

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ

межотраслевой  
производственно-практический

ЖУРНАЛ

# ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

читайте в номере:

ОСНОВНОЙ  
ФОНД

Диалог металлосведов  
продолжается  
МНТК - МАЗ - 2008

Юбилеи и юбиляры  
80 лет Национальной  
академии наук Беларуси

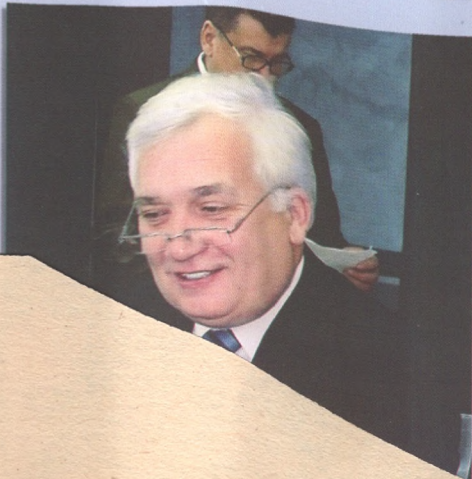
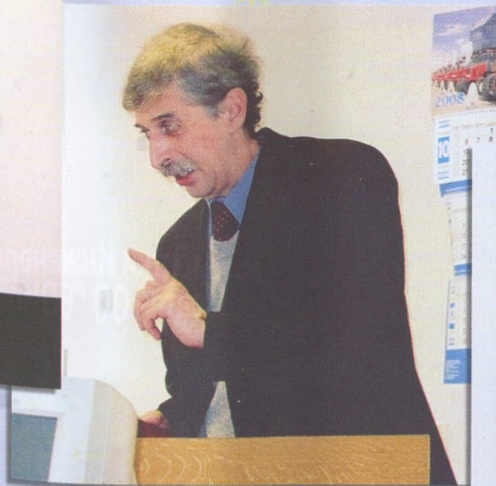
Разработки Инженерного  
Центра ОО "БОИМ"

№ 4 (41)  
октябрь - декабрь  
2008

С НОВЫМ ГОДОМ!  
2009



# IV МНТК “Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении”





# ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 4 (41)  
октябрь – декабрь  
2008

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

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: М.С. Высоцкий, М.А. Андреев, В.А. Ганжа, В.Н. Дашков, А.М. Захарик, А.Б. Зуев, В.Л. Колпачиков, Л.Н. Крупец, Д.И. Корольков, Г.С. Лягушев, Е.И. Медвецкий, М.Г. Мелешко, Чижик С.А.

Адрес редакции:

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

тел./факс 203-88-80; 226-73-36

E-mail: mail@boim.by

Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс 00139

Компьютерная верстка, дизайн Л.П. Ходарина, набор Е.А. Маковец.

Подписано в печать 07.07.2008.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 5. Уч.-изд. л. Тираж 475 экз. Заказ 424. Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»  
Лицензия ЛП № 02330/0133131 от 30.04.2004 г.  
220141, г. Минск, ул. Купревича, 10

## СОДЕРЖАНИЕ

### Разработки ученых и специалистов

Инновационная деятельность и технологии высокого уровня . . . . .	2
Диалог металловедов продолжается . . . . .	5
Состояние и перспективы развития индукционного нагрева на промышленных предприятиях Республики Беларусь . . . . .	7
Работы ВНИИТВЧ в области индукционной поверхностной закалки . . . . .	11
Разработка транзисторных преобразователей для электротехнологий . . . . .	15
Оборудование и технологии индукционной обработки длинномерных изделий на РУП «МАЗ» . . . . .	18
Исследование некоторых закономерностей деформации деталей при закалке с нагрева ТВЧ . . . . .	25
Информация о водоабразивной резке . . . . .	31
Прогнозная оценка технической реализуемости базового варианта комплекса видео наблюдения на основе беспилотной летательной платформы . . . . .	34
Разработки Инженерного центра ОО «БОИМ» . . . . .	37
<b>Юбилей</b>	
Национальная академия наук Беларуси . . . . .	42
Шипко Алексей Алексеевич . . . . .	44
Туполев: человек и конструктор . . . . .	45

# ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОГО УРОВНЯ

(К 80-летию Национальной академии наук Беларуси)

*Астапчик С.А.,  
академик НАН Беларуси, научный руководитель подпрограммы  
«Технология»*



Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, основанный в 1931 году, прошел большой творческий путь становления и развития и в настоящее время является ведущим в республике в области материаловедения и обработки материалов, подготовки научных кадров.

*В этой статье рассмотрены наиболее ценные разработки, созданные в последние десятилетия коллективом физтеховцев в области высоких технологий, доведенные до серийного производства, имеющие патентную защиту и конкурентоспособные на международном рынке, которые способствовали качественным прорывным изменениям в области высоких технологий.*

Итак:

## 1. Технология и оборудование для изготовления упругих элементов автомобильной подвески.

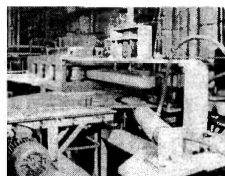
В научно-исследовательских лабораториях обработки материалов давлением ФТИ и БНТУ совместно со специалистами Минского автомобильного завода был разработан принципиально новый способ формообразования заготовок малолистовых рессор.

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

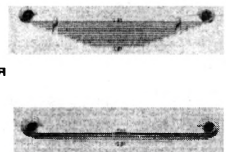
Промышленное освоение данного способа осуществлено совместными усилиями сотрудников ФТИ, БНТУ и МАЗа. Создана полуавтоматическая линия для получения заготовок малолистовых рессор большегрузных автомобилей МАЗ и прокатная установка для получения заготовок малолистовых рессор легковых автомобилей и прицепов к ним. Весь комплекс оборудования изготовлен отделом станкостроения и кузнечно-штамповочным производством Минского автозавода. В настоящее время на Минском рессорном заводе функционирует полуавтоматическая линия (рис. 1.), полностью обеспечивающая потребность Минского автозавода в малолистовых рес-

сорах для автомобилей и полуприцепов.

На сегодняшний день освоены и успешно прошли стендовые и ходовые испытания передние и задние малолистовые рессоры автомобилей семейства МАЗ, рессоры для микроавтобусов и грузовиков малой грузоподъемности «Газель», «РАФ», «Люблин», прицепов к легковым автомобилям «Зубренок». В рамках международного сотрудничества, разработаны технологии получения упругих элементов подвески для грузовых автомобилей «Стар» и «Мерседес».



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



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

Рис. 1.

Многие зарубежные фирмы проявили большой интерес к данной технологии. Американская фирма «Итон Корпорэйшн» (Детройт) приобрела лицензию на производство заготовок малолистовых рессор. Интерес американских автопроизводителей к разработкам белорусских ученых показателен хотя бы тем, что имея в своем распоряжении семь установок «Daniel Heuzer», крупнейший производитель рессор на американском континенте фирма «Eaton» делает все возможное для внедрения на своих заводах новейших технологий. На одном из дочерних предприятий этой фирмы (г. Чадем, Канада) под руководством и непосредственным участии сотрудников ФТИ, БНТУ и МАЗа спроектирована, изготовлена и запущена в производство автоматическая линия по изготовлению заготовок малолистовых рессор по данной технологии. Производительность этой автоматической линии достигает двух тысяч заготовок за смену. Планируется расширение ассортимента рессор, изготавливаемых по разработанной технологии.



## 2. Развитие поперечно-клиновой прокатки

В Физико-техническом институте НАН Беларуси (ФТИ НАН Беларуси) создана школа специалистов в области поперечно-клиновой прокатки (ПКП), признанная одной из ведущих в мире. Здесь разработана классическая теория поперечной прокатки, ставшая основой для создания прогрессивных технологий ПКП и высокопроизводительного оборудования, успешно работающего в 15 странах мира, в т.ч. в России и США. Институт поддерживает научные связи с исследовательскими институтами и университетами США, Германии, Бразилии, Китая, Кореи, Вьетнама и Турции.

В Белоруссии работает 40 станов ПКП, что обеспечивает экономию 16 000 тонн металлопродукта (или 270 вагонов), при этом достигается пятикратное увеличение производительности труда. Технологии ПКП используются для производства промежуточных профилированных заготовок под последующую точную штамповку или иные процессы пластического формообразования, а также под чистовую механическую обработку (рис. 2). Метод ПКП позволяет создавать практически безотходные технологические процессы с коэффициентом использования металла до 0,98.

Расширение объемов внедрения оборудования ПКП осуществляется не только за счет поставки его по контрактам за рубеж, но также и за счет организации его производства в дальнем зарубежье. Так уже освоено такое производство разработок ФТИ НАН Беларуси в Южной Корее на фирме «Sun Steel Stock Company» и в Индии на фирме «Mascot (India) Tools & Forgings Pvt. Ltd.». На рис. 2 показан стан ПМ 5.155 конструкции ФТИ НАН Беларуси, изготовленный в Южной Корее в 2007 году. Стан ПМ 5.155 предназначен для ПКП крупных заготовок диаметром 190 мм и длиной 850 мм.

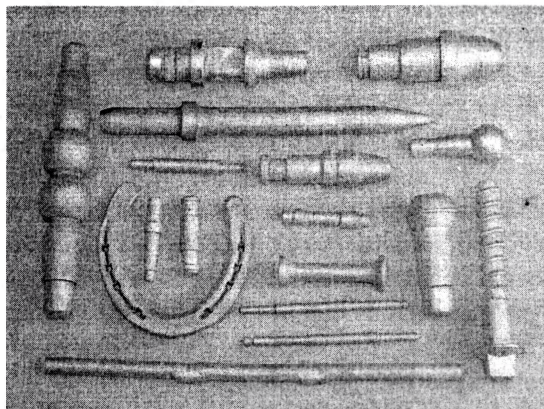


Рис. 2. Поковки, полученные ПКП

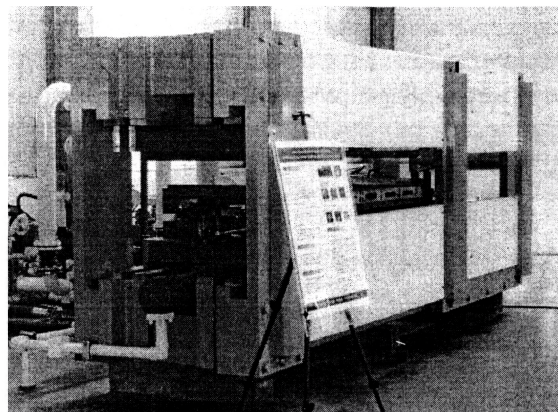


Рис. 3. Стан ПМ 5.155 конструкции ФТИ НАН Беларуси

Эффект от экспорта оборудования и технологии института за последний год составляет ~ 200 тысяч долларов США.

## 3. Технологии металлургической переработки отходов высокочистых цветных и драгоценных металлов и сплавов

Разработаны и освоены уникальные для Республики Беларусь технологии металлургической переработки отходов высокочистых цветных металлов и сплавов, в т. ч. драгоценных, основанные на сочетании вакуумной плавки, направленной кристаллизации, пластической деформации и формообразования.

Физико-технический институт НАН Беларуси является практически единственным в государстве учреждением, специализирующемся на производстве и поставке на предприятия электроники литых катодов-мишеней широкой номенклатуры. На опытном участке ФТИ НАНБ по разработанным технологиям организован выпуск катодов-мишеней для серийного производства крупнейших предприятий радиоэлектронной промышленности — Завод полупроводниковых приборов и УП «Завод Транзистор» НПО «Интеграл». Технологии предусматривают утилизацию остатков использованных катодов, что обеспечивает значительную экономию высокочистых металлов и позволяет практически полностью исключить импортные закупки. Так, за 10 лет для НПО «Интеграл» по разработанным технологиям изготовлено более 7000 мишеней на основе высокочистого алюминия, 200 мишеней из немагнитного сплава Ni-7V, разработаны технологии и налажен выпуск мишеней сложной конфигурации из благородных металлов — высокочистых серебра, платины и палладия для импортного оборудования (рис. 4).

Научный и технологический задел, обретенный в области направленной кристаллизации, стал научной базой для организации малотоннажного



металлургического производства по переработке лома драгоценных металлов и сплавов и получению из них полуфабрикатов и изделий.

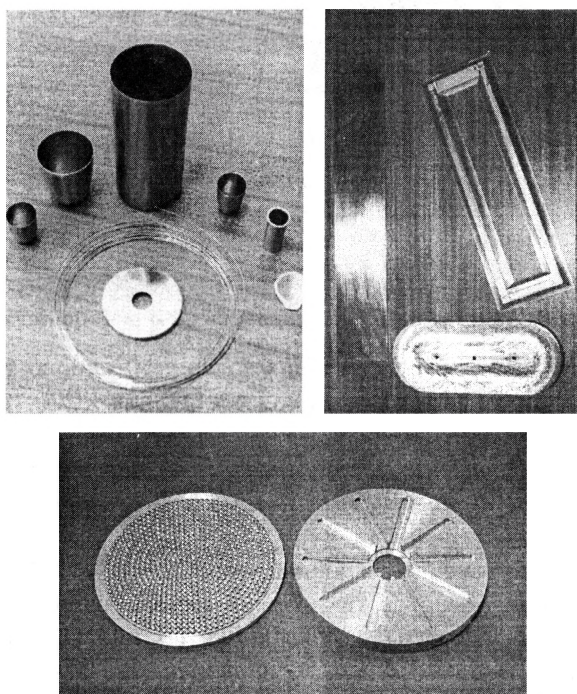


Рис. 4

Освоен постоянный выпуск проката из платино-родиевых сплавов для ОАО «Полоцкстекловолокно» и УП «Завод Оптик» (г. Лида), лабораторной посуды из платины для ПО «Беларуськалий», Белорусского металлургического завода, ПО «Белгео», ОАО «Керамин», ПО «МТЗ», цементных заводов, научно-исследовательских учреждений. Получено около 350 кг проката серебряного сплава для изготовления правительственных наград Республики Беларусь. Серебряная полоса, проволока и припой общей массой 120 кг, изготовленные в ФТИ НАНБ, использованы художником Кузьмичом Н.П. при воссоздании раки Святой Евфросинии Полоцкой (рис. 5).



Рис. 5

Малотоннажное металлургическое производство по переработке высокочистых и драгоценных металлов ежегодно обеспечивает экономию валюты в размере 100...120 тыс. у.е.

**4. Технологии изготовления алмазосодержащих композиционных материалов, алмазного и алмазоабразивного инструмента. Рекуперация алмазов**

В рамках государственной научно-технической программы «Номатех» подпрограмма «Алмазы и сверхтвердые материалы» разработаны новые алмазосодержащие композиционные материалы и алмазоабразивный инструмент на их основе для обработки твердых сплавов, твердых сплавов совместно со сталью, сверхтвердых материалов. Технологии изготовления алмазосодержащих композиционных материалов и инструментов реализованы на ЗАИ РАУП «Гомельское ПО «Кристалл». Основными потребителями инструмента являются предприятия РБ машиностроительного профиля (МАЗ, МТЗ, ММЗ, БМЗ и др.), деревообрабатывающей отрасли и дорожно-строительной индустрии.

Для обработки алмазов в бриллианты разработаны алмазоабразивные инструменты на водорастворимых связках марки СО, обеспечивающие повышение производительности шлифования рундиста на 20–30%. Объем их выпуска составил в 2004–2007 гг. более 40 тысяч единиц на сумму 1 млн. у.е. Экспортные поставки составили свыше 700 тыс. у.е.

В ГНУ ФТИ НАН Беларуси создан испытательный центр по проведению сертификационных испытаний алмазных, абразивных и лезвийных инструментов, аккредитованный в Национальной системе аккредитации РБ. Разработана и изготовлена гамма испытательных стендов (рис. 6) для испытания на механическую прочность и безопасность работы абразивных и алмазных кругов диаметром 125–1200 мм. Нормативная документация, регламентирующая порядок применения и аттестации стендов, согласована в системе Госстандарта РБ. Разработанные стенды отличаются малой металлоемкостью, низким энергопотреблением и комплектуются электронными блоками управления приводов на современной элементной базе. Они должны заменить на машиностроительных предприятиях морально и физически устаревшие стенды серии СИП советского производства, повысить надежность испытаний и улучшить условия работы персонала.

Разработанные в ФТИ технологии рекуперации



алмазного сырья из отработанного инструмента и технологии изготовления алмазного инструмента из разносортного алмазного сырья позволили вернуть в производство за 2005–2008 гг. 3000 карат алмазов и более 9000 карат алмазных порошков. За счет этого изготовлено из разносортного алмазного сырья более 8 тысяч единиц различных типов правящего алмазного инструмента. Это обеспечило импортозамещение по указанному виду продукции до 65%.

За 2006 г. на РАУП ГПО «Кристалл» выпущено продукции, прошедшей сертификацию в испытательном центре ФТИ свыше 30 тыс. единиц на сумму более 2 млн. у.е. Экспорт алмазной продукции составляет более 30% от общего объема выпуска. Импортозамещение по основным типоразмерам алмазных шлифовальных кругов (рис. 7) общего применения составило в 2006–2007 гг. 80–60%. В настоящее время в ФТИ выполняется проект по техническому и технологическому обеспечению импортозамещения алмазных кругов для стеклообрабатывающих предприятий РБ (РУП «Борисовский хрустальный завод» и стеклозавод «Неман»). Проектом предусмотрено также создание испытательного стенда для оценки эксплуатационных свойств и ресурса алмазных кругов при обработке стекла.

В ФТИ выполнено ряд работ по созданию лезвийных инструментов современного уровня, в том числе и инструментов из сверхтвердых материалов для обработки высокопрочных сталей и сплавов, функциональной керамики и силицированного графита. В испытательном центре ФТИ НАН Беларуси в 2004–2007 гг. прошел сертификацию ряд инструментов производства РУП «Гомельский завод СИИТО». За 2006–2007 гг. выпущено сертифицированной продукции около 400

тыс. штук на сумму более 1 млн. долларов в год. Продукция поставляется на большинство машиностроительных предприятий РБ, по качеству значительно превосходит инструмент российского производства. После прохождения процедуры сертификации экспорт продукции вырос в течение 2 лет на 45%

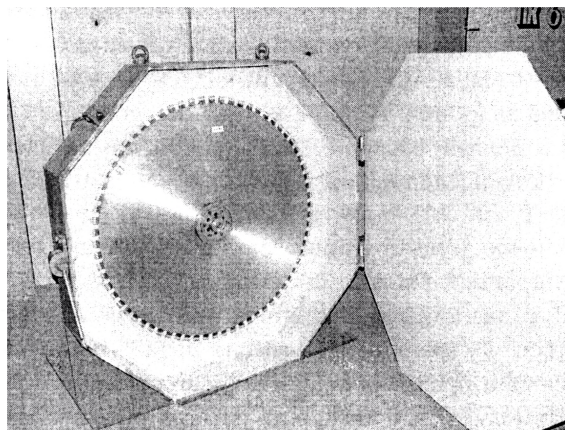


Рис. 6

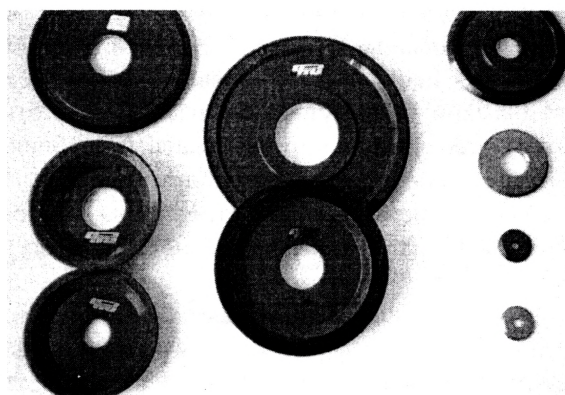


Рис. 7

## ДИАЛОГ МЕТАЛЛОВЕДОВ ПРОДОЛЖАЕТСЯ...

*В конце ноября на базе Минского автомобильного завода состоялась IV Международная научно-техническая конференция, организованная специалистами РУП «МАЗ» по плану Министерством промышленности, а также Национальной академией наук Беларуси, собравшая ученых и практиков из Беларуси, Польши, стран СНГ и Прибалтики. Более ста делегатов от 60 предприятий нашей республики и зарубежья приняли участие в этом мероприятии. Тема диалога — «Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении» — весьма актуальна реалиям и проблемам сегодняшнего дня, когда предпринимаются интенсивные меры в области экономии энергии и материалов, идут поиски новых резервов. Общая проблема объединила ученых и практиков многих стран.*

Открывший конференцию технический директор МАЗа Андрей Михайлович Захарик, отметил:

«Львиная доля затрат производства — это энергозатраты. Вопросы энергоэкономии — перво-



очередные и диалог ученых и практиков поможет в их решении». Технический директор заверил, что главное слово предоставляется науке».

— Наша задача сегодня — сотрудничество, обмен мнениями, знаниями и новинками, но самое главное — передача молодой смене исследователей и производственников профессиональных навыков нашего поколения, — сказал в своем выступлении заведующий отделом металловедения ФТИ НАН Беларуси академик Станислав Александрович Астапчик. — Мы должны быть достойными наследниками первооткрывателей в области исследования и использования токов высокой частоты, приумножить богатство, которое собиралось по крупицам еще в первые десятилетия прошлого века.

И с академиком Астапчиком нельзя не согласиться — крепкий фундамент создали советские ученые в прошлом веке. Не будет лишним совершить небольшой экскурс в историю и напомнить, что идеологом и предводителем в области энергосберегающих термических процессов стал выдающийся российский ученый Валентин Петрович Вологдин. Его именем назван научно-исследовательский институт токов высокой частоты в Санкт-Петербурге, с которым наша республика и МАЗ, в частности, тесно сотрудничают.

Недавно отмечалось 126-летие со дня рождения В.П. Вологодина. Ученый стал основателем школы ТВЧ, а затем и Всероссийского научно-исследовательского института токов высокой частоты (ВНИИТВЧ). С разработок и научных изысканий академика Вологодина и началось шествие электротермии в СССР и во всем мире. Идеологию этого направления поддержали ведущие ученые Н.Т. Гудцов, М.М. Замятин, Г.Ф. Головин, Г.И. Бабат, М.Г. Лозинский и другие. Последователями этой школы являются и заводские ученые-практики МАЗа — Павел Семенович Гурченко (нач. УЛиР), Анатолий Игнатьевич Михлюк (1-й зам. нач. УЛиР).

Присутствующий на конференции первый заместитель генерального директора по науке, академик АИН РФ из Санкт-Петербурга Владимир Николаевич Иванов, так оценивает сотрудничество наших стран в области металловедения и электротермии:

— С учеными Беларуси у нас давняя тесная дружба и не случайно этот форум проходит на Минском автозаводе, на предприятии, которое использует индукционный нагрев при изготовлении и термообработке деталей и узлов

автомобилей более 900 наименований, в том числе: зубчатые колеса, коленчатые и распределительные валы, полуоси, ступицы колесной передачи, трубчатые полуфабрикаты и многое другое. На МАЗе высокий уровень научно-исследовательских работ, здесь сплав научных и практических знаний, поэтому необходимо и далее развивать сотрудничество ученых и практиков в выполнении совместных научно-исследовательских работ, в разработке и внедрении нового оборудования.

На конференции отмечена высокая роль ведущего вуза республики — БНТУ, как кузницы кадров в области инженерного образования, в том числе, металлообработки. В своем выступлении первый проректор этого вуза, доктор технических наук Федора Ивановича Пантелеенко отразил особую значимость новых технологий в металлургии:

— Богат на сегодняшний момент именно тот производственник, который владеет самыми современными технологиями. Не секрет, что особое место в машиностроении занимает процесс реновации, который призван восстанавливать изношенные механизмы и детали. Порой это нерентабельно из-за дороговизны обрабатываемых материалов при восстановлении изделий. Поэтому искать более приемлемые, дешевые и качественные материалы — еще одна задача в повышении износостойкости металлических изделий.

Пантелеенко познакомил аудиторию с южнокорейским опытом по энергосбережению, где сделан основной упор на приобретение и внедрение в жизнь самых новейших достижений науки:

— Специалисты из Южной Кореи добились колоссальной экономии энергии в металлургических процессах. В производстве чугуна и стали южнокорейцы используют железнорудные окатыши, минуя жидкое состояние металла. Широко применяется сопутствующее тепло. Все это можно смело брать на вооружение.

Про нас коллега из БНТУ сказал так: «Нельзя не отметить на Минском автозаводе активное применение токов ТВЧ, с которыми по эффективности в упрочнении металлов не сравнятся ни лазерная, ни плазменная обработка. Ценно и другое: ученые и производственники МАЗа вносят свой немаловажный вклад и в сохранение фундаментальной науки, добрых традиций и лучших наработок по восстановлению металлов. Отдельное спасибо ученым завода за подготовку кадров. За их опытом, умением «сращивать» науку и практику приезжают на МАЗ и зарубежные гости».



Профессор, доктор технических наук Павел Семонович Гурченко ознакомил присутствующих с докладом «Пути переоснащения термического производства завода»:

— Общей тенденцией ресурсосбережения является внедрение современных технологий и оборудования, оснащенных системами контроля и управления. Они позволяют оптимизировать технологические процессы, улучшать качество, сокращать расходы ресурсов. Специалисты МАЗа уверенно идут этим курсом. В текущем году закуплен и будет введен в ближайшее время в эксплуатацию комплекс термической обработки поковок фирмы «Элтерма». Заключен контракт на закупку в 2009 году у фирмы «Ремикс» для термического цеха агрегата термической обработки в защитной атмосфере крепежных изделий с возможностью закалки на воду и масло. Это оборудование позволит вывести из эксплуатации два устаревших конвейерных агрегата. Планируемая экономия электроэнергии при освоении нового оборудования составит 3809 тыс. кВт. И это только часть большой работы по техпереворужению.

Слово было дано всем участникам конференции в десятках устных и стендовых докладах. Некоторые делегаты приехали на традиционную еже-

годную конференцию МАЗа впервые — почерпнуть для себя новые идеи, как, например, представители дочернего предприятия «Зенит» могилевского «Лифтмаша» или Минского завода отопительного оборудования. Все время конференции работала выставка, где были задействованы фонды центральной библиотеки МАЗа и использованы материалы межбиблиотечного абонемента Республиканской научно-технической библиотеки. По желанию участники могли получить ксерокопию любых необходимых материалов и документы, напечатанные в последних номерах журналов «Автомобильная промышленность», «Наука и инновации», «Энергоэффективность», «Вестник машиностроения», а также уникального издания «Ключ к стали» с таблицами взаимозаменяемости, стандартами, производителями, потребителями и другими ценными сведениями.

На второй день конференции ее участники побывали на экскурсиях по Минскому автозаводу и Минскому тракторному заводу, а также приняли участие в торжественном заседании в БНТУ, посвященном 45-летию образования кафедры «Материаловедение в машиностроении».

*Ольга БОТЯНОВСКАЯ  
Олеся МИХАЛЕНКО*

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Гурченко П.С., Михлюк А.И.  
Минский автомобильный завод  
Астапчик С.А., Гордиенко А.И., Ивашко В.В., Вегера И.И.  
Физико-технический институт НАН Беларуси*

*Введение.* Индукционный нагрев на промышленных предприятиях Республики Беларусь в настоящее время занимает значительное место и имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными нагревательными устройствами. Это, прежде всего, высокий к.п.д. и компактность индукционных установок, позволяющих встраивать их в линии механической обработки, высокая производительность операций нагрева, формирование на поверхности деталей термически упроченных слоев, обеспечивающих повышенные эксплуатационные характеристики и специ-

альных свойств. Следует отметить, что индукционный нагрев чаще всего применяют при проведении операций штамповки, закалки, плавки и пайки (рис. 1.).

Однако необходимо отметить, что темпы расширения области применения индукционного нагрева сдерживаются проблемами выбора современного оборудования, материалов, необходимостью разработки или корректировки технологических процессов, позволяющих обеспечить высокое качество выпускаемой продукции и снижения себестоимости. Не менее остро для



республики стоят проблемы замены или модернизации оборудования, нагревательных устройств, совершенствования технологических процессов термической обработки.

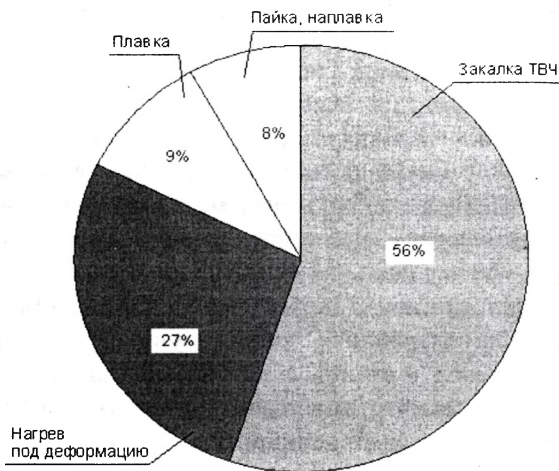


Рис. 1. Соотношение использования преобразователей частоты в различных операциях нагрева

**Состояние дел.** С целью получения достоверной общей картины наличия, технического состояния и использования на предприятиях РБ высокочастотного и индукционного оборудования был проведен мониторинг более чем на 60 промышленных предприятиях.

Анализ полученных данных показал, что в настоящее время на промышленных предприятиях Республики Беларусь в эксплуатации находится около 500 высокочастотных преобразователей. Причем около 50% из них это машинные генераторы, 38% ламповые, 10% тиристорные и 3% транзисторные генераторы (рис.2).

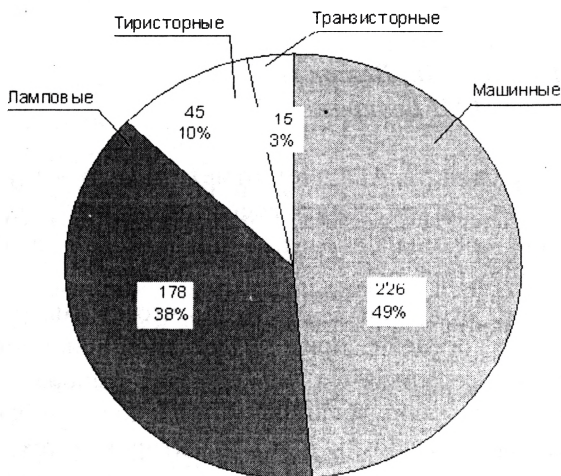


Рис. 2. Структура типов преобразователей частоты на предприятиях РБ

Лидерами по использованию индукционного оборудования среди предприятий являются крупные предприятия такие как МТЗ, МАЗ, (г. Минск), ОАО «Белкард» (г. Гродно), «Автогидроусилитель» (г. Борисов), ПО «Гомсельмаш» (г. Гомель), КЗТШ (г. Жодино). На данных предприятиях сосредоточена половина индукционного оборудования РБ.

Абсолютное большинство используемых генераторов — производства бывшего СССР и стран СНГ (России, Эстонии, Армении и Украине), импортное оборудование из дальнего зарубежья составляет около 3%.

Представляет интерес анализ количественного состава генераторов по годам выпуска (рис. 3). График распределения количества генераторов по годам выпуска четко демонстрирует историю развития ТВЧ нагрева в Беларуси в целом.



Рис. 3. Количественный состав преобразователей частоты на промышленных предприятиях РБ по годам выпуска

Первые ламповые и машинные генераторы выпуска 1955–1965 годов появляются в единичных экземплярах на предприятиях республики, причем используются они и до настоящего времени. Начиная с 70-х годов происходит интенсивный рост использования индукционного нагрева, что приводит к увеличению общего количества генераторов. В 80-х годах развитие индукционного и ТВЧ нагрева в Беларуси достигает своего пика, большинство оборудования используемого в настоящий момент на предприятиях выпущено именно в этот период. Следует отметить, что в данный период впервые начинается использование тиристорных преобразователей. Это связано с запуском машинного зала на Борисовском заводе «Автогидроусилитель» укомплектованного тиристорными преобразователями серии ТПЧ производства Estel Elektro (Эстония, г. Таллин). В



90-е годы в связи с кризисом в экономике наблюдается резкое снижение закупок индукционного оборудования, однако следует отметить, что именно в этот период на Белорусском металлургическом заводе появляются первые транзисторные преобразователи частоты импортного производства.

Начиная с 2005 года прослеживается положительная тенденция по увеличению закупок нового оборудования, причем наряду с машинными и ламповыми генераторами активно закупаются тиристорные и транзисторные преобразователи.

Печальной остается статистика изношенности индукционного оборудования на предприятиях республики — около 70% генераторов имеют 100% износ; 20% — износ более 50% процентов и 10% — износ менее 50% (рис.4). Данная статистика характерна и для крупнейших предприятий использующих индукционное оборудование, так например из 94 генераторов, имеющихся на Минском тракторном заводе, 84 имеют 100% износ, аналогичная картина наблюдается и на Минском автомобильном заводе.

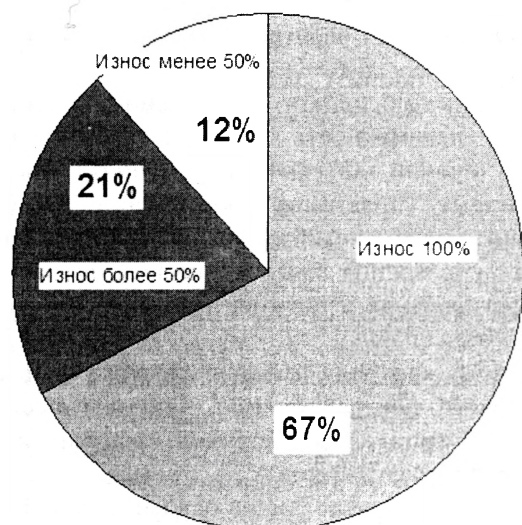


Рис. 4. Процентное соотношение преобразователей частоты по износу

Поэтому в настоящее время перед промышленными предприятиями стоит очень важная задача по модернизации и замене имеющегося индукционного оборудования, выработавшего свой ресурс. Актуальными так же остаются задачи по энерго- и ресурсосбережению, которые невозможно решить без внедрения нового высокопроизводительного и энергосберегающего оборудования. Несмотря на то, что на большей части предприятий индукционное оборудование значительно изношено, только 30% опрошенных пред-

приятий планируют в 2008–2010 годах закупку нового индукционного оборудования.

Следует отметить, что в основном запланированы закупки генераторов новых типов — около 50% это транзисторные генераторы, 40% тиристорные генераторы (рис. 5).



Рис. 5. Планируемые закупки индукционного оборудования в 2008-2010 годах в РБ

Данная закономерность связана с тем, что это оборудование отвечает всем современным требованиям по энергосбережению и эффективности, в отличие от машинных и ламповых генераторов (рис. 6).



Рис. 6. Структура закупаемых преобразователей частоты по типам

Анализируя географию поставок нового индукционного оборудования в нашу страну следует сделать вывод, что по прежнему лидером в этом вопросе остается Россия. Более 60% преобразователей частоты в 2008-2010 годах планируется закупить в РФ: «Элсиб», г. Новосибирск, завод «Индуктор», г. Новозыбков, НПП «Курай» и НПО «Параллель», г. Уфа; Рэлтек, г. Екатеринбург; ООО «Интерм», г. Санкт-Петербург. Положительной тенденцией является то, что в послед-



ние годы в РБ освоен выпуск генераторов и оборудования индукционного нагрева отечественного производства. Так в 2008–2010 годах около 15% планируемых закупок связано с белорусскими производителями данного оборудования.

Кроме того, предприятиями республики будет закуплено около 20% индукционного оборудования производства различных европейских стран, таких как Германия, Испания, Эстония и др.

*Перспективы развития.* Проведенный анализ промышленных предприятий РБ показал, что индукционный нагрев занимает значительное место в структуре технологических операций производственных процессов. Поэтому правильный выбор перспектив развития индукционного нагрева крайне актуален для промышленных предприятий РБ. На рис. 7 представлены основные направления развития технологий индукционного нагрева которые по мнению авторов наиболее актуальны и перспективны в настоящее время для промышленности РБ.

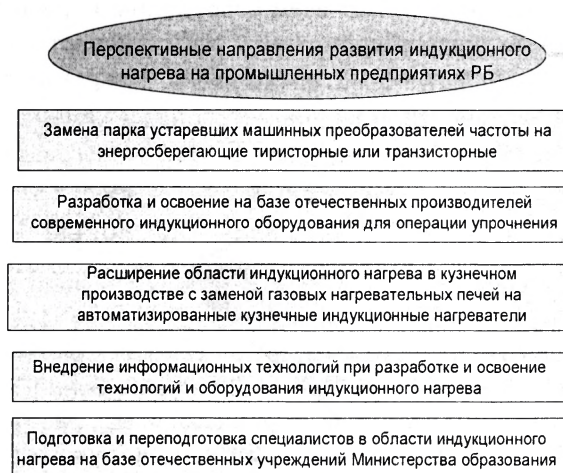


Рис. 7. Перспективы развития технологий индукционного нагрева в РБ

Рассмотрим подробнее каждое из направлений.

*Замена парка устаревших машинных преобразователей частоты на энергосберегающие тиристорные или транзисторные.* Это направление перспективно по следующим причинам.

*Во-первых,* внедрение тиристорного или транзисторного преобразователя вместо машинного всегда выгодно с точки зрения экономии энергоресурсов, площадей и культуры производства. Срок окупаемости данного мероприятия за счет только экономии электроэнергии составляет от 3 до 5 лет.

*Во вторых,* для данного типа оборудования в отличие от машинного преобразователя не требуется

отдельного помещения, оно практически бесшумно в работе

*В третьих,* современные тиристорные и транзисторные преобразователи оснащаются системами управления, диагностики и контроля, которые позволяют выполнять технологическую операцию на более высоком технико-экономическом уровне.

*Разработка и освоение на базе отечественных производителей современного индукционного оборудования для операций упрочнения.* В настоящее время эксплуатируемое индукционное оборудование для закалки ТВЧ устарело как морально так и физически. Анализ выпускаемого оборудования данного типа традиционных производителей, прежде всего РФ, показывает значительное отставание от аналогичного импортного оборудования, например немецкого или итальянского. Современный закалочный индукционный станок должен иметь:

- энергосберегающий современный преобразователь;
- механизм перемещения и вращения детали на базе современных электрокомплектующих и механических передач;
- систему закалочного охлаждения, обеспечивающую неизменность параметров закалочной среды в течении длительного времени работы;
- систему управления оборудованием на базе промышленного компьютера с возможностью гибкого управления технологическим процессом, диагностирования и документирования результатов работы;
- систему контроля технологического процесса с высокой повторяемостью технологического цикла и возможностью документирования и архивирования результатов.

Создание и промышленное освоение подобного оборудования позволит получить значительный технико-экономический эффект, повысит производительность труда и качество термообработки.

*Расширение области индукционного нагрева в кузнечном производстве с заменой газовых нагревательных печей на автоматизированные кузнечные индукционные нагреватели.* Перспективность этого направления заключается в том, что в условиях постоянно роста цен на энергоносители и в первую очередь газ индукционный нагрев позволяет получить экономический эффект. Кроме того, только индукционное оборудование в этом секторе позволяет полностью автоматизировать технологический процесс перемещения заготовки



от заводской тары до рабочего места кузнеца (а в будущем и автоматизировать процессковки), что минимизирует присутствие человека в вредных условиях кузнечного производства.

*Внедрение информационных технологий при разработке и освоении технологий и оборудования индукционного нагрева.* В данном направлении в РБ совершаются только первые шаги. Вместе с тем широкое внедрение информационных технологий позволит не только просчитать и спрогнозировать индукционную термообработку на стадии проектирования, но и обеспечить высокое качество выполнения операции и работы оборудования. Сегодня промышленные предприятия РБ остро нуждаются в разработке и освоении программных продуктов по моделированию процессов индукционной термообработки. Разработка и внедрение современного индукционного оборудования невоз-

можно без систем управления на базе промышленных компьютеров и программаторов.

*Подготовка и переподготовка специалистов в области индукционного нагрева на базе отечественных учреждений Министерства образования.* В настоящее время промышленные предприятия РБ испытывают острую нужду в специалистах по области индукционной термообработки, которые должны обладать достаточными знаниями в трех областях техники — материаловедение, электротехника и механика. Подготовка таких молодых специалистов, как и переподготовка действующих вполне может быть освоена на базе ведущего технического вуза республики БНТУ. Это несомненно принесет положительный эффект и позволит упрочить позиции индукционного нагрева на промышленных предприятиях РБ.

## РАБОТЫ ВНИИТВЧ В ОБЛАСТИ ИНДУКЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ

*Иванов В.Н., Никитин Б.М., Червинский В.И., Иевлев Е.М., Будкин Г.В.  
Всероссийский научно-исследовательский институт токов высокой частоты  
им. В.П. Вологодина*

Во всех отраслях, где внедрены высокочастотные электротехнологии — технологические процессы, использующие особенности распространения и воздействия переменного электромагнитного поля на различные среды, получены повышение качества продукции, улучшение условий труда, экономия материальных, трудовых и энергетических ресурсов. В ряде случаев высокочастотные электротехнологии не имеют альтернативы. Создаются новые процессы, которые другими способами осуществить невозможно.

Наша страна по праву считается родиной промышленного применения токов высокой частоты, а Всероссийский научно-исследовательский институт им. В.П.Вологодина (ВНИИТВЧ) вот уже более 60 лет является научным центром высокочастотных электротехнологий.

За прошедшие годы коллективом ВНИИТВЧ проделана достаточно большая работа. Создана и непрерывно совершенствуется теория индукционного нагрева металлов, полупроводников, ионизированных газов, диэлектрического нагрева непроводящих материалов.

Созданы и выпускаются источники питания

мощностью от нескольких ватт до 1600 кВт частотой от 500 Гц до 2450 МГц. Созданы различные технологические процессы и оборудование для их реализации, Среди них особое место занимает термообработка машиностроительных деталей.

Поскольку свойства металла при индукционной поверхностной закалке определяются физическими и металлургическими процессами, а также структурными превращениями, которые происходят в закаливаемом слое, ВНИИТВЧ проводит тщательные исследования влияния на эти процессы и качество закаленной детали параметров закалки: частоты закалочного тока, удельной мощности, температуры нагрева, скорости охлаждения, а также исходного материала (состава и исходной структуры).

В результате проделанной работы определен состав углеродистых и малолегированных сталей, которые рекомендуются для изготовления закаливаемых деталей. Разработаны (проф. Шепеляковский К.З.) марки сталей с пониженной и регламентированной прокаливаемостью. Установлена возможность закалки деталей из серого и ковкого чугуна с перлитной или перлитно-ферритной основой.



Определен диапазон частот, уровень удельных мощностей, созданы электромагнитные системы и станки для закалки самых разных деталей.

Созданы специальные малогабаритные закалочные трансформаторы способные передать мощность от 500 до 4000 кВА от источника питания.

Исследованы особенности использования различных охлаждающих жидкостей (воды, подогретой воды, водо-воздушных смесей, масла и т.п.) для охлаждения закаливаемых деталей. Исследованы также варианты охлаждения с помощью различных душевых устройств и погружением

Важное место в работах ВНИИТВЧ занимает закалка коленчатого вала. Первые установки для закалки шеек коленчатого вала были созданы еще В.П.Вологдиным с использованием разъемного кольцевого индуктора. Этот процесс имеет ряд недостатков. Прежде всего — наличие разъема в индукторе, который снижает надёжность станка. Кроме того, конструкторы двигателей требовали, чтобы закаленный слой выходил на галтель.

Прорывом в создании технологии закалки шеек коленчатого вала с выходом на галтель явилось использование разработанного немецкой фирмой АЕГ ЭЛОТЕРМ петлевого индуктора с магнитопроводом, ВНИИТВЧ использовал такой индуктор для создания в семидесятые годы 3-х позиционной закалочной установки для автомобильных заводов КАМАЗ и ЗИЛ.

В последние годы однако ряд автомобилестроительных фирм отказались от требования вывода закаленного слоя шейки коленчатого вала на галтель (АвтоВАЗ, Форд). По заказу американской фирмы Индакотерм ВНИИТВЧ разработал технологический процесс и комплект разъемных петлевых индукторов (рис. 1) для закалки шеек коленчатого вала автомобиля Форд.

ВНИИТВЧ разработал новый процесс — метод скоростной индукционной термообработки сварных труб из низкоуглеродистых (Ст10, Ст20, Ст3пс) сталей 22 мм с толщиной стенки  $\delta=4$  мм был применен на Могилёвском металлургическом заводе. Нагрев проводили непрерывно-последовательным способом со скоростями  $v_{\text{ср.нагр.}} \approx 350+650^\circ\text{C}/\text{с}$  до температур  $750-900^\circ\text{C}$  и последующим охлаждением на воздухе и водным душем.

Исследовано также влияние метода СИТО на свойства низкоуглеродистых малолегированных сталей, а также нержавеющей стали, ВНИИТВЧ исследовал по заказу зарубежного партнёра. Использовались образцы тонкостенных труб из сталей, соответствующих российским аналогам

08Г2Т, 15Г2 и ОХ13.

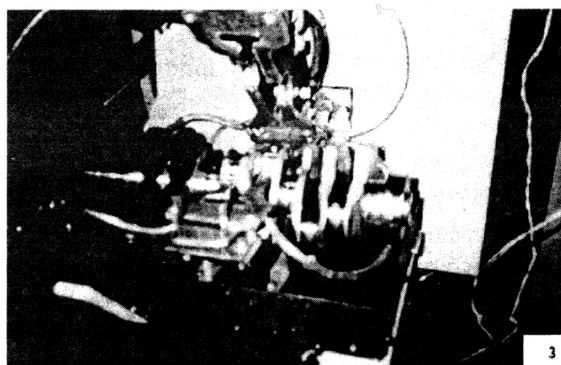
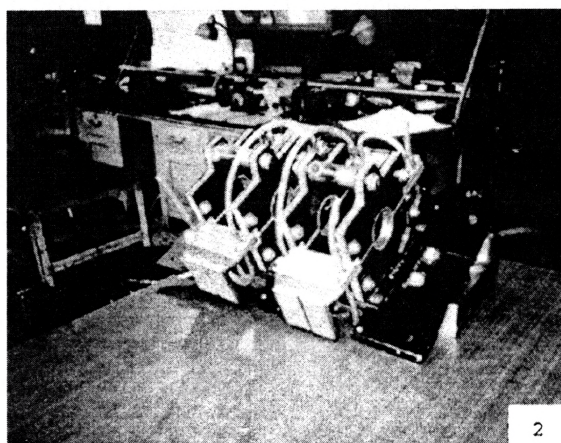
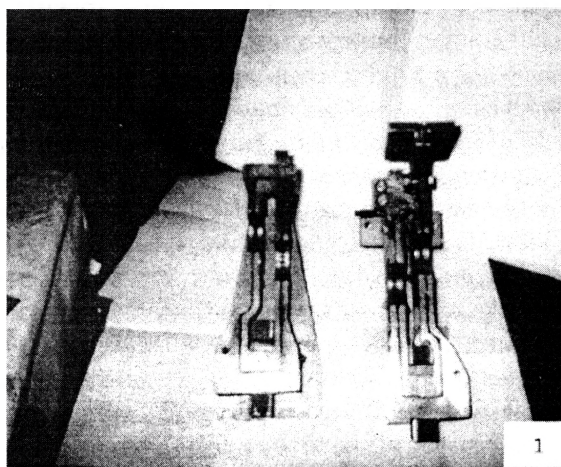


Рис. 1. Разъёмный петлевой индуктор для закалки шеек коленчатого вала автомобиля Форд. 1 — индуктирующие витки (справа — подключаемый, слева — короткозамкнутый); 2 — общий вид индуктора; 3 — индуктор для закалки одной пары шеек, в открытом состоянии

Доказано, что использование механических свойств сталей в исходном состоянии и после различных вариантов СИТО позволяют:

— повышать пластичность изделий в 1,5–2,0 раза при сохранении прочности на уровне исходной, или



– повышать прочность в 1,4–2,0 раза при сохранении пластичности на уровне исходной.

Установлено, что регулируя температуру и скорость нагрева и интенсивность охлаждения, можно в широком диапазоне изменять прочностные, пластические и вязкие свойства сварного соединения, тела трубы и трубы в целом. При этом работа по разрушению труб может быть увеличена в 2 и более раз.

На первых этапах при создании технологического процесса закалки и оборудования использовались аналитические методы решения электротепловой задачи (с большими допущениями) в сочетании с физическим моделированием. Однако сегодня нас уже не удовлетворяют такие подходы. Мы договорились с Лабораторией проф. Васильева А.С. в ЛЭТИ, с Белорусским государственным университетом информатики и радиоэлектроники и Международным Государственным экологическим университетом им. А.Д. Сахарова создать математическую модель для решения при использовании реальных индукционных систем процессов нагрева, охлаждения, перекристаллизации и в конце концов расчётным методом определить структуру и механические свойства металла в закалённом слое. Создание такой модели важно не только потому, что позволит экономить при физическом моделировании процессе закалки, но и снизить количество тестов разрушающими методами контроля. Это особенно важно, когда стоимость закаливаемой детали весьма велика (десятки и сотни тысяч USD).

Для этой модели ВНИИТВЧ обрабатывает режимы многолетних экспериментов и создаёт математические зависимости, связывающие параметры нагрева и охлаждения со структурой и свойствами закалённого металла.

В настоящее время в России и СНГ работает более 120 тысяч закалочных установок. Общая мощность закалочных установок более 10 млн. кВт. Закаливается более 80% всех подвергаемых упрочнению машиностроительных деталей, термообрабатываются десятки тысяч тонн проката.

В последние годы ВНИИТВЧ выполнил ряд работ по закалке прямозубых и косозубых шестерен, тяжело нагруженных тел вращения (беговых дорожек колец подшипников, крановых колёс) и поршневых пальцев.

#### **Термообработка шестерен**

Закалка шестерен с малым размером модуля ( $m < 4-5$  мм) производится в цилиндрическом индукторе и требуемая глубина нагрева им распре-

деления температуры определяется выбором частоты и времени нагрева.

Создание современного процесса и оборудования для закалки крупномодульных шестерен (более 8–10 мм) оказалось возможным после разработки однопетлевого и двухпетлевого индукторов, которые обеспечивают достаточно хорошее распределение температуры по контуру зуба и впадины. С использованием такой схемы индуктора удалось создать станки для закалки шестерен с модулем 8–25 мм и тяжело нагруженных шестерен с модулем 80 мм подъемных механизмов платформ для шельфного бурения, колец подшипников и шестерен диаметром до 3 м и т.п. В 1953 г. во ВНИИТВЧ предложен и отработан способ закалки автомобильных шестерен с модулем  $m=4-6$  мм при нагреве в обычном цилиндрическом индукторе токами двух частот и обеспечили равномерный закаленный слой по контуру шестерни. В настоящее время этот способ при использовании транзисторных генераторов может оказаться весьма перспективным.

В 2007 г. ВНИИТВЧ разработал технологический процесс, создал оборудование, изготовил и внедрил автоматизированную установку мощностью 60 кВт частотой 10 кГц для закалки прямоугольных и косозубых шестерен диаметром до 1000 мм с модулем от 8 до 24 мм. (Заказчик: ОАО «Желдор-инструмент» для Люблинского Литейно-механического завода и Локомотивного депо УНЕЧА ОАО «РЖД» (г. Унеча, Брянской обл.).

#### **Закалка нагруженных поверхностей тел вращения**

Непрерывно-последовательный способ закалки нагруженных поверхностей тел вращения стал основным при их упрочнении.

ВНИИТВЧ по заказу ОАО «Туламашзавод» создал и внедрил автоматизированную установку для закалки беговых дорожек колец подшипников диаметром до 2500 мм из сталей марок 45Хн и 45ХНМ. Мощность установки 60 кВт частота 4 кГц.

Станок обеспечивает закалку на глубину до 4 мм как наружных, так и внутренних поверхностей. Минимальная деформация колец при закалке обеспечивается за счёт специального приспособления.

ВНИИТВЧ создал также автоматизированную установку для закалки тяжело нагруженных поверхностей крановых колес диаметром до 1000 мм из стали 65Г при глубине закалки до 10 мм. Высокочастотное оборудование имеет мощность 100 кВт частота 2400 Гц



(рис. 2). Закалка производится с предварительным подогревом непрерывно-последовательным способом.

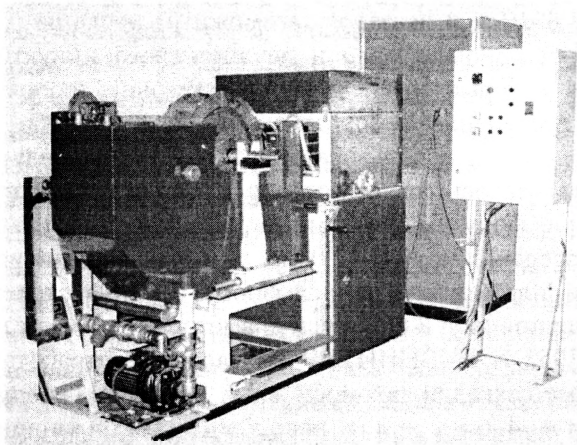


Рис. 2. Автоматизированная установка для закалки крановых колёс (внедрена в 2007 г. на ОАО «АСК»-Крановый завод, г. Санкт-Петербург)

Процесс закалки тел вращения непрерывно-последовательным способом всегда оставляет в конце цикла отпускную полоску. Применение системы управления, с использованием ПЛК, обеспечивающей точное начало процесса, а также остановку вращения и выключение нагрева позволяет уменьшить ширину отпускной полоски до 25–30 мм.

#### Объемно-поверхностная закалка поршневых пальцев

Одно из важных направлений работ ВНИИТВЧ является создание процессов закалки деталей из сталей с регламентированной пониженной прокаливаемостью. В 2007 г. создана и внедрена Автоматизированная индукционная установка для объемно-поверхностной закалки поршневых пальцев из стали 55ПП. Мощность установки, кВт — 60, рабочая частота, кГц — 2,4, производительность, шт/мин — 2.

Автоматизированная установка обеспечивает закалку внутренней и наружной поверхности полых поршневых пальцев из стали с регламентируемой поверхности типа 55ПП (рис. 3) на глубину 2,6 мм с твердостью 55–56 HRC.

Стабильность результатов закалки достигается высокой равномерностью сквозного нагрева пальцев в индукторе с последующим интенсивным охлаждением в закалочной камере специальной конструкции, обеспечивающей требуемую величину и распределение водяного потока относительно закаливаемых поверхностей.

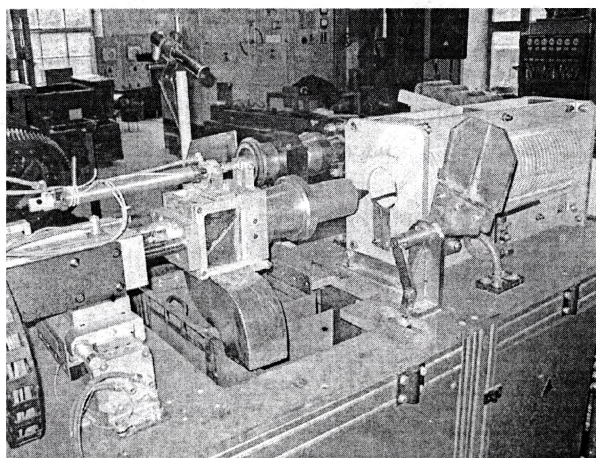


Рис. 3. Автоматизированная установка для объемно-поверхностной закалки поршневых пальцев (внедрена на Уссурийском локомотиво-ремонтном заводе)

Микропроцессорная система управления позволила создать полностью автоматический цикл закалки, включая задание режима нагрева, перенос пальца в закалочную камеру и дозирование закалочной жидкости.

Выполненная работа позволила заменить дорогую сложнолегированную сталь 12ХНЗА на достаточно дешевую 55ПП.

Установки для индукционной поверхностной закалки, которые ВНИИТВЧ создаёт в последнее время, оснащаются системами автоматического управления с использованием ПЛК, которая обеспечивает точную повторяемость процесса и стабильность качества детали. Система обеспечивает также контроль за состоянием отдельных элементов установки и их готовности к работе.

В комплект поставки установки могут быть включены системы охлаждения высокочастотного оборудования и закаливаемой детали.



# РАЗРАБОТКА ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ

Викторович В.В., Михлюк А.Е.

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси  
по механизации сельского хозяйства

В рамках выполнения Государственной программы по импортозамещению в Республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» (РУП «НПЦ НАНБ по механизации с/х» разработаны и осваивается производство транзисторных преобразователей частоты номинальной мощностью до 250 кВт частотой преобразования  $2,4 \div 10$  кГц для питания установок индукционного нагрева.

Источники питания для индукционного нагрева (рис. 1) являются преобразователями частоты, которые запитываются от промышленной сети и обеспечивают на однофазном выходе частоту, необходимую для индукционного технологического процесса. Чаще всего источник питания является комбинацией выпрямителя и инвертора. Выпрямительная часть преобразует сетевой ток в постоянный, а инверторная осуществляет преобразование постоянного тока в однофазный переменный ток требуемой частоты.

которой они функционируют. Силовые цепи проектируются таким образом, чтобы обеспечить гарантированную работу их элементов на предельных для данного типа источников питания частотах.

Инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный, выполняется на полупроводниковых приборах, таких как тиристор или транзистор.

Устройство согласования необходимо для преобразования выходных параметров источника питания до величин, необходимых для нормального функционирования индуктора.

Система управления сравнивает выходной сигнал источника питания с сигналом управляющего воздействия. Разница этих сигналов соответствующим образом обрабатывается для обеспечения необходимых значений выходного напряжения выпрямителя, частоты и/или фазы напряжения инвертора.

Два основных типа инверторов, используемых для подавляющего большинства технологических



Рис. 1 — Блок-схема полупроводникового источника питания для индукционного нагрева

Частота является очень важным параметром при индукционном нагреве, потому что она, прежде всего, определяет глубину проникновения тока и, следовательно, глубину нагрева. Частота также является важным параметром при проектировании источников питания для индукционного нагрева, так как силовые компоненты этих источников выбираются в зависимости от частоты, на

операций индукционного нагрева, представляет собой инвертор напряжения или инвертор тока с параллельным или последовательным резонансным нагрузочным контуром.

Для обеспечения необходимого времени восстановления тиристорный инвертор напряжения всегда работает на частотах ниже резонансной частоты нагрузки. Когда частота коммутации ти-

ристоров много меньше резонансной, полное сопротивление нагрузки велико, и выходная мощность мала. Когда частота коммутации становится близкой к резонансной, полное сопротивление нагрузки уменьшается и выходная мощность возрастает. Управление выходной мощностью в этом случае осуществляется за счет изменения частоты работы тиристорных инверторного моста.

Упрощенная схема силовой части разработанного транзисторного генератора показана на рис. 2.

Отметим ее основные особенности по сравнению с традиционными решениями.

Из схемы исключен силовой контактор, поскольку при мощностях порядка 100÷250 кВт его включение – выключение приводит к существенным вибрациям, что снижает общую надежность

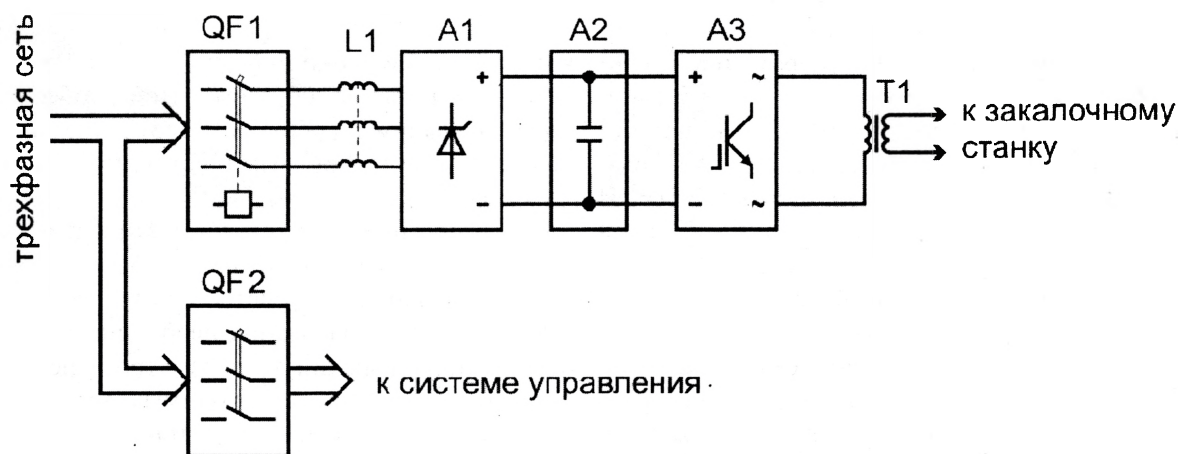


Рис. 2. Упрощенная схема силовой части транзисторного генератора

Последнее обстоятельство, равно как и необходимость в громоздких и дорогостоящих коммутирующих устройствах является основным недостатком тиристорных инверторов напряжения.

Недостатком тиристорных инверторов тока является обязательное наличие на выходе выпрямительного моста сглаживающего дросселя большой величины и возможность регулирования только по входному напряжению инвертора. Основная область использования тиристорных инверторов тока — мощные источники питания до 4 МВт.

Транзисторные инверторы отличаются тем, что их ключи IGBT или MOSFET не требуют для своего функционирования восстановления запирающих свойств и следовательно могут эффективно работать на практически любой частоте относительно резонансной частоты нагрузки. Работа на резонансной частоте означает, что коэффициент мощности нагрузки равен 1 и при этом в нагрузку передается максимальная мощность. Регулировка может быть осуществляться как по входному напряжению инвертора так и по частоте.

Таким образом, транзисторные генераторы следует признать наиболее подходящими для питания установок индукционного нагрева и в перспективе они неизбежно будут вытеснять тиристорные генераторы.

установки. При этом, чтобы сохранить традиционный порядок включения и обеспечить безопасность обслуживания используется вводной автоматический выключатель QF1 с независимым расцепителем, а для питания системы управления используется дифференциальный автомат QF2. В системе выпрямитель A1 инвертор A3 обязательно наличие емкостного фильтра A2, при этом для ограничения импульсов тока традиционно используется сглаживающий дроссель на выходе выпрямителя. В схеме на рис. 3 этот дроссель отсутствует, его функцию выполняет сетевой трехфазный дроссель L1. При этом одновременно последний решает проблему защиты питающей сети от помех со стороны генератора и ограничения тока короткого замыкания при пробое элементов выпрямителя.

Выпрямитель A1 и инвертор A3 выполняются по традиционным схемам: трехфазная мостовая (полууправляемая или полностью управляемая) и однофазная мостовая соответственно.

Разработка конструкции преобразователей средней и большой мощности является сложнейшей задачей, требующей тщательного подхода к анализу распределенных параметров конструкции. Одним из наиболее сложных в проектировании узлов силовых конверторов является звено



постоянного тока, содержащие силовые шины и блок конденсаторов. Этот узел до сих пор во многом определяет надежность, габариты и стоимость всего изделия. Несмотря на разработку новых технологий конденсаторов (например, пленочных МКР/МРР) и многочисленные попытки проектирования так называемых «матричных» конвертеров, осуществляющих прямое двунаправленное преобразование энергии от сети к потребителю, электролитические конденсаторы еще достаточно долго будут востребованы рынком.

10–25 тыс;

– широкий температурный диапазон применения от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ .

Высокая индукция насыщения и проницаемость сердечников обеспечивают значительную индуктивность обмоток трансформатора даже при малом количестве витков провода.

Благодаря тороидальной форме и малому количеству витков утечка индуктивности небольшая, что обеспечивает малую амплитуду выбросов напряжения при закрывании транзисторов инвертора.

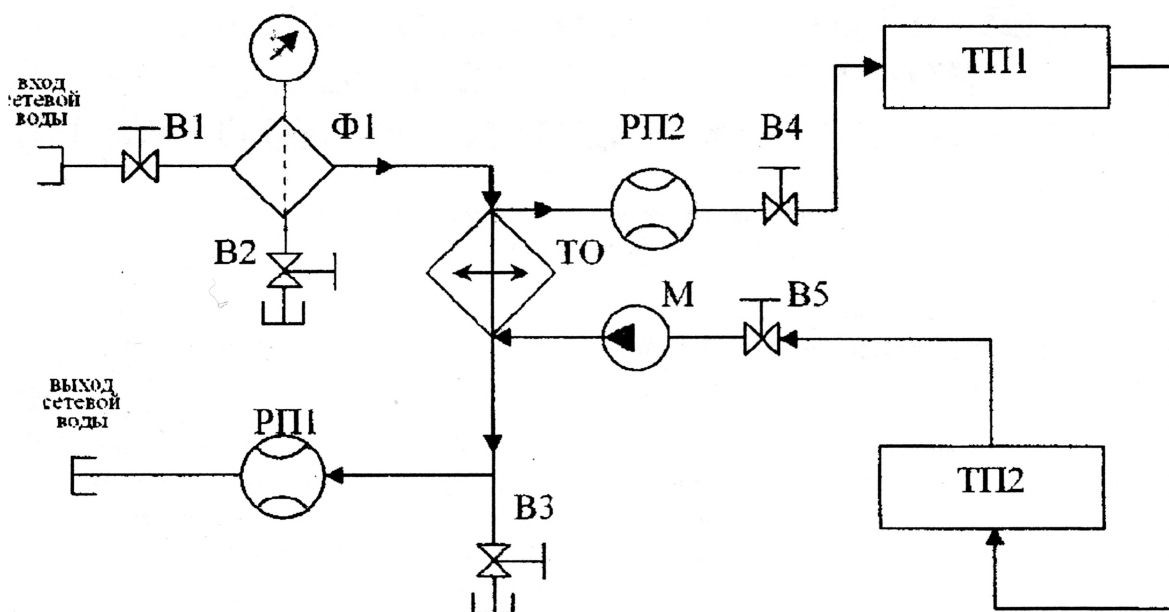


Рис. 3. Схема блока охлаждения V1–V5 — регулировочные вентили; Ф1 — входной сетевой фильтр; ТО — пластинчатый теплообменник; РП1, РП2 — реле протока; Н — насос; ТП1, ТП2 — охлаждаемые модули

При выборе конденсаторов для данного применения необходимо рассчитать среднеквадратичное значение тока пульсаций, определить суммарное значение емкости и рабочего напряжения, обеспечивающих безопасное функционирование преобразователя с учетом нагрузочных и тепловых режимов, а также колебаний напряжения питания.

Согласующий трансформатор Т1 — повышающий, с коэффициентом трансформации 1,55. Трансформатор разработан совместно с институтом металловедения Академии наук Украины. Его особенностью является использование ленточного сердечника из нанокристаллических сплавов, что дает следующие преимущества:

- низкие удельные потери 50–60 мВт/ч против 180 мВт/ч у ферритовых магнитопроводов;
- высокая рабочая индукция (до 1,1 Т);
- высокая импульсная проницаемость, не менее

В настоящее время ведется разработка транзисторного генератора на 66 кГц, что актуально для замены ламповых генераторов.

Разработаны и изготовлены также ряд инверторных источников питания гальванических ванн. Их особенностью является использование более простой полумостовой схемы инвертора.

Для эффективного охлаждения активных элементов преобразователей разработан двухконтурный блок охлаждения на базе неразборного теплообменника пластинчатого типа. В первичный контур блока охлаждения, через регенерируемый проточный фильтр пористостью 100 мкм, подается техническая вода из зациклированной системы технического водоснабжения предприятия. Температура воды на входе в блок охлаждения не должна превышать  $+25^{\circ}\text{C}$ . В качестве теплоносителя во вторичном контуре блока используется водный

раствор этиленгликоля. Функционально вторичный контур предназначен для охлаждения транзисторов инвертора и магнитопровода согласующего трансформатора. Наивысшая температура воды на входе из охлаждаемого устройства не выше +60°C, что не ухудшает рабочие режимы как силовых транзисторов, так и трансформатора. Расчетная тепловая мощность блока охлаждения не менее 15 кВт. Гидравлическая схема блока охлаждения представлена на рис. 3.

Датчики температуры (реле максимально допустимой температуры) установлены непосредственно на охлаждаемых модулях.

Использование современных принципов конструирования преобразовательных устройств (разработка документации производится посредством программы 3D графики «КОМПАС») позволяет значительно снизить массогабаритные показатели, сократить сроки разработки и изготовления преобразовательного оборудования.

## **ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ИНДУКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА РУП «МАЗ»**

*Гурченко П.С., Михлюк А.И., Летунович В.Е.  
Минский автомобильный завод*

**Введение.** Термическая обработка деталей и изделий нестандартной формы и размеров всегда вызывала определенные трудности, связанные прежде всего с их размерами. Для термической обработки таких деталей автомобилей, как полуось, разжимной кулак, вал стабилизатора тележки заднего моста и другие, имеющие хотя бы один размер, значительно отличающийся от других, требуется специальное оборудование, приспособления. В условиях современного производства при выпуске широкой номенклатуры продукции крайне нецелесообразно и экономически невыгодно использовать специальное термическое печное оборудование. Поэтому индукционная термическая обработка таких деталей и изделий, а это в первую очередь длинномерные, зачастую является наиболее выгодной с технической и экономической стороны.

Проблема термообработки данного типа изделий заключается не в оригинальности технологических режимов. В данном случае технология, тип индукционного нагрева, вид упрочняемой поверхности не являются оригинальными. Главным отличием этих разработок является конструкция оборудования, связанная с размерами детали или изделия.

На РУП «МАЗ» накоплен определенный опыт использования индукционного нагрева и конструирования устройств для термообработки длинномерных изделий. Все разработанные и внедренные установки для длинномерных деталей

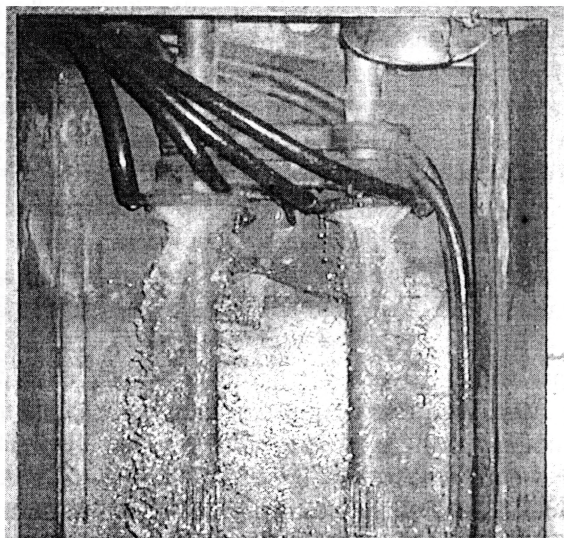
можно разбить на две большие группы — установки для индукционной закалки деталей и установки индукционного нагрева изделий.

**Индукционная закалка длинномерных деталей.** Разработан и внедрен ряд установок ТВЧ для закалки длинномерных деталей, в частности полуось автомобиля, картер заднего моста, направляющие станин металлорежущих станков. Так полуоси ведущего моста автомобилей МАЗ всех типоразмеров изготавливают из сталей 40Х, 40ХН, 35ХГСА и подвергают поверхностной индукционной закалке непрерывно-последовательным способом на специальной установке. Для выполнения закалки полуосей была модернизирована установка ТВЧ конструкции АЗЛК. В результате модернизации удалось увеличить длину закаливаемых деталей до 1200 мм. В процессе работы на установке строго соблюдают отлаженные режимы закалки и охлаждения. При этом режимы нагрева контролируют по электрическим параметрам преобразователя, а режим охлаждения — по давлению и температуре охлаждающей воды, подаваемой на спрейер. Нагрев выполняют двухвитковым индуктором от преобразователя частоты ППЧВ-250/2400, мощностью 250 кВт и частотой 2400 Гц. Охлаждение при закалке осуществляют специальным спрейером, закрепленным к нижнему витку индуктора. Контроль позволяет соблюдать отлаженные параметры закалки: толщину закаленного слоя 5,0–8,0 мм по всей длине и твердость поверхности 50–54 HRC. На

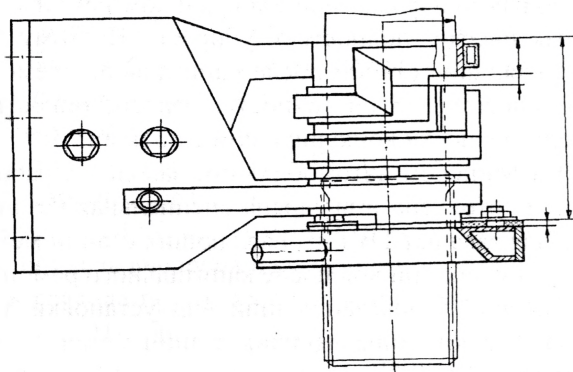


расстоянии 10–15 мм от обоих концов выдерживаются переходные зоны с заниженной твердостью и толщиной закаленного слоя, что обеспечивает отсутствие закалочных трещин. Для этого была разработана и смонтирована на станке специальная электросхема, позволяющая обеспечивать переходные зоны ТВЧ.

Фотография процесса закалки полуосей и индуктор для закалки полуосей со спрейером представлены на рис. 1.



а



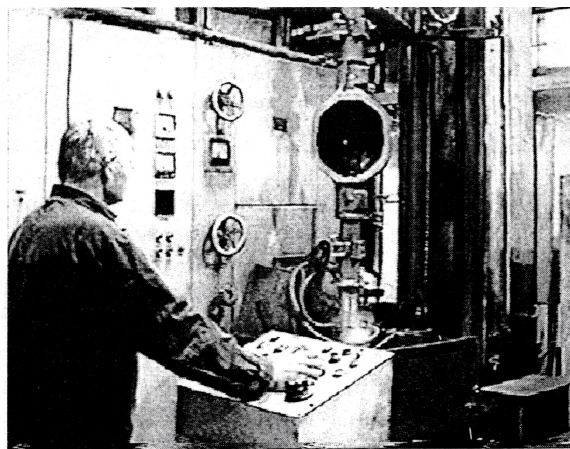
б

Рис. 1. Установка для закалки полуосей автомобилей МАЗ: а — индуктор во время закалки на установке ТВЧ; б — чертеж индуктора

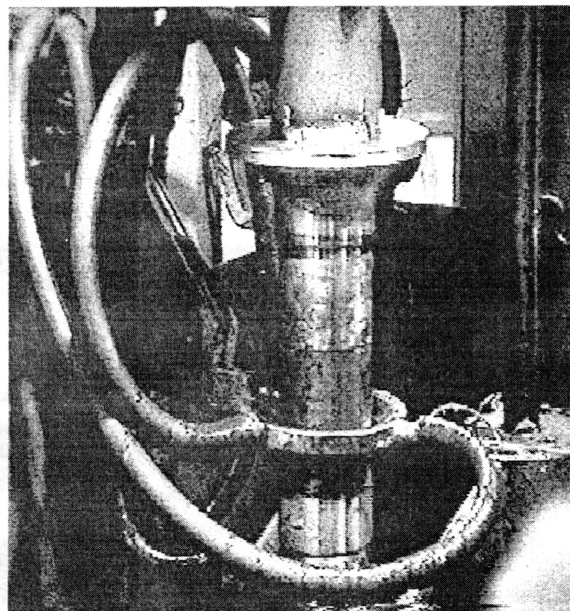
Освоена закалка ТВЧ цапф картера заднего моста в сборе среднетоннажных автомобилей семейства МАЗ-4370. Основной задачей при разработке данной технологии было обеспечение закалки ТВЧ с минимальными деформациями.

Для решения данной задачи совместно специалистами лаборатории электронагрева и управления главного конструктора по механизации и автоматизации была разработана установка ТВЧ

для закалки длинномерных деталей с длиной закаливаемых деталей от 2 метров до 2,5 метров. Схема работы установки следующая: расположение деля вертикальное, индуктор неподвижный, деталь перемещается и вращается в центрах, закалочная среда вода техническая. Рабочий цикл установки производится в автоматическом режиме. На рис 2,а представлена вышеописанная установка при закалке картера 4370-2401012, на рис. 2,б, индуктор и закаливаемая поверхность крупным планом.



а



б

Рис. 2. Установка ТВЧ для закалки картера моста автомобиля МАЗ: а — закалка картера моста автомобиля МАЗ 4370; б — индуктор и закаливаемая цапфа картера

Для закалки картера заднего моста автомобилей МАЗ основного семейства была приобретена индукционная установка фирмы «Termatascina»;



(Италия). На рис. 3 показан общий вид установки в процессе работы, а на рис 4 нагреваемая поверхность галтели цапфы картера.

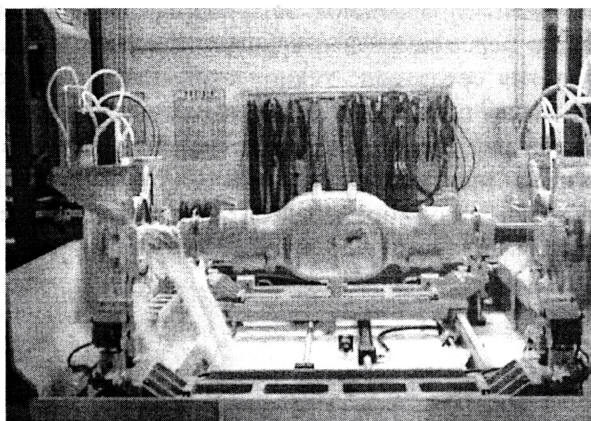


Рис. 3. Общий вид индукционной установки фирмы «Тертатасчина» (Италия) для закалки картера моста автомобиля семейства МА3 5440

Установка обеспечивает поочередную закалку каждой цапфы от транзисторного генератора ТВЧ мощностью 200 кВт, частотой 10,0 кГц. Картер при этом располагается горизонтально, установка имеет две подвижные индукционные головки, на которых установлены индуктора со спрейерами, которые выполнены отдельно от индуктора. В качестве охлаждающей жидкости применяется специальный раствор. Работа установки осуществляется в автоматическом режиме. Задача оператора заключается в установке картера на позицию загрузки. Далее нажатием кнопки «Пуск» производится закалка картера в автоматическом режиме.

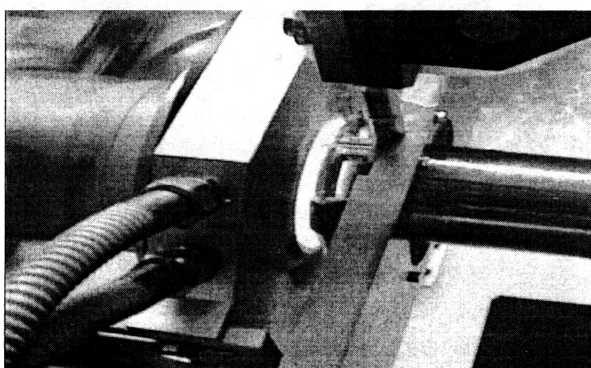


Рис. 4. Нагрев галтели картера цапфы на установке фирмы «Тертатасчина»

Установка обеспечивает закалку одного картера в течение 350–360 сек. Твердость поверхности на стали 30ХГСА 46–54 HRC, глубина слоя ТВЧ 2–8 мм. Установка укомплектована компьютером и имеет систему управления. С помощью ПК производится управление и контроль программы управления производственными параметрами.

Программное обеспечение управления производственными параметрами при выполнении операций закалки позволяет обеспечить получение наиболее значимых параметров.

Текущего напряжения генератора, тока генератора, температуры внутри корпуса турбины, температуры вне корпуса турбины.

Кроме того, выполняется проверка того, удерживаются ли данные параметры в допустимых пределах, устанавливаемых пользователем в зависимости от определенной детали, которая определяется как «эталонный образец».

Программа позволяет занести в память несколько эталонных образцов и соответствующие значения их физических параметров и впоследствии выбирать их. Имеется опция распечатки на бумаге хода исполнения графиков производства и допусков.

Важное значение имеет термическая обработка при ремонте металлорежущего оборудования. Одним из важных показателей работоспособности металлорежущего станка является износ направляющих станин, изготавливаемых из серого чугуна. На станкостроительных заводах направляющие станков подвергают закалке ТВЧ. Но в процессе интенсивной эксплуатации оборудования закаленный поверхностный слой направляющей глубиной 1,5–2,5 мм изнашивается, а последующая шлифовка при капитальном ремонте его практически полностью убирает. Поэтому направляющие станин после капитального ремонта не могут по своей точности, износостойкости и долговечности конкурировать с новыми.

На Минском автомобильном заводе разработана, изготовлена и внедрена специальная установка для закалки ТВЧ направляющих станин металлорежущих станков после капитального ремонта.

На рис. 5 показан общий вид установки ТВЧ для закалки направляющих станин металлорежущих станков.

Установка производит закалку направляющих различных профилей станин длиной до 6 метров. В качестве источника ТВЧ используют машинный преобразователь ВПЧ-100/8000 мощностью 100 кВт и частотой 8000 Гц. Твердость закаленной станины после термообработки составляет 46–52 HRC, глубина закаленного слоя составляет 1,5–3,5 мм.

В состав установки входит: рама, на которой смонтирован привод, подвижный стол, установленный на рельсовой тележке, бак для сбора охлаждающей воды и радиально-сверлильный станок с установленным на нем закалочным транс-



форматором и пускорегулирующей аппаратурой. Управление установкой осуществляется с пульта управления. С помощью привода и подвижного стола, на который устанавливается закаливаемая станина, обеспечивается необходимая скорость её перемещения при закалке. С помощью механизмов вертикально-горизонтального перемещения станка обеспечивается подвод индуктора к закаливаемой станине с необходимой точностью.

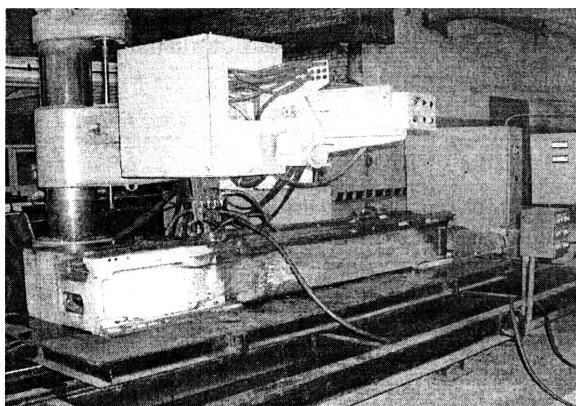


Рис. 5. Индукционная установка для закалки ТВЧ направляющих станин металлорежущих станков

**Индукционный нагрев длинномерных изделий.**

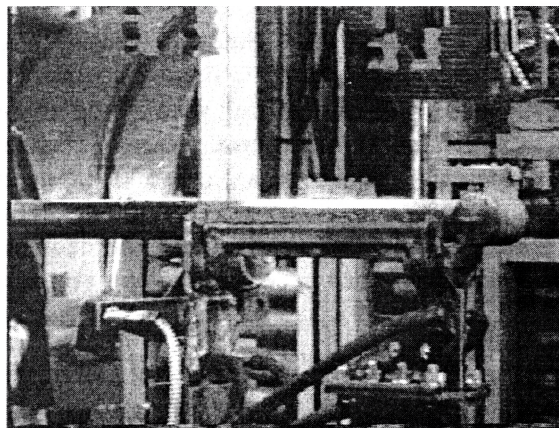
Ряд длинномерных деталей и заготовок на РУП «МАЗ» подвергают индукционному нагреву для различных операций – нормализацию, гибку, высадку и др. Создан и внедрен на МАЗе, заводах ПО «БелавтоМАЗ» и других заводах РБ ряд индукционных установок которые являются оригинальными разработками.

Автоматическая линия МА 105 изготовления вала стабилизатора длиной 3 м и диаметром 45-55 мм из стали 40Х, 40ХН, 30ХГС под гибку конфигурации вала внедрена в кузнечном цехе Минского автозавода при непосредственном участии соискателя. На рис. 6 представлены фотографии позиций нагрева и гибки вала стабилизатора на автоматической линии МА105.

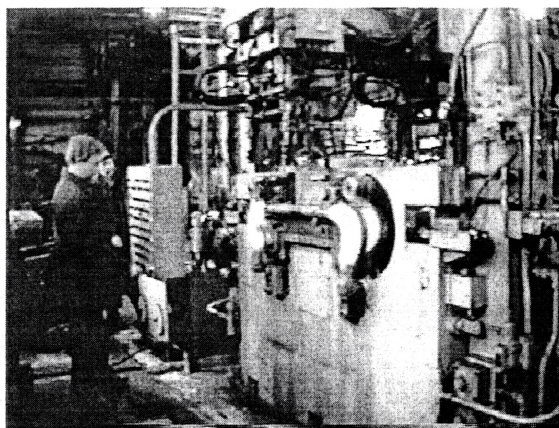
Нагрев осуществляют одновременно в двух одинаковых индукторах для двух обрабатываемых участков длиной до 500 мм на концах заготовки. Каждый индуктор запитан от отдельного понижающего трансформатора. Заготовка последовательно перемещается автоматическим манипулятором по следующим позициям – загрузки, предварительного подогрева, окончательного нагрева, гибки.

За счет оптимального выбора скоростей нагрева и с учетом выравнивания температуры по сечению заготовки на операциях переноса удалось достигнуть распределения температуры нагрева

заготовки по сечению, обеспечивающей высокое качество операции пластической деформации.



а



б

Рис. 6. Автоматическая линия гибки вала стабилизатора МА-105: а — позиция нагрева, в — позиция гибки

На Минском рессорном заводе разработан и внедрен целый ряд установок для индукционного нагрева длинномерных заготовок рессор с общей мощностью более 1200 кВт. Из них две уникальные установки мощностью по 500 кВт используются для нагрева заготовок под прокатку. Спроектированы, изготовлены и внедрены две установки для индукционного нагрева заготовок под прокатку переменного профиля малолитровой рессоры. Длина нагреваемых под прокатку заготовок и соответственно рабочего окна индукторов составляет от 1600 до 2750 мм, высота рабочего окна — 25–65 мм. Активная часть индуктора представляет собой соединенные последовательно или параллельно-последовательно овальные или прямоугольные витки, выполненные из медной водохлаждаемой трубки. После соединения между собой и закрепления в нужном положении активные витки заливают жаропрочным бетоном.



Внутри витков на дне рабочего окна индуктора укладываются водоохлаждаемые или жаропрочные направляющие пластины.

Для навивки ушка рессоры используется двухпозиционная установка ТВЧ. Установки запитаны от преобразователей частотой 4000 Гц и мощностью 500 кВт. Производительность установки составляет 15 – 20 листов/час или 500 – 700 кг/ч. На рис 8,а показана фотография позиции нагрева установки для навивки ушка малолистовой рессоры на рис 8,б - позиция навивки ушка рессоры.

Установка запитана от машинного генератора ВПЧ-100/8000, время нагрева на одной позиции составляет 25-35 секунд при отнимаемой мощности 65 - 70 кВт. Внедрена на Минском рессорном заводе в 1999 году

На кузнечном заводе тяжелых штамповок (РУП КЗТШ), в г. Жодино, внедрена установка для электроконтактного нагрева прутков длиной до 6м и диаметром до 16 мм под навивку и нагрева пружин под закалку. Освоено производство пружин подпрессоривания и опрокидывания кабины

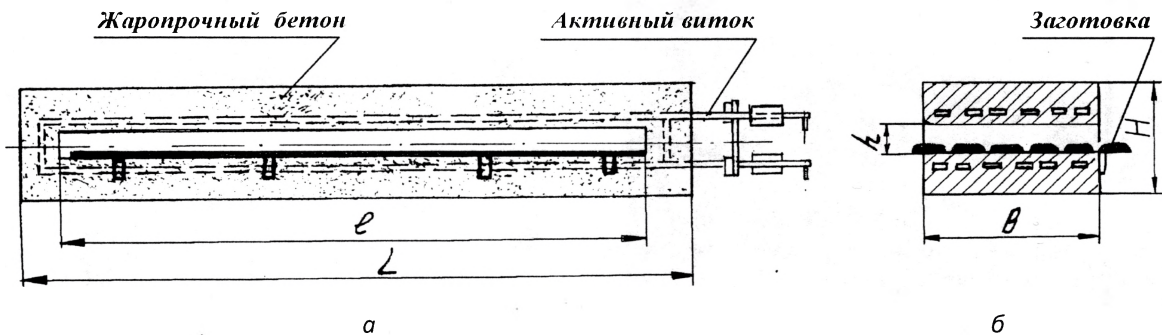


Рис. 7. Индукторы для нагрева заготовок рессорных листов: а — под прокатку, б — под навивку

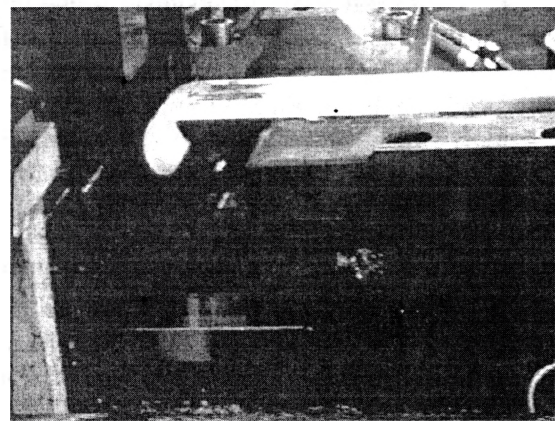
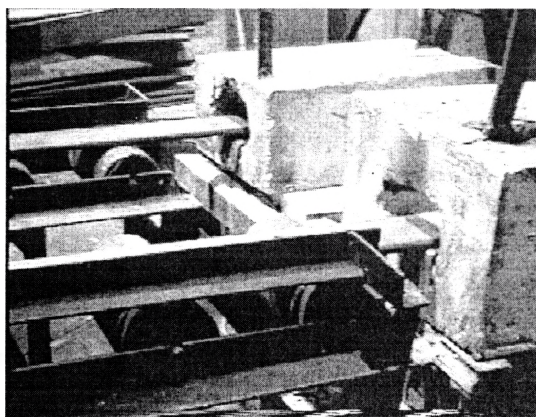


Рис. 8. Установка навивки ушка рессоры с ИН: а — позиция нагрева, б — позиция навивки ушка рессоры

На двухпозиционной установке ТВЧ для нагрева заготовок рессор под прошивку центровых отверстий производится сквозной нагрев рессорного листа шириной до 50 мм и длиной от 0,8 до 1,8 метра в центре заготовок расположенных горизонтально в щелевом двух витковом индукторе поочередно на двух позициях по схеме «ожидание». За счет вертикального смещения индукторов, заготовки при нагреве располагаются друг над другом, занимая при этом минимум места, а после нагрева по рольгангу подаются поочередно на позицию прошивки.

автомобилей МАЗ и пружин амортизаторов легковых автомобилей. Нагрев производят током промышленной частоты от понижающего трансформатора мощностью 340 кВА напряжением 30–35 В. В конструкции станка предусмотрен механизм компенсации температурных расширений возникающих при нагреве заготовки в процессе ее нагрева под навивку. На рис. 9 показана схема электро-контактного нагрева током промышленной частоты заготовок пружин. Температура нагрева под навивку составляет 750–800 °С, время нагрева — 30 с. Охлаждение навитой пружины



производят на воздухе. Благодаря высокой скорости и точности дозирования нагрева обезуглероженный слой и окалина на поверхности пружин не образуются. Структура пружины из стали 60С2 после навивки представляет собой сорбит с твердостью 285 НВ.

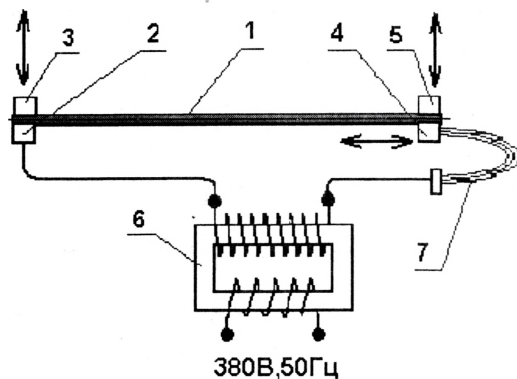


Рис. 9. Схема электроконтактного нагрева прутка: 1 — заготовка; 2 — неподвижный контакт; 3 — прижимной неподвижный контакт; 4 — подвижный контакт; 5 — подвижный прижимной контакт; 6 — силовой трансформатор; 7 — гибкая шина

В кузнечном производстве головного завода внедрена установка для нормализации с индукционным нагревом пруткового металла. На рис. 10 представлена схема работы линии, а на рис. 11 линия в работе. Линия работает следующим образом. Заготовки укладываются на стеллаж загрузки 4 и поочередно механизмом загрузки 2 подаются в приводные ролики 6, которые проталкивают заготовки через четырех-секционный индуктор 1 с заданной скоростью, в котором на первых двух секциях производится быстрый нагрев до определенной температуры, а на последующих поддержание заданной температуры для равномерного прогрева по всему сечению заготовки.

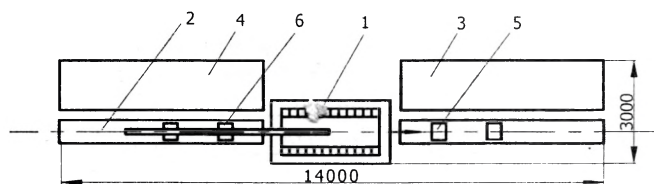
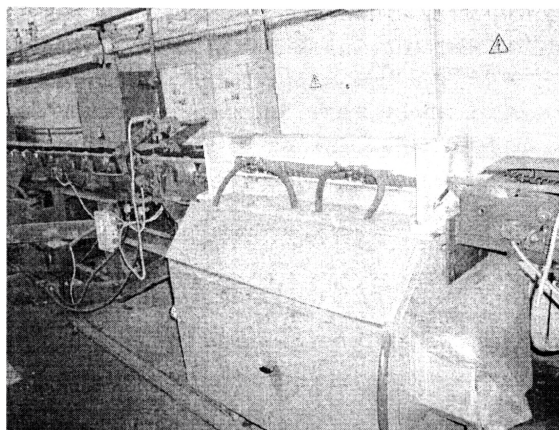


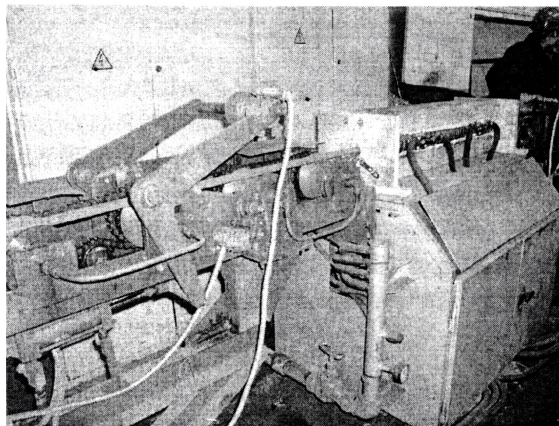
Рис. 10. Схема работы линии термообработки с нагревом ТВЧ пруткового металла: 1 — индуктор, 2 — механизм загрузки, 3 — стеллаж складирования, 4 — стеллаж загрузки, 5, 6 — приводные ролики

На выходе из индуктора заготовка захватывается приводными роликами 5, извлекается из ин-

дуктора и механизмом выгрузки укладывается на позицию складирования 3, где производится медленная остывание заготовок. Линия запитана от машинного преобразователя ППЧВ-250/2400, мощностью 250 кВт и частотой 2400 Гц. Мощность 250 кВт позволяет получить требуемую производительность, а частота 2400 Гц является оптимальной для диаметров 18-32 мм, которая позволяет обеспечить нагрев без перегрева поверхности и равномерного проникновения токов высокой частоты на всю глубину сечения прутка.



а



б

Рис. 11. Линия нормализации пруткового металла в работе

В настоящее время в монтаже находится линия нормализации прямоугольных электросварных труб используемых для изготовления каркасов автобусов МАЗ. Сварной каркас автобуса изготавливается из профильных электросварных прямошовных труб получаемых способом холодной деформации и является одним из ответственных узлов автобусов и троллейбусов МАЗ во многом определяющим долговечность изделия в целом. В процессе изготовления металл рулонной полосы подвергается значительным холодным пластиче-



ским деформациям, что приводит к образованию наклепа. Изделия с такой структурой обладают низкими пластичными свойствами, что в процессе эксплуатации приводит к разрушению. Данные трубы поступают в нетермообработанном состоянии и выполнение нормализации с индукционного нагрева позволяет значительно повысить их прочностные свойства.

Проведена серия опытов по индукционной термообработке труб. Температура нагрева составляла 720–800 °С, скорость перемещения через индуктор от 5 до 20 мм/с. Использовали преобразователи частотой 8,0 кГц и мощностью 100 кВт и частотой 66,0 кГц и мощностью 160 кВт. На рис. 12 показан процесс индукционной нормализации труб на опытной установке ТВЧ.

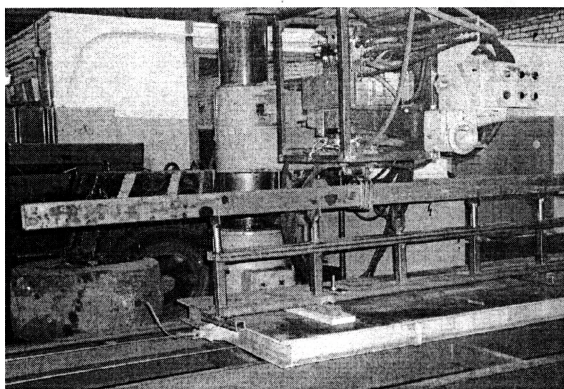


Рис. 12. Индукционная термообработка стальных электросварных труб каркасов автобусов

Выполнено измерение твердости на стенках труб до и после термообработки. На рис. 13 показано изменение твердости на стенке трубы и местугиба до и после термообработки.

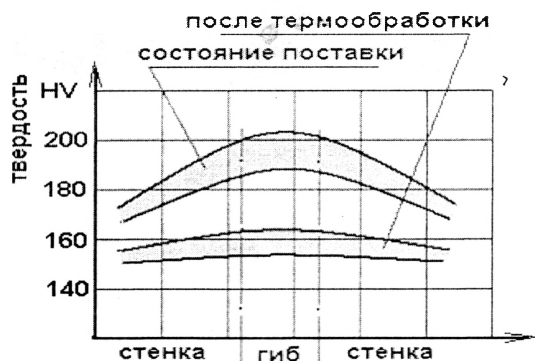


Рис. 13. Распределение твердости на трубе до и после индукционной термообработки

Схема индукционной установки и её основных узлов и механизмов для термообработки стальных труб прямоугольного сечения представлена на рис. 14. Конструкция разработанной установки

позволяет в автоматическом режиме производить термообработку труб, при этом механизмы установки обеспечивают автоматическую раскладку пакета труб на позиции загрузки, поштучное перемещение их через индуктор, выгрузку, промежуточное складирование и окончательное складирование. Внедрение установки запланировано в 2008 году.

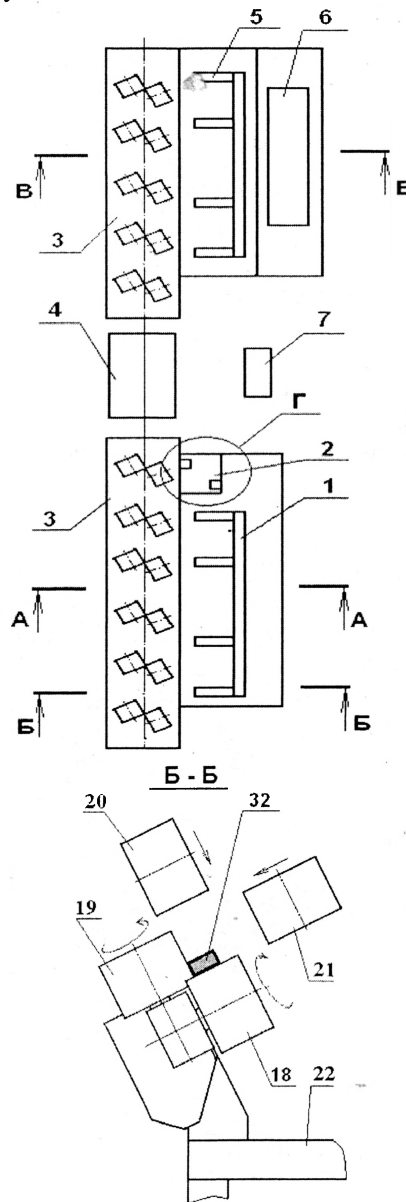


Рис. 14. Схема установки для термической обработки стального прямоугольного проката: 1 — механизм загрузки; 2 — механизм контроля торцевого зазора; 3 — подающий конвейер; 4 — индуктор; 5 — механизма выгрузки; 6 — механизм складирования; 7 — пульт управления; 18 и 19 — приводные ролики; 20 и 21 — прижимные ролики; 22 — рама

# ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЗАКАЛКЕ С НАГРЕВА ТВЧ

Гурченко П.С., Михлюк А.И.  
Минский автомобильный завод  
Солонович А.А., Стрижевская Т.Н.

Белорусский национальный технический университет

Долговечность деталей машин чаще всего определяется прочностными характеристиками рабочих поверхностей. В результате упрочнения деталей термической обработкой неизбежно происходят изменения геометрических размеров, что может приводить к браку в процессе изготовления. При индукционной закалке неизбежны остаточные изменения первоначальных геометрических размеров деталей. Это связано как с тепловым расширением детали при нагреве и объёмными изменениями при фазовых (структурных) превращениях, что характерно для всех видов термической обработки.

На Минском автомобильном заводе индукционную закалку применяют при упрочнении более 460 наименований деталей, среди которых:

- осевые детали цилиндрической формы, которые составляют около 74%,
- детали сферической формы, составляющие около 11%,
- детали плоской формы — 7%,
- прочие детали (внутренние и наружные зубчатые венцы, шлицевые поверхности, галтели, и др.) составляющие около 8%.

Для термообработки вышеуказанных групп деталей применяются следующие виды термического упрочнения деталей машин операцией закалки с нагрева токами высокой частоты:

- одновременная закалка;
- объёмно-поверхностная закалка;
- непрерывно-последовательная закалка.

Установление основных закономерностей. Практический опыт работы в области индукционной закалки позволил установить ряд общих закономерностей в деформациях и короблении поверхностно упрочнённых изделий.

Закономерности связанные с объёмными изменениями при фазовых (структурных) превращениях. Как известно, при превращении аустенита в мартенсит происходит увеличение удельного объёма, что связано с тем, что удельный объём

мартенсита больше чем удельный объём феррито-перлитной смеси или аустенита. Чем больше содержание углерода в стали, тем больше увеличение объёма изделия при закалке. Так для среднеуглеродистых сталей, широко применяемых при индукционной закалке, характерны следующие значения увеличения объёма: сталь с 0,6% С — 0,5%, 0,5% С — 0,3%, 0,3% С — 0,15–0,1%. При этом следует помнить, что увеличение объёма при закалке не всегда приводит к увеличению размеров. Как правило, при увеличении одних размеров, например длины, происходит уменьшение других, например — диаметра при закалке непрерывно-последовательным способом длинномерных изделий.

Формоизменение геометрических размеров деталей при всех вышеперечисленных способах термической обработки происходит в результате следующих факторов:

- формоизменение за счет перестройки кристаллической решетки при нагреве и охлаждении;
- формоизменение за счет изменения удельных объёмов в результате структурных превращений.

## Одновременная закалка ТВЧ

Примером одновременной закалки может служить деталь 54321-2405051 — «ступица шестерни» (рис. 2), в которой упрочняемыми поверхностями являются торец и шлицевое отверстие (рис. 1).

Характер распределения зон закалки ТВЧ можно увидеть на рис. 1. Упрочняемая деталь из стали 40Х (см. табл.1).

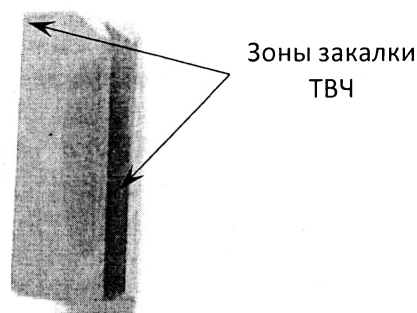


Рис. 1. Расположение зон закалённого ТВЧ слоя



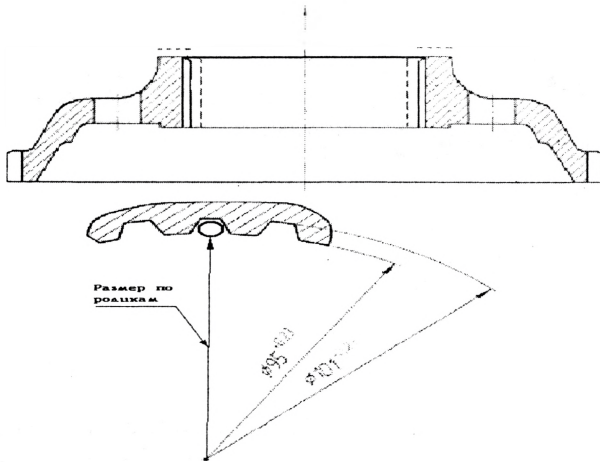


Рис. 2. Вид детали ступица шестерни и некоторые ее контролируемые параметры

Толщина закаленного ТВЧ слоя на торце — 2,0 мм. Твердость закаленного ТВЧ слоя на: торце — 50–52; шлицах — 56 HRC.

Химический анализ материала ступицы шестерни

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Сталь 40 X ГОСТ 4543-71
0,38	0,22	0,70	0,014	0,015	0,88	0,10	0,15	

Исследованиями установлено, что при закалке ТВЧ указанных на рисунке пунктиром поверхностей происходит их коробление. Для более подробного рассмотрения характера коробления вышеуказанной детали ее следует разделить на простейшие фрагменты:

**Плоская поверхность**

Торец детали в поперечном разрезе представляет собой закаленную плоскую поверхность.

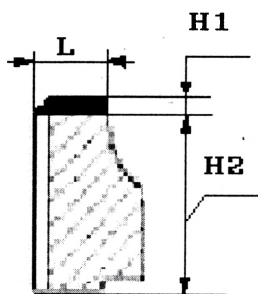


Рис. 3. Расположение закаленного и незакаленного ТВЧ слоя на плоской поверхности детали ступица шестерни: H1 — закаленный слой; H2 — незакаленный слой; L — длина закаленного слоя

Практически невозможно избежать коробления при односторонней закалке плоских изделий, величина коробления зависит от соотношения глубины закаленного слоя и толщины изделия, однако в данном случае асимметрия слоя заложена

конструктивно, и как тепловые, так и структурные объемные изменения в закаливаемом слое неизбежно приводят к возникновению значительных внутренних напряжений, которые вызывают изменение формы.

Коробление данного фрагмента детали можно рассмотреть на примере коробления балки при односторонней поверхностной закалке (см. рис. 4).

Односторонний нагрев плоского изделия вызывает в начальный период появление в наружном слое сжимающих напряжений, которые искривляют его, создавая выпуклость со стороны нагрева (рис. 4, 2). По достижении температуры, при которой предел текучести резко снижается и сталь становится пластичной (550–600 °С), внутренние напряжения сжатия вызывают в нагретом слое пластическую деформацию — нагретый слой будет увеличивать свою толщину за счет сокращения длины. Плоская поверхность начинает выпрям-

Таблица 1

ляться (рис. 4, 3). К моменту достижения закалочной температуры (840–860 °С) сталь делается настолько пластичной, что внутренние напряжения почти полностью снимутся. Некоторый переходный слой может сохранить напряженное состояние, но он не определяет величины деформации балки. Балка полностью выпрямляется. Чем глубже прогрев, тем больше степень пластической деформации, тем больше утолщение нагретого слоя.

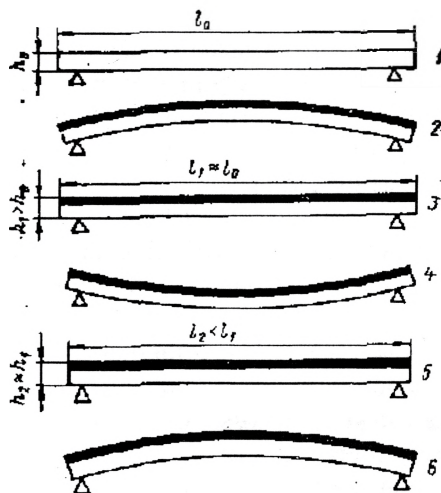


Рис. 4. Последовательность коробления балки при односторонней поверхностной закалке (нагрев сверху)

Таким образом, к моменту начала охлаждения закаливаемый слой будет несколько толще и короче, чем он был бы при свободном термическом расширении. Изменение размеров может составить при указанных выше условиях нагрева до 1% первоначальных размеров.

При охлаждении в начальный период также будет происходить пластическая деформация, однако температура поверхности быстро достигает уровня, при котором сталь становится непластичной и деформация переходит в упругую. Слой укорачивается, и по окончании процесса он будет короче, чем был после нагрева, и тем более короче исходного, т.е. до термической обработки. Если при охлаждении в металле не происходит каких-либо фазовых превращений с увеличением объема или их объемный эффект незначителен, то после полного охлаждения сохранится вогнутость.

Деформации, возникающие при поверхностной закалке, более благоприятны, чем при объемной закалке, так как они протекают в одной плоскости. Однако величина их все же велика. При односторонней закалке поверхностного слоя на структуру мартенсита конечное коробление может иметь другой характер. По достижении в процессе охлаждения температуры начала мартенситного превращения начнется процесс с увеличением удельного объема. Закаливаемый слой начнет удлиняться и компенсирует влияние тепловых объемных изменений. При полной закалке на мартенсит в средне- и высокоуглеродистой стали структурные объемные изменения чаще всего превосходят тепловые. Торец ступицы шестерни сначала выровняется, сделается плоским, а затем появится выпуклость со стороны закаленного слоя.

**Цилиндрическая поверхность**

При рассмотрении характера коробления внутреннего шлицевого отверстия ступицы шестерни, его необходимо разбить на несколько фрагментов:

*Цилиндр с закаленной внутренней поверхностью*

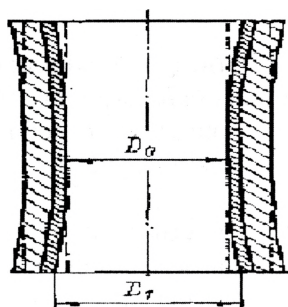


Рис. 5. Деформация полого цилиндра при поверхностной закалке внутренней поверхности

Коробление внутреннего шлицевого отверстия детали ступица шестерни (рис. 6) происходит по механизму коробления полого цилиндра при поверхностной закалке внутренней поверхности (см. рис. 5).

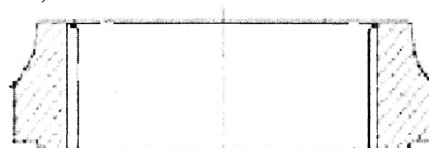


Рис. 6. Фрагмент внутренней цилиндрической части детали ступица шестерни

При быстром охлаждении нагретого ТВЧ слоя образуется мартенсит на конечной стадии охлаждения при температуре 200–250 °С начнется увеличение удельного объема в закаливаемом слое. Это приводит к осевому удлинению поверхностных слоев цилиндра. При поверхностной закалке полых цилиндров величина деформации зависит от толщины стенки, соотношения толщины стенки и диаметра цилиндра, от относительной глубины закаленного слоя. Во всех случаях при закалке полых цилиндров можно ожидать большую величину деформации, в частности, увеличения наружного диаметра. Объясняется это тем, что тонкая стенка цилиндра способна деформироваться и в меньшей степени, чем сплошной цилиндр, сдерживает естественное расширение закаливаемого слоя при образовании мартенсита. При этом при закалке внутренней поверхности — наблюдается появление «корсетности» (рис. 5).

Измерениями внутреннего диаметра ступицы шестерни до и после термообработки установлено, что после закалки внутреннего шлицевого отверстия при измерении диаметров вершин и впадин шлицев, так же наблюдается появление «корсетности».

*Внутренняя шлицевая поверхность*

Характер коробления внутренней шлицевой поверхности имеет сложный характер от большого числа факторов.



Рис. 7. Расположение закаленного ТВЧ слоя по внутренней шлицевой поверхности



При измерении геометрических размеров шлицевого отверстия таких как размер по роликам и направление шлица можно прийти к выводу, что как и в приведенных выше примерах коробление имеет следующий характер: по всем закаленным плоскостям наблюдается выпуклость со стороны закаленного ТВЧ слоя, так как происходит уменьшение размера по роликам и увеличение расстояния от вертикальной оси до плоскости шлица, данное явление связано с тем, что толщина закаленного ТВЧ слоя на много меньше, чем толщина основного металла, не подвергающегося структурным превращениям.

Характер общего коробления детали при закалке ТВЧ можно увидеть на рис. 8, где происходит наложение всех перечисленных факторов.

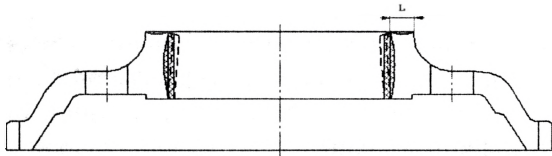


Рис. 8. Характер коробления детали ступица после закалки ТВЧ

При закалке ТВЧ указанных на рис. 8 поверхностей (заштрихованные области) коробление детали происходит в следующем порядке:

1. После закалки торцевой поверхности ступицы между закаленным слоем и незакаленным возникнут сжимающие напряжения и закаленный слой будет стремиться стать выпуклым (смотри п.1 выше) за счет увеличения его длины  $L$ , указанной на рисунке 8.

2. При нагреве шлицевого отверстия до закалочных температур в интервале 550–600 °С нагретый металл шлицевого отверстия становится достаточно пластичным для того чтобы деформироваться под действием внутренних напряжений образовавшихся при закалке торца ступицы. При закалке шлицевого отверстия коробление происходит по механизму рассмотренному выше в п. 2. В результате этого происходит усадка внутреннего шлицевого отверстия указанная на рис. 8 пунктирной линией.

Приведенные примеры характеризуют возможные изменения размеров деталей простой формы при их симметричной закалке. Описанный характер изменения размеров может быть предусмотрен при предварительной механической обработке, что может позволить при поверхностной закалке уложиться в заданную точность размеров изделия.

В результате проведенных опытно-исследовательских работ установлено:

– закалка ТВЧ торцевой поверхности приводит к образованию конуса (усадки). Диаметр отверстия под протяжку ( $\varnothing 95^{+0,23}$  мм.) после закалки торца ступицы шестерни в среднем уменьшается на 0,10–0,12 мм на расстоянии 5–7 мм от условно обозначенного «верх» детали;

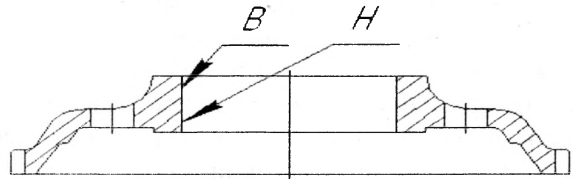


Рис. 9. Условные обозначения мест расположения контролируемых параметров в детали: В — условно обозначенный «верх» детали; Н — условно обозначенный «низ» детали

Закалка шлицевого отверстия приводит к уменьшению конуса по диаметру  $\varnothing 95^{+0,23}$  мм в среднем до 0,08 мм, образовавшегося при закалке торцевой поверхности (за счет отпуска закаленных слоев при последующем нагреве под закалку).

При термической обработке ТВЧ параметры, определяющие направление шлицев изменялись следующим образом:

–  $\alpha$  — угол наклона поверхности шлица от вертикальной оси в градусах составляет — до ТО —  $66,6 \div 103,9$ ; после ТО —  $48,2 \div 72,3$ ;

–  $\Delta$  — максимальное расстояние от поверхности шлица до вертикальной оси указанное в микронах и составляет — до ТО шлицов  $5,5 \div 107,9$ ; после ТО шлицов  $17,8 \div 104,9$ .

Термическая обработка с нагрева ТВЧ внутреннего шлицевого отверстия приводит к изменению следующих контролируемых параметров:

– уменьшение размера по роликам  $\varnothing 89,981_{+0,149}^{+0,061}$  мм (диаметр ролика 4,773 мм) в среднем на 0,062–0,063 мм;

– уменьшение диаметра вершин шлица ( $\varnothing 95^{+0,23}$  мм) составляет в среднем 0,045–0,046 мм;

– уменьшение диаметра впадин шлица ( $\varnothing 101^{+0,23}$  мм) составляет в среднем 0,069–0,090 мм.

**Объемно-поверхностная закалка (ОПЗ) с нагрева токами высокой частоты**

Характерным примером коробления деталей сложной формы может служить ОПЗ шестерен и сателлитов.

Объемно поверхностная закалка ТВЧ заключается в объемном нагреве детали в индукторе (индукторах) с последующим охлаждением в закалочном баке либо в спреере быстро движущимся потоком воды.

Примером детали с вышеуказанным способом термообработки на РУП «МАЗ» может послужить деталь — 5336-2405035 — «сателлит» из стали 60ПП.

Нагрев данной детали производится ступенчато на трех позициях нагрева с последующим охлаждением с спрейере быстро движущимся потоком воды.

В результате корректировки конфигурации индуктора, частоты и скорости нагрева удалось добиться максимальной равномерности нагрева детали, указанной на рис. 10.

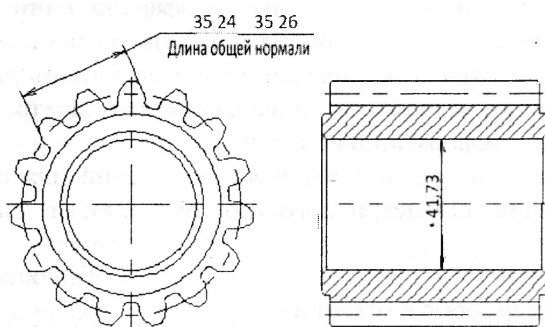


Рис. 10. Общий вид детали 5336-2405035 — сателлит

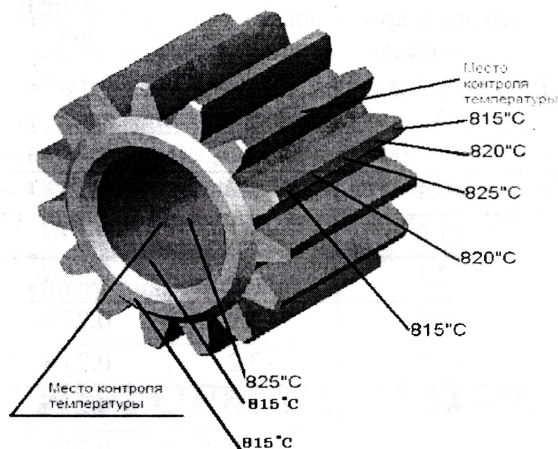


Рис. 11. Распределение температур нагрева под закалку в различных частях детали

Рассмотрим характер коробления детали сложной формы при ОПЗ.

Как и в предыдущем примере, деталь можно разбить на несколько видов простых форм и рассмотреть характер их коробления:

*Плоская поверхность*

К плоской поверхности можно отнести торцы сателлитов, торцы зубьев и вершины зубьев. Характер коробления данных плоских поверхностей аналогичен по механизму, описанному выше для торцов ступиц т.е. плоская поверхность при закалке на мартенсит особенно при относительно высо-

кой толщине будит стремиться стать выпуклым.

Так же к механизму формоизменения как и у плоской поверхности можно отнести изменение формы профиля зуба, он будит стремиться стать более выпуклым, что приведет к увеличению толщины зуба. Данный параметр контролировался, при измерении длинны общей нормали. Исследованиями установлено, что при ОПЗ параметр длинны общей нормали — увеличивается. Размер до термообработки — 35,2 мм, а после термообработки 35,28 мм.

*Цилиндрическая поверхность*

При термообработке деталей с внутренней цилиндрической поверхностью при сквозном прогреве наблюдается явление обратное описанному примеру ранее при одновременной закалке ТВЧ внутренней цилиндрической поверхности — явление «бочкообразности». При ОПЗ внутренняя цилиндрическая поверхность становится бочкообразной и внутренний диаметр сателлитов при измерении, как показан размер 41,73 мм., на рис. 9 увеличивается до 41,82 мм.

**Непрерывно-последовательная закалка ТВЧ**

Объем осевых деталей, подвергаемых термообработке на РУП «МАЗ» очень велик, поэтому установление закономерностей их деформаций и коробления крайне важно для оптимизации общего технологического процесса. Особенно это важно для осевых деталей имеющих поверхности с достаточно высокой степенью точности и не подлежащие окончательной механической обработке после закалки ТВЧ, например наружные шлицевые поверхности.

Наиболее характерной деталью этого класса является полуось заднего моста автомобиля МАЗ. Как известно в большинстве автомобилей МАЗ применяется схема трансмиссии с понижающей планетарной колесной передачей, что определяет конструкцию полуоси. Это цилиндрическая деталь длиной 1060–1130 мм, диаметром 46–55 мм, имеющая наружные шлицевые поверхности по концам и подвергаемая непрерывно-последовательной закалке ТВЧ на частоте 2400 Гц по всей длине.

Схема термической обработки полуосей показана на рис. 12. При данной схеме закалки ТВЧ индуктор является одновременно нагревательным и охлаждающим элементом, деталь по отношению к индуктору при нагреве движется вниз, одновременно нагревая деталь до закалочных температур и охлаждая ее с критическими скоростями. В результате происходит закалка на мартенсит. Путем анализа собранных статистических



данных установлен следующие закономерности при закалке ТВЧ – длина полуоси увеличивается, диаметр полуоси и шлицев уменьшается. В табл. 2 показаны значения величин увеличения длины полуосей при закалке ТВЧ.

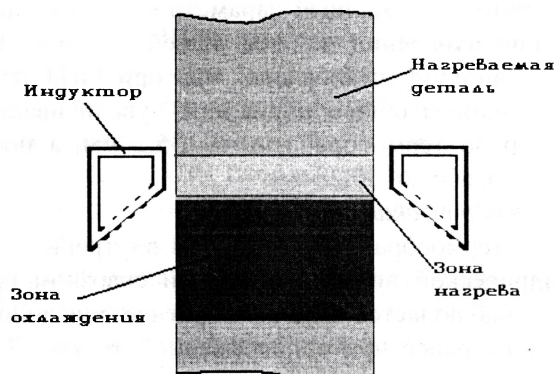


Рис. 12. Схема термической обработки полуосей

закалки ТВЧ происходит удлинение детали и длина её превышает верхнее значение поля допуска. Это требует введение технологического размера перед закалкой.

При жестком креплении в центрах станка нагрев даже небольшого по протяженности участка до закалочных температур вызывает тепловое расширение и удлинение полуоси. Так как полуось не может свободно расширяться, происходит искривление его оси, которое будет прогрессивно расти при продвижении очага нагрева вдоль оси валика. Во избежание такого эффекта один из центров станка всегда должен быть пружинным, чтобы усилия, возникающие при тепловом расширении металла могли легко сместить центр, не вызвав деформации полуоси.

При закалке цилиндрических изделий для получения симметричного по окружности слоя

Таблица 2

Удлинение полуосей до и после термообработки ТВЧ

№ п/п	До ТО		После ТО		Удлинение	
	фактическая длина, мм	длина по отношению к нижнему пределу поля допуска мм	фактическая длина, мм	длина по отношению к верхнему пределу поля допуска мм	абсолютное	относительное
1	2	3	4	5	6	7
Размер по чертежу $1063 \pm 1,3$ мм (1061,7 – 1064,3)						
1	1061,9	+0,2	1064,6	+0,1	+2,7	0,25%
2	1062,8	+1,1	1065,9	+1,6	+3,1	0,29%
3	1063,6	+1,9	1066,4	+2,1	+2,8	0,26%
4	1063,3	+1,6	1066,2	+1,9	+2,9	0,27%
5	1062,3	+0,6	1064,5	+0,1	+3,2	0,21%
6	1062,4	+0,7	1064,6	+0,2	+2,2	0,21%
7	1062,5	+0,8	1064,8	+0,5	+2,3	0,31%
8	1062,0	+0,3	1064,1	-0,3	+2,3	0,20%
Средняя величина удлинения					+2,69	0,25%
Размер по чертежу $1091 \pm 1,3$ мм (1089,7 – 1092,3)						
9	1091,4	+1,7	1094,4	+2,1	+3,0	0,27%
10	1090,4	+0,7	1093,3	+1,0	+2,9	0,26%
11	1088,0	-0,7	1091,0	-1,3	+3,0	0,27%
12	1094,2	+4,5	1097,0	+4,7	+2,8	0,26%
13	1090,6	+0,9	1093,0	+0,7	+2,4	0,22%
14	1091,0	+0,4	1093,2	+0,9	+2,2	0,20%
Средняя величина удлинения					+2,72	0,25%

Из анализа табл. 2 видно, что даже при изготовлении детали в поле допуска (столбец 3) после применяют вращение детали. Это позволяет ликвидировать влияние неоднородности нагрева в

места токоподводов, разъемов индуктора, а также неоднородность охлаждения. Однако вращение не приносит пользы, если деталь неправильно центрирована (рис. 13, б). В этом случае создаются условия, подобные нагреву эксцентрика. При вращении сторона, наиболее удаленная от центра вращения, будет всегда ближе к индуктору и прогреется на большую глубину, чем противоположная сторона (рис. 13, а). Это вызовет искривление оси детали выпуклостью в сторону слоя большей толщины (рис. 13, б). Смещение центра вращения наблюдается при неправильном креплении детали в центрах станка. Если исправить этот дефект не удастся, то целесообразнее проводить закалку без вращения, тщательно выверив зазор между индуктором и деталью. На время охлаждения вращение должно быть включено.

При закалке длинномерных изделий непрерывно-последовательным способом деформация накапливается постепенно и небольшой эксцентриситет в начале процесса вызовет некоторое искривление оси. Это искривление увеличит эксцентриситет, и закалка следующих зон вызовет дополнительную деформацию, что еще увеличит эксцентриситет. Так по мере продвижения зоны закалики будет увеличиваться коробление полуоси.

Асимметрия закаленного слоя при закалке полых валиков или цилиндров вызывает появление овальности. Тот же характер коробления наблюдается при разнотолщинности стенки полого валика; причем величина коробления в сильной степени зависит от соотношения наружного и внутреннего диаметров валика.

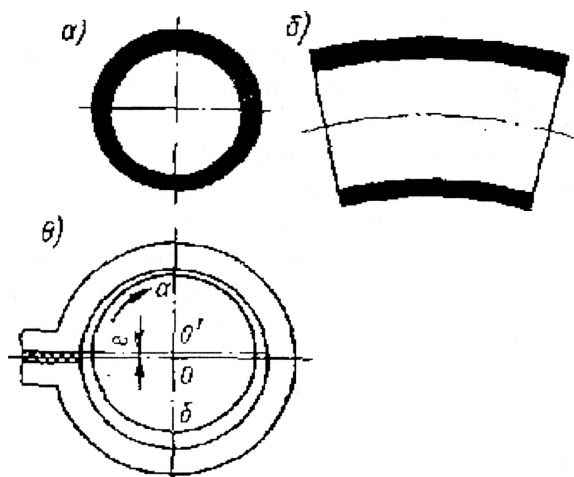


Рис. 13. Коробление валика с неравномерным по глубине закаленным слоем, вызываемое неправильной центровкой изделия:  $O$  – выточки на торцах валика для установки его в центрах станка;  $O'$  – геометрическая ось валика

**Заключение.** При индукционной термической обработке неизбежно происходят формоизменения геометрических размеров деталей. Это происходит из-за влияния огромного количества факторов. Часть факторов влияющих на коробление можно устранить, но исключить деформации при термической обработке невозможно. В настоящее время нет методики расчета изменения геометрических размеров деталей, по этому при разработке деталей необходимо учитывать фактор коробления при термообработке, а количественное выражение этого фактора определять опытным путем уже в процессе изготовления.

## ИНФОРМАЦИЯ О ВОДОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКЕ

Новиков А.А.

Физико-технический институт НАН Беларуси

С технологической точки зрения, процесс резания материалов на *установках* для гидроабразивного резания компании «Water Jet Sweden» представляет собой следующее.

С помощью насоса высокого давления вода под давлением 4100 Бар через соединительные трубки подается к режущей головке, в которой установлена форсунка с очень малым проходным сечением (0,08–0,5 мм). Вода, проходя через форсунку, конвертирует высокое давление в кинетическую энергию струи. Скорость водяной струи на выходе сопла достигает 900 м/сек. Затем, струя

воды, проходя через камеру смешивания, захватывает абразивные частицы, поступающие из бункера. Образованная таким образом смесь воды и абразива направляется на поверхность материала и разрушает его.

В качестве абразива (режущего инструмента) в установках *гидроабразивной резки* используется гранатный песок, поставляемый на Российский рынок ЗАО «Р-Гарнет». Благодаря своему кристаллическому строению, гранат как минерал обладает высокой прочностью и плотностью (3,6–4,1, что почти в два раза выше, чем у обыкновен-



ного кварцевого песка).

Конструкция установок гидроабразивной резки состоит из следующих основных узлов:

- рабочий стол (от 1 до 18 метров) с установочной плитой, изготовленной в виде решетки;

- портал, имеющий запатентованную конструкцию с шарнирными соединениями, позволяющую избежать перекосов и заклинивания, с установленными на нем режущими головками. На портал могут быть установлены от одной до десяти режущих головок, а также сверлильное устройство, применяемое при гидроабразивной резке некоторых пластиков;

- станина с направляющими портала, расположенными на максимальном расстоянии от рабочей зоны, что предохраняет их от попадания абразива и грязи, а также от изменения линейных размеров червячного вала вследствие температурных перепадов;

- насос высокого давления. Во всех своих конструкциях гидроабразивных установок компания «Water Jet Sweden» применяет в качестве основного узла, связанного с созданием потока струи, насос высокого давления модели «StreamLine» серий «SL-IV» компании «КМТ»;

- режущая головка, имеющая запатентованную конструкцию, оснащается встроенным датчиком удара, позволяющим избежать столкновения режущей головки с поверхностью обрабатываемого материала в случае наличия неровностей на поверхности разрезаемого материала;

- бункер для хранения и подачи абразива;

- устройство для сбора отходов и отработанного абразива, и очистки воды;

- устройство ЧПУ, позволяющее вводить заданную геометрию детали, оптимально размещать её на поверхности заготовки, а также корректировать программу обработки;

- дополнительные устройства, позволяющие контролировать процесс разрезания материалов и облегчающих работу оператора, например: датчики наличия абразива в бункере, подающие предупреждающие сигналы оператору об окончании минимального запаса абразива и отключающую установку в случае полного его отсутствия; датчик контроля влажности абразива, отключающего подачи абразива в камеру смешивания в случае попадания воды в бункер и/или подающие трубки, и др.

Сравнивая установки для гидроабразивной резки с другими с традиционными методами резки, такими как плазменная и лазерная резка, системы гидроабразивной резки имеют ряд существенных

преимуществ:

- разрезаемый материал не подвергается термическому воздействию, т.е. не требует дополнительной термической обработки;

- отсутствие вредных пыли и газов;

- инструмент резки (струя воды или вода + абразив) не нуждается в переточке;

- низкое тангенциальное усилие резания на деталь, в отдельных случаях не требуется закрепления разрезаемого материала на столе;

- небольшая ширина реза, что сказывается на уменьшении отходов и на улучшении экономичности раскроя;

- высокая скорость резания любых материалов;

- возможность резки сложных контуров;

- быстрая переналадка.

#### **Лазерная резка, плазменная резка, гидроабразивная резка.**

#### **Преимущества и недостатки резки водой, сравнительные характеристики**

Технологии резки водой (гидрорезка, гидроабразивная резка), лазерная резка и плазменная резка материалов имеют одну область применения и являются конкурирующими технологиями.

Каждая из технологий резки имеет ряд достоинств и недостатков. Необходимо отметить, что лазерное излучение является широкоуниверсальным инструментом (резание, маркировка, упрочнение и т.п.). Область применения высоконапорной струи жидкости также не ограничивается только гидрорезанием.

Термические процессы, такие, как лазерная резка, часто служат причиной обгорания, оплавления на разрезаемых кромках. Лазерная и плазменная резки создают напряжения, микротрещины и структурные изменения в обрабатываемых материалах.

За рубежом проводились эксперименты по сравнению эффективности метода гидроабразивной резки с традиционными технологиями, к которым относятся резка алмазными пилами, лазерная, ультразвуковая и плазменная резки. В качестве «сильнейшего конкурента» была выбрана лазерная резка, как технология, имеющая большую эффективность и производительность, чем плазменное, механическое или ультразвуковое разрушение. Резке двумя сравниваемыми способами был подвержен пакет из металлических пластин толщиной 0,3 мм каждая. В результате испытаний было установлено, что при толщине разрушаемого пакета пластин менее 6 мм более эффективным по энергоёмкости и скорости оказался метод лазерной резки, а при толщине пакета

свыше 6 мм абсолютно лидирует метод гидроабразивной резки.

Интересные результаты, подтверждающие превосходство этого метода над остальными, получены и в отечественных научно-исследовательских учреждениях.

Какие преимущества и недостатки имеет технология гидрорезания по сравнению с другими возможными процессами?

Важнейшим преимуществом технологии водоструйной резки перед другими видами обработки является отсутствие нагрева разрезаемых заготовок, т.е. отсутствие термического воздействия на материал что исключает термические напряжения и деформации обрабатываемого материала. Также это предотвращает упрочнение, деформирование, стекание шлака или амальгамирование, а также загрязнение такими элементами, как вредные испарения и газы, присущие другим видам резания при обработке пластмасс, композиционных материалов и т.п., нет запылённости. Эти эффекты часто имеют место при лазерной резке искусственных материалов и, как правило, должны подавляться.

Для листового металла, ламинированного пластиком, технология резки водой часто является единственным решением, которое не оказывает негативного влияния на внешнюю поверхность покрытия.

Кроме того, определенные материалы, прежде всего большой толщины, не позволяют осуществлять эффективную резку с использованием термических процессов.

Технология гидроабразивной резки также является единственно возможным вариантом для резки стекла (кроме традиционных механических методов). Так, лазерная резка вообще не позволяет работать со стеклом, потому что лазерный луч проходит прозрачный материал насквозь, не разрушая его. Скорость гидроабразивной резки стекла — 276 см в минуту.

Гидрорезка несомненно не уступает алмазной резке, даже когда делаются только прямые резы, но никакая другая технология, кроме водоабразивной резки, не позволяет получать сложные контуры.

Также некоторые материалы не могут быть разрезаны лазером по причине явления отражения, к примеру — медь. Гидроабразивная резка меди успешно осуществляется.

Кроме того, определенные материалы, прежде всего большой толщины, тоже не позволяют

осуществлять эффективное резание с использованием термических процессов. Такие материалы, как титан, нержавеющая сталь (нержавейка), медь и алюминий, создают свои собственные проблемы для всех, кто использует технологию лазерной резки. При обработке композиционных оптических волокон или минералов когерентный световой пучок и вовсе не может быть использован.

Струя воды не создает прямого давления на поверхность материала. Механическое воздействие происходит лишь на микроскопическом уровне. Таким образом, несмотря на большую кинетическую энергию струи воды, отсутствует какая-либо деформация материала и высокоточная резка выполняется без появления неровностей кромки. Результатом являются резы поразительно высокого качества, не требующие последующей доработки.

Технология резки водой имеет еще одно неоспоримое преимущество — тонкая, как волос, струя, создает существенно меньшие потери материала по сравнению с традиционными процессами.

Требования к современному производству включают не только высокую производительность и качество изделий, но и возможность обработки очень сложных форм без ограничений по толщине и материалу. Резы любой сложной формы, острые углы, скошенные кромки, минимальные внутренние радиусы; возможность начать процесс резки в любой момент, непосредственное врезание в материал — все это достигается при помощи гидроабразивной резки с несравнимой гибкостью для широчайшего диапазона материалов.

Немаловажным аспектом является высокая степень экологической безопасности процесса. Гидроабразивная обработка не создает какой-либо пыли или крошки, стружки или химических загрязнителей воздуха.

Также, преимуществом гидроабразивной резки перед лазерной резкой является отсутствие области термовлияния на кромках обработанных деталей. Гидроабразивная резка позволяет вырезать детали со сложными профилями без дополнительной обработки поверхности реза и достаточно высокой производительностью.

Генерируемое в процессе резания тепло практически мгновенно уносится водой. В результате не происходит заметного повышения температуры в заготовке. Эта характеристика является решающей при обработке особо чувствительных к нагреву материалов. Небольшие сила (1–100 Н) и температура (60–90°C) в зоне резания исключают



деформацию заготовки, оплавление и пригорание материала в прилегающей зоне. Ни одна технология, кроме гидроабразивной резки, не может обеспечить отсутствие термического влияния на металл вблизи пропила.

Текстиль, эластомеры, волокнистые материалы, тонкий пластик, продукты питания, бумага, термопласты и др. материалы режутся струей чистой воды, достигающей скорости до 200 м/мин.

Резка с использованием абразива применяется для плотных и твердых материалов, таких, как все металлы, крепкие породы, пуленепробиваемое стекло, керамика и т.д.

К недостаткам гидрорезания относят: конструктивные трудности, возникающие при создании высокого давления жидкости, высокая стойкость сопла и сложность его изготовления.

В конечном счёте, области применения лазерной, плазменной и гидротехнологии будут разделены их технологическими и экономическими данными. Однако непреложным фактом является то, что на сегодняшнем уровне развития объём применения процесса гидрорезания расширяется и он постепенно занимает свою нишу.

## **ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗУЕМОСТИ БАЗОВОГО ВАРИАНТА КОМПЛЕКСА ВИДЕО НАБЛЮДЕНИЯ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНОЙ ЛЕТАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ**

*Пальцев А.Н., к.т.н., доцент, Яцына Ю.Ф., к.т.н., доцент, Щавлев А.А., к.т.н.*

*Оценивается возможность технической реализуемости предложенной концепции построения комплекса видео наблюдения.*

Анализ концепции построения беспилотных авиационных комплексов в военных целях [1] показывает, что данная концепция, в силу специфики решаемых задач, не может быть распространена на другие области народного хозяйства.

Учеными НАН Беларуси в интересах МЧС, МВД, Министерства охраны окружающей среды, Министерства лесного хозяйства, Министерства сельского хозяйства и продовольствия предлагается использовать базовый вариант комплекса видео наблюдения и контроля местности на основе беспилотной летательной платформы [2] для решения следующих задач:

- мониторинг нефтепроводов, городских инфраструктур, лесов, водных объектов;
- наблюдение в районах катастроф;
- поисковые работы;
- мониторинг промышленных зон;
- аэрофотосъемка;
- обнаружение районов лесных пожаров;
- наблюдение за водными акваториями и береговыми линиями;
- наблюдение за нефтегазопроводами, линиями электропередач и транспортными магистралями;
- наблюдение за районами стихийных бедствий;

- определение координат наземных объектов;
- получение информации о состоянии земной поверхности и др.

Концептуально вариант такого комплекса, например, в интересах МЧС может включать следующие элементы:

1. Автоматизированное рабочее место (АРМ) в составе ноутбука, отдельного видеомонитора и специального программного обеспечения для управления полетом БЛА, обработки, отображения и регистрации информации от ТВ и ИК оборудования.

2. Модуль приемо-передающей аппаратуры типа 1 (МППА). Наземный и бортовой комплекты, обеспечивающие передачу данных (команд управления и видеосигналов) на расстояние до 15 км.

3. Модуль приемо-передающей аппаратуры типа 2 (МППА). Наземный и бортовой комплекты, обеспечивающие передачу данных (команд управления и видеосигналов) на расстояние до 70 км.

4. Модуль ТВ и ИК оборудования. Базовый вариант состоит из видеокамеры с разрешением не хуже 550 ТВЛ и ИК камеры диапазона 7–14 мкм, общей массой до 0,5 кг.

5. Мини БЛА типа 1. Оснащается базовым мо-

дулем ТВ и ИК оборудования наблюдения. Запускаемый с руки человека или с катапульты на дальность до 15 км или до 70 км в зависимости от используемого модуля приемо-передающей аппаратуры. Посадка на парашюте. Время полета не более 1 часа. Прототип такого мини БЛА, разработанного специалистами ГНУ «ФТИ НАН Беларуси» представлен на рис. 1.

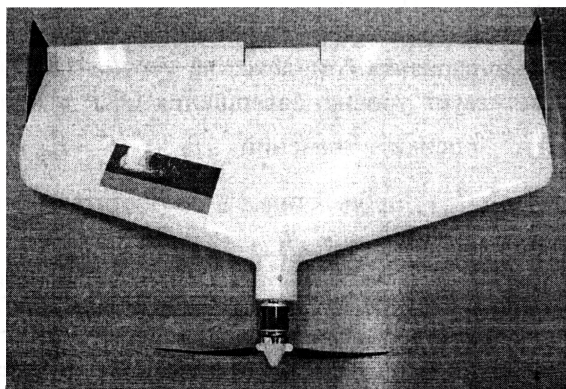


Рис. 1. Прототип мини БЛА типа 1

6. Мини БЛА типа 2. Оснащается базовым модулем ТВ и ИК оборудования наблюдения, или адаптированным модулем под требования заказчика с общей массой не более 5 кг. Запускается с катапульты на дальность до 15 км или до 70 км в зависимости от используемого модуля приемо-передающей аппаратуры. Посадка на парашюте или по самолетному принципу. Время полета не менее 3-х часов.

7. Катапульта для запуска мини БЛА типа 2.

8. Автомобильное шасси для перевозки комплекса на основе мини БЛА типа 2 (оборудование транспортировки и обслуживания).

Для сравнительной оценки технической реализуемости различных вариантов комплекса предлагается использовать метод, в основу которого положена вероятность технической реализуемости к моменту времени  $t^*$  общего количества серийных комплексов  $n$ -го типа  $S_n^*(t^*)$ , необходимого для народнохозяйственных нужд. Причем  $S_n^*(t^*) > S_n$  где  $S_n$  — минимально необходимое количество комплексов.

Вероятность технической реализации требуемого количества серийных комплексов базового варианта ( $S_n^*(t^*)$ ) оценивается с использованием соотношения:

$$P_{pn}(S_n^*[t^*]) = P_{Tn}(t^*; t^* - t_{np}^*) \cdot P_n(S_n^*; t^*; t_{np}^*) \quad (1)$$

где  $P_{Tn}(t^*; t^* - t_{np}^*)$  — вероятность технического

изготовления комплекса  $n$ -го типа (завершения ОКР) к моменту времени  $t^* - t_{np}^*$ , где  $t_{np}^*$  — математическое ожидание интервала времени, необходимого для серийного изготовления  $S_n^*$  комплексов,  $P_n(S_n^*; t^*; t_{np}^*)$  — вероятность серийного изготовления  $S_n^*$  комплексов  $n$ -го типа от момента начала  $t^* - t_{np}^*$  до момента  $t^*$ .

Величина  $t_{np}^*$  в (3) оценивается в соответствии с выражением:

$$t_{np}^* = S_n^* / \overline{\Delta S_n}, \quad (2)$$

где  $\overline{\Delta S_n}$  — серийноспособность кооперации промышленности по производству комплексов  $n$ -го типа (усредненная на интервале  $\sim 5$  лет), шт/год.

Оценка значений  $P_{Tn}(t^*; t^* - t_{np}^*)$  производится с помощью аппроксимирующей функции вида:

$$P_{Tn}(t) = \begin{cases} 1 - \exp[-a_n \cdot (t - t_{Cn})^2], & \text{при } t \geq \tau_n^* \\ 0, & \text{при } t < \tau_n^* \end{cases}, \quad (3)$$

где  $a_n = \frac{1}{t^2} \ln(1 - q_n)$  — коэффициент аппроксимации;  $q_n = \min_L \min_k \{q_{nLk}\}$ ;  $q_{nLk}$  — оценка

субъективной вероятности технической реализации заявленных характеристик  $k$ -го функционального элемента  $L$ -го средства, входящего в  $n$ -й тип комплекса на момент  $t = \tau_n^*$  (интервал прогноза, который выбирается одинаковым для сравниваемых комплексов, входящих в один класс);  $t_{Cn}$  — интервал времени, необходимый для сборки всех средств  $n$ -го комплекса из технически реализованных функциональных элементов, а также для проведения полного цикла заводских и совместных комплексных испытаний.

Отметим, что при задании ОКР по  $n$ -му типу комплекса величина  $t$  в (3) определяется как  $t = t^* - t_{np}^*$ .

Оценки значений  $q_{nLk}$ , необходимых для формирования коэффициента  $a_n$ , производятся на основе определения однозначного соответствия между текущим состоянием разработки  $k$ -го функционального элемента  $L$ -го средства  $n$ -го типа комплекса и возможностью его технической реализации на момент  $t = \tau_n^*$ .



Величина  $P_n(S_n^*; t^*; t_{np}^*)$  в (1) оценивается в предположении, что количество комплексов  $n$ -го типа  $S_n(i)$ , серийно производимых в течение  $i$ -го года от начала выпуска, случайно и подчиняется Пуассоновскому закону распределения с параметром  $\bar{S}_n(i)$  (МОЖ). Значение  $\bar{S}_n(i)$  определяется с использованием аппроксимирующего выражения, учитывающего прогнозируемую динамику роста объемов производства:

$$\bar{S}_n(i) = \bar{S}_{yn} \cdot (1 - \exp[-a_n \cdot i^2]), \quad (4)$$

где  $\bar{S}_{yn}$  — установившееся среднее значение количества серийно выпускаемых комплексов  $n$ -го типа в год;  $a_n = -\ln(1 - \bar{S}_n / \bar{S}_{yn})$  — аппроксимирующий коэффициент;  $\bar{S}_n$  — прогнозируемое среднее количество комплексов  $n$ -го типа, выпускаемых промышленностью за первый год серийного производства (при  $i=1$ ).

Распределение суммы независимых Пуассоновских величин также имеет аналогичное распределение, но с параметром

$$\bar{S}_\Sigma(I) = \sum_{i=1}^I \bar{S}_n(i), \quad (5)$$

где  $I = \text{ent}\{t^* / t_{np}^* / 1 \text{ год}\}$  — количество годовых периодов выпуска на интервале производства до момента начала эксплуатации.

Искомая вероятность определяется соотношением:

$$P_n(S_n^*; t^*; t_{np}^*) = \sum_{S_n \geq S_n^*} \exp[-\bar{S}_\Sigma(I)] \cdot \frac{[\bar{S}_\Sigma(I)]^{S_n}}{S_n!}, \quad (6)$$

где  $S_n = \sum_{i=1}^I S_n(i)$

Оценим для базового варианта комплекса видео наблюдения вероятность технического изготовления комплекса видео наблюдения к моменту времени  $t^* - t_{np}^* = 2011$  г., где  $t_{np}^* = 5$  лет — математическое ожидание интервала времени, необходимого для серийного изготовления не менее  $S_n^* = 60$  комплексов и вероятность серийного изготовления  $S_n^*$  комплексов от момента начала  $t^* - t_{np}^* = 2011$  г. до момента  $t^* = 2016$  г.

Указанный выше момент времени  $t^*$  выбран в соответствии с окончанием очередного пятилет-

него цикла реализации государственной научно-технической программы.

Потребное количество серийного изготовления  $S_n^* = 60$  комплексов базового варианта выбрано из расчета обеспечения каждой области Республики Беларусь в количестве 8 шт. к периоду времени  $t^* = 2015$  г. и резерва в составе 2 комплексов на каждую область.

Приняв вероятность технической реализации базового варианта комплекса на уровне 0,95, что соответствует уровню завершения ОКР в конце 2010 г., оценки значений  $P_{Tn}(t^*; t^* - t_{np}^*)$  и  $P_n(S_n^*; t^*; t_{np}^*)$ , проведенные в соответствии с (3, 6), представлены в табл. 1.

Таблица 1

Годы	2011	2012	2013	2014	2015	За 5 лет
$P_{Tn}$	0,98	0,9978	0,9998	0,9999	1	
$S_n(i)$	6	11,25	11,97	11,99	12	53,22
$P_n$						0,797

Примечание. В таблице приняты сокращения:  $P_{Tn} = P_{Tn}(t^*; t^* - t_{np}^*)$ ;  $S_n(i)$  — количество комплексов производимых в течение  $i$ -го года от начала выпуска (2011 г.);  $P_n = P_n(S_n^*; t^*; t_{np}^*)$  — вероятность серийного изготовления не менее  $S_n^* = 53$  комплексов.

Полученные оценки позволяют сделать вывод, что производственная база и существующая кооперация разработчиков НАН Беларуси с высокой вероятностью может обеспечить к 2015г народное хозяйство Республики Беларусь необходимым количеством отечественных средств видео наблюдения и контроля местности на базе беспилотных летательных аппаратов.

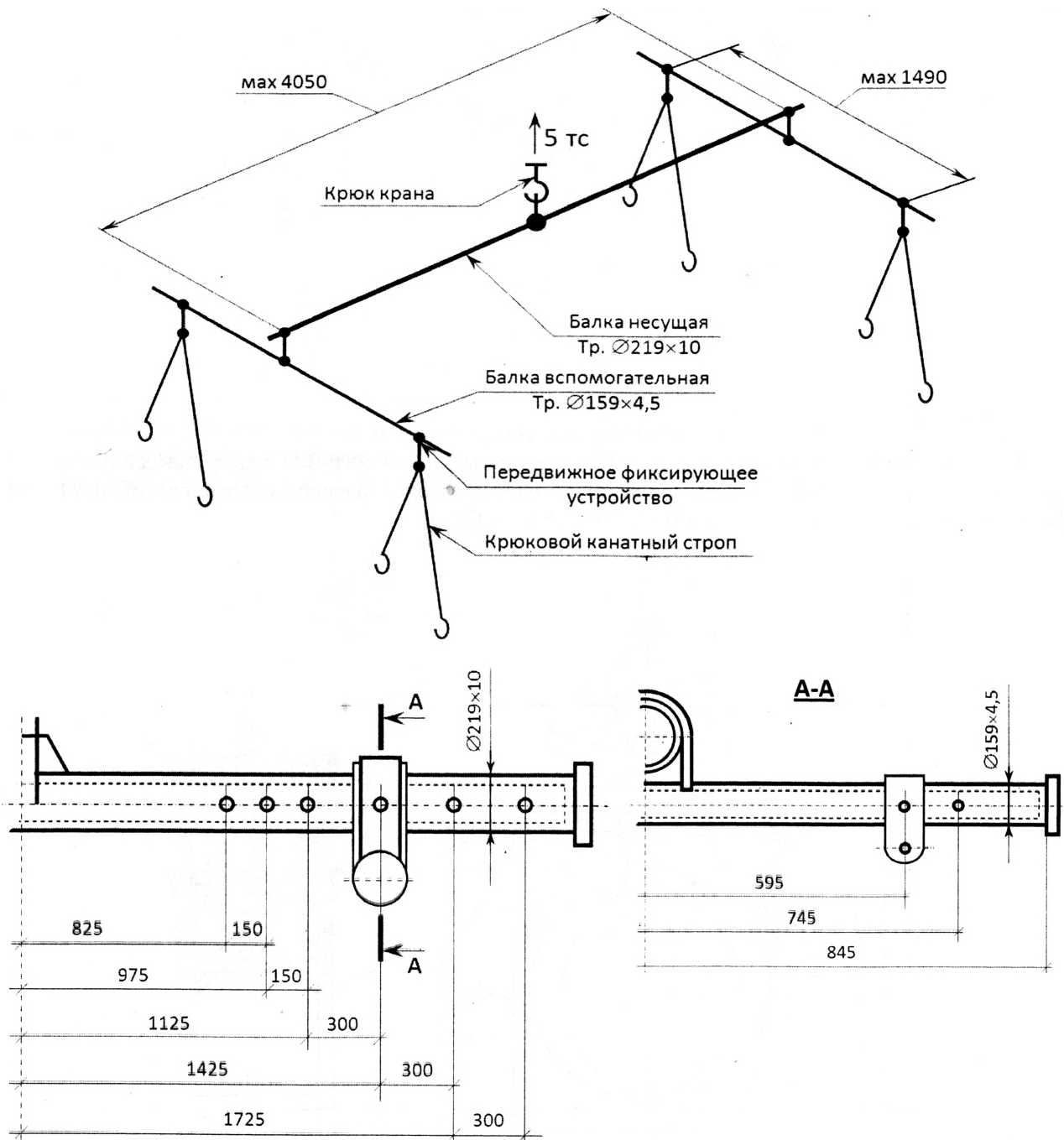
*Литература*

1. Ковязин Б.С., Чаховский Ю.Н. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов в военных целях./ Наука и военная безопасность. Научно-теоретическое приложение к журналу «Армия» – Минск: МО РБ, № 2, 2008. – 38–40 с.
2. Пальцев А.Н., Щавлев А.А., Яцына Ю.Ф., и другие. Разработка макетного образца системы автоматического управления беспилотной летательной платформы, работающей в реальном масштабе времени. Отчет о НИР / Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2008. – 70 с.

## РАЗРАБОТКИ ИНЖЕНЕРНОГО ЦЕНТРА ОО «БОИМ»

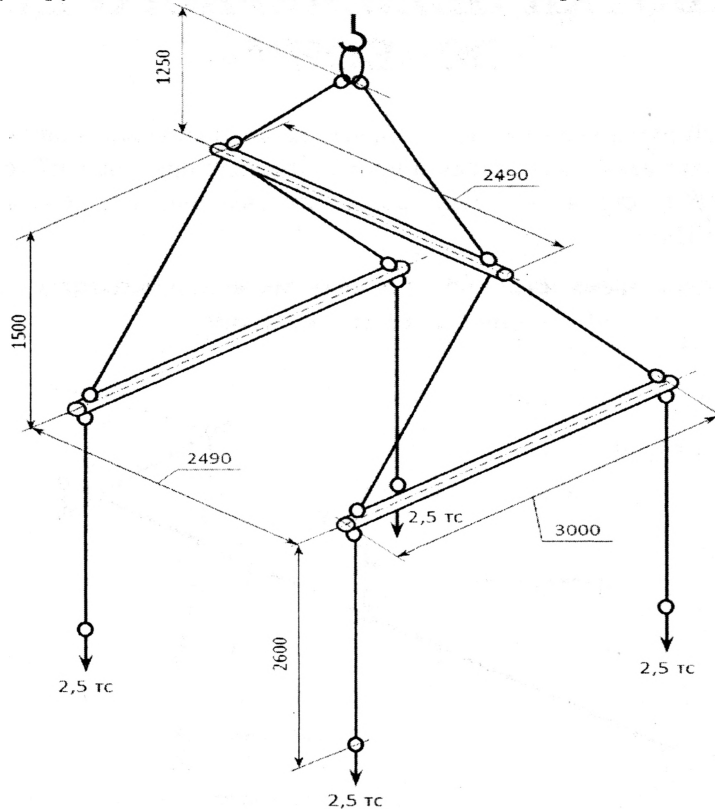
По запросам читателей публикуем принципиальные конструктивные решения и фотографии изделий, выполненных по заявкам строительных и промышленных предприятий (см. журнал «Инженер-механик» № 2 (39), 2008 г., стр. 47 — «Перечень работ, выполненных конструкторами УП «Инженерный центр» ООО «БОИМ»).

**Траверса грузоподъемностью 5 тс для подъема железобетонных конструкций (двух плит перекрытия)**



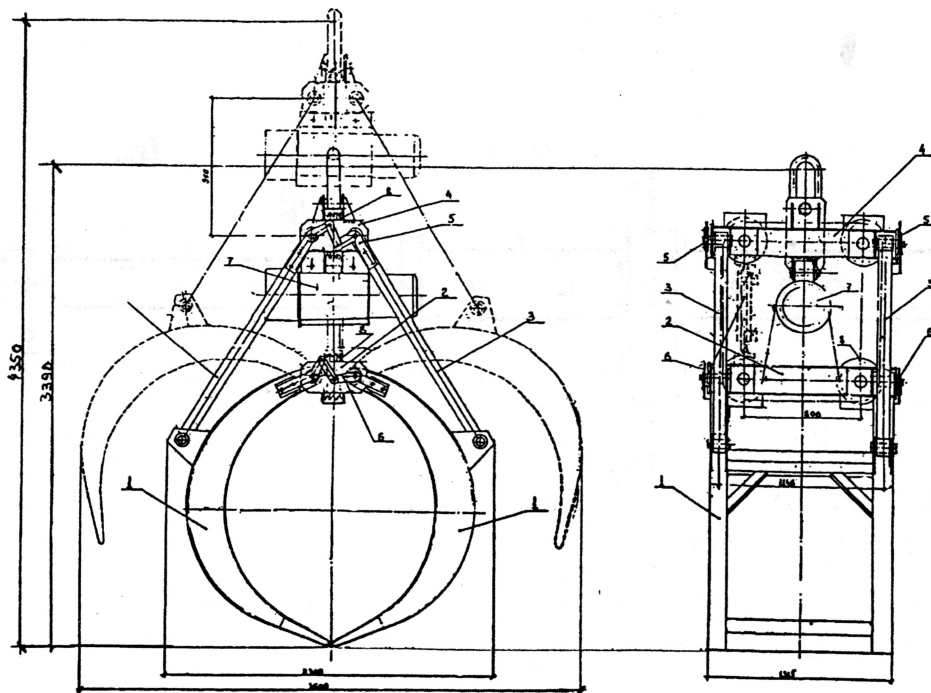


Блок траверс грузоподъемностью 10 тс для подъема крупногабаритных грузов



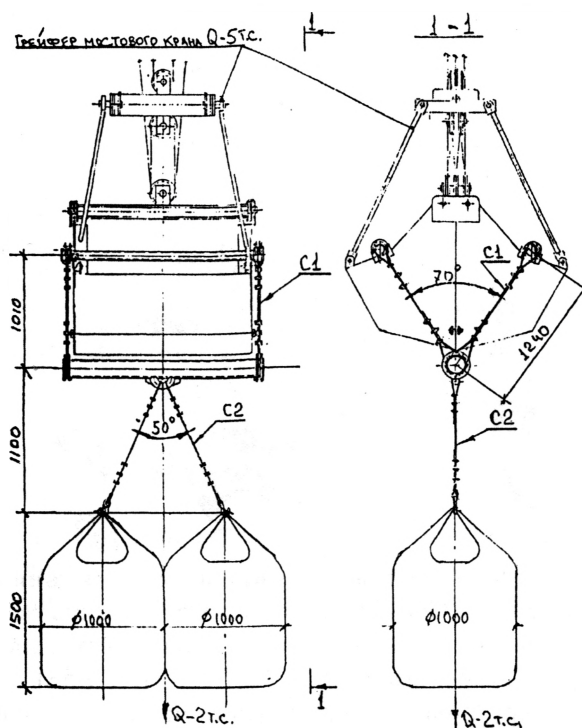
Грейфер грузоподъемностью 10 тс

Моторный грейфер грузоподъемностью 10 тс предназначен для погрузки и выгрузки длиномерной древесины, а также для штабелевочных работ на лесных складах. Зачерпывающая способность грейфера при длине бревен 3 м — 6 м<sup>3</sup>; 5 м — 9 м<sup>3</sup>; 6,5 м — 10,5 м<sup>3</sup>.



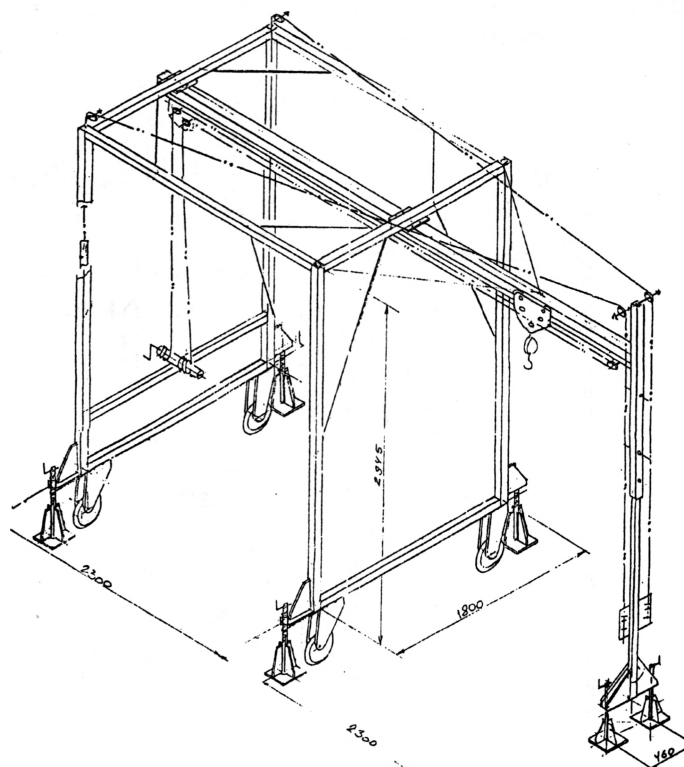
**Грейфер мостового крана грузоподъемностью 5 тс**

Переоборудование грейфера мостового крана под строповочное устройство для разгрузки мягких контейнеров (биг-бэгов).



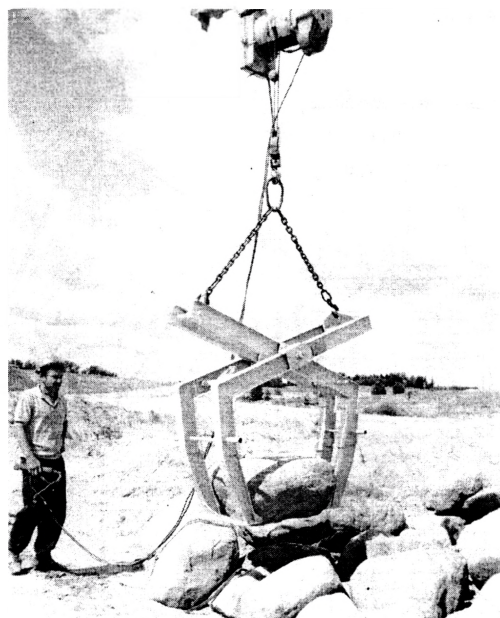
**Передвижной подъемник**

Передвижной подъемник предназначен для выполнения ремонтных работ автомобильной и др. техники. Подъемник позволяет перемещать груз массой 1 т в любое место на разные расстояния при помощи нескольких последовательных переустановок. Выполнен из легких металлоконструкций.





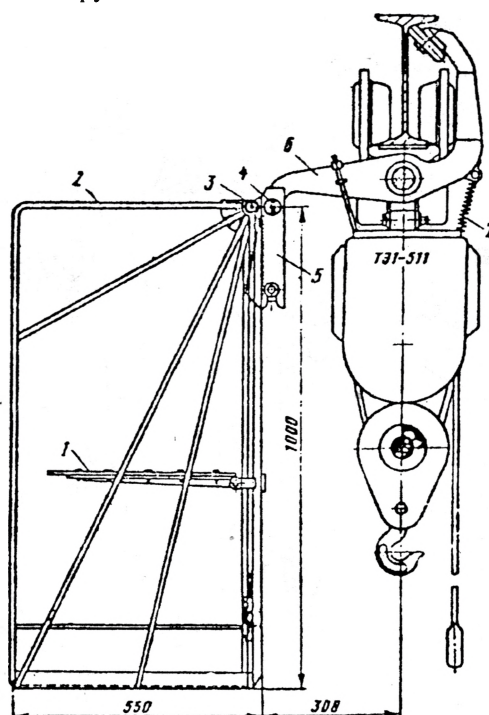
Захват для валунов грузоподъемностью 1 тс



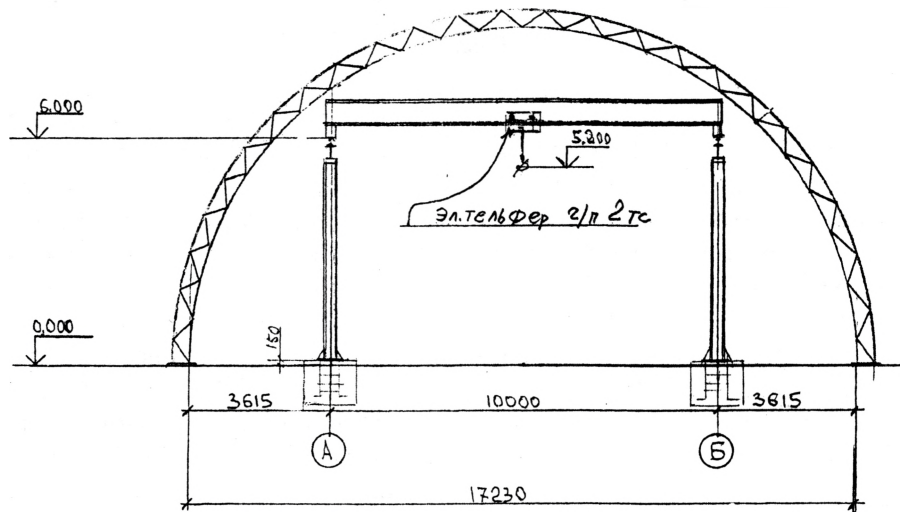
Съемная люлька для обслуживания светильников

В архиве УП «Инженерный центр» ОО «БОИМ» имеются рабочие чертежи съемной люльки для обслуживания светильников, навешиваемой на тельфер подвесных однобалочных кранов. Люльки пригодны для навешивания на тельферы типов ТЭ-511, ТЭ-521, ТЭ-531, ТЭ-611, ТЭ-711. Общий вид люльки и крепление ее к тельферу приведен на рисунке. Люлька 2 крепится к несущему рычагу 6 двумя пальцами 4, один из которых вынимается при навеске люльки на несущий рычаг. Правильное ее положение (вертикальное) обеспечивается регулировкой длины рычага у ролика и положением щек 5 люльки перед сваркой.

Передвижение люльки (вместе с краном) электрик осуществляет непосредственно из люльки, сидя на откидывающемся сидении 1, а замену ламп — стоя в ней, при этом необходимо пользоваться специальным поясом, закрепленном на трубе 3 люльки.

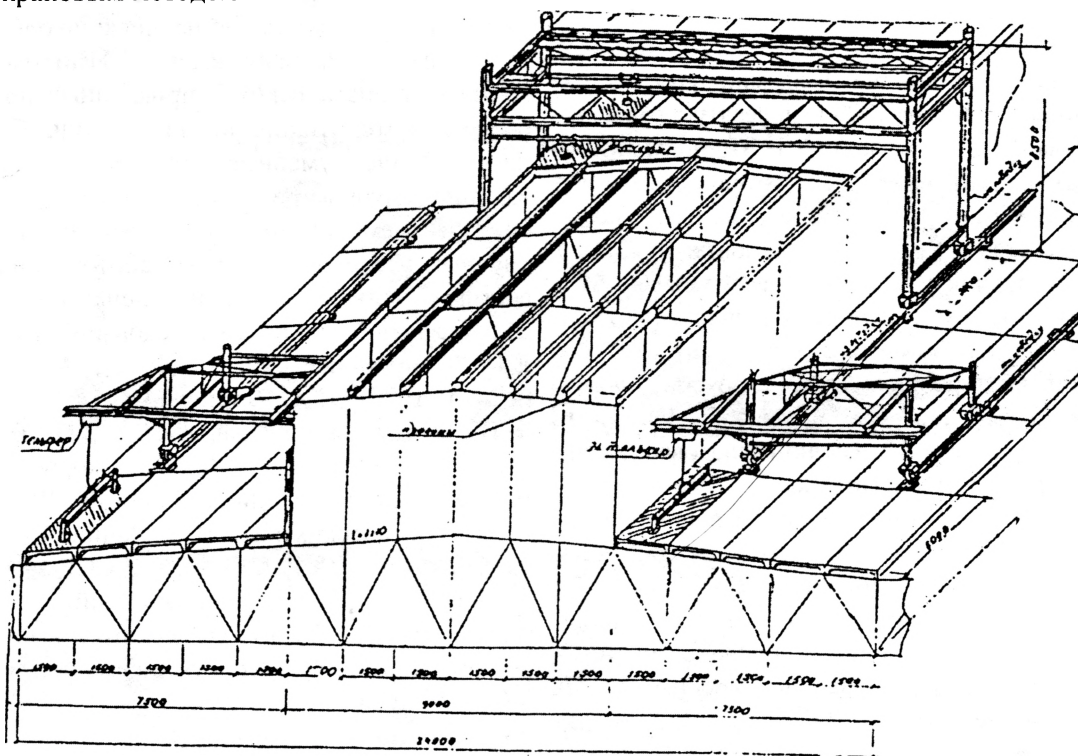


Проект по устройству крановой эстакады в здании арочного типа



Замена плит покрытия производственных корпусов бескрановым методом

Специалистами УП «Инженерный центр» ОО «БОИМ» разработана технология замены плит покрытия многопролетных корпусов промышленных предприятий в условиях действующего производства бескрановым методом.



Разработанная технология отличается простотой технических решений, в основу которых заложен индустриально поточный метод выполнения работ. Применяемая монтажная оснастка, в комплект которой входят два типа перемещающихся по покрытию подъемника, обеспечивает полную механизацию монтажных процессов, позволяет не применять мощные и дорогостоящие монтажные краны.



## НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

Национальная академия наук Беларуси (ранее: *Белорусская академия наук* в 1928–1936 гг.; *Академия наук Белорусской ССР* в 1936–1991 гг.; *Академия наук Беларуси* в 1991–1997 гг.) основана на базе научно-исследовательского и культурно-общественного учреждения республики — *Института белорусской культуры (Инбелкульт)* (1922–1928 гг.), который был реорганизован в Академию наук постановлением Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров БССР от 13 октября 1928 г.



Торжественное открытие Академии наук состоялось в Минске 1 января 1929 г., в десятую годовщину образования Белорусской ССР. **Первым президентом** Академии наук стал историк профессор **В.М. Игнатовский**. На день открытия штат Академии наук составлял только 128 человек, из них 87 научных сотрудников. Однако с самого начала Академия наук стала ведущим научным центром, влияющим на экономическое, технологическое, социальное и культурное развитие Беларуси. К началу 1941 г. в Академии наук работало около 750 человек. В ее структуре было 12 научно-исследовательских учреждений, из них 9 институтов.

В период Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.) нормальная деятельность Академии наук была прервана. Часть ученых продолжила свои исследования в институтах России и других регионов бывшего Советского Союза. Многие сотрудники Академии наук **приняли участие** в военных действиях против немецко-фашистских захватчиков. За годы войны Академии наук, как и всему народному хозяйству Беларуси, был нанесен огромный ущерб. Научные лаборатории, оборудование, здания, фонды библиотеки были сожжены или разграблены. В 1945 г. общая численность сотрудников Академии наук составляла 360 человек.

После освобождения Минска в июле 1944 г. к началу 1945 г. восемь академических институтов

возобновили свою деятельность, а в 1951 г. в Академии наук насчитывалось уже 29 научно-исследовательских учреждений, из них 16 институтов. Общая численность сотрудников достигла 1234 человек, в Академии наук работали 33 академика, 27 членов-корреспондентов, 55 профессоров и докторов наук, 165 кандидатов наук. Профиль дальнейших научно-исследовательских работ Академии наук складывался под влиянием изменений в структуре народного хозяйства республики, потребностей развития науки, сложившихся традиций и имеющегося научного потенциала. Развитие Академии наук и подготовка специалистов для ее институтов осуществлялись при поддержке правительств Беларуси и СССР, а также ведущих научных центров Москвы, Ленинграда и других городов бывшего Советского Союза.

За 80-летнюю историю в НАН Беларуси сформировались авторитетные научные школы, выросли ученые с мировым именем. Ими решен ряд крупных теоретических и прикладных проблем в области математики, физики, химии, биологии, наук о Земле, гуманитарных и социальных наук. Крупные научные результаты получены практически по всем сформировавшимся направлениям научных исследований и разработок, широко известны и получили высокую оценку в Беларуси и за рубежом. Результаты исследований академиков **Е.Г. Коновалова** (физика, 1972), **А.А. Ахрема** (химия, 1975), **Н.А. Борисевича** (физика, 1977), **Ф.И. Фёдорова** (физика, 1980), **В.И. Вотякова** (медицина, биология, 1986), члена-корреспондента **В.С. Улащика** (медицина, биология, 1991) и кандидата химических наук В.А. Лапиной (биофизика, биохимия, 1991) в бывшем СССР зарегистрированы в качестве научных открытий.

В настоящее время НАН Беларуси имеет в своей организационной структуре семь отделений:

- Отделение аграрных наук
- Отделение биологических наук
- Отделение гуманитарных наук и искусств
- Отделение медицинских наук
- Отделение физики, математики и информатики
- Отделение физико-технических наук
- Отделение химии и наук о Земле

Национальная академия наук Беларуси является ведущим исследовательским центром Беларуси, объединяющим высококвалифицированных ученых

различных специальностей и десятки исследовательских, конструкторских, научно-производственных и внедренческих организаций. В Академии наук работает более 16,3 тыс. исследователей, техников, вспомогательного и обслуживающего персонала. Среди них около 6,1 тыс. исследователей, около 510 докторов наук и свыше 1930 кандидатов наук.

В целях укрепления статуса и повышения ответственности за развитие науки Декретом Президента Республики Беларусь от 5 марта 2002 г. №7 на НАН Беларуси возложены функции республиканского органа государственного управления по некоторым вопросам финансирования научной и инновационной деятельности, развития информатизации и системы научно-технической информации, контроля за эффективным использованием государственных средств, выделяемых на финансирование научных исследований и разработок, а также проведения научно-технической экспертизы. Для эффективного решения стоящих перед НАН Беларуси задач в ее состав были включены Академия аграрных наук Республики Беларусь, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, Белорусский государственный научно-производственный концерн меж-

отраслевого машино- и приборостроения, Белорусский государственный научно-производственный концерн порошковой металлургии, созданы другие организационные структуры.

Национальная академия наук Беларуси концентрирует свой научно-технический потенциал на решении наиболее важных общенациональных задач в рамках государственных приоритетов научно-технической и научной деятельности. Финансирование таких научных исследований и разработок осуществляется за счет средств республиканского бюджета.

Часть необходимых финансовых средств обеспечивает участие в выполнении научно-технических программ, инновационных проектов, а также получение исследовательских грантов от отечественных и зарубежных фондов.

Кроме того, академические институты выполняют договорные работы с промышленными и сельскохозяйственными предприятиями, учреждениями здравоохранения и организациями других отраслей народного хозяйства, что играет большую роль в финансировании научных исследований и разработок.

### Президенты НАН Беларуси с 1928 г.



1-й президент  
**В.М. Игнатовский**  
1928 г. – 1931 г.



2-й президент  
**П.О. Горин**  
1931 г. – 1936 г.



3-й президент  
**И.З. Сурта**  
1936 г. – 1937 г.



4-й президент  
**К.В. Горев**  
1938 г. – 1947 г.



5-й президент  
**А.Р. Жебрак**  
1947 г. – 1947 г.



6-й президент  
**Н.И. Гращенко**  
1947 г. – 1951 г.



7-й президент  
**В.Ф. Купревич**  
1952 г. – 1969 г.



8-й президент  
**Н.А. Борисевич**  
1969 г. – 1987 г.



9-й президент  
**В.П. Платонов**  
1987 г. – 1992 г.



10-й президент  
**Л.М. Суценья**  
1992 г. – 1997 г.



11-й президент  
**А.П. Войтович**  
1997 г. – 2000 г.



12-й президент  
**М.В. Мясникович**  
2001 г. – 2004 г.  
С октября 2004 г.  
— Председатель  
Президиума





## ШИПКО Алексей Алексеевич

**заведующий лабораторией Объединенного института  
машиностроения НАН Беларуси,  
доктор технических наук, профессор**

28 ноября 2008 г. исполнилось 60 лет Алексею Алексеевичу Шипко — известному ученому в области материаловедения, высокоэнергетических высокотемпературных процессов обработки металлических, керамических и композиционных материалов.

После окончания Белорусского политехнического института А.А. Шипко поступил на работу в Физико-технический институт НАН Беларуси. Под руководством члена-корреспондента М.Н. Бодяко в 1978 г. им защищена кандидатская диссертация. В 1989 г. Шипко А.А. успешно защищает докторскую диссертацию. Им впервые предложены и изучены новые подходы к созданию направления инженерии поверхности, связанного с использованием концентрированных потоков энергии и комбинированных процессов обработки.

В числе его научных интересов новые методы высокоинтенсивного упрочнения, получения металлических, керамических, диффузионных покрытий с использованием электронно-лучевого и электронагрева, наплавки, термомодифицированного сращивания и насыщения, локального термоупрочнения. Им изучено влияние скоростного нагрева на строение и свойства титановых сплавов, конструкционных и инструментальных сталей, созданы научные основы поверхностного упрочнения титановых сплавов с металлическими, керамическими и диффузионными покрытиями.

Большой объем исследований выполнен с его участием для потребностей реального сектора промышленности как СССР (прежде всего авиационной отрасли), так и Беларуси. К их числу можно отнести контурную закалку штампов, зубчатых колес, рабочих поверхностей, деталей и узлов автомобилей, в том числе МАЗа, упрочнению с использованием комбинированных процес-

сов инженерии поверхности защитных втулок титановых насосов, лопаток компрессоров, деталей трансмиссий, зубчатых колес, пальцев рессор автомобиля МАЗ (нитроцементирование при индукционном нагреве), титановых зубчатых колес поворотного устройства (электроазотирование, оксидирование), корпусных титановых колец-проставок (электроазотирование), обойм крупногабаритных титановых подшипников, титановых защитных элементов.

В то же время Алексей Алексеевич является известным организатором науки. После работы в аппарате Президиума АН БССР он в течение восьми лет возглавлял Управление науки и инновационной деятельности Министерства экономики Республики Беларусь. Вместе с коллегами из аппарата управления участвовал в разработке первых документов при создании Государственного комитета по науке и технологиям, Высшей аттестационной комиссии, Фонда фундаментальных исследований. При его непосредственном участии решались вопросы финансирования, разработки мер по сохранению научного потенциала страны в самый критический период — годы распада Советского Союза.

В 1980 г. А.А. Шипко удостоен премии Ленинского комсомола Беларуси, является автором 4 монографий и более 150 статей в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах. Среди учеников А.А. Шипко — доктора и кандидаты наук.

В настоящее время Алексей Алексеевич Шипко работает в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси.

Друзья, коллеги, сотрудники, ученики и редакционная коллегия журнала искренне поздравляют Алексея Алексеевича с юбилеем, желают ему крепкого здоровья, дальнейших успехов в творческой и организаторской деятельности.

## ТУПОЛЕВ: ЧЕЛОВЕК И КОНСТРУКТОР

Клеванец Ю.В.

В ноябре этого года исполнилось 120 лет со дня рождения Андрея Николаевича Туполева, академика, генерал-полковника-инженера, Трижды Героя Социалистического Труда. Перечисление заслуг и наград Генерального конструктора заняло бы, наверное, целую страницу текста. Это, как правило, и нужно вечно гонящим «план по валу» журналистам. Но мы с вами, читатель, люди основательные, попробуем же рассмотреть личность Туполева поподробнее.

### Туполев — человек

Внешне один из величайших людей XX века не выглядел суперменом. Он говорил дребезжащим тенором, был человеком невысокого роста, мешковатым, большеголовым, большеротым. Дорога к успеху, как сейчас принято говорить, была для него извилистой и парадоксальной. Впрочем, такой была и вся жизнь в той стране. Дед Туполева по отцовской линии дослужился до высоких чинов в сибирском казачьем войске, что давало право на дворянский статус. Отец в силу буйности характера связался с «Народной Волей» (правда, без вхождения в саму организацию), был изблечён, отчислен из Петербургского университета, где в тот момент учился и выслан из столицы без права проживания в крупных городах. Туполев-старший уехал на родину своей жены, в Тверскую губернию, на берег Волги. Там молодожёны купили крохотное имение, в котором и родился авиацион-



ный гений. В последующем дворянский статус и землевладение родителей, надо думать, принесло Туполеву немало неприятных минут. Впрочем, как и «поднадзорность» отца поначалу — тоже. Подобно большинству граждан той великой страны, Генеральному конструктору было, что скрывать. Возможно, он даже вздохнул с облегчением, когда узнал, что его «вотчина» навсегда скрылась под водой Ивановского водохранилища.

В детстве и отрочестве Андрей Туполев не выказывал особых способностей и склонностей, был скорее неслухом и озорником. Семья жила в опрятной бедности, добывая хлеб в основном трудами на своём поле. Тем не менее, всем детям было дано образование, а Андрей пошёл учиться дальше — в МВТУ, старейший технический ВУЗ страны.

В авиации студент Туполев оказался, похоже, случайно: зашёл помочь расставить своему приятелю экспонаты на выставке, устроенной кружком аэронавтики.

Зашел — и остался.

Крайности тогдашнего русского бытия порождали удивительные и странные характеры. Юристы и философы «шли в народ». Дети мелких торгашей становились художниками с мировым именем. Кто-то ехал защищать буров от англичан. Кто-то в своей стране организовывал и направлял еврейские погромы.

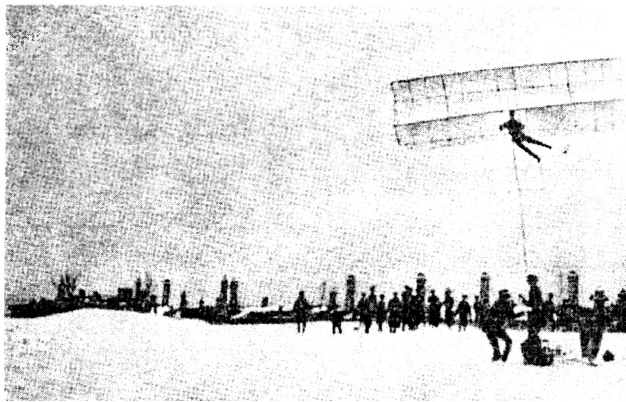
Неуклюжий мужиковатый студент был принят в кружок любителей авиации и выказал необыкновенное упорство в работе. Однако сказались и отцовские гены: молодой Туполев позволил использовать свою съёмную квартиру в качестве адреса для нелегальной переписки. Он был изблечён, отчислен из училища и выслан из Москвы. Туполев смог вернуться в МВТУ по многочисленным ходатайствам профессора Жуковского только в разгар Первой Мировой войны.

Грянула революция, кто-то из признанных уже корифеев авиации эмигрировал (как Сикорский),

*Гимназист Туполев А. шалит*







*Испытательный полет планера проводит студент Андрей Туполев*

чья-то звезда закатилась (например, забытый ныне Слесарев). Сцена освободилась для появления новых героев.

С начала 1920-х годов Туполев занимается одновременно и авиационной наукой (институт ЦАГИ — это во многом его детище), управляет производством, конструирует аэросани, самолёты, катера. Этот небольшой, уже лысоватый человек обладал безусловно бульдожьей хваткой. Только одна эпопея внедрения в производство «кольчугалюминия» (первые несколько килограммов сплава алюминия и меди были получены на опытном производстве в селе Кольчугино Владимирской губернии) достойна отдельного романа.

Впрочем — и время было такое. Вверх поднимались люди фанатичные, зубастые, безжалостные к оппонентам. У самого Туполева оппонентов с самого начала его деятельности было предостаточно. Ну чего хочет этот фантазёр? Россия — страна лесная и аграрная. Зачем нам этот дюраль? Ведь прекрасно же летают и деревянные конструкции! (Надо понимать так: мы кое-как наладили производство, даём план, получаем премии, коллектив на хорошем счету — чего ты привязался? Уйди с дороги!)

Туполев, «пробивая» производство дюралюминия, нажил себе не одного врага.

Однако надо заметить: одержимые фанатики, вроде нашего Андрея Николаевича, ломая косность и рутину, доставшиеся в наследие от старой России, одновременно закладывали фундамент того, что потом назовут «командно-административной системой». Системой, которая через несколько десятилетий снова утопит экономику в косности и рутине.

Туполев неоднократно называл главных конструкторов авиационной техники «удельными князьями» И не без оснований: в каждой «фирме» постепенно утверждалась своя, в значительной мере монархическая, система правления. Но тот

же Туполев и сам показывал примеры вполне средневековых «разборок» с конкурентами.

Пытаясь создать огромную авиационную монополию под своим руководством, в числе прочих он попробовал подчинить только что созданный коллектив Яковлева, который пока ютился по кровати мастерским. Однако молодой конструктор был и сам зубаст. Он нашёл дорожку на партийно-государственный верх. Патриарху пришлось подвинуться. С тех пор и берёт своё начало взаимная неприязнь и руководителей и коллективов двух бюро, достойная разве что Монтекки и Капулетти.

Журнал «Крылья Родины» в одном из своих номеров называет Туполева виновником закрытия (а по сути — разгрома) молодого КБ Грибовского-Ивенсена в 1930-х годах.

То есть странное, бурлящее, гротескное, противоречивое время, породив в малограмотной стране целую плеяду деятелей и творцов мирового масштаба во многих сторонах человеческой деятельности, отпечаталось в них, в своих порождениях, сделав их одинаково способными и на воспарение, и на низость.

Но вернёмся к Туполеву. Триумфы советской авиации со второй половины 20-х до конца 60-х годов прошлого века чаще всего были связаны с его именем.

Но тот же Андрей Туполев, посадив в кресло руководителя огромного объединения своего сына, безусловно, способного инженера, но выросшего, как и многие другие дети начальников, в системе «всё включено», заставил ещё раз вспомнить про феодала, стремящегося закрепить удел за своим родом.

В околоавиационном мире до сих пор ходит немало легенд о нечеловеческой прозорливости и интуиции Главного, а затем — и Генерального конструктора. Что-то здесь — правда, а что-то — нет, как и в любой мифологии. Мы не должны забывать, что все сказания о великих батырах — суть порождения среды малограмотной и инертной. Феноменальные подвиги всегда соседствуют с великим сидением на печи. И в авиационных «фирмах» во все времена была масса людей, рабавших «для галочки» или «от сих и до сих».

Туполев, по описаниям его зама и биографа Кербера, безукоризненно вёл себя во время ареста и заключения. По Льву же Разгону Туполев подпи-

сал все бессмысленные обвинения в свой адрес и заставил подписать аналогичные бумаги своих подчинённых. То есть была сделка: возможность работать, руководить и даже покрикивать на своих тюремщиков была куплена признанием того, что он, Главный конструктор и член-корреспондент Академии наук СССР — и есть главный вредитель, а его коллеги и подчинённые — вредители калибром поменьше. Тюремщики получили новые цифры раскрытых и сознавшихся врагов, а Туполев получил возможности заниматься своим делом (правда, уже в рамках «шараги»).

Страна, пребывавшая в состоянии лихорадочной подготовки к войне с более сильным противником, потеряла почти год в части перевооружения строевых частей новыми самолётами.

### Туполев — конструктор и организатор

Несмотря на то, что на производстве Андрей Николаевич заслужил своими требованиями, придирками и разносами репутацию чуть ли не Ивана Грозного, он сам старался «не отрываться от земли». Угрозы, шантаж, административные «оргвыводы» пускались им в ход только тогда, когда он считал безусловно необходимым и возможным внедрение какого-то новшества. С высоты сегодняшнего дня мы можем назвать Туполева осторожным техническим революционером.

На практике это выглядело так. Добившись всеми правдами и неправдами организации производства более или менее качественных дюралевых листов, и небольшой номенклатуры стального проката (в основном — труб), Туполев развил в своём КБ с середины 1920-х годов до 1937 года проектирование целого семейства самолётов с трубчатыми силовыми фермами и обшивкой из гофрированного листа. Если не считать «пробу пера» — опытный АНТ-1, то со следующего, совсем небольшого АНТ-2 и до гигантского по тем временам «Максима Горького» самолёты этого КБ имели и похожий внешний вид (надо заметить — довольно топорный), и одинаковое внутреннее строение. Но что это были за самолёты! Истребители, разведчики, бомбардировщики, транспортные, пассажирские, морские... Лучшие из них заметными вехами вошли в историю советской и мировой авиации и заслуживают отдельных больших исследований.

Далее в творчестве Туполева и его КБ прослеживается некий кризис и «период эклектики». В это время он пытается удовлетворить всё возрастающим требованиям к летательным аппаратам, выдвигаемым не столько даже заказчиком, сколько

мировыми тенденциями в развитии этого вида техники (а Туполев разбирался в эволюции техники, наверное, лучше всех в стране) соединением «новых» и «старых» подходов в конструировании и технологии производства.

Так появились этапные самолёты: рекордный АНТ-25, бомбардировщики ДБ-2 (более известный как «Родина»), СБ и ТБ-7, по крайней мере, два типа истребителей и прекрасная «летающая лодка», ничуть не худшая западных аналогов.

Особенно показательным «смешением стилей» проявилось в самолёте АНТ-25. Для достижения заявленной дальности полёта этот самолёт, первоначально имеющий в качестве обшивки гофрированный лист, пришлось доработать. Из специально закупленного бальзового дерева нарезали реек, подобных на оконные штапики. Рейки вложили на клею в канавки гофра, сверху закрыли полотном и отлакировали.

Именно в таком виде самолёты АНТ-25 совершили триумфальные полёты на Дальний Восток и в Америку. Однако эта машина задумывалась как дальний бомбардировщик, а оклеивать бальзой серийные бомбардировщики никто бы не позволил. АНТ-25, соответственно, вошел в историю как самолёт спортивно-рекордный.

Окончательно точки над «i» были расставлены выходом вперёд конкурентов: бомбардировщиков ДБ-3 (Ил-4) конструкции КБ Ильюшина, ДБ-А КБ Болховитинова и тяжёлого истребителя конструкции Грибовского-Ивенсена.

В результате Туполев окончательно убедился в необходимости перестройки технологии и предъявил производству новый пакет требований: внедрить штамповку, прессованные профили, расширить номенклатуру алюминиевого литья и так далее. Туполев — один из инициаторов отправки в Америку делегации для закупки лицензии на производство «Дугласа» ДС-3: у них многие вопросы уже отработаны.

Однако производство сопротивлялось, и пошла борьба, молодой конструктор Яковлев съездил в командировку в Англию и Францию. Он ознакомился там с новыми разработками, в частности, узнал кое-что об английском проекте «Москито» и выступил, в пику Туполеву (не забудем про трения между «патриархом» и начальником «кроватной мастерской») с предложением построить деревянный разведчик и бомбардировщик. Яковлев в глазах многих людей, не сильно разбирающихся в технике, но имеющих административный вес, прямо-таки обезоружил своего давнего недоб-



рожелателя. Андрей Николаевич, как сейчас принято говорить, стал «терять рейтинг». И впрямь — зачем что-то делать, внедрять, переоборудовать, если можно остаться со своим деревянным производством, а достойных показателей добиваться при помощи ухищрений по части аэродинамики?

В результате Туполеву пришлось перенести немало страданий и унижений, но именно он выдал советский ответ на вызов «Москито» — безусловно выдающийся Ту-2. Этот самолёт был сложен для советского производства того времени и был принят под большим нажимом и с зубным скрежетом. Однако именно Ту-2 далёкие от советских реалий американцы признали лучшим пикирующим бомбардировщиком в мире. В отличие от быстро сошедшего со сцены яковлевского ББ, Ту-2 во многих вариантах выпускался и стоял на вооружении до середины 50-х годов.

Туполев не изменил своему стилю осторожного новаторства и после войны. Как и в молодые свои годы, он стремился выжать максимум из известных технологий и конструктивных приёмов. Так, в авиационный фольклор вошла его нелюбовь к гидравлике, в основном — к бустерам. И опять же, как и прежде, Андрей Николаевич согласился на применение гидроусилителей только тогда, когда они были успешно опробованы у Сухого и Микояна. Можно также проследить и попытки создания «семейств» геометрически и технологически подобных машин. Это и малоизвестные теперь Ту-70 и Ту-75, последовавшие за Ту-4, копией американского Б-29. Это и Ту-104, Ту-124 и Ту-110, «выросшие» на базе бомбардировщика Ту-16. Ту-104 появился, как известно, переделкой отличного Ту-16, и получился неплохо. Уменьшенный вариант того же Ту-104, пассажирский Ту-124 тоже оставил заметный след в отечественной авиации. А вот увеличенный четырёхдвигательный Ту-110 не удался: 60-е годы прошлого века требовали уже иных технических решений.

Нельзя не сказать также, что под руководством имевшего уже почтенный возраст Туполева проводилась и разработка сверхзвукового пассажирского самолёта Ту-144, ничуть не худшего, чем англо-

американский «Конкорд». На момент создания «144»-го его технические решения были на грани, а в какой-то части — и за гранью возможностей советской промышленности. В целом, несмотря на сложность, самолёт был удачен и мог бы служить не только парадно-представительным целям, но и реально возить грузы и пассажиров. В том, что это не осуществилось, нет вины создателей.

Не менее, а может быть и более амбициозные задачи решались КБ Туполева в области военного самолётостроения. Здесь и выдающийся Ту-95, стоящий на вооружении вот уже более полувека, и сверхзвуковой Ту-22, и окружённые плотной завесой секретности тяжёлые сверхзвуковые перехватчики, и беспилотные летательные аппараты.

К портрету Туполева — конструктора и руководителя можно добавить любопытный факт по части организации процесса создания самолёта. Туполеву-руководителю были свойственны наполеоновские методы в организации конструкторской работы. Бригады, разрабатывавшие отдельные агрегаты самолёта, запирались в КБ и буквально жили там до тех пор, пока проект не был готов. Потом двери отпирались, в присутствии смежников, Главного и Генерального устраивалась защита проекта. В случае положительного решения вся компания сразу же после защиты отправлялась на банкет, где сам Андрей Николаевич был чуть ли не главным тамадой. Что подвигло Туполева на столь оригинальные методы? Может быть, собственная отсидка в «шарашке»? Кто знает...


Подведём итог. В своё время советские люди знали своих героев как идеальных людей, забронзовевших и до блеска отлакированных. Затем, когда пришла пора срывания масок и вложения перстов в раны, оказалось, что многие наши бывлые кумиры — люди не очень положительные, а временами — даже и очень отрицательные.

Но с годами бывлые герои вернулись или возвращаются на свои прежние места. Возвращаются потому, что новые времена не породили более выдающегося. Примером здесь может стать и отношение к Андрею Туполеву — инженеру и человеку.



Академик А.Н. Туполев





**Уважаемые наши читатели, авторы и сотрудники!  
Редколлегия журнала «Инженер-механик» поздравляет  
Вас с Новым 2009 годом и желает Вам всем счастья,  
здоровья, хорошего настроения и претворения в жизнь  
всех Ваших творческих замыслов.**

## **ВНИМАНИЮ АВТОРОВ**

### **ПРАВИЛА ПОДАЧИ РУКОПИСЕЙ**

Материалы для публикации в журнале «Инженер-механик» предоставляются на бумаге и в электронной форме.  
Публицистические статьи желательно дополнять иллюстрациями и фотографиями авторов.

#### **ТЕКСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА БУМАГЕ**

##### **1. Требования к оформлению статьи**

Статья должна иметь:

название;

фамилию и инициалы авторов с указанием организаций, которые они представляют (если организация одна для всех авторов, то она указывается однократно);

объем — не более шести печатных страниц.

Статья должна содержать минимальное количество формул, которые необходимо четко вписывать в отдельные строки.

Список литературы приводится в конце статьи в порядке последовательности ссылок в тексте или в алфавитном порядке в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-84. СИБИД. «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

Сведения об авторах размещаются на последней странице, где указываются Ф.И.О. (полностью), организация (без сокращений), адрес, служебный и домашний телефоны.

##### **2. Требования к оформлению текста**

Текст набирается в одну колонку, без абзацного отступа (красной строки).

Шрифт — Times New Roman, размер — 14 пт.

Межстрочный интервал — одинарный.

Между словами допускается не больше одного пробела.

Не допускается использование «мягких» переносов.

При форматировании левое поле — 2,5 см, правое — 1,5 см, снизу и сверху — 1,5 см.

Страницы должны быть пронумерованы.

Сноски и примечания размещаются в конце текста.

Ключевые положения статьи могут быть выделены курсивом или подчеркнуты.

#### **ТЕКСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЕ**

Поставляются на дискетах 3,5 дюйма стандартного форматирования IBM-совместимых компьютеров.

Текст должен быть набран в редакторе Microsoft Word for Windows 7.0 и выше, формулы в редакторе Microsoft Equation 3.0.

#### **ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА БУМАГЕ**

Рисунки выполняются в соответствии с действующими стандартами, на них должны быть обозначены только те позиции, на которые есть ссылки в рукописи. Мелкие, несущественные детали в процессе печати могут оказаться неясными. Фотоснимки должны быть четкими и контрастными, на них нельзя делать никаких надписей. Недопустимо вставлять фотографии в текст статьи при помощи текстового редактора.

#### **ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЕ**

Поставляются на дискетах 3,5 дюйма, компьютерные файлы желательно прилагается распечатка на бумаге.

Поставка в следующих форматах: BMP, PCX, EPS, PDF, TIF, WMF, XPS, ZIPP. Минимальный размер текстовых файлов — min 300 dpi.

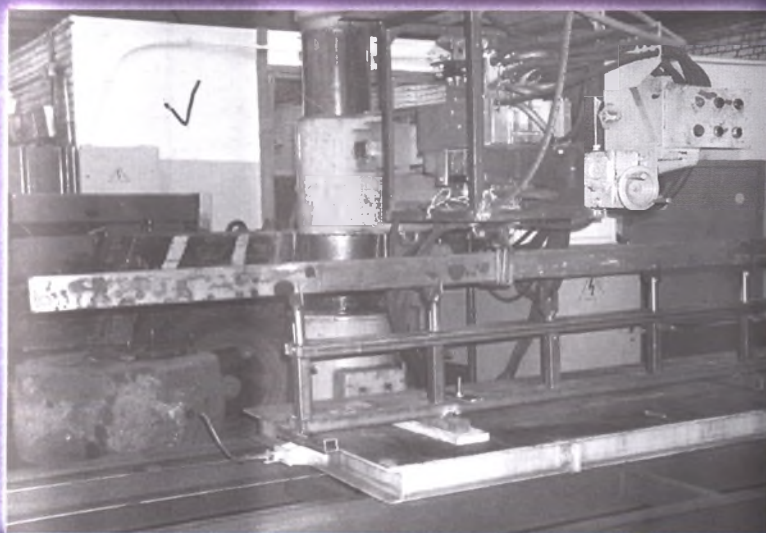
Публикации в журнале осуществляются по условиям договора между авторами и редколлекцией.

Материалы членов ОО «БОИМ» публикуются вне очереди с предоставлением им льгот.



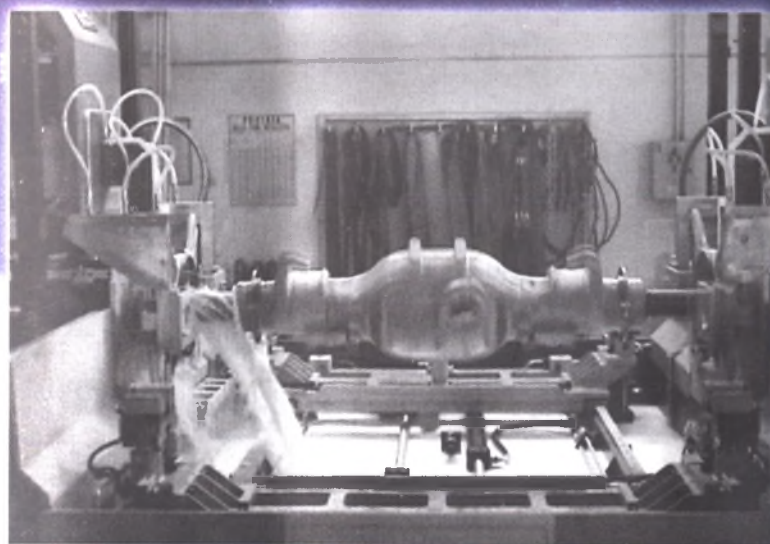
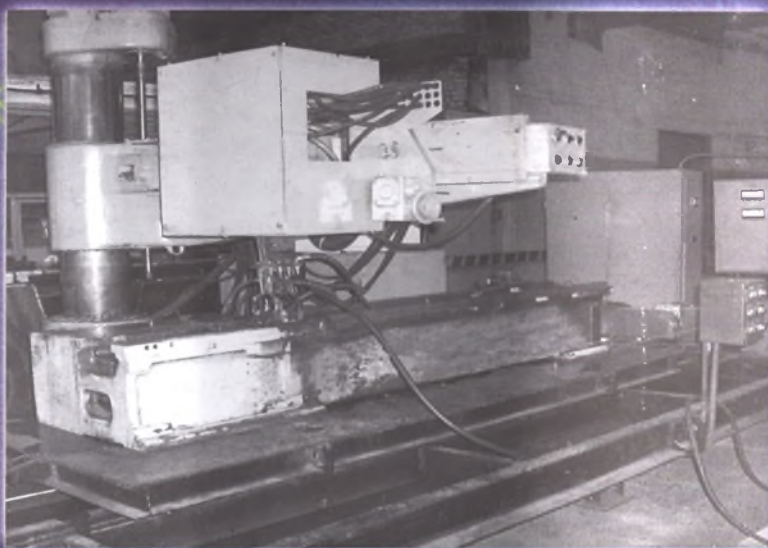


# ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ИНДУКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА РУП «МАЗ»



Установка индукционной термообработки стальных электросварных труб каркасов автобусов

Индукционная установка для закалки ТВЧ направляющих станин металлорежущих станков



Индукционная установка фирмы «Тертамасчина», Италия, для закалки картера моста автомобиля семейства МАЗ 5440