обнаружить порядка ста семидесяти тысяч ссылок. Может надо сконцентрировать усилия именно на подобных направлениях?

Заключение

1. Высокопрочные чугуны с аустенито-бейнитной структурой – перспективный материал для изготовления ответственных машиностроительных изделий. Получаемые высокие характеристики позволят заменить чугуном сталь, экспортируемую из-за рубежа и использовать его при изготовлении широкого круга изделий.

2. Эти изделия могут быть высоконагруженными, достаточно массогабаритными, но компактными (под компактностью мы понимаем то, что они имеют размеры по всем трем осям координат близкие, или соотносимые между собой). Это, например, шестерни, гильзы, втулки. В условиях Беларуси, где по данным министерства промышленности насчитывается около 60 организаций, имеющих литейное производство, а большая часть машиностроительных предприятий располагает термическими цехами, высоко-

прочные бейнитные чугуны могут действительно составить существенную конкуренцию импортному стальному прокату.

3. Для координации работ по технологии и материаловедению высококачественных чугунов остро необходимо создание в Беларуси государственной программы научных исследований. В России, например, давно существует госпрограмма по бейнитному чугуну, объединяющая широкий круг исследователей с рядом таких крупных предприятий, как «КамАЗ». Комплексная программа в Беларуси должна включать разделы по централизованному определению типоразмеров подходящих для перевода на чугун деталей, литейное, технологическое и материаловедческое направления исследований, разработку соответствующих стандартов.

4. Идея совершенствования материала рельс возникла, вероятно, в связи с тем что, несмотря на кризисные явления в экономике, потребность в рельсах в странах СНГ в данное время возрастает. Например, стратегия транспортного развития России до 2030 года [54], предусматривает резкий рост железнодорожного покрытия территории РФ. Прогнозы экономистов говорят, что еще лет 200 у железных дорог не будет альтернативы в области транспорта. Автомобили, самолеты и корабли не смогут перевозить столько пассажиров и грузов, сколько железные дороги. И пока существуют железные дороги, инженеров-путейцев, металлургов, материаловедов будут волновать проблемы производства рельс и их эксплуатационные качества.

5. Но что касается длинномерных деталей, то использование чугуна для них, по-видимому, неэффективно, а для железнодорожных рельсов,

возможно и опасно.

6. Относясь с глубоким уважением к авторам проекта, выдвинувшим столь неординарное предложение, тем не менее, считаем, что вероятность успешной реализации проекта по переводу стальных железнодорожных рельсов на чугуны, невелика.

7. Все же было бы опрометчиво ставить на этом точку. Несмотря на кажущуюся стабильность, ситуация в конкурентной борьбе литого высокопрочного чугуна и стального проката весьма динамична. Пути развития техники не всегда очевидны и прогнозируемы. Приведем пример, показывающий, как даже специалисту – лидеру в своей области бывает трудно выполнить верный прогноз. Это пример не из металлургии, а из совсем другой области – компьютерной техники. Вот высказывание, которое кажется нам сегодня смешным: «Думаю, что весь мировой рынок компьютеров – это, может быть, пять экземпляров». А ведь эти слова произнес председатель совета директоров компании IBM Томас Уотсон, причем относительно недавно, в 1943 году [55].

8. Поэтому, не претендуя в данной публикации на истину в последней инстанции, было бы интересно услышать мнение о чугунных железнодорожных рельсах от широкого круга специалистов как в области литейной науки (например, ИТМ, БНТУ, БЕЛНИИЛИТ и других), так и представителей производства (директоров и главных металлургов предприятий), Белорусского общества литейщиков и металлургов (БелОЛиМ), Белорусского общества инженеров-механиков и, конечно, Всесоюзного научно исследовательского института железнодорожного транспорта.

При необходимости список использованных в статье источников можно узнать в редакции журнала

ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ГОРЮЧИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Журавский Г.И.



Актуальность проблемы

За последние десятилетия проблема мусора во всем мире резко обострилась по причине изменения его качественного состава. Мусор стал по своему составу «высокотехногенным» и его прямое сжигание в специальных мусоросжигательных печах является недопустимым.

Проблема нового мусора состоит в том, что он допускает только частичную сортировку. После выделения некоторых полноценных компонент (металл, стекло или ПЭТ-тара) остается практи-

чески уже не разделяемая смесь деревоотходов, бумаги, текстиля и пластмасс всевозможных видов. Нынешний текстиль в своей массе – это не классический хлопок или шерсть, а те же полимерные материалы с полимерными красителями. Кусковые отходы пластмасс также имеют широчайший спектр своего состава, что не позволяет произвести их полноценную вторичную переработку.

За рубежом также была замечена и понята недопустимость прямого сжигания отсортирован-

ных остатков в прежних мусоросжигательных печах из-за ощутимого экологического ущерба. Можно заметить попытки (и не безуспешные) этих компаний поставить это уже не эффективное оборудование в так называемые развивающиеся страны.

Основой новой концепции становится представление о мусоре, как об энергетическом сырье, а не о затратных и трудно реализуемых вторичных отходах.

В основу новой концепции закладывается задача утилизации мусора посредством выработки из него на последнем этапе таких сверх ликвидных продуктов, как тепло или электроэнергия.

Имеются прогнозные данные, что в ближайшие десятилетия использование энергетического потенциала мусора может обеспечить выработку до 25 % от всего объема потребляемой энергии, что сравнимо с потенциалом атомной энергетики.

По новой концепции обращения с мусором коммерческим продуктом должны стать тепло и электроэнергия, получаемые децентрализованно из горючей части мусора не зависимо от его первичного состава.

Описание технологии

В настоящее время к технологиям переработки отходов предъявляются новые требования по экологическим, экономическим и техническим показателям. Компания предлагает 2-зонные газогенераторы обращенного процесса горения, имеющие возможность термохимической переработки композитного топлива, обеспечивающие повышение теплоты сгорания вырабатываемого газа и снижение вредных выбросов в окружающую атмосферу за счет уменьшения концентрации сернистых и хлористых соединений в получаемом газе посредством их хемосорбции с компонентами золы.

Тепловая эффективность газогенератора определяется возвратом в топочную зону части тепла от нагретых отработавших газов. Повышение калорийности получаемого газа обеспечивается совместной газификацией смеси отходов, а также более полным термохимическим разложением отходов на легкие горючие компоненты в 2-зонной топочной камере.

Оборудование позволяет получать генераторный газ с теплотой сгорания не менее 6,3 кДж/м³ (у природного газа около 11 кДж/м³) и жаропрочностью до 2000 °С (у природного газа-2042 °С). По удельному расходу топлива разработка соответствует лучшим мировым образцам техники.

Уникальность оборудования состоит в возможности использования горючей части мусора с очень широким спектром состава вследствие проведения процесса термоллиза в определенном диапазоне температур (в отличие от прямого сжигания) в изотермических условиях, направляющих процесс неравновесного термоллиза в нужном направлении для выработки качественного синтез-газа с предотвращением условий образования таких токсичных соединений, как диоксины и бензопирены.

Компания предлагает тепловую станцию, предназначенную для выработки тепловой энергии при помощи газогенератора-утилизатора, работающего на отходах бытового и промышленного происхождения.

Газогенераторное оборудование в качестве топлива может использовать смесь бытового мусора с отходами полимеров, нефтепродуктов, бумаги, ветоши, пластмассы, отходов деревообрабатывающей промышленности, в том числе ДСП и т.п.

Такая смесь будет иметь удельную теплоту сгорания около 30 кДж/кг. Из одного килограмма такой смеси получится генераторный газ в количестве 1,8 м³ и теплотворной способностью 6300 кДж/м³.

В целом, для обеспечения работы газогенератора тепловой мощностью 200 кВт, за один год при 3-х сменной работе будет израсходовано топлива, в виде отходов, около 800 тонн, что заместит топливные ресурсы в виде природного газа в количестве 300 000 м³ (при средней цене природного газа 5000 рублей за 1000 м³ это составит в денежном выражении 15 млн рублей год).

При эксплуатационных расходах до 100 тысяч рублей в месяц и стоимости комплекта оборудования до 14 млн рублей (под ключ) затраты пользователя окупятся примерно за год, при использовании своих собственных отходов.

При работе тепловой станции образуется незначительное количество золы IV класса опасности, которую с легкостью можно разместить на полигоне отходов.

Таким образом, использование отходов позволяет обеспечить двойной эффект: за счет получения тепловой энергии и за счет отсутствия необходимости размещения отходов на полигоне (а это 800 тонн помноженные на тариф размещения, доставку и экологический сбор).

Область применения

Предлагаемая газогенераторная технология обладает высокими экологическими и экономическими

ми показателями, по сравнению с аналогами, такими как: возможность применения для небольших территорий и поселений, в том числе закрытого типа, простота использования и эксплуатации, не требует для обслуживания высококвалифицированный персонал. К тому же тепловая станция обладает мобильностью и при необходимости может быть перемещена на другую площадку.

Тепловая станция может быть установлена в морских и речных портах, воинских частях, узловых станциях РЖД, в местах, где нет полигонов, а также там, где необходим источник постоянной тепловой энергии.

При разработке установки, учитывается любая специфика целей, задач и пожеланий заказчика (например, процесс загрузки отходов и отведения золы может быть автоматизирован).

В настоящее время компания работает над получением недорогого электричества, что в перспективе усилит востребованность установок (особенно в Арктике, и удалённых от электро-распределительных сетей посёлках и иных объектах).

Стоит отметить, что все оборудование производится в России и из отечественных комплектующих, а это актуально в условиях нынешних экономической и политической ситуаций.

Спецификация состава тепловой станции

№ поз.	Наименование	Количество, шт.
1	Газогенератор с площадкой обслуживания	1
2	Блок очистки газов	1
3	Котел водогрейный двухходовой	1
4	Система трубопроводов и клапанов	1
5	Система удаления газов (дымосос)	1
6	Система выброса в атмосферу (дымовая труба)	1
7	Шибер загрузочный	1
8	Система КИПиА	комплект
9	Блок подготовки сырья*	1
10	Запальная горелка*	1
* Опция, добавляется по желанию заказчика		*

Технические характеристики


1. Общая тепловая мощность, кВт, не менее	200
2. Коэффициент полезного действия, %, не менее	84
3. Теплотворная способность вырабатываемого генераторного газа (н.у.), кДж/м ³ , не менее	4300
4. Расход топлива, кг/час, не более	100
5. Объем бункера для топлива, м ³ , не менее	1,2
6. Объем камеры газификации, м ³ , не менее	0,8
7. Габариты площадки, м, не более	
длина	7,5
ширина	7,0
высота	7,5
8. Масса, кг, не более	2100
9. Полезная мощность теплообменника, кВт	233
10. Сопротивление топки теплообменника, мбар	2,4
11. Максимальное рабочее давление, бар	6

Пилотный проект установки тепловой станции реализован в 2013 году на судоремонтном заводе «Преголь», расположенном в акватории незамерзающего порта Калининград, одном из самых динамично развивающихся судоремонтных заводов Северо-Западного региона России. Тепловая станция прошла стадию пуско-наладки и адаптации, и в данный момент успешно работает.

Компания предлагает газогенераторные станции мощностью 500–1000 кВт под «ключ».



СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.АИЗ2.Н03188

Срок действия с 04.03.2014 по 03.03.2017

№ 0839925

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ рег. № РОСС RU.0001.10АИЗ2 Общество с ограниченной ответственностью "Дальневосточный сертификационный центр" (ОГРН 1102539005634), 690105, Российская Федерация, г. Владивосток, ул. Бородинская, д. 46/50. Телефон (423) 2345019, 2328423, 2345019, факс (423) 2345019, 2328423, 2345019, адрес электронной почты dvest32@mail.ru.

ПРОДУКЦИЯ Газогенератор на твердом топливе ГГ. Серийный выпуск ТУ 3696-001-10770360-2014.

код ОК 005 (ОКЛ):
36 9660

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ
ГОСТ 12.2.003-91


код ТН ВЭД России:
8405 10 000 9

ИЗГОТОВИТЕЛЬ Физлиц Общества с ограниченной ответственностью «НПО «Рот-Фронт». Адрес: 236000, г. Калининград, ул. 5-я Причалная, 1.

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН Физлиц Общества с ограниченной ответственностью «НПО «Рот-Фронт». Адрес: 236000, г. Калининград, ул. 5-я Причалная, 1. Телефон (4012) 50-84-90, факс (4012) 50-84-90.


НА ОСНОВАНИИ Протокол исследований № 109297-36 от 03.03.2014г., Испытательная лаборатория ООО «ПродМашТест», рег. № РОСС RU.0001.21АВ79 от 28.10.2011, адрес: 127015, Москва, Бумажный пр., 14, стр. 1

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Схема сертификации 3.



Руководитель органа

Эксперт



Кафташкин Л.В.

Баранов А.Н.

Сертификат не применяется при обязательной сертификации

УДК 69.002.5 – 82

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНШЕЙНЫХ МАШИН

А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело

Белорусский национальный технический университет

В статье изложены вопросы модернизации систем приводов рабочего оборудования траншейных машин, перевода систем приводов на современную элементную базу. Рассмотрены возможности перевода траншейных машин на шасси отечественного производства

Анализ состояния парка траншейных машин Вооруженных Сил Беларуси и России показывает моральный и физический износ основных базовых шасси, систем приводов технологического оборудования. В целом траншейные машины соответствуют своему предназначению и применение их в современных условиях актуально и сегодня. Но вместе с тем, одной из основных проблем в вопросах эксплуатации этой техники является ее содержание, обслуживание и ремонт. Это обусловлено, в первую очередь, отсутствием запасных частей, и агрегатов.

Анализ парка военно-инженерной техники современных развитых стран (Великобритания, Германия, Италия, Франция) показывает однозначное стремление военных ведомств этих стран размещать военно-технические заказы на предприятиях национальных военно-промышленных комплексов. Даже при наличии единых стандартов военно-политических блоков страны стремятся производить максимальное число образцов техники и вооружения. Эти подходы позволяют организовать большое количество рабочих мест, повысить благосостояние собственного населения.

Модернизация траншейных машин может проводиться по ряду направлений на базе промышленных предприятий транспортного машиностроения, тракторостроения Республики Беларусь [1], [2]. Техническая модер-

низация инженерной техники, наряду с разработкой вооружения, является основой повышения боевой мощи частей и соединений родов войск. Как в Беларуси, так и в Российской Федерации ведутся исследования по модернизации существующих базовых машин инженерного вооружения и поиск современных отечественных шасси для землеройной техники.

На вооружении в частях инженерных войск используется траншейные машины ТМК-2 (рис. 1, рис. 2), БТМ-3 (рис. 3) [3]. По своим тактико-техническим характеристикам в рамках принятых военно-политических доктрин Республики

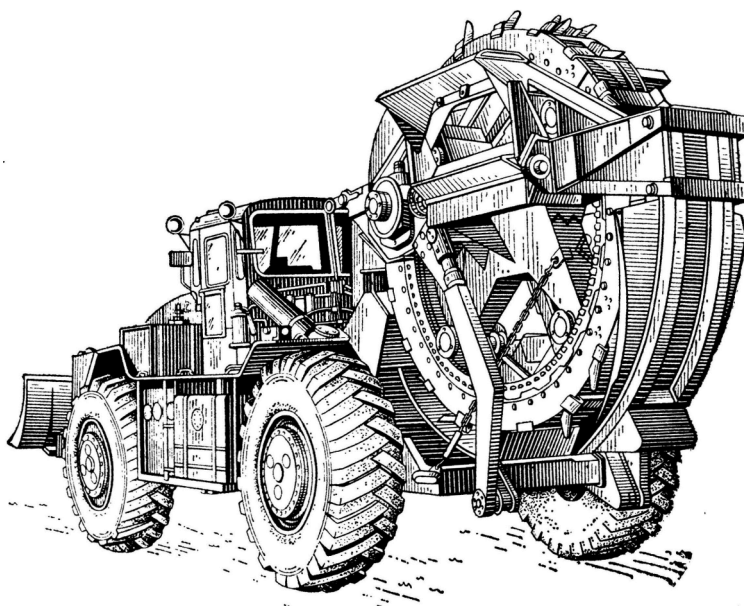


Рис. 1. Траншейная машина ТМК-2 (общий вид)

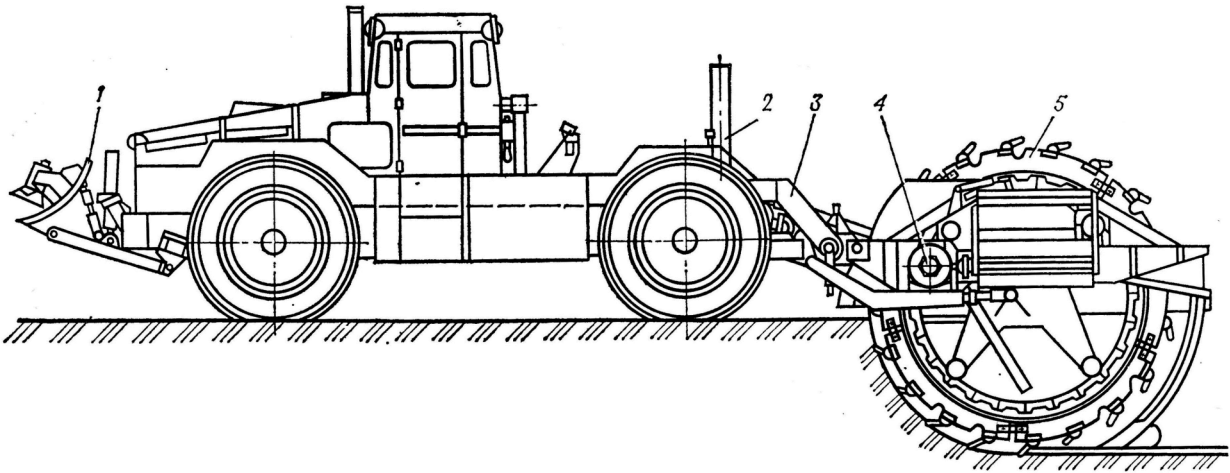


Рис. 2. Компонентная схема траншейной машины ТМК-2:

1 – бульдозерное оборудование; 2 – гидропривод; 3 – механизм подъема и опускания рабочего органа; 4 – трансмиссия рабочего органа; 5 – рабочий орган

Беларусь и существующих бюджетов страны эти машины соответствуют современному уровню решения боевых задач. Опыт эксплуатации показал, что поддержание работоспособного состояния техники является сложной инженерной задачей из-за отсутствия запасных частей и агрегатов, поскольку производство ТМК-2, БТМ-3 прекращено.

Военно-промышленный комплекс России проводит опытно-конструкторские работы по созданию современных образцов военно-инженерной техники для замещения устаревших. В этом направлении были реализованы проекты по замене траншейной машины ТМК-2 (1978 г.) на базе инженерного колесного тягача ИКТ траншейной машиной ТМК-3 (1993 г.) на шасси двухосного колесного трактора К-703МВ. Реализован проект по замене траншейной машины БТМ-3 (1963 г.) на базе АТ-Т на БТМ-4М (1997 г.) на специальном шасси 2С7М, реализованного на узлах танков Т-72, Т-80.

Финансовые ресурсы, обеспечивающие импорт военно-инженерной техники для механизации земляных работ в бюджет Республики Беларусь не закладываются.

Траншейная машина ТМК-2 предназначена для отрывки траншей и ходов сообщений при инженерном оборудовании позиций войск. Рабочий орган предназначен для разрушения, подъема и отвала грунта в бруствер по обе стороны траншеи.

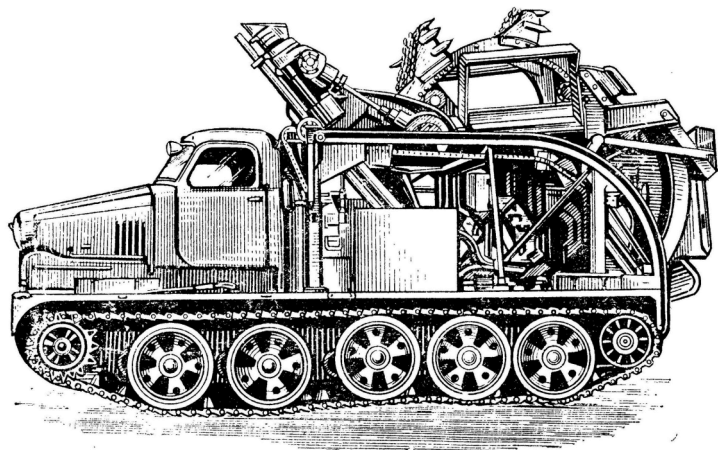


Рис. 3. Траншейная машина БТМ-3 (общий вид)

Рабочий орган роторный, бесшовный с режущими тьюбинговыми элементами. Бульдозерное оборудование предназначено для механизации следующих земляных работ: подготовка трассы для отрывки траншей, подготовка путей движения по трассе, отрывка котлована при самоокапывании. Траншейная машина БТМ-3 предназначена для рытья траншей и ходов сообщений в грунтах 1–4 категорий глубиной до 1,5 м прямоугольного и криволинейного очертания с отвалом грунта в бруствер по обе стороны траншеи.

Наиболее доступным вариантом обновления траншейных машин Республики Беларусь является модернизация, расширяющая использование гидравлических систем приводов рабочего оборудования на современной элементной базе.

При создании новых образцов траншейных машин на базе колесных шасси в качестве альтернативы инженерному колесному тягачу ИКТ может быть применена доработанная по стандартам Вооруженных Сил Республики Беларусь модификация трактора МоАЗ-49011 (рис. 4), производства Могилевского автомобильного завода. Трактор оснащен двигателем ЯМЗ-238Б, мощностью 220 кВт, его масса составляет 13500 кг.

При недостатке габаритных возможностей в районе заднего моста для установки рабочего оборудования траншейной машины может быть применена доработанная по стандартам Вооруженных Сил Республики Беларусь модификация шасси технологического оборудования с колесной формулой 6×6. Модификации шасси освоены в производстве образцов спецтехники Минского тракторного завода: машина лесная харвестер «Беларус» МЛХ-424, машина лесная харвестер «Беларус» МЛХ-434, машина лесная погрузочно-транспортная «Беларус» МЛПТ-364. Также шасси освоены в производстве ОАО «Амкодор»: «Амкодор 2551» харвестер; «Амкодор 2661», «Амкодор 2661.01» форвардер.

На современном этапе при модернизации систем приводов рабочего оборудования траншейных машин ТМК-2, БТМ-3 важнейшим направлением является замена сложных и материалоемких механических систем приводов роторного рабочего органа и метателя грунта гидравлическими приводами, реализованными на современной элементной базе. Это позволит уменьшить массу рабочего оборудования и снизить стоимость изготовления, повысит надежность рабочего оборудования, исключая поломки элементов привода при динамическом увеличении нагрузки, упростит техническое обслуживание и ремонт траншейных машин.

В рамках модернизации системы приводов рабочего оборудования траншейных машин ТМК-2, БТМ-3 [1] авторами разработаны принципиальные схемы гидропривода рабочего оборудования траншейных машин (рис. 5). Гидравлический привод рабочего оборудования траншейной машины ТМК-2 обеспечивает позиционирование отвала бульдозера, установленного в носовой части машины, позиционирование и привод роторного рабочего органа, расположенного в



Рис. 4. Трактор МоАЗ-49011 производства Могилевского автомобильного завода

кормовой части машины. Гидравлический привод рабочего оборудования траншейной машины БТМ-3 обеспечивает позиционирование и привод роторного рабочего органа, расположенного в кормовой части машины.

Предлагается гидравлический привод роторного рабочего органа траншейных машин ТМК-2 (рис. 5, а), БТМ-3 (рис. 5, б) оснастить насосной установкой 1 и гидромотором 12 привода роторного рабочего органа. Рекомендована к использованию насосная установка 1, состоящая из регулируемого насоса 2 серии 313.3.80, 313.3.107, предназначенного для работы в открытом контуре с баком 3 гидросистемы, и системы автоматического поддержания параметров работы насоса, включающей электронный блок управления 4, гидрораспределитель 5. Номинальный объем насоса – 80, 107 см³, минимальный 0 см³. Производитель ОАО «Пневмостроймашина» РФ [4]. В блоке управления 4 насоса 2 заложена информация о режиме работы насоса при использовании бульдозерного оборудования и роторного рабочего органа на всех грунтах, что обеспечивает оптимальный режим работы рабочего оборудования и двигателя машины. Насос обеспечивает работу при номинальной частоте вращения 1200–1500 мин⁻¹. Масса насоса 38, 40 кг, потребляемая номинальная мощность при номинальной частоте вращения 1500, 1200 мин⁻¹ – 41,0 и 44,0 кВт. Для привода роторного рабочего органа может быть использован радиально-поршневой гидромотор 12, устанавливаемый на редуктор бортовой правый роторного рабочего органа, обеспечивающий деление потока мощности гидро-

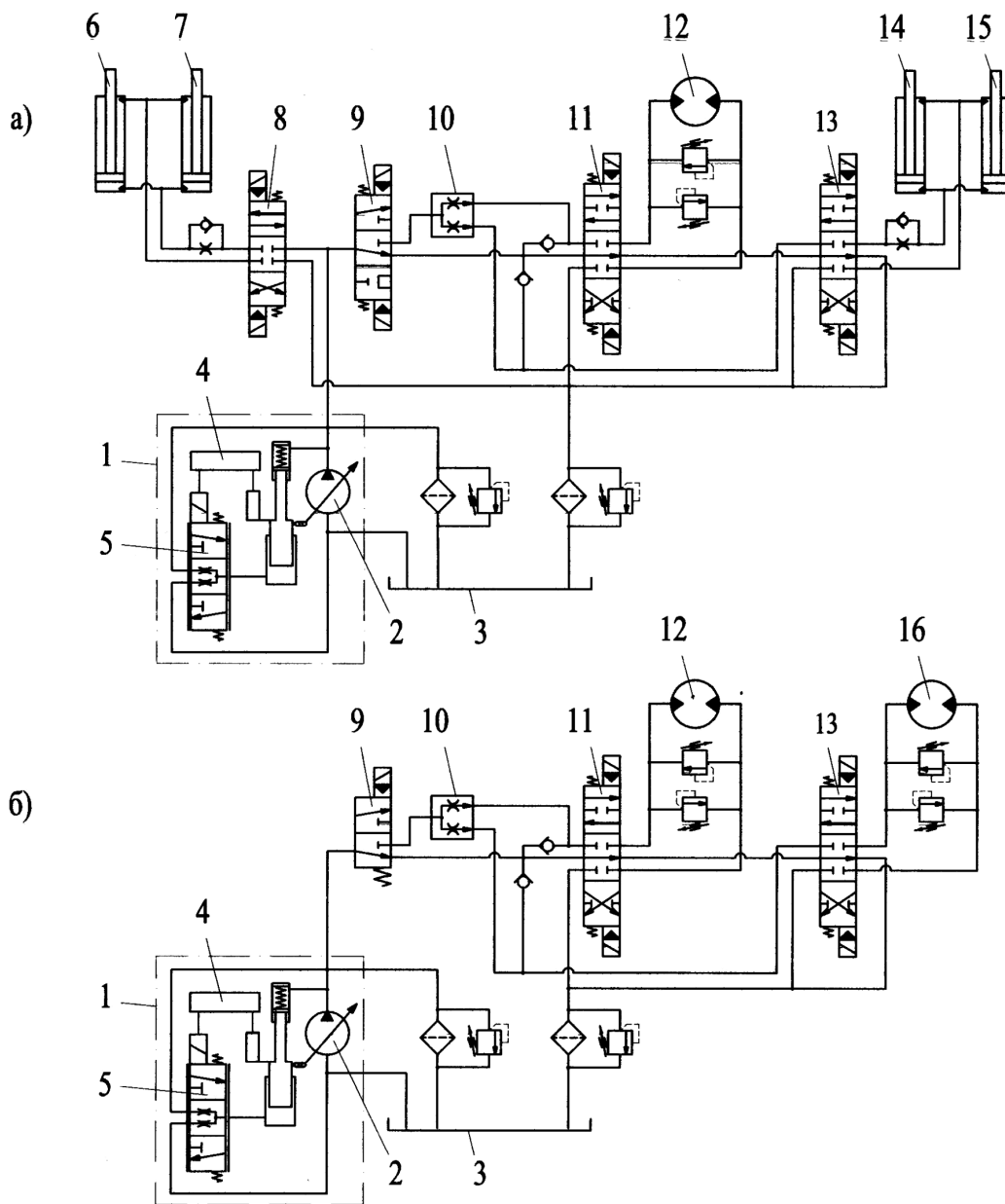


Рис. 5. Принципиальная схема модернизированного гидропривода рабочего оборудования траншейной машины:

а – ТКМ-2; б – БТМ-3; 1 – насосный агрегат; 2 – насос; 3 – бак; 4 – электронный блок управления; 5 – гидрораспределитель управления насоса; 6, 7, 14, 15 – гидроцилиндр; 8, 9, 11, 13 – гидрораспределитель; 10 – делитель потока; 12, 16 – гидромотор

мотора 12 на привод ротора и метателя грунта. Трансмиссия привода роторного рабочего органа обеспечивает вращение его в диапазоне частот 9,15–2,35 мин⁻¹ и метателя грунта – 280–379 мин⁻¹. Исходя из кинематической схемы привода роторного рабочего органа, гидромотор 12 должен обеспечивать частоту вращения метателя грунта. При номинальной подаче рабочей жидкости насоса 2 в 114, 122 л/мин необходимый объем ги-

дромотора 12 составит (322–436), (301–407) см³. При этом, за основу следует брать нижние значения объемов. Определенным параметрам может удовлетворять радиально-поршневой гидромотор серии MR размерной группы 300, 350 массой 50, 77 кг. Использование насосов с подачей рабочей жидкости 122 л/мин потребует увеличение на машине емкости баков 3 для гидравлической жидкости до 250–300 л. Повышение мощности

гидравлического привода возможно увеличением объема насоса 2 при соответствующем увеличении объема гидромотора 12 и емкости бака 3 для гидравлической жидкости. Возможна установка систем охлаждения гидравлической жидкости, которая позволит уменьшить объем бака 3.

Позиционирование и управление режимом работы роторного рабочего органа траншейной машины ТМК-2 осуществляется гидроцилиндрами 14, 15, гидромотором 12 и трехпозиционными гидрораспределителями 13, 11 (рис. 5, а). Позиционирование отвала бульдозера осуществляется гидроцилиндрами 6, 7 трехпозиционным гидрораспределителем 8.

Траншейная машина ТМК-2 не работает одновременно с бульдозерным оборудованием и роторным рабочим органом, поскольку инженерный колесный тягач ИКТ не обеспечит необходимого тягового усилия, а оператор – оптимального режима управления обоими видами оборудования. Изменение режима работы ТМК-2 обеспечивает трехпозиционный гидрораспределитель 9. При позиционировании отвала бульдозера гидрораспределитель 9 переводится в третью позицию (на рис. 5, а нижнюю), насос 2 подает рабочую жидкость в рабочие полости гидроцилиндров 6, 7.

При работе роторного рабочего органа отвал бульдозера поднимается в верхнее положение посредством гидрораспределителя 8. При одновременной работе гидромотора 12 и гидроцилиндров 14, 15 привода и позиционирования роторного рабочего органа гидрораспределитель 9 переводится в первую позицию (рис. 5, а верхнюю) и рабочая жидкость насоса 2 подается в рабочие полости гидромотора 12 и гидроцилиндров 14, 15 через делитель потока 10. Делитель потока 10 обеспечивает независимую работу контуров гидромотора 12 и гидроцилиндров 14, 15. При работе гидромотора 12 привода роторного рабочего органа при неизменном его положении, либо позиционировании остановленного роторного рабочего органа гидрораспределитель 9 переводится во вторую позицию, и насос 2 работает с одним

из этих контуров.

Механизм подъема и опускания роторного рабочего органа траншейной машины БТМ-3 предназначен для перевода рабочего органа из транспортного положения в рабочее и обратно, а также для регулирования глубины траншеи. Для привода лебедки подъема и опускания роторного рабочего органа может быть применен радиально-поршневой гидромотор 16 (рис. 5, б) серии MR размерной группы 160, 190 массой 46 кг.

При одновременной работе гидромоторов 12, 16 привода и позиционирования роторного рабочего органа гидрораспределитель 9 переводится в первую позицию (на рис. 5, б верхнюю) и рабочая жидкость насоса 2 подается в рабочие полости гидромоторов 12, 16 через делитель потока 10. Делитель потока 10 обеспечивает независимую работу контуров гидромоторов 12, 16. При работе гидромотора 12 привода роторного рабочего органа при неизменном его положении, либо позиционировании остановленного роторного рабочего органа гидромотором 16 привода лебедки, гидрораспределитель 9 переводится во вторую позицию, и насос 2 работает с одним из этих контуров.

При встрече роторного рабочего органа с препятствием при работе его, либо позиционировании, клапаны, установленные в напорных магистралях гидромоторов 12, 16 снижают динамическую нагрузку роторного рабочего органа и насоса 2. Реверсирование роторного рабочего органа, необходимое при встрече с препятствием, обеспечивается гидрораспределителем 11.

Все перечисленные алгоритмы работы гидропривода рабочего оборудования траншейных машин ТМК-2, БТМ-3 заложены в блоке управления 4 насоса 2.

Создание новой траншейной машины на базе шасси производства Республики Беларусь и модернизация системы приводов рабочего оборудования ТМК-2, БТМ-3 позволит обеспечить надежную эксплуатацию машины в частях инженерных войск.

Список использованных источников

1. Котлобай, А.Я. Формирование направлений модернизации землеройных машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Наука и техника. 2013. № 5. – С. 54–59.
2. Котлобай, А.Я. Анализ направлений и возможностей модернизации инженерной техники Вооруженных Сил / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ю. Шляхтун, В.Ф. Тамело // Наука и военная безопасность. – 2014. – № 1. – С. 27–30.
3. Ольшанский, А.В. Машины инженерного вооружения. Часть I. Общая характеристика. Машины для преодоления разрушений и механизации земляных работ: учебник для курсантов военных училищ инженерных войск / А.В. Ольшанский, Н.Ф. Федотов, Н.Г. Бородин, В.П. Трянин, А.И. Гельфарб, В.А. Ржевский, П.А. Потапов, А.Н. Караваенко; Под ред. А.В. Ольшанского. – М.: Военное издательство, 1986 – 422 с.
4. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.

УСТРОЙСТВО ТРУБНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ РЕЗЕРВНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

Дядичкин А. Ф.

первый 1960–65 гг. в начальник диспетчерской службы Треста «Мингаз» Главгаза БССР

В феврале в прессе появилась информация о целесообразности перевода с газа некоторых энергоёмких предприятий Министерства энергетики. Такое предложение обосновано разными стоимостными показателями цены на газ и мазут, а именно в настоящее время стоимость мазута ниже стоимости газа.

Надо отметить, цены на газ и мазут со временем меняются, в отличие от эксплуатационных затрат. В настоящее время страна платит за газ чуть больше 142 доллара за тысячу кубометров, а в 80-е годы платила значительно меньше и его цена в те годы была ниже цены мазута.

Принимать решения о переводе объектов газопотребления с газа на мазут, руководствуясь только одними показателями цены на топливо, без учета эксплуатационных издержек, нельзя.

Мазутное хозяйство объектов газопотребления представляет собой сложное устройство. В состав его входят: мазутохранилище, резервуар для присадки мазута, фильтры грубой и тонкой очистки, подогреватели мазута, охладители конденсата, мазутопроводы, паро и конденсатопроводы, дренажные трубопроводы, насосы различного назначения. При рассмотрении вопроса о переводе потребителей газа на резервное топливо следует исходить из значимости объекта и размера материального ущерба. Если перевод электростанций Министерства энергетики и отдельных потребителей 1-ой категории может быть экономически оправдан, то использование менее эффективно мазута в качестве топлива на промышленных предприятиях, даже где газомазутные горелки на агрегатных установках не демонтированы, вызовет материальный ущерб. Уменьшается КПД работы технологических печей, сушил и снижается качество продукции в связи с тем, что в процессе

монтажа газового оборудования при первичном пуске газа и при последующем переоборудовании технологических установок на мазут изменялись их конструкции в сторону уменьшения топочного объёма. Сжигание в котельных некачественного мазута вызывает загрязнение поверхности нагрева топок и следовательно условий теплопередачи.

В середине 60-х годов прошлого столетия диспетчерской службой Треста «Мингаз» было выполнено исследование эффективности сжигания мазута на пяти крупных энергоёмких предприятиях г. Минска. По результатам исследования был выявлен размер материального ущерба, причиненного таким предприятиям в результате их кратковременного перевода на сжигание мазута. Автором статьи предложена формула для определения материального ущерба.

$$y = y' \frac{BQ^M \eta^M}{1000Q^Г \eta^Г};$$

где y' – удельный ущерб, руб/1000 кубометров газа;

B – количество используемого резервного топлива, кг;

$Q^M, Q^Г$ – низкая теплота сгорания мазута, кДж/кг, кДж/м³;

$\eta^M, \eta^Г$ – КПД установок при использовании мазута и газа.

Исследованием установлено, что удельный ущерб y' в ценах 60-х годов прошлого столетия при переводе на мазут промышленных предприятий, потребляющих топливо на технологические нужды, составлял 46,5 рублей на 1000 м³ сжигаемого мазута.

В середине 60-х годов поставка газа газосбытовой организацией «Западтрансгаз» Минску осуществлялась строго в соответствии с требо-

ваниями Правил пользования газом в народном хозяйстве СССР. В Правилах указывалось: при перерасходе потребителем суточного лимита отбора газа газосбытовой организации представляется право проводить принудительное ограничение подаваемого газа до установленного суточного лимита. Также указывалось, что газосбытовая организация обеспечивает необходимое давление газа на выходе из газораспределительной станции при условии соблюдения потребителями плановой дисциплины отбора газа. Плановую дисциплину равномерного отбора газа город не выполнял. Потребление газа городом как по дням недели, так и по часам суток осуществлялось неравномерно. Недельная неравномерность характерна тем, что в субботние и воскресные дни расход газа городом заметно снижается, а в будние дни потребление его возрастает и превышает суточный лимит расхода газа, установленный Минску «Западтрансгазом». Неравномерность газопотребления по часам суток также характеризуется колебаниями расхода как промышленными предприятиями, так и отопительными котельными особенно в холодные дни зимнего периода времени. В период низкого газопотребления газ накапливается в газопроводных сетях и затем за счет аккумулирующей способности их выдается потребителям в период высокого газопотребления. Однако, действующий режим работы распределительных газопроводов с учётом использования их аккумулирующей способности газосбытовая организация «Западтрансгаз» во внимание не принимала. В результате в будние дни «Западтрансгаз» в принудительном порядке ограничивал подачу газа в городскую сеть путем снижения давления газа на выходе из газораспределительной станции. В этих условиях в целях обеспечения бесперебойного снабжения газом населения было принято решение перевести на резервное топливо – мазут ряд предприятий 1-ой группы, у которых снижение давления привело бы к нарушению технологического процесса и могло повлечь за собой значительный материальный ущерб. После перевода технологических агрегатов на мазут на одном из таких предприятий в связи с выбросами продуктов сгорания мазута в помещении цеха рабочие отказались обслуживать кузнечные печи и направили делегацию в БРК профсоюза, где рассматривался этот вопрос. Решением вопроса обеспечения бесперебойной поставки газа городу в пределах суточного лимита за счет использования аккумулирующей способности газопровода занимался и трест

«Мингаз». Диспетчерской службой треста был выполнен расчет с обоснованием невозможности равномерного отбора газа потребителями. Так же было предложено учитывать, что городские сети работают в режиме аккумуляирования газа в трубах в период низкого газопотребления (выходные дни и ночные часы), что позволяет потреблять газ городом не нарушая месячного лимита.

Подготовленные диспетчерской службой Треста Мингаз документы с расчетами были направлены в Министерство газовой промышленности СССР. К сожалению положительного ответа на все предложения Мингаза не последовало.

В условиях ограниченной подачи газа городу или при аварийных ситуациях бесперебойное снабжение потребителей топливом возможно осуществлять путем:

- создания резервных запасов мазута и его хранение на территории объектов топливопотребления;
- накопления и переводом потребителей на сжигание искусственного газа, получаемого из биотоплива или при мусоросжигании;
- сжижения, регазификации хранения и использования сжиженного природного газа;
- использования нетрадиционных источников энергоснабжения (гидроагрегатов, гелиоустановок, ветроагрегатов);
- хранения газа в газгольдерах.

Выбор способа резервирования топлива в каждом отдельном случае должен быть обоснован технико-экономическими расчетами.

В нашей стране в настоящее время на некоторых крупных газоёмких промышленных объектах газопотреблениях, ТЭЦ в качестве резервного топлива используется мазут. Доставляется он в автоцистернах и хранится в резервуарах, размещаемых в помещениях или на территориях предприятий.

Впервые автором статьи предлагается взамен мазута в качестве резервного топлива использовать природный газ, размещаемый в трубных резервуарах.

Трубный резервуар представляет собой блок из отрезков сварных бесшовных труб с толщиной стенки не менее 8 мм, сваренных в одну или несколько ниток. Размещаться резервуар может на территории объектов газопотребления с заглублением в землю или укладываться на опоры с наружи зданий. Газ для заполнения резервуара подается по газопроводу, врезаемому в распределительный газопровод высокого давления до 1,2 МПа до ГРП объекта газопотребления или при

помощи компрессора. В последнем случае трубный резервуар будет представлять собой устройство, включающее в себя кроме труб компрессор и регулятор для ступенчатого снижения давления, обеспечивающего нормальную работу газовых горелок.

При расчете параметров устройства трубных резервуарах для резервного газоснабжения объектов газопотребления использованы уравнения для установившегося режима газопередачи.

Объем аккумулирующей вместимости трубных резервуаров определяется по уравнению:

$$V_x = \frac{T_{CT}}{Z_{CP} T_{CP} P_0} (V_0 + V_a)(P_1 + P_2);$$

где V_0 , V_a – геометрический объем трубного резервуара и объем газа, подлежащего хранению в резервуаре, m^3 ;

T_{CP} , T_{CT} – действительная средняя и стандартная температура газа, К ($T_{CT} = 273$ К);

Z_{CP} – средний коэффициент сжимаемости ($Z_{CP} = 0,95$);

P_0 – давление газа при нормальных условиях, $P_0 = 0,1$ МПа;

P_1 – давление газа на входе трубы-резервуара, МПа;

P_2 – минимальное давление газа подаваемого на горелки, МПа.

В результате преобразования после приведения газа к стандартным условиям уравнение для определения аккумулирующей вместимости резервуара принимает вид:

$$V_x = \frac{2874}{T_{CP}} (V_0 + V_a)(P_1 - P_2); \quad (1)$$

Геометрический объем трубного резервуара находим по формуле:

$$V_0 = 0,785d^2l, \quad (2)$$

где d – внутренний диаметр трубопровода, мм;

l – общая длина трубного резервуара, мм.

Объем аккумулируемого газа за период «провала» нагрузки газопотребления находится по уравнению [1]:

$$V_a = \frac{2}{3} t(q_{cp} + q_{мин}); \quad (3)$$

где t – время аккумуляции газа, час;

q_{cp} , $q_{мин}$ – среднечасовой и минимальный за период «провала» нагрузки расход газа, m^3 .

Эквивалентные резервные объемы топлива (мазута, газа) найдем из выражения:

$$V^M Q^M = V^Г Q^Г \rho; \quad (4);$$

где V^M , $V^Г$ – объемы мазута и газа, хранящиеся в емкости резервуаров, m^3 ;

Q^M – расчетная теплота сгорания мазута 9650 ккал/ m^3 ;

$Q^Г$ – расчетная теплота сгорания газа 1193 ккал/ m^3 ;

ρ – плотность газа, kg/m^3 .

Расчет выполнен по двум вариантам

Вариант 1. Заполнение трубного резервуара газом от распределительного газопровода без применения компрессора.

1. Выявить степень неравномерности расхода газа котельной, используя данные графика суточного расхода газа потребителя.

2. Определить объем газа, подлежащего хранению в ёмкости трубного резервуара.

3. Определить аккумулирующую вместимость трубного резервуара.

Исходные данные: график суточного расхода газа; давление газа на вводе в резервуар $P_1 = 1,2$ МПа; давление газа на выходе к горелкам $P_2 = 0,03$ МПа; общая длина трубного резервуара $l = 90$ м; диаметр труб резервуара – $\varnothing 273 \times 8$ мм.

Решение: Как видно из графика общий суточный расход газа котельной составляет $106320 m^3$. Среднечасовое потребление – $4430 m^3$.

При постоянном неизменном поступлении газа из распределительных сетей города потребление газа котельной неравномерно. В часы низкого потребления («провала» нагрузки), т.е. когда потребление газа меньше среднего часового количества газ аккумулируется в газопроводе и следовательно давление повышается. За счет этого в часы высокого газопотребления «пик» нагрузки подается не среднечасовое количество, а несколько больше.

Работа газопровода в таком режиме позволяет «сглаживать» пиковые нагрузки и следовательно регулировать суточную неравномерность газопотребления.

Объем газа, подлежащего хранению, определяем путем отнимания от среднесуточного расхода расход газа котельной за каждый час периода низкого газопотребления. Складывая эти значения, получим общий объем, подлежащего хранению газа за весь период «провала» нагрузки.

Результаты расчета приведены в таблице 1. Как показал расчет объем накопленного в ёмкости трубного резервуара газа составляет $7150 m^3$.

Геометрический объем трубного резервуара с внутренним диаметром труб $0,257$ мм составляет: $V_0 = 0,785 \cdot 0,257^2 \cdot 90 = 4,7 m^3$.

Таблица 1

Расчет потребления газа котельной

Часы суток	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Расход газа за данный час	4200	4020	4160	4200	4260	4420	4940	5300	4820	4640	3950	3540
Накопление газа (период провала)	230	410	270	230	150	10	–	–	–	–	480	890
Дефицит газа (период пик)	–	–	–	–	–	–	510	870	390	210	–	–
Часы суток	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Расход газа за данный час	3400	3750	3350	3710	3900	4410	5300	5190	5280	5280	5300	5400
Накопление газа (период провала)	1030	1080	1080	720	530	20	–	–	–	–	–	–
Дефицит газа (период пик)	–	–	–	–	–	–	870	760	850	850	870	970
Расход за сутки, м ³	106 320											
Расход среднесуточный, м ³	4430											
Накопление газа, м ³	7150											

Аккумулирующую вместимость трубного резервуара при температуре $t = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ определяем по уравнению (1):

$$V_x = \frac{2874}{280} (7150 + 4,7)(1,2 - 0,03) = 88740 \text{ м}^3;$$

Процент накопления газа от суточного потребления составляет $\frac{88740}{106320} = 83\%$.

Вариант 2. Заполнение трубного резервуара газом с использованием компрессора.

В связи с переводом объекта газопотребления с мазута на газ, заменой газомазутных горелок на газовые и демонтажом мазутохранилища определить:

1. Объем газа, подлежащего хранению в трубном резервуаре, эквивалентного объему заменяемого им мазута;
2. Геометрический объем проектируемого трубного резервуара;
3. Объем аккумулируемого газа за период «провала» нагрузки газопотребления объектами.
4. Величину давления, создаваемого компрессором, обеспечивающую полное заполнение ёмкости трубного резервуара газом.

Исходные данные: количество резервного топлива в хранилище мазута – 11480 кг; суточный расход газа объектом после перевода его с мазута на газ $V = 25400 \text{ м}^3/\text{сут}$; среднесуточный расход газа – $V = 1060 \text{ м}^3/\text{ч}$; минимальный расход газа $V_{\text{мин}} = 790 \text{ м}^3/\text{ч}$; время аккумуляции газа $t = 10 \text{ час}$; давление газа на входе в резервуар $P_1 = 0,3 \text{ МПа}$; давление газа перед горелкой $P_2 = 0,02 \text{ МПа}$; общая длина проектируемого трубного резервуара $l = 60 \text{ м}$; диаметр труб резервуара $\text{Ø}273 \times 8 \text{ мм}$.

Решение: находим объем газа, подлежащего хранению в трубном резервуаре, эквивалентного объему заменяемого им мазута из выражения (4):

$$V_{\Gamma} = \frac{V^M Q^M}{Q^{\Gamma} \rho} = \frac{11480 \cdot 9650}{11930 \cdot 0.73} = 12690 \text{ м}^3;$$

Геометрический объем проектируемого трубного резервуара равен:

$$V_0 = 0,785 \cdot 0,2572 \cdot 60 = 15,6 \text{ м}^3;$$

Объем аккумулируемого газа за период «провала» нагрузки определяется по уравнению (3):

$$V_a = 2/3 \cdot 10 \cdot (1060 - 790) = 1800 \text{ м}^3;$$

Требуемую величину давления, создаваемую компрессором, определяем из уравнения (1):

$$P_1 - P_2 = \frac{V^{\Gamma} T_{CP}}{2874(V_0 + V_a)} = \frac{12690 \cdot 280}{2874(15,6 + 1800)} = 0,68 \text{ МПа};$$

$$P_1 = 0,68 + P_2 = 0,68 + 0,002 = 0,7 \text{ МПа}.$$

Как видно из расчета, для заполнения и хранения газа в ёмкости проектируемого трубного резервуара в количестве 12690 м^3 взамен мазута, потребуется создать давление компрессором не менее $0,7 \text{ МПа}$ (7 кгс/см^2).

Правилами подачи газа магистральным газопроводам и потребителям установлен порядок подачи газа с условием равномерного его отбора по дням недели в течении месяца.

При перерасходе потребителями установленного им суточного лимита газопотребления газосбытовой организации предоставлено право принимать решение о принудительном ограничении подачи газа на газоиспользующие установки

потребителей путем снижения давления на выходе из газораспределительной станции. Однако, потребление газа городом неравномерно по дням недели в течение месяца. В будние дни, особенно зимнего периода года, отбор газа потребителями превышает суточную норму газопотребления, а в выходные дни и ночные часы потребление сокращается. Накопленный за такой период газ в трубном резервуаре будет поступать к потребителю.

Таким образом, трубные резервуары резервного газоснабжения способны обеспечить регулирование режима работы газовых сетей без нарушения установленного лимита газопотребления.

Устройство трубных резервуаров позволит

также решить вопрос резервного топливоснабжения объектов коммунально-бытового назначения, а так же котельных, газоиспользующее оборудование которых конструктивно не приспособлено к работе на других видах топлива. В трубных резервуарах за счет накопления газа за период низкого его отбора потребителями возможно создать резервные запасы газа для обеспечения бесперебойной работы газоиспользующих установок объектов, у которых отключение газа или снижение его давления вызовет нарушение технологического процесса и повлечет за собой остановку оборудования или материальный ущерб вследствие порчи или недоотпуска продукции.

Список использованных источников

1. Дядичкин, А.Ф. Как создать резервный запас газа для обеспечения надежности снабжения им потребителей / А.Ф. Дядичкин // Промышленная безопасность: журнал. – 2007. – № 5.

УДК 539.2: 658.562

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ ГРАДИЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алексеева Ю.С., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г., Калашников И.Е.

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва

Витязь П.А., Хейфец М.Л.

Президиум НАН Беларуси, Минск

Сенють В.Т.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск

Введение. Градиентные композиционные материалы (ГКМ) отличаются от традиционных изотропных КМ наличием пространственно неоднородных структур, благодаря которым они приобретают новые свойства и способны выпол-

нять новые функции. Поиск и разработка новых технологических процессов синтеза ГКМ для моделирования их строения, определяемого параметрами нагружения изделия, представляют собой актуальную задачу при проектировании и

изготовлении конструкций, работающих в экстремальных условиях [1, 2].

ГКМ изготавливают чаще всего методами порошковой металлургии, спеканием градиентных порошковых смесей или инфильтрацией специально собранных порошковых каркасов переменного состава. Изготовление анизотропных структур центробежным литьем известно давно, однако возможности получения заданного молекулярного дизайна в дисперсно наполненных КМ изучены слабо, а влияние градиента распределения наполнителя на работоспособность литых ГКМ осталось практически неизученным [3–5].

Цель работы – апробировать центробежное литье для получения ГКМ на базе алюминиевых сплавов армированием керамическими частицами различной природы и состава, а поверхностные слои с повышенной концентрацией армирующей фазы сформировать за счет направленного перемещения дисперсных частиц в жидкой металлической суспензии.

Анализ движения армирующих частиц в центробежном поле. Перемещение дисперсных частиц в поле действия центробежных сил определяется их плотностью. Твердые дисперсные частицы, имеющие плотность большую, чем матричный алюминиевый сплав, перемещаются к наружной стенке формы (изложницы), менее плотные – к оси вращения, на свободную поверхность (во внутреннюю часть отливки).

Центробежная сила, действующая на частицу, описывается уравнением:

$$P_{ц} = \omega^2 r V (\rho_{ч} - \rho_{м}),$$

где ω – угловая скорость вращения, сек^{-1} ; r – радиус центра сил инерции частицы и радиус центра сил инерции вытесненного объема жидкого металла, в случае, когда тело имеет однородную плотность, см; V – объем дисперсной частицы, см^3 ; $\rho_{ч}$ и $\rho_{м}$ – соответственно плотность частицы и жидкого металла, г/см^3 .

Из уравнения видно что силы, действующие на частицу, погруженную во вращающийся расплав, возрастают в $\omega^2 r/g$ раз (где g – ускорение свободного падения, см/с^2). Видно также, что сила, действующая на частицы при центробежном литье, увеличивается с увеличением плотности частиц, помещенных в расплав.

В табл. 1 приведены значения $\rho_{ч} - \rho_{м}$ для алюминиевого сплава АК12 (удельный вес $\rho_{м} = 2,67 \text{ г/см}^3$) и различных частиц, используемых для армирования КМ.

Таблица 1

Значения $\rho_{ч} - \rho_{м}$ для различных армирующих частиц в алюминиевом расплаве

Дисперсные частицы	$\rho_{ч}, \text{г/см}^3$	$(\rho_{ч} - \rho_{м}), \text{г/см}^3$
SiC	3,2	0,54
Al ₂ O ₃	3,99	1,33
Графит	1,7	-0,96
SiO ₂	2,65	-0,01
B ₄ C	2,5	-0,16
Базальт	2,75	0,09

Из табл. 1 следует, что подъемная сила частиц графита, SiO₂, B₄C имеет отрицательный знак, что объясняет их всплывание и перемещение к свободной внутренней поверхности при вращении жидкого расплава. Основная часть армирующих частиц, находящихся во вращающемся расплаве, согласно табл. 1, будет стремиться к перемещению в сторону стенок изложницы. Известно также, что если инородное включение в момент заливки жидкого металла касается стенки формы, то оно прижимается жидким металлом к ней и не всплывает, несмотря на меньшую плотность. Необходимо также учитывать транспортные функции частиц разной плотности. Это в совокупности, создает возможности для синтезирования ГКМ методами литья с различной степенью армирования.

Методика исследований и аппаратура. Технологией центробежного литья были изготовлены образцы градиентных КМ различных составов (табл. 2).

Образцы ГКМ имели форму втулок с наружным диаметром 90 мм, внутренним диаметром 60 мм, высотой 60 мм. Цилиндры разрезали на сектора по образующей и анализировали их боковую поверхность с наружной и внутренней сторон.

Таблица 2

Составы образцов, изготовленных методом центробежного литья

№№ составов	Композиции
1	AK12-10%Al ₂ O ₃ (средний размер частиц $\bar{A}_{ср} = 40\text{мкм}$)
2	AK12+10%C ($\bar{A}_{ср} = 200\text{--}400\text{мкм}$)
3	AK12+2%Al ₂ O ₃ +3%C
4	AK12+10%Al ₂ O ₃ +2%C
5	AK12+10%B ₄ C ($\bar{A} \approx 60\text{мкм}$)
6	AK12 + 5% базальта (короткие волокна $\bar{A}_{ср} = 12 \text{ мкм}$, длина $\bar{L} \approx 3 \text{ мм}$)

Режим центробежного литья был одинаков для всех образцов: температура нагрева оснастки $T = 210 \pm 10$ °С, расплава $T = 750 \pm 10$ °С, скорость вращения $n = 1200$ об/мин, длительность обработки 3 мин.

Изучались структуры и распределение частиц в градиентных слоях на трех уровнях по высоте отливок. Исследования проводили на микроскопе Leica. Измерения твердости образцов производились при помощи твердомера ультразвукового МЕТ – У1 (ТУ 4271-001-18606393-00).

Результаты и обсуждение. Структура градиентных композиционных материалов показана на рис. 1, а распределение частиц в градиентных слоях на трех уровнях по высоте отливок – на рис. 2. Выявлено, что ширина градиентных слоев и распределение частиц в них меняются с изменением удельного веса частиц, а так же по высоте втулок.

В образце состава 1 в верхней части втулки содержание частиц Al_2O_3 заметно меньше, чем в центральной и нижней части образца.

В образце состава 2 градиентный слой не обнаружен. В верхней части втулки наблюдается возрастание объемной доли графита, а в нижней части ее снижение. Это можно объяснить, во-первых, величиной и объемным содержанием частиц, а также тем, что плотность частиц графита меньше, чем алюминия, что влечет за собой снижение центробежной силы.

Для полиармированных образцов состава 3 и 4, градиентный слой формируется более заметно в образце состава 4, содержание частиц Al_2O_3 в котором в 5 раз больше. Распределение частиц по высоте примерно одинаково, всплыванию графита препятствуют частицы Al_2O_3 .

В образце состава 5, армированном частицами V_4C , градиентный слой обнаружен и у внутренней стенки втулки, что естественно, так как значение $\gamma_c - \gamma_m$ для этих частиц (табл. 1) отрица-

тельно, а также, вероятно, в результате завершения кристаллизации композиционного расплава после прекращения вращения формы.

В образце состава 6, армированном базальтом, градиентный слой ярко выражен в верхней и средней части втулки, в нижней же ее части градиентный слой практически не наблюдается.

В результате исследований установлено, что введение относительно мягких графитовых частиц в матрицу АК12 (образец состава 2) не повышает твердости КМ по сравнению с исходной матрицей.

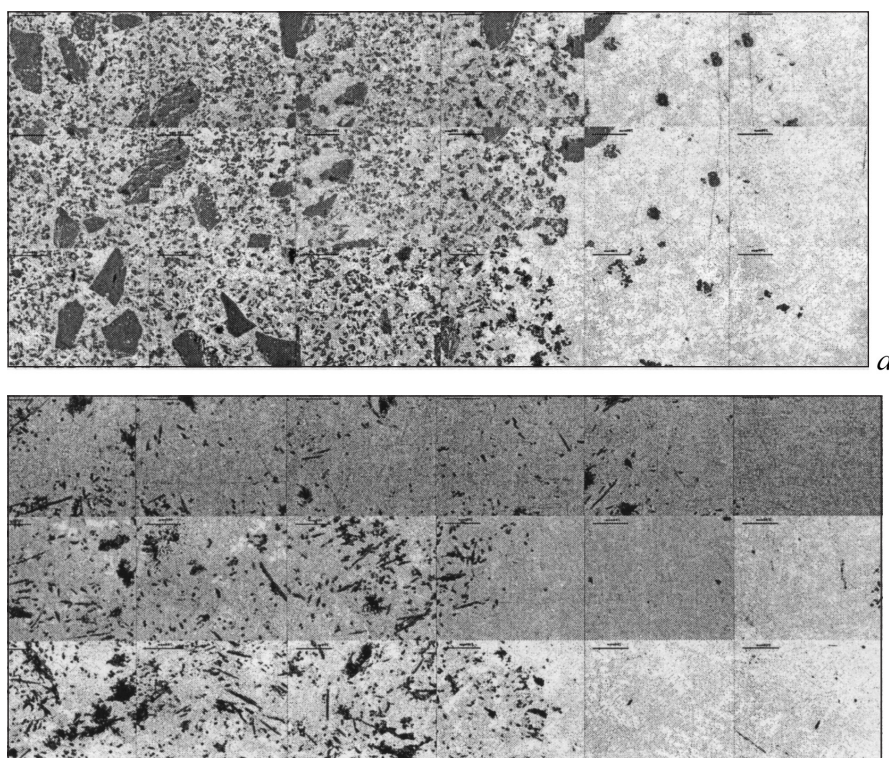


Рис. 1. Панорамный вид микроструктуры образцов (x 500)
а) АК12 + 10% Al_2O_3 + 2%С; б) АК12 + 5% базальта

Введение базальтовых волокон (образец состава б) повышает твердость в поверхностном слое от 362 у.е. до 433 у.е.

Наиболее высокую твердость в поверхностных слоях имеют образцы (составы 1, 3 и 4), армированные частицами Al_2O_3 (430 – 464 у.е.).

Заключение

Показана возможность и перспективность получения градиентного слоя у дисперсно армированных алюмоматричных композиционных материалов методом центробежного литья.

Выявлена, выполняемая легирующими частицами, транспортная функция при изготовлении КМ методом центробежного литья, заключающая-

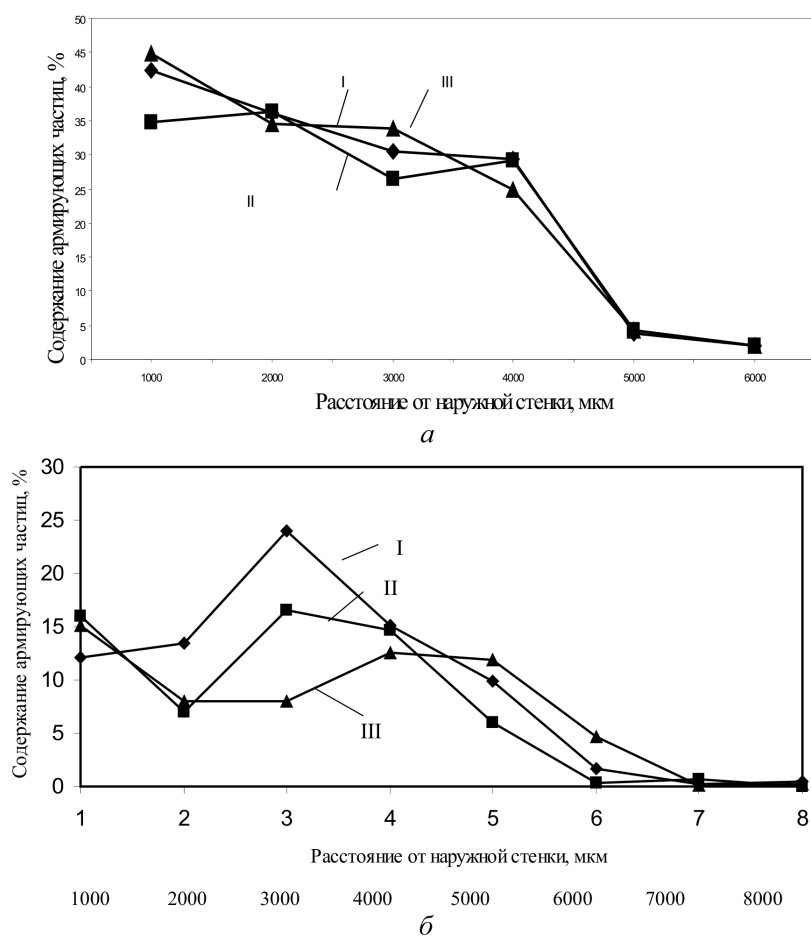


Рис. 2. Распределение армирующих частиц в образцах:
 а) АК12 + 10% Al₂O₃ + 2%С; б) АК12 + 5% базальта;
 I, II, III – верх, середина, нижняя часть втулки соответственно

яся в том, что частицы с большей плотностью (Al₂O₃) увлекают за собой к внешней стенке изложницы менее плотные частицы (графита).

Установлено, что методом центробежного литья можно изготавливать градиентные КМ с твердым поверхностным слоем, обладающим повышенной износостойкостью.

Исследования частично поддержаны белорусско-российским грантом БРФФИ-РФФИ по проекту Т14Р-198.

Список использованных источников

1. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / Под общ. ред. П.А. Витязя и К.А. Солнцева.– Минск: Бел. наука, 2011.- 283с.
2. Хейфец М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки. - М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
3. Гусев С.С., Лобков Д.Н., Казачков С.С.. Использование методов центробежного литья для получения изделий из композиционных материалов с упрочненной поверхностью // Материаловедение, 1999, №5, С. 50.
4. Kevorkijan V. Functionally graded aluminum–matrix composites // American ceramic Society Bulletin, 2003, V. 82, Is. 2, P. 60.
5. Анисимов О.В., Штанкин Ю.В. Создание металлокомпозитов на основе алюминия путем кристаллизации жидкого металла в поле центрифуг // Перспективные материалы, 2010, № 2, С. 5.

ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНО-ОПОВЕСТИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.Э. Павлович, В.П. Старжинский

При патентовании предупредительно-оповестительной информационной системы для автотранспортных средств анализировалось множество аналогов, из которых, был выбран прототип [1]. В нем описана система, которая содержит переключатель на пульте управления, выполненный в виде многопозиционного джойстика, а также содержит электронный блок, элементы воспроизведения информации, электропитающее звено, проводной или беспроводной орган связи между средством посылы информации и элементами ее воспроизведения. При этом элементы воспроизведения информации выполнены в виде отдельных табло, установленных в обозреваемых местах автотранспортного средства.

Недостатком такой информационной системы является сложность ее конструкции, а также недостаточная надежность, эффективность и удобство применения. Сложность конструкции прототипа выражается в наличии комбинации множества электронных узлов в информационной системе, к которым подводится соответствующее количество проводов. Недостаточная надежность

характеризуется тем, что все элементы такой системы функционируют от бортовой сети электропитания автотранспортного средства, и выход из строя аккумулятора или генератора автотранспортного средства, или электронного блока, или даже любого из соединительных проводов информационной системы, приведет к ее некачественной работе или даже к ее неработоспособности. Недостаточная эффективность работы прототипа выражается в том, что в дневное время, особенно в солнечную погоду, информация на табло системы в виде световой бегущей строки будет плохо видна. Недостаточное удобство применения характеризуется тем, что для установки информационной системы на автотранспортном средстве требуется проводить сравнительно большое количество механических операций по монтажу элементов системы и их электрическому соединению.

Для устранения этих недостатков была разработана и запатентована предупредительно-оповестительная информационная система для автотранспортных средств [2, 3], представленная на рис. 1–5.

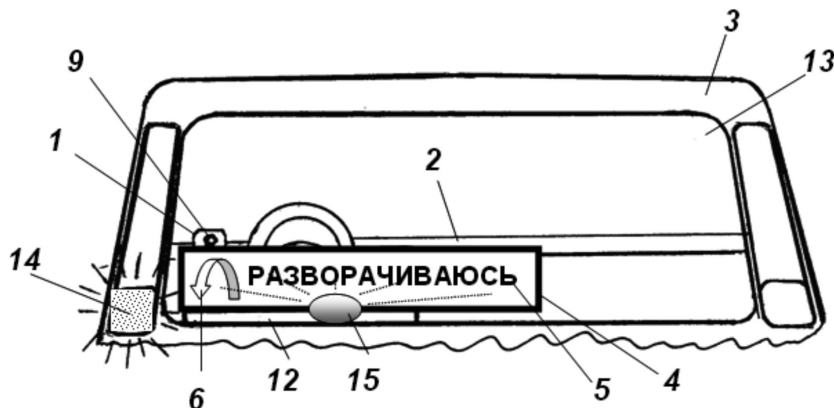


Рис. 1. Расположение предупредительно-оповестительной информационной системы в легковом автомобиле

Предупредительно-оповестительная информационная система для атотранспортных средств содержит пульт управления 1 (рис. 1), который может быть установлен, например, возле заднего окна легкового автомобиля 3. Имеется также элемент в виде подвижной пластины 4 для воспроизведения предупредительно-оповестительной информации, которая выполнена с помощью светоотражательной краски для лучшей видимости такой ин-

формации в дневное и ночное время. Это может быть, например, надпись 5 «Разворачиваюсь» с соответствующей пиктограммой 6.

Внутри пульта управления 1 (рис. 2) закреплен трос 7 в гибкой направляющей 8. Передний конец троса 7 соединен с переключателем 9, имеющим возможность занимать два положения *a1* – когда переключатель 9 утоплен в пульт управления 2 и *a2* – когда он выдвинут из него.

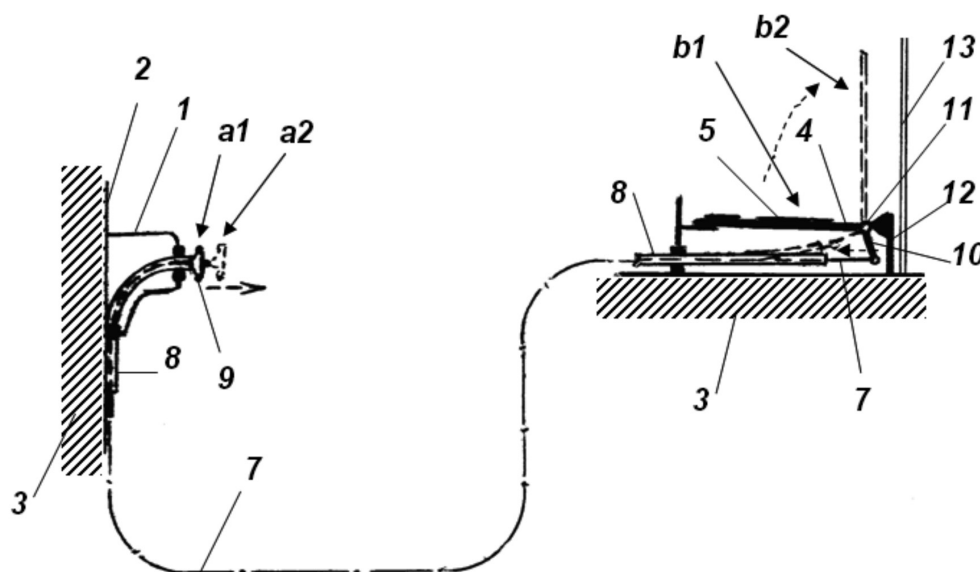


Рис. 2. Принципиальная схема предупредительно-оповестительной информационной системы (первый вариант)

Задний конец троса 7 соединен с рычагом 10, расположенным на шарнире 11, на котором также расположена пластина 3. Шарнир 11 закреплен в коробе 12, в котором расположена подвижная пластина 4, которая может также занимать две позиции: *b1* – когда она утоплена в коробе 12 и *b2* – когда повернута и выступает из него с демонстрацией надписи 5 и пиктограммы 6 (рис. 1).

Короб 12 может быть установлен как в салоне легкового автомобиля 3 (рис. 1), так и снаружи, например, сзади фургона (рис. 3) грузового автофургона 1, т.е. в доступных местах для обзора надписи 5 и пиктограммы 6. Пластина 4 снабжена элементом освещения 15 (рис. 1 и 3).

Пульт 1 (рис. 2) предупредительно-оповестительной информационной системы для атотранспортных средств может также содержать несколько переключателей 9, соединенных с передними концами аналогичных тросов 7 в гибких направляющих 8. Причем задние концы таких тросов 7 будут соединены (не показано) с анало-

гичными элементами 4, 10, 11 и 12, расположенными в нескольких коробах 12, в удобных для обзора местах транспортного средства 3.

Также возможен вариант расположения нескольких пластин 4 (рис. 4) в одном коробе 12 с возможностью воздействия на них несколькими тросами 7 в гибких направляющих 8 через рычажный механизм.

Такой механизм состоит из соединенных с тросами 7 рычагов 10, которые закреплены на поворотных втулках 16 вместе с планками 17. Поворотные втулки 16 посажены на ось 18, которая закреплена в определенной части транспортного средства 3. На концах планок 17 расположены толкатели 19, пропущенные сквозь дно короба 12 и контактирующие с нижними торцами пластин 4, которые установлены в коробе 12.

На этих пластинах 4 могут быть расположены различные надписи 5 и пиктограммы 6. Например, это могут быть надписи, подобранные для наиболее опасных дорожных ситуаций:

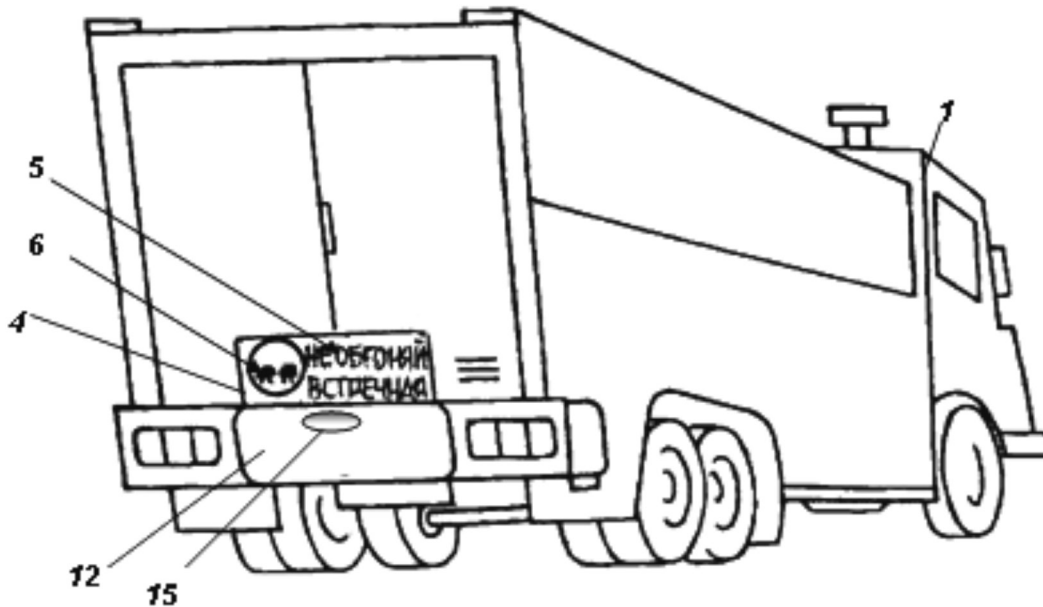


Рис. 3. Расположение предупредительно-оповестительной информационной системы сзади грузового автофургона

«Разворачиваюсь влево!» (рис. 1), «Пропустим пешехода!», «Не обгоняй, встречная!» (рис. 3, 4) и др.

Пиктограммы 6 могут быть унифицированы с общепринятыми предупредительными дорожными знаками. Например, в них может быть применена фигура треугольника (рис. 5) с равными сторонами, параллельно которым и рядом с ними расположены полосы замкнутой ломаной линии, а внутри ограниченного этими полосами участка – изобразительное или /и словесное обозначение.

Такие надписи 5 пиктограммы 6 могут быть выполнены с помощью светоотражательной краски для лучшей их видимости в дневное и ночное время.

Предупредительно-оповестительная информационная система для автотранспортных средств работает следующим образом.

В варианте выполнения системы по рис. 2, в исходном положении a_1 , переключатель 9 находится в позиции a_1 , т.е. утоплен в пульт управления 1. Поэтому пластина 4 расположена в позиции b_1 , т.е. внутри короба 12.

При возникновении необходимости разворота автотранспортного средства 3 водитель включает сигнальный фонарь 14 поворота на лево, и выдвигает переключатель 9 в позицию a_2 (рис. 2). В результате этим действием он выдвигает также трос

7 из гибкой направляющей 8, и, посредством заднего конца троса 7 воздействует на рычаг 10, поворачивая пластину 4 в положение b_2 . Над коробом 12 появляется надпись 5 «Разворачиваюсь» (рис. 1) с соответствующей пиктограммой 6, предупреждая следующих за автотранспортным средством 3 водителей об этом маневре.

В варианте выполнения системы по рис. 4, в исходном положении все переключатели 9 на пульте управления 1 находятся в утопленном положении. Поэтому все пластины 4 полностью расположены внутри короба 12.

При возникновении необходимости, например, предупреждения водителя, едущего сзади, об опасности обгона, водитель транспортного средства 3, выдвигает нужный переключатель 9 на себя, тем самым приводя через соответствующий трос 7 рычажный механизм из сопутствующих элементов 10, 16–19. В результате один из толкателей 19 перемещается вверх и выдвигает пластину 4 с надписью 5 «Не обгоняй, встречная!» (рис. 3) с соответствующей пиктограммой 6, например, как показано слева на рис. 5.

Во всех перечисленных случаях (рис. 2 и 4) пластины 4 перемещаются обратно за счет вхождения переключателей 9 в пульт управления 1.

Так как трос 7 (рис. 2) или тросы 7 (фиг.4) расположены в гибких направляющих 8, то возмож-

на установка короба 12 с пластинами 4 в различных местах обзора на различных транспортных средствах (рис. 1 и 3). При необходимости в ночное время через элемент освещения 15 включает-

ся подсветка надписи 5 и пиктограммы 6.

Применение такой информационной системы для автотранспортных средств позволит повысить безопасность дорожного движения.

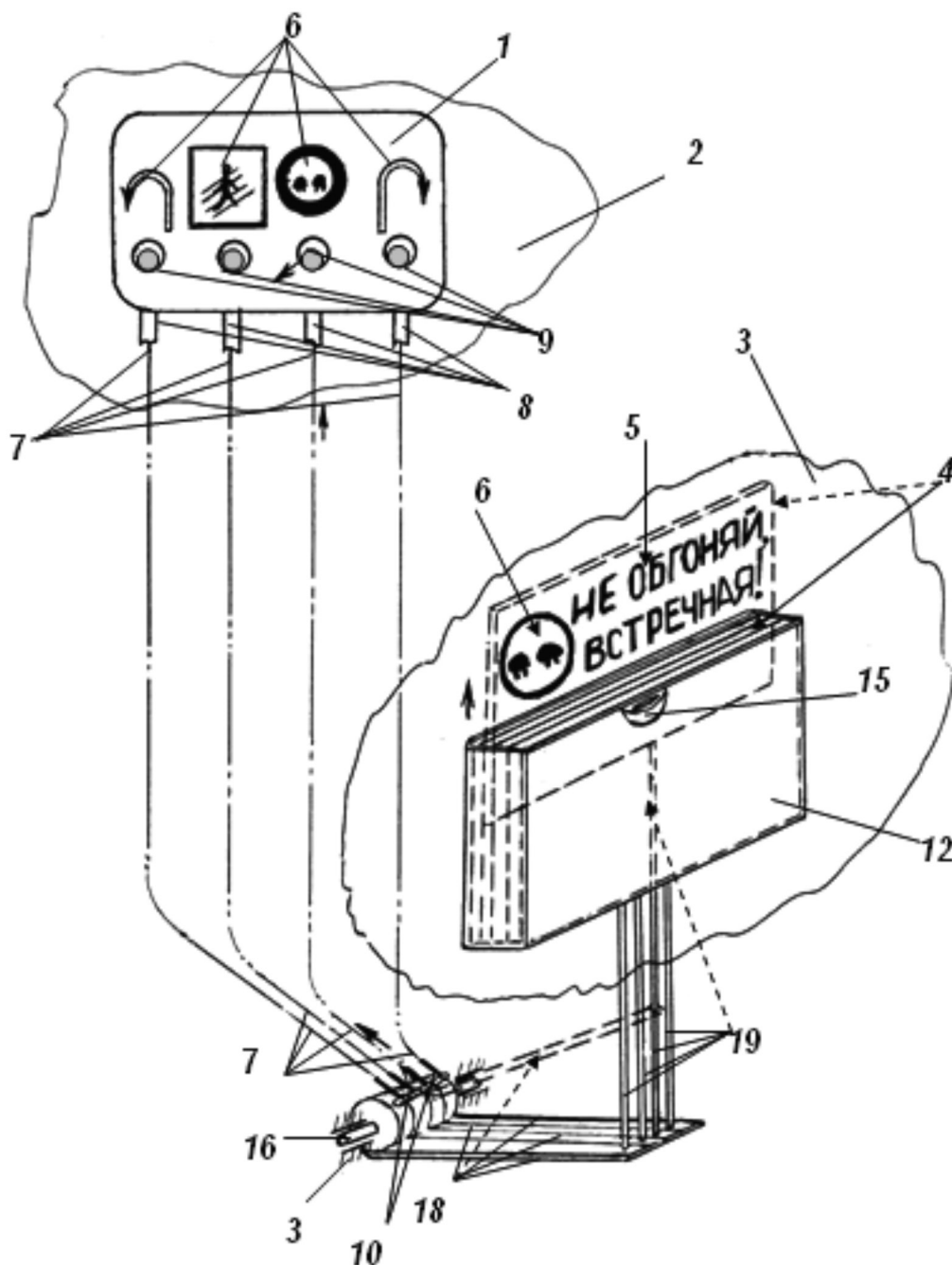


Рис. 4. Принципиальная схема предупредительно-оповестительной информационной системы (второй вариант)

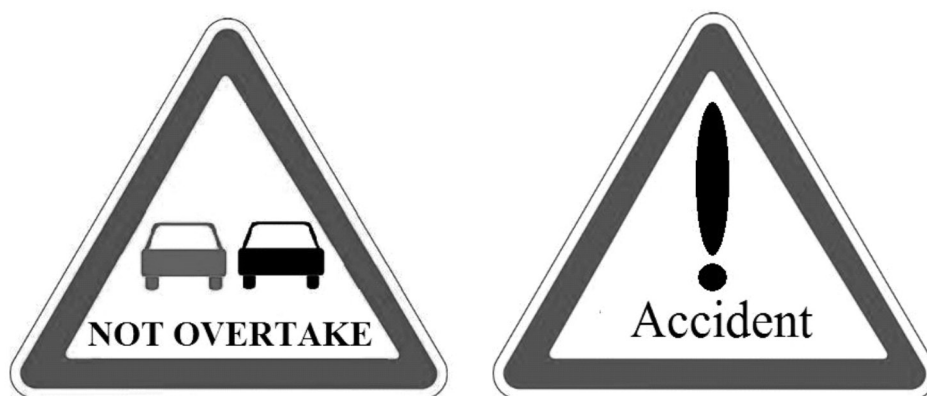


Рис. 5. Примеры выполнения пиктограмм предупредительно-оповестительной информационной системы

Список использованных источников

1. Патент RU 2149779, МПК В60Q9/00, приоритет 1997. 03.04, публикация 2000.05.27.
2. Патент ВУ 9435, МПК В60Q9/00, G08G1/09, приоритет 2011. 11.09, публикация 2013.08.30.
3. Патент ВУ 9435, МПК В60Q9/00, G08G1/09, приоритет 2011. 11.09, публикация 2013.08.30.

ТРУЖЕНИК НЕБА

(Продолжение)

Клеванец Ю.В.

3. Война

3.2. Вторая Мировая война на Западе и Дальнем Востоке.

Соединённые Штаты до конца 1941 года не были в числе мировых лидеров по части военной авиации, хотя новые разработки в американском ВПК велись уже не менее четырёх лет с ускорением, пропорциональным разогреву политической обстановки.

После нападения на Пёрл-Харбор военное ведомство Америки достаточно быстро разобралось с тем, самолёты каких фирм будут впредь закупаться для армии США, а кому придётся прикнудить к ним в качестве субподрядчиков. С ДС-3 никаких сомнений не было: именно он будет основной транспортной машиной американских ВВС, армии и флота. Аргументами в пользу такого выбора стали, во-первых, то, что конструкция за пять лет серийного выпуска ещё не успела устареть; во-вторых, фирма «Дуглас» имела свою крупную и отлаженную производственную базу; в-третьих, уже были выпущены и закуплены для военных нужд транспортные варианты предыдущей конструкции ДС-2; в-четвёртых, весь большой парк выпущенных к тому времени в эксплуатацию «Дугласов» имел минимум нареканий как от гражданского, так и от военного персонала.

Фирмачи переоборудовали свой ДС-3 для военных нужд примерно так же, как это было и с ПС-84 в СССР. Внешне два самолёта различались тем, что поскольку американские транспортники использовались, как правило, в условиях численного превосходства своей авиации, то на них не ставилось оборонительное вооружение. По той же причине на Западе никому и в голову не приходило использовать этот самолёт в качестве ночного бомбардировщика.

Итак, первый самолёт с индексом Си-47 и названием «Скай Трэйн» покинул ворота сборочного цеха уже в декабре 1941 года. Однако из-за возникшего дефицита ВВС всё равно были вы-

нуждены конфисковать самолёты с пассажирских перевозок.

В следующем году к основному заводу фирмы в городе Санта-Моника был подключен заводы в Лонг-Бич и в Оклахома-Сити. Соответственно, выпуск самолётов постепенно возрос до 570 в месяц или до 2 в час.

Основные варианты, выпускаемые во время войны.

Си-47 — транспортный, десантный, санитарный. Мог перевозить 2722 кг груза или 28 парашютистов, или 14 носилок с ранеными и одним сопровождающим. Двигатели R-1830-92 с нагнетателями и турбонаддувом, мощность поднялась до 1200 л.с. Всего построено 965 самолетов.

Си-47А отличался от предыдущего наличием 24-вольтовой бортовой электросистемы вместо 12-вольтовой. Построено 5253 машины.

Си-47Б с двигателями в 1400 л.с. и повышенной высотностью, выпущено 3232 за время войны.

Си-53 «Скайтруппер» — чисто десантный вариант с крюком для буксировки десантного планера, всего построен 221 самолёт.

Си-53Б — то же самое, но для эксплуатации на Севере.

Все перечисленные модификации шли в Транспортно-десантное командование ВВС США.

Р-4Д — эти самолёты поставлялись флоту.

Все варианты, кроме северного, в массовом порядке поставлялись по Ленд-Лизу в Англию, где они получили название «Дакота» (от сокращения «Дуглас», грузовой, транспортный — ДиСиТ) и индексы Mk 1, Mk 11, Mk 111, Mk 1V. В Англию всего было поставлено по Ленд-Лизу 950 самолётов (по другим сведениям 1895, но это, наверное, с учётом закупок).

1942 год для воюющей Америки в целом характеризовался более или менее успешными попытками сдержать напор японцев, окрылённых успехом в Перл-Харборе (так, высадки десантов в Австралию и ещё одно нападение на Гавайи

были отбиты, а захват нескольких Алеутских островов нет).

В 1943 году, с выходом американского ВПК на должный уровень производства Вооружённые силы США стали переходить к наступательным действиям. И во всех крупных военных операциях на Западном и Тихоокеанском ТВД принимали участие сотни и тысячи самолётов Дугласа.

Итак, первой крупномасштабной наступательной операцией, объединяющей сухопутные силы и флоты США и Англии стал захват Сицилии в июле 1943 года. Вторжение началось с высадки на сицилийские пляжи 4000 парашютистов с самолётов Си-47 и Си-53.

Затем, поскольку в предыдущем году японские агрессоры подошли к границам Индии (теперь Бангладеш), а кое-где и завязали бои на индийской территории, объединённые силы союзников начали контрнаступление в Бирме (теперь Мьянма). Вследствие того, что военные действия велись в джунглях, снабжение наступающих войск велось почти исключительно по воздуху с использованием Си-47 и Си-53 всех видов. Эти же самолёты (как правило, Си-47Б) через Тибет и Гималаи снабжали припасами китайский Гоминьдан, призванный растянуть силы японцев.

Следующий, 1944 год ознаменовался самой известной операцией западных союзников во Второй Мировой войне — высадкой в Нормандии (*фото на обложке*). В начале вторжения тысячи «Си Трэйнов», «Дакот» и «Скай Трупперов» высадила на побережье Франции 17262 парашютиста из 82-й и 101-й дивизий ВДВ США и 7162 десантника 6-й воздушно-десантной дивизии Британии. За последующие три дня теми же самолётами на захваченные плацдармы

было перевезено около 60 тысяч солдат.

На западных фронтах воевали и советские самолёты. В том же июне 1944 года группа из 12 советских Си-47 из частей 5-й дивизии (затем корпуса) АДД под командованием генерал-майора В.М. Щелкунова перелетела с аэродрома в украинском селе Калиновка на английский аэродром в итальянском городе Бари. Оттуда советские лётчики вместе с английскими на таких же «Дакотах» снабжали Народно-освободительную армию Югославии (НОАЮ). Ещё до начала боевой работы группы генерала Щелкунова одному советскому «Дугласу» (командир экипажа А.С. Шорников) 04.06.1944 пришлось вывезти из Купрешка Поля (недалеко от Сараева) весь штаб НОАЮ и Политбюро ЦК КПЮ во главе с Броз Тито, поскольку немцы сбросили в районе расположения штаба парашютные десанты, подкреплённые прорывом танковых частей.

Всего советская авиагруппа перевезла югославам 920 тонн разных грузов, 20 врачей и медсестёр, 20 подготовленных радистов с рациями.

Этот же 5-й корпус советской АДД снабжал словацких партизан и, поскольку был укомплектован невооружёнными «Дакотами», понёс наибольшие потери.

В августе 1944 года западные союзники провели десантную операцию на юге Франции, а в сентябре начали последовательно захватывать греческие острова. И там и там активно применялись «Си Трэйны», «Дакоты» «Скай Трупперы».

В СССР «Дакоты» Транспортной авиации вывозили никель из Воркуты и Норильска (здесь был задействован 12-й транспортный авиаполк — ТРАП). 8-ой ТРАП на тех же самолётах доставлял золото из Магадана. 19-й ТРАП совершал международные полёты. Из Стокгольма он вёз

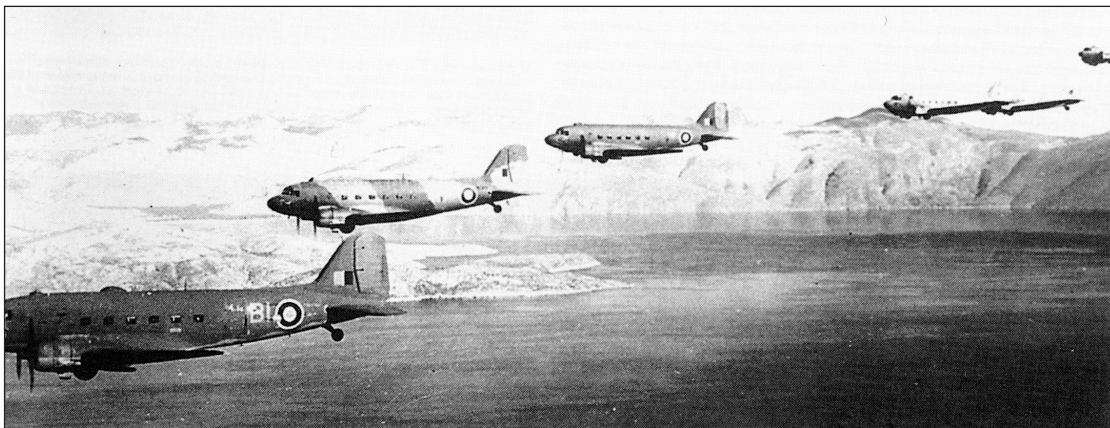


Рис. 1. Эти «Дакоты» британских ВВС вместе с советскими самолётами снабжали партизан Югославии

знаменитые шведские подшипники, а также летал в Каир, Лондон, Тегеран.

Поставленные на Северный флот Си-47 боролись с немецкими подводными лодками. Этими же самолётами последовательно вооружались все бомбардировочные и истребительные полки советских ВВС (по одному на полк) для перевозки личного состава и грузов во время наступления.

Надо заметить, что поставки «Дакот» в СССР не прекратились с капитуляцией Германии, поскольку американцам было важно участие советских Вооружённых сил в войне с Японией. Возможно, из-за этого данные о количестве переданных в СССР по Ленд-Лизу самолётов типа Си-47 в современной литературе разнятся, то есть одни авторы ведут отсчёт поставок до июня 1945 года, а другие — до сентября.

4. Послевоенная история

4.1. В СССР

Как известно, Советский Союз завершил Вторую Мировую войну разгромом японской Квантунской армии и захватом Южного Сахалина. Для участия в войне против Японии на Дальний Восток были переброшены из Европы две дивизии Ли-2 и Си-47 (не менее 200 самолётов, в других источниках говорится о трёх дивизиях). Воздушные десанты советских войск в Северном Китае, в том числе и в Порт-Артур, поставили победную точку в войне.

В то же время в стране уже полным ходом восстанавливалось хозяйство. Ташкентский авиазавод перешел на выпуск Ли-2 в двух основных вариантах: варианте «Т» — военно-транспортном, уже без бомбардировочного оборудования, с деревянным полом, застланном листовой резиной в грузовой кабине и в варианте «П» — пассажирском. На послевоенных самолётах стояли винты типа АВ-7 вместо ВИШ-21. Как упоминалось выше, транспортных самолётов в 1945 году было выпущено 458, пассажирских — 40. Лицензионный «Дуглас» вновь стал основным самолётом советского Аэрофлота, чьи подразделения после окончания войны снова «отпочковались» от Транспортной авиации ВВС. Ли-2 поставлялся также во все страны «народной демократии». В 1946 году выпущено 142 Ли-2Т и 21 Ли-2П, в 1947 году 312 Ли-2Т и 39 Ли-2П. В этом году к производству был подключен завод в Комсомольске-на-Амуре, он выпустил ещё 40 транспортных самолётов.

В Ташкенте также строили самолёты в варианте «С» — «салон». В пассажирской кабине было отдельное спальное купе. Салон отделявал-



Рис. 2. Ли-2Т послевоенного выпуска на ледовом аэродроме Северного морского пути

ся ценными породами дерева и бархатом. С 1947 года в производство пошёл вариант УШЛи-2, учебно-штурманский вариант с бомбардировочным оборудованием и учебными местами для курсантов в пассажирской кабине.

Был ещё вариант «Д» — «дальний», с дополнительными баками на 350 л. в пассажирской кабине. Ли-2Д поставлялись в основном в Полярную авиацию СССР.

Строились также различные летающие лаборатории (ЛЛ). Был сельскохозяйственный вариант (СХ) с баком и насосами для распыления химикатов. На отдельном варианте обучали воздушных операторов РЛС. Лицензию на производство Ли-2 продали в Польшу и в Югославию. Польские самолёты так и назывались Li-2. Югославские имели индекс Li-3, на них ставились английские или американские моторы.

Интересен опыт обучения лётчиков Дальней авиации. В 1947 году были готовы первые экземпляры Ту-4, настоящего дальнего тяжёлого самолёта. Однако до разворачивания серийного производства была ещё далеко. Поэтому командование Дальней авиации по согласованию с руководством ГВФ отправило экипажи будущих «летающих крепостей» на гражданские Ли-2 для того, чтобы они не «потеряли форму». В итоге лётчики этих экипажей вскоре имели налёт по 500 часов, что раза в два превышало аналогичный показатель для пилотов бомбардировочной авиации.

В том же году было признано, что Ли-2Т уже не удовлетворяет возросшим требованиям военного заказчика. Начались работы по замене, то есть по внедрению малого самолёта вновь созданного КБ О.Н. Антонова, будущего Ан-2, большого военно-транспортного самолёта Ан-8, могущего перевозить тяжёлую военную технику и самолётов КБ С.В. Ильюшина — сперва Ил-12, а вскоре и Ил-14.

Часть поставленных по Ленд-Лизу из Америки машин (всего около сотни) была переоборудована

в пассажирский вариант и передана Аэрофлоту. В Аэрофлоте при этом сложилась такая практика: «фирменные» «Дугласы» летали на международных линиях, а лицензионные Ли-2 — на внутренних. По-прежнему самолёты американского производства считались лучшими. Когда закончился ресурс «родных» «штатовских» моторов, на «Дугласы» стали устанавливать советские АШ-62. Самолёт в таком виде стал несколько менее летучим и более прожорливым, но всё равно хоть на чуть-чуть, да превосходил Ли-2 из-за более качественной сборки и покраски.

В конце 40-х годов выпуск Ли-2 даже увеличился. Ташкентский завод собрал в 1948 году 312 Ли-2Т и 57 Ли-2П, в Комсомольске-на-Амуре построили 148 Ли-2Т (здесь и далее в число Ли-2Т входят все «военные» варианты машины, а в число Ли-2П—все «гражданские»). В это же время в Ташкенте была выпущена партия самолётов для горных районов с использованием более мощного мотора АШ-82 (1850 л.с.). Ли-2 с такими моторами обгонял не только американского собрата, но и самолёт Ил-12, призванный сменить «Дугласа». Однако по результатам применения было признано, что для полётов на большой высоте всё-таки нужна герметичная кабина.

В 1949 году в Ташкенте было построено 93 Ли-2П и 231 Ли-2Т, в Комсомольске-на-Амуре — 10 Ли-2П и 147 Ли-2Т. Этот год в СССР ознаменовался созданием и испытанием ядерной бомбы. Самолёты-лаборатории на базе Ли-2Т с экипажами из лётчиков-испытателей участвовали во всех испытаниях ядерного оружия, вели съёмку, брали пробы воздуха на разном расстоянии от эпицентра взрыва и даже непосредственно из «ножки» атом-



Рис. 3. Контролёры ОТК фирмы «Дуглас» позируют возле готовых хвостовых отсеков, фотография времён войны



Рис. 4. Сотни «Дугласов» везут грузы на плацдармы союзников на французском побережье. Выше — истребители прикрытия, фото 1944 года

ного «гриба». В 1953 году такой самолёт применялся для участия в испытаниях водородной бомбы.

Ли-2Т поставлялся и в систему ДОСААФ в основном, для подготовки парашютистов. Немало таких же самолётов, принадлежащих Полярной авиации и оборудованных лыжным шасси, обслуживали линию Северного морского пути, бурное освоение которого началось сразу после войны. Здесь надо сделать остановку и привести ещё один пример использования этого самолёта.

Дело в том, что в следующем, 1950-м году началась Корейская война. Длительные взаимные провокации вдоль линии разделения сторон привели в конце концов к тому, что северокорейская армия 25 июня перешла линию 38-параллели и начала быстро продвигаться на юг. Южнокорейские и американские силы были прижаты к морю. Американский генерал Д. Макартур чуть ли в ультимативной форме потребовал от высшего командования и президента применения атомного оружия.

СССР официально не участвовал в войне, однако после начала военных действий Полярная авиация Советского Союза высадил в районе Северного полюса арктическую экспедицию «Северный Полюс-2». Целью экспедиции называлось изучение высоких широт, содействие в работах на Северном морском пути и так далее. Однако была и неофициальная цель — подготовка «аэродромов подскока» для советской дальней авиации. Единственный дальний тяжёлый бомбардировщик СССР того времени, Ту-4, имел недостаточный радиус действия для того, чтобы нанести ядерный удар по США и вернуться обратно. С использованием аэродромов на Полюсе могли достичь Америки и вернуться обратно не только бомбардировщики, но и истребители прикрытия.

Целые группы Ли-2Т доставляли на эти аэродромы бочки с горючим. Однако, как известно, пре-

зидент Г. Трумэн не решился применить атомную бомбу. Корейская война принесла массу бедствий населению, но не дала победы не одной из сторон. СССР демонстративно отвергал своё участие в войне, но, конечно, снабжал войска КНДР оружием и припасами. В боевых действиях участвовали советские лётчики-истребители, переодетые в китайскую военную форму. Снабжение, авиабазы велось с применением самолётов Ли-2 полка, базировавшегося в Комсомольске-на-Амуре.

В пятидесятые годы выпуск Ли-2 в СССР постепенно стал сокращаться. Одни авторы говорят, что последний самолёт был изготовлен в конце 1952 года, другие, что уже в 1953 году. При этом в одних источниках говорится, что всего в Советском Союзе было построено 4670 самолётов этого типа, в других называется цифра 4937, в третьих — 5207. Какие цифры являются истинными, автору неизвестно.

Однако точно известно, что 8 мая 1953 года постановлением Совета Министров СССР в Минске на территории аэропорта была организована ремонтная база для самолётов типа Ли-2. В следующем месяце из Москвы, Киева, Риги, Алма-Аты, Ташкента и Новосибирска прибыли первые 19 специалистов. К концу года база насчитывала уже 200 работников. Первым директором стал И.И. Ивасик. Так началась история Минского авиаремонтного завода.

В 1956 году была предпринята попытка реанимации самолёта, с применением турбокомпрессоров на двигателях. Самолёт стал более высотным, получил индекс «В», однако в серию не пошёл — по тем же причинам, что и самолёты с двигателями АШ-82. К высотным двигателям нужна и высотная кабина.

В этом же году дивизия военно-транспортной авиации, базировавшаяся в Черновцах (Украинская ССР) перебросила в Венгрию десанты советских ВДВ для подавления антиправительственного восстания.

В течение последующих пяти лет Ли-2 постепенно выводился из эксплуатации ГВФ. Военно-транспортные машины продержались на несколько лет дольше, по некоторым сведениям до 70-х годов. Ещё дольше длилась эксплуатация Ли-2 в Полярной авиации. А машины, принадлежащие ДОСААФ, дослужили до конца 70-х годов.



Рис. 5. Послевоенный советский «Дуглас», по-видимому, переделка десантного варианта, поскольку дверь по правому борту и небольшие коки на винтах

Отдельная история применения Ли-2 во Вьетнаме. Как только из Северного Вьетнама (ДРВ) были изгнаны колонизаторы (это 1955 год), туда была направлена группа Ли-2Т (сначала 4 самолёта с советскими экипажами). Затем в 1959 году в ДРВ направили часть Ферганского полка транспортной авиации. После эту группу усилили отдельной эскадрильей самолётов из-под Харькова. Вьетнамские Ли-2 перевезли сотни тонн грузов и не менее 10 тысяч человек, в том числе раненных. Сообщается, что один Ли-2 был сбит зенитным огнём, один был потерян в аварии на посадке.

В 1992 году бывший пилот, пенсионер О.С. Лякишев нашёл в московском Тушине списанный, но на вид не очень повреждённый Ли-2. К тому времени самолёт простоял под открытым небом 20 лет, а до этого, в «первой жизни», налетал 20 тысяч часов. О.С. Лякишев вышел с инициативой восстановления машины в Федерацию пилотов-любителей России. Его поддержал вице-президент федерации Н.В. Громцев. В течение следующего года была проведена дефектация самолёта, замена двигателей, внутреннее переоборудование. Самолёт в конце концов получил допуск к полётам. Летал ещё более 10 лет в рамках разных авиашоу, в том числе по исторической трассе АЛСИБ (Аляска – Сибирь). Окончательно был разбит в катастрофе на взлёте с подмосковного аэродрома в 2004 году. Лётчик погиб.

Ещё один Ли-2 был недавно восстановлен в Венгрии.