



УДК 621.74

Поступила 05.04.2013

П. С. ГУРЧЕНКО, БНТУ, А. А. ШИПКО, ОИМ НАН Беларуси

ИСТОРИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ТВЧ НА МИНСКОМ АВТОМОБИЛЬНОМ ЗАВОДЕ

Приведены данные о развитии индукционных технологий в Республике Беларусь на примере Минского автомобильного завода. Их освоение началось с конца 50-х годов на Минском тракторном заводе, а наибольшее развитие получило на Минском автомобильном заводе с 1983 по 2008 г. Даны краткие характеристики созданных на МАЗе в сотрудничестве с институтами страны энергоэффективных процессов: поверхностной закалки по контуру зубчатых колес, объемно-поверхностной закалки шестерен и сателлитов, импульсной закалки деталей сложной конфигурации, термообработки длинномерных изделий и сыпучих материалов и др.

The data on the development of induction technology in the Republic of Belarus on the example of the Minsk Automobile Plant are given. Their development began at the end of the fifties at the Minsk Tractor Plant, and the highest development has been obtained at the Minsk Automobile Plant from 1983 to 2008. The short features of energy-efficient processes created at MAZ in collaboration with country's institutions are given: surface hardening on the contour of gear wheels, a body-surface-hardened gears and satellites, the impulse hardening of complex configuration, the heat treatment of long items and bulk materials, etc.

Индукционный нагрев токами высокой частоты стальных и чугунных изделий с каждым годом занимает все более важное место в технологии современного машиностроения благодаря своим неоспоримым преимуществам. При нагреве под ковку и штамповку решающие преимущества индукционного нагрева заключаются в возможности значительного повышения скорости нагрева и отсутствии длительного периода разогрева оборудования (первые заготовки разогреваются до заданной температуры уже через 3 – 5 мин после включения оборудования без необходимости разогрева многотонной массы печей, так как нагреву подвергаются только сами обрабатываемые изделия). По этой же причине нет ограничений и потерь, связанных с жаропрочностью, жаростойкостью и теплопроводностью материалов нагревательных устройств. При индукционном нагреве благодаря высоким скоростям нагрева отсутствуют окалина и угар металла на обрабатываемых изделиях.

Поверхностная закалка при индукционном нагреве более экономична и менее трудоемка и по качеству упрочнения не уступает, а в ряде случаев и превосходит процессы печной обработки. При закалке ТВЧ вместо цементации в сотни раз сокращается длительность процесса, резко уменьшаются термические деформации, снижаются трудоемкость и стоимость упрочнения, в десятки раз сни-

жаются затраты электроэнергии, отпадает необходимость использования природного газа, минеральных масел, асбеста, жаропрочных и жароупорных материалов, устраняются выбросы в окружающую среду вредных веществ и продуктов их распада. Загрузка и выгрузка изделий в индукционных нагревателях автоматизируется и они встраиваются в автоматизированные комплексы при высокой культуре производства.

Основы использования электронагрева ТВЧ для термической обработки изделий и полуфабрикатов в СССР заложены во второй половине 30-х годов В. В. Вологдиным, М. Г. Лозинским и Г. И. Бабатом. После войны в Ленинграде был создан отраслевой институт ВНИИТВЧ, который и сейчас является крупнейшим в СНГ центром разработки и освоения индукционных технологий.

В Беларуси первым предприятием, осваивающим технологии и оборудование термической обработки с применением токов высокой частоты, был Минский тракторный завод. Уже в проектах производства трактора «Кировец» на созданном в 1946 г. МТЗ было предусмотрено применение таких технологий, а начиная с 1948 г. в термическом цехе завода приступили к закалке деталей пускового двигателя, затем дизеля и деталей трактора. С этого времени и до 1991 г. бессменным руководителем этих работ был Лев Степанович Космо-

вич, прошедший путь от мастера участка ТВЧ до начальника проектно-технологического отдела электронагрева ТВЧ, энтузиаст этого дела, кандидат технических наук. Среди других крупных специалистов по термообработке деталей ТВЧ, работавших в то время на тракторном заводе, Владимир Степанович Баранов, Виктор Иванович Прицев, Владимир Федорович Волчек, Михаил Антонович Довнар и др.

Начиная с 50-х годов номенклатура деталей, подвергавшихся термообработке ТВЧ, была значительно расширена: бортовая шестерня, ведущие звездочки, валы различных диаметров, шлицевые втулки, вилки КПП, силовые гидроцилиндры, колеччатые и распредвалы, чугунные гильзы и др. Значительное число установок ТВЧ работало в кузнечном производстве, при пайке резцов – в инструментальном производстве, при нагреве диэлектриков.

По данным Владимира Степановича Баранова, в 90-х годах более чем в 20 цехах завода работали установки ВЧ общей мощностью 20 тыс. кВт, обрабатывающие несколько сотен наименований изделий.

Работы велись при участии и поддержке ВНИИТВЧ, а также Физико-технического института АН БССР, где была создана лаборатория структурных и фазовых превращений в металлах и сплавах при быстром нагреве под руководством д-ра техн. наук, проф. (впоследствии члена-корреспондента) Михаила Николаевича Бодяко и кандидата технических наук (впоследствии директора института,

академика) Станислава Александровича Астапчика. Велось также сотрудничество с другими научными организациями республики.

На Минском автозаводе первые установки ТВЧ появились в конце 40-х годов, а в 1957 г. в структуре Центральной заводской лаборатории Управления главного металлурга МАЗа была создана лаборатория электронагрева (ЛЭН). За 55 лет своего существования в этой лаборатории выполнены научно-исследовательские и опытно-экспериментальные работы по созданию и освоению технологических процессов и специального оборудования для индукционного нагрева деталей автомобильной техники. Минский автомобильный завод стал в этой области одним из передовых предприятий не только в Республике Беларусь, но и среди машиностроительных предприятий СНГ. Ряд технологических процессов и созданных на МАЗе образцов универсального и специализированного оборудования передан на машиностроительные предприятия Беларуси, России и Украины: Минский подшипниковый завод, БелАЗ, КЗТШ, Барановичский автоагрегатный завод, «Таим» (г. Бобруйск), АЗЛК (г. Москва), Калининградский завод автомобильных агрегатов, Кременчугский автомобильный завод, Мироновский автоагрегатный завод и др. [1–3].

Первым руководителем лаборатории электронагрева (с 1957 г. по 1966 г.) был Николай Федорович Андрущенко. Мастер спорта СССР, золотой медалист VI всемирного фестиваля молодежи и студентов в Москве по прыжкам в длину. В его



Участники встречи ветеранов индукционного нагрева Минского автозавода (второй ряд, слева направо): В. Лобандиевский, В. Аношко, Н. Кондратович, М. Юринок, В. Пашкевич, М. Попова, В. Собанин, В. Быков, А. Гончарова, А. Михлюк; (первый ряд): Ф. Майсюк, С. Краснянская, Р. Васина, П. Гурченко

спортивной биографии – и XV олимпийские игры в Хельсинки, и III Всемирный фестиваль молодежи и студентов в Берлине. Спортивная закалка помогла. При внедрении новых технологий также приходилось преодолевать непонимание и опасение осторожных руководителей цехов и отделов завода. Это по инициативе и под руководством Н. Ф. Андрищенко был начат перевод на индукционный нагрев заготовок под ковку и штамповку. К 1975 г. уже сотни заготовок на МАЗе нагревали индукционно под обработку давлением.

Накануне 55-летия создания на МАЗе лаборатории индукционного электронагрева токами высокой частоты (ТВЧ) состоялась встреча ветеранов, осваивавших на протяжении многих лет технологические процессы и оборудование индукционного нагрева ТВЧ стальных деталей и полуфабрикатов.

За время существования лаборатории электронагрева в ней поменялось много сотрудников, но основная часть этого коллектива проработала многие годы или даже всю свою трудовую жизнь. К таким относятся Т. А. Воеводина, Ф. Г. Майсюк, В. Ф. Волчек, Н. Б. Кондратович, В. П. Аношко, В. М. Быков, И. В. Коленко. Необходимо отметить, что традиционно в лаборатории электронагрева во все времена царила атмосфера доброжелательности, дружбы, взаимовыручки. Работать в составе лаборатории считалось за честь.

Инженеры-энтузиасты – В. И. Михайловский, Н. Ф. Андрищенко, М. А. Попова, В. Ф. Волчек, В. М. Быков, Р. Б. Френкель в первые годы быстрыми темпами осваивали поверхностную закалку с применением индукционного нагрева деталей цилиндрической формы типа валов и осей, которых много в конструкции автомобиля. В эти годы была освоена также поверхностная индукционная закалка таких сложных и тяжелонагруженных деталей автомобиля, как поворотные кулаки и шкворни поворотного устройства передней оси автомобиля, сложнопрофильные головки и цилиндрические шейки разжимных кулаков тормозного устройства, полуоси и кожухи полуосей ведущего моста, кулаки шарниров коробки отбора мощности, наружная сферическая поверхность шаровых пальцев и внутренняя сферическая поверхность головок тяг рулевого управления и многие другие детали автомобиля МАЗ. При этом быстро развивалась технология поверхностной индукционной закалки с применением одновременного локального нагрева упрочняемых зон небольших размеров и непрерывно-последовательная закалка длинномерных деталей (например, полуосей длиной 1120 мм). Для закалки этих деталей конструкторами лаборатории разработаны и совместно с технологами,

слесарями, наладчиками и другими специалистами внедрены в производство многочисленные индукторы и универсальные индукционные установки для одновременной и непрерывно-последовательной закалки типовых деталей простой цилиндрической формы, а также специализированные установки для закалки длинномерных деталей и деталей сложной конфигурации.

Одновременно велось освоение индукционного нагрева для обработки металлов давлением. Было освоено горячее выдавливание с индукционного нагрева головок крепежных изделий типа болтов различной конфигурации, тройников и угольников для гидросистем, шаровых головок пальцев рулевого управления и многих других.

В период с 1966 по 1979 г. руководителем лаборатории электронагрева была Мария Александровна Попова. В эти годы масштабы применения индукционных технологий на заводе были серьезно расширены.

14 кузнечных индукционных нагревателей типа КИН-100 и КИН-200 с механизированной загрузкой заготовок в индуктор и автоматизированной подачей их в рабочую зону прессов и молотов были изготовлены и внедрены в кузнечном производстве МАЗа при активном участии специалистов лаборатории В. П. Князькова, Ф. Г. Майсюка, Н. Б. Кондратовича.

Большие заслуги в переоснащении кузнечного производства на индукционный нагрев вместо печного принадлежат инженеру-электрику В. П. Князькову. На протяжении 1967–1981 гг. именно он проводил настойчивую пропаганду среди производственного персонала в пользу расширения индукционного нагрева и его механизации в кузнечном производстве. Совместно с энергетиком кузнечного цеха С. И. Головной и электриком П. А. Каменко выполнял отладку и внедрение кузнечных индукционных нагревателей и их обслуживание в эксплуатации. За внедрение автоматизированных комплексов в составе индукционных нагревателей и устройств автоматизированной загрузки заготовок в индуктор, выгрузки заготовок из индуктора и подачу на рабочее место кузнеца в штамп В. П. Князьков, С. И. Головная и П. А. Каменко были удостоены премии Минского автомобильного завода. В этих линиях полностью устранен тяжелый ручной труд кузнеца-нагревальщика. Заготовки без участия кузнеца из накопительного бункера попадают во вращающееся ориентирующее устройство, где выстраиваются в непрерывную «колбасу», проходящую индуктор, а далее, нагретые до ковочной температуры, по одной цепным транспортером, подаются в штамп. И сегодня та-

кой тип загрузочного устройства является одним из самых перспективных в кузнечном производстве отечественных и зарубежных предприятий.

Заметный вклад в развитие индукционного нагрева в кузнечном производстве внес зам. начальника кузнечного корпуса Марк Леопольдович Дворкин, который во всех административных инстанциях отстаивал тенденцию перехода на индукционный нагрев вместо печного.

В 1969 г. уже 250 наименований деталей подвергались индукционному нагреву под поверхностную закалку и обработку давлением, а в 1982 г. их количество достигло 400, мощность высококачественного оборудования выросла до 10 000 кВт.

Достойный вклад в развитие технологий и создание автоматизированных устройств индукционного нагрева внес Виктор Максимович Быков. Им разработан и внедрен в производство ряд уникальных автоматизированных установок поверхностной закалки с применением индукционного нагрева: объемно-поверхностной закалки шестерен ведущего моста автомобилей МАЗ из стали НИПРА (1967 г.) и шкворней поворотного устройства из стали 45 (1973 г.), непрерывно-последовательной закалки пальцев рессоры и полуосей автомобилей МАЗ (1975 г.), одновременной закалки шаровых пальцев рулевого управления, поворотных кулаков передней оси (1976 г.). Создана конструкция универсальных одно- и двухпозиционных станков для индукционного нагрева, одновременной и непрерывно-последовательной закалки осевых деталей (1964 г.), впоследствии использованная АЗЛК в качестве базовой конструкции для серийного производства таких станков для предприятий автомобильной промышленности СССР. В. М. Быков принимал непосредственное участие и осуществлял техническое руководство при разработке установок индукционного нагрева заготовок под изготовление чизельных зубьев на Кобринском агрегатном заводе (1984 г.), малолистовых рессор на Минском рессорном заводе (1985 г.), электроконтактного нагрева пружин на КЗТШ (1982 г.), пластин и плоских заготовок на БелАЗе (1990 г.). В соавторстве им разработана и внедрена установка контурной малодеформационной закалки бортовых шестерен колесной передачи автомобилей МАЗ (1994 г.) [4], универсальная установка для регулируемой закалки деталей ШРУС на Минском подшипниковом заводе (1993 г.) и многие другие технологические устройства индукционного нагрева.

Большая роль в создании оснастки и оборудования индукционного нагрева на Минском автомобильном заводе принадлежит конструктору Валентине Фроловне Волчек, проработавшей инженером-

конструктором лаборатории электронагрева с 1958 по 1988 г. Она спроектировала большую часть набора типовых индукторов на все виды подлежащих обработке с индукционным нагревом заготовок и деталей автомобилей МАЗ.

Достойной ученицей и преемницей В. Ф. Волчек стала инженер-конструктор Татьяна Андреевна Воеводина, прибывшая на работу на МАЗ по распределению ЛЭТИ (Ленинградского электротехнического института) и проработавшая на заводе всю свою трудовую жизнь с 1975 по 2010 г. Она продолжила разработку технологической оснастки для деталей новой осваиваемой автотехники, завершила систематизацию и составление каталогов индукторов и технологических центров для индукционной закалки деталей, разработала ряд сложных технологических приспособлений. Сейчас на МАЗе более 700 наименований только типовых индукторов.

Заметный след в разработке устройств индукционного нагрева на ОАО «МАЗ» оставил Николай Сергеевич Карпушкин, проработавший в лаборатории электронагрева с 1995 по 2009 г. в должности инженера-конструктора, а затем начальника КБ. Его «карандашу» принадлежат проекты полуавтоматических станков для контурной закалки ведомых шестерен автомобилей МЗКТ и контурной закалки наружных зубьев шестерен конечной передачи трактора «Беларусь». С его участием созданы проекты индукционных установок для термообработки стальной литой дробы, объемно-поверхностной закалки шестерен и сателлитов колесной передачи, термообработки круглого проката и др.

Особая роль в лаборатории была отведена инженеру-конструктору Федору Григорьевичу Майсюку, проработавшему в лаборатории электронагрева с 1965 по 2010 г. Он был компетентным не только во всех вопросах производства, методах обработки и конструирования технологической оснастки, но и в разработке целого ряда кузнечных индукционных нагревателей кузнечного и агрегатного цехов МАЗ индукционных нагревателей Минского рессорного завода, оборудования для электроконтактного нагрева под навивку и закалку пружин на КЗТШ, установок для закалки поворотных кулаков, типовых универсальных установок индукционного нагрева, работающих на всех заводах объединения «БелавтоМАЗ» и за его пределами, и многих других видов оснастки.

Говоря о конструкторских работах, нельзя обойти и кропотливый труд по копированию тушью на кальку конструкторской документации при помощи пера, линейки и «рейсфедера». Последний инструмент помнят только ветераны. Но 20 или

даже 10 лет назад без ручного копирования чертежей тушью на кальке не могло обойтись ни одно конструкторское бюро. Выполняли эту нелегкую и к тому же низкооплачиваемую работу, как правило, женщины, обладающие не только красивым почерком, но и большим терпением и усидчивостью. Кто хоть раз пробовал копировать на кальку порой неразборчивые и еле различимые карандашные чертежи, тот знает, какого терпения и внимания эта работа требует. Поэтому сомневаемся, что кто-то может назвать хоть одного копировщика-мужчину. В разное время в лаборатории электронагрева МАЗ эту работу выполняли Светлана Краснянская, Лариса Яковчук и Нина Париш. И хотя их нелегкая работа по созданию калек чертежей была выполнена десятки лет назад, этой документацией пользуются и сегодня как производственники, так и студенты.

Сегодня в лаборатории электронагрева работают грамотные инженеры-конструкторы Александр Денисов и Александр Губашин. Незаменимые ранее в конструкторской деятельности чертежные приборы типа «Кульман» сегодня уже остались в лаборатории только в качестве музейных экспонатов. Вся разработка и тиражирование конструкторской документации выполняется на современном вычислительном оборудовании.

Трудно преувеличить роль талантливого инженера-электрика лаборатории электронагрева МАЗа Николая Брониславовича Кондратовича в развитии технологии и оборудования индукционной обработки в период с 1972 г. по настоящее время не только на Минском автомобильном заводе, но и на многих предприятиях РБ. Им разработаны, собраны, отлажены, внедрены и на протяжении многих лет поддерживаются в рабочем состоянии многочисленные системы автоматизированного управления технологическими процессами и индукционными установками на Минском автомобильном заводе, всех заводах объединения БелавтоМАЗ и многих предприятиях республики. К этому скромному, всегда старающемуся оставаться в тени людского внимания выдающемуся специалисту, часто обращались и обращаются за помощью со многих предприятий республики, когда трудно установить причину остановки оборудования и (или) отладить режимы технологического процесса индукционного нагрева.

С 1972 по 2011 г. верным помощником в части монтажа, отладки и эксплуатации технологического оборудования и технологических процессов индукционного нагрева Н. Б. Кондратовичу был слесарь-электрик Виктор Павлович Аношко, который на экспериментальном участке ТВЧ был акку-

ратным и незаменимым хозяином запчастей и комплектующих деталей.

Заметный след в истории продвижения технологии индукционного нагрева на Минском автомобильном заводе оставили инженеры Валерий Григорьевич Собанин, Владимир Федорович Пашкевич, Владимир Стефанович Пинченко, Петр Андрушкевич, Алла Владимировна Гончарова, Ольга Борисовна Куликовская, Людмила Владимировна Цедрик, Ирина Петровна Лобкис, Михаил Иосифович Юринюк, Татьяна Игоревна Казакевич. Вместе с наладчиками Владимиром Ивановичем Мухиным, Григорием Михайловичем Берегейко, Леонидом Ивановичем Иванковым, Александром Якубенко, Виктором Павловичем Аношко они выполняли отладку режимов индукционной обработки каждого типа деталей, число наименований которых по состоянию на 2000 год составляло более 700. На их долю также выпала борьба с браком, основной причиной которого были и остаются ежедневные нарушения технологической дисциплины. Постоянно приходилось также вести «стратегическую» борьбу с конструкторами за корректное назначение в чертежах требований по закалке ТВЧ и «тактическую» борьбу с технологами механической обработки при установлении причин брака по геометрическим параметрам или плохой обрабатываемости. Из-за того, что физика индукционной закалки не всем была понятна, на эту обработку пытались списать возникающие проблемы по качеству. И сегодня вопрос защиты технологии индукционной обработки от обвинения в большинстве видов брака остается актуальным. Только тщательное выполнение всех технологических операций от подготовительных до сборки позволяет обеспечить высокое качество обрабатываемых деталей.

Необходимо отметить и такое немаловажное звено в освоении оборудования и технологий индукционного нагрева, как экспериментальная лаборатория ЦЗЛ УГМет. Ведь с самого основания лаборатории электронагрева и на протяжении многих лет все экспериментальные и в дальнейшем рабочие экземпляры индукционных установок и технологической оснастки изготавливали именно слесари, токари, фрезеровщики, сварщики этой лаборатории. Учитывая специфику этого производства, такую работу могут выполнять только высококвалифицированные специалисты. Среди наиболее заслуженных, опытных, долго проработавших в экспериментальной лаборатории ЦЗЛ УГМет и внесших заметный вклад в развитие технологий индукционного нагрева необходимо отметить Анатолия Матвеевича Мазуркевича (1968–1995 гг.),

Алексея Степановича Вараксу (1967–2002 гг.), Николая Никитича Брагинца (1968–1985 гг.), Александра Михайловича Шарахова (1970–2010 гг.), Владимира Иосифовича Городецкого (1980–2010 гг.), Алексея Викторовича Виноградова (1992–2012 гг.), а также работающих ныне Ивана Александровича Яроша (с 1974 г.), Виктора Иосифовича Петровича (с 1985 г.), Дениса Иосифовича Королева (с 1994 г.). Организатором и первым руководителем этой лаборатории на протяжении многих лет с 1958 по 1988 г. был Рудим Борисович Френкель. Наряду с руководством этой лабораторией на нем лежали обязанности главного энергетика, главного механика, главного пожарника и других должностных лиц, обеспечивающих ежедневное функционирование всех зданий и сооружений лабораторного корпуса, всего лабораторного и бытового оборудования с размещенными в нем службами главного металлурга, главного метролога, центральной технологической лаборатории, ЦЗЛ лакокрасочных покрытий. Впоследствии должностные обязанности начальника экспериментальной лаборатории и «главного обеспечителя жизнедеятельности корпуса» были разделены. На протяжении 15 лет с 1996 по 2011 г. функции «главного ответственного по всем вопросам» исполнял Владимир Степанович Варивоцкий. Начальником экспериментальной лаборатории с 1996 г. по настоящее время работает Вадим Казимирович Римашевский. С 2012 г. в связи с проводимыми на заводе реструктуризацией и сокращением численности функции «главного» опять возложены на начальника экспериментальной лаборатории.

Огромная роль в развитии технологии индукционного нагрева на ОАО «МАЗ» принадлежит специалистам производственных цехов, которые принимали активное участие в освоении новых технологий и обеспечивали содержание технологического оборудования, каждодневное соблюдение технологической дисциплины и высокое качество выпускаемой продукции. Особое место среди них занимают старший мастер участка ТВЧ термического цеха Николай Захарович Мартынович и технолог Галина Петровна Хомич, проработавшие по использованию индукционного нагрева всю свою производственную жизнь. Бесценно проработали также наладчики ТВЧ Казимир Францевич Буйко, Владимир Круталевич, электрики Сергей Моисеевич Кресик, Владимир Петрович Тяпко, Антон Михайлович Константинович.

С 1983 по 2008 г. работы по созданию и внедрению технологий индукционного нагрева возглавил П. С. Гурченко.

В этот период на ОАО «МАЗ» наряду с расширением объема применения индукционного нагрева традиционных изделий простой формы началось создание и освоение наукоемких технологических процессов и оборудования для индукционной обработки заготовок и деталей сложной конфигурации, а также новых технологических процессов. Конструкторами лаборатории электронагрева МАЗа В. М. Быковым, В. Ф. Волчек, Ф. Г. Майсюком, Н. Б. Кондратовичем, А. И. Михлюком, Н. С. Карпушкиным разработан и внедрен при участии технологов В. М. Собанина, В. С. Пинченкова, В. Ф. Пашкевича, А. В. Гончаровой, наладчиков В. И. Мухина, Г. М. Берегейко, А. М. Якубенко, В. П. Аношко, Л. И. Иванкова и других ряд уникальных установок и технологических процессов индукционного нагрева. В их числе установки для нагрева заготовок под прокатку листов малолистовой рессоры и нагрева концов рессорных листов под завивку, внедренные на Минском рессорном заводе; чизельных зубьев длиной более 3 м, внедренная на Кобринском заводе автомобильных агрегатов; под завивку валов стабилизатора в кузнечном цехе МАЗа; пластин и плоских цилиндрических заготовок под обработку давлением, внедренные на БелАЗе; для отжига сварных швов штамповочных картеров, внедренная на КЗТШ в г. Жодино, и др. Более двух десятков разработок запатентовано в Республике Беларусь, Российской Федерации и Украине в качестве изобретений и полезных моделей. Ниже приводится краткая характеристика некоторых работ этого периода.

В 1986 г. созданы и внедрены технологический процесс и оборудование для скоростной нитроцементации при индукционном нагреве пальцев рессоры и пальцев реактивной штанги автомобилей МАЗ (рис.1). Длительность цикла упрочнения сокращена с 6 ч до 3 мин. Созданный технологический процесс и оборудование защищены авторскими свидетельствами [4–6]. Внедрение процесса позволило увеличить срок службы указанных деталей в 1,6–2,5 раза. Подтвержденный Министерством автомобильной промышленности СССР экономический эффект от использования технологии составил более 4,8 млн. у. е. за 1986–1991 гг. Технология использовалась на РУП «МАЗ» с 1986 по 1998 г.

Поверхностная закалка ведомых шестерен колесной передачи автомобилей по контуру зубчатой поверхности при его нагреве под слоем воды разработана на ОАО «МАЗ» [7, 8] и применяется с 1995 г. по настоящее время (рис. 2), экономя ежегодно энергетических и материальных ресурсов более чем на 1 млн. у. е. При этом сталь 20ХНЗА,

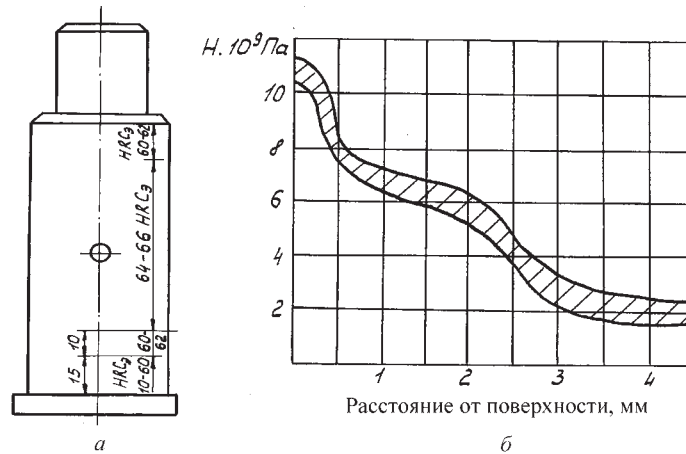


Рис. 1. Распределение твердости на поверхности (а) и в сечении (б) пальцев реактивной штанги автомобилей МАЗ после упрочнения скоростной нитроцементацией

требуемая цементации с последующей закалкой и отпуском, заменена на сталь 40X. Для стали 40X достигнута твердость 59–62 HRC при толщине упрочненного слоя 1,5–2,0 мм. По сравнению с ХТО созданная технология позволила более чем в 300 раз сократить длительность упрочнения (4 мин вместо 1 сут). Снижена в 2,5 раза стоимость стали для изготовления шестерен, в 11 раз сокращено потребление электроэнергии.

Особенностью технологии является то, что нагреву под слоем проточной воды подвергают узкую полоску шириной около 3 мм, расположенную вдоль вершины зуба. Эта полоса нагрева непрерывно перемещается от вершины зуба к его впадине и далее к вершине соседнего зуба. Скорость перемещения

изменяют от наибольшей на вершине до наименьшей на впадине, что обеспечивает получение равномерной толщины закаленного слоя на вершинах и впадинах зубьев. Благодаря тому что нагреву не подвергается даже сердцевина зуба, термические деформации при закалке полностью отсутствуют.

В связи с невозможностью измерения температуры в зоне обработки термокинетические параметры определяли методом математического моделирования по разработанной модели, основанной на методе конечных элементов. Установлено, что скорость нагрева при индукционной закалке достигает 10 000 °C/c, а охлаждения – 6000 °C/c

За создание и освоение технологии и оборудования бездеформационной контурной закалки ше-

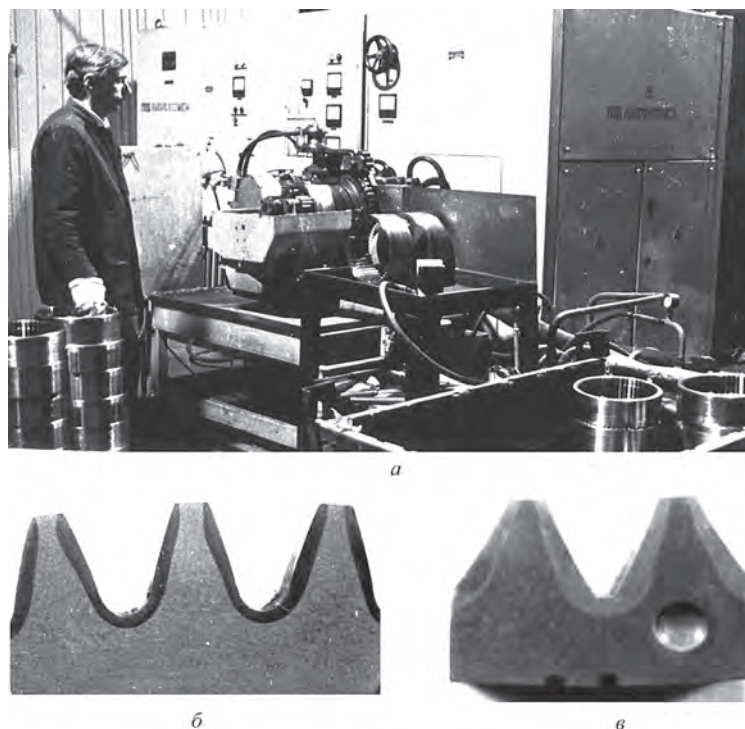


Рис. 2. Установка контурной закалки шестерен МАЗ под слоем воды (а); расположение закаленного слоя в сечении зубьев шестерен конечной передачи трактора МТЗ (б); ведомой шестерни автомобиля МАЗ (в)

стерен колесной передачи автомобилей МАЗ творческий коллектив специалистов МАЗ (П. С. Гурченко, В. М. Быков, А. П. Ракомсин, Г. Г. Антюфриева, Н. С. Карпушкин) удостоен Первой премии Министерства промышленности Республики Беларусь за 1995 год.

Объемно-поверхностная закатка (ОПЗ) внедрена для шестерен (2005 г.) и сателлитов (2007 г.) колесной передачи ведущих мостов автомобилей. Научно-исследовательские работы по определению оптимальных режимов закалки и исследованию структуры и сравнительной износостойкости шестерен, изготовленных из сталей 60ПП и У8А, выполнены совместно с ОИМ НАН Беларуси в рамках государственного задания (1998–2002 гг.) [9].

При внедрении в 2005 г. в промышленном масштабе разработанной технологии на ОАО «МАЗ» по сравнению с цементацией в 360 раз сокращена длительность упрочнения (4 мин вместо 1 сут), в 11,5 раз сокращено потребление электроэнергии, в 2,4 раза снижена стоимость применяемой стали.

За создание и освоение технологии и оборудования объемно-поверхностной закалки при индукционном нагреве шестерен и сателлитов ведущего моста автомобилей МАЗ творческий коллектив специалистов МАЗ (В. П. Белькевич, П. С. Гурченко, А. И. Михлюк, В. Е. Летунович, М. К. Манько, В. И. Коленко) удостоен премии Министерства про-

мышленности Республики Беларусь за 2006 год. Оборудование и технология для объемно-поверхностной закалки шестерен защищены патентами РБ на изобретение и полезные модели [10–12].

В настоящее время в термическом цехе МАЗа на стадии отладки находится оборудование собственной конструкции и изготовления для объемно-поверхностной закалки шестерен главной передачи ведущего моста автомобилей (рис. 3). Эксплуатационные испытания самосвалов с 2001 по 2009 г. при наработке свыше 500 тыс. км в условиях вывозки грунта из карьеров показали высокую работоспособность шестерен, упрочненных по методу ОПЗ. Внедрение этой технологии позволяет отказаться от закупки импортного специализированного оборудования для термической и химико-термической обработки и снизить себестоимость изготовления шестерен более чем на 30% при сокращении потребления энергоресурсов на операциях термообработки в 10–12 раз и отказе от использования природного газа, минерального масла и жароупорных материалов.

На ОАО «МАЗ» создана и освоена технология импульсной закалки изделий сложной конфигурации (рис. 4) типа кулаков поворотных с выходом зоны закалки на галтель и внутренней шлицевой поверхности ступицы водила колесной передачи [13]. Импульсное охлаждение позволило сократить



Рис. 3. Участок ТВЧ для объемно-поверхностной закалки шестерен колесной передачи автомобиля и расположение закаленной зоны в сечении зубьев



Рис. 4. Детали автомобиля МАЗ, подвергаемые импульсной закалке с целью устранения закалочных трещин и уменьшения деформаций: а – ступица водила колесной передачи; б – цапфа

термические деформации и избежать образования закалочных трещин.

В результате исследований установлено, что кратковременные паузы в процессе интенсивного охлаждения водяным спрейером при жестком регулировании давления, расхода и длительности импульсов охлаждения и перерывов между ними обеспечивают отсутствие трещин и деформаций. При этом реализовано комбинированное упрочнение одной нагретой детали по двум видам закалки. В поверхностном слое упрочняемой зоны происходит закалка с самоотпуском на твердость 47–50 HRC, а в слоях, расположенных на расстоянии 0,5–1 мм, происходит ступенчатая закалка на твердость 50–52 HRC. Использование технологии прерывистой закалки при индукционном нагреве для шлицевых деталей и поворотных кулаков полностью исключило образование термических трещин (рис. 5).

Интерес представляют созданные на МАЗе и запатентованные в РБ, Украине и РФ [14–17] способ и оборудование термообработки ТВЧ сыпучих металлических материалов, которые внедрены в 2003 г. для литой дроби в сталелитейном цехе № 2 МАЗ. По экономичности энергоресурсов и скорости обработки (4–7 мин) созданная технология превосходит известные отечественные и зарубежные аналоги. Производительность одной установки термической обработки дроби при индукционном нагреве составляет 1 т/ч.

Совместно с Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси исследованы структура и свойства дроби, закаленной из расплава и подвергнутой термической обработке при индукционном нагреве (рис. 6). В литом состоянии до термической обработки установлено дендритное строение гранул дроби в виде удлиненных кристаллов диаметром 13–40 мкм. Твердость дроби в литом состоянии 600–900 НВ.

После термической обработки дробь имеет троостомартенситную структуру твердостью 350–550 НВ, по границам зерна мартенсит имеет значительную степень аморфизации. Стойкость термо-

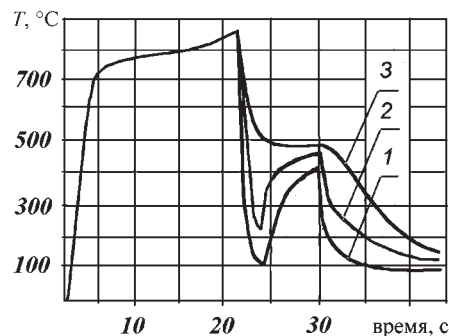


Рис. 5. Расчетные графики индукционного нагрева и прерывистого охлаждения для вершины и впадины шлицевой поверхности: наружный диаметр – 65 мм, высота шлица – 10 мм, толщина шлица – 5 мм, нагрев 23 с до 900 °С на частоте 8 кГц; 1 – температура вершины шлица; 2 – температура впадины; 3 – на расстоянии 10 мм от поверхности впадины

обработанной дроби возросла в 3 раза. Экономический эффект на ОАО «МАЗ» за счет повышения циклической стойкости дроби составил 1,97 млрд. бел. руб. в год в ценах 2003 г.

На ОАО «МАЗ» в 2005–2007 гг. создан комплекс технологического оборудования для брикетирования металлической стружки с термоочисткой ТВЧ (рис. 7). Способ брикетирования запатентован в качестве изобретения в РБ [18, 19]. Производительность комплекса от 0,6 до 0,8 т/ч, что при 3-сменном режиме работы составляет от 12 до 16 т перерабатываемой стружки в сутки.

В 2008 г. на МАЗе внедрена линия термообработки ТВЧ проката под изготовление крепежных изделий (рис. 8), что позволило предотвратить образование окалины и обезуглероженного слоя, обеспечить высокую прочность крепежных изделий. Линия термообработки предназначена для нормализации круглого проката диаметром 14–28 мм. Производительность 0,6–1,1 т/ч. Через многовитковую индуктор прутки длиной 6 м перемещаются со скоростью 30–150 мм/с. На входе в индуктор происходит быстрый нагрев поверхности заготовки, а последующими витками индуктора производится поддержание необходимой температуры для равномерного прогрева по сечению. Скорость пе-

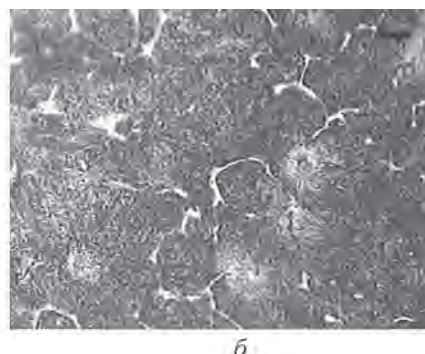
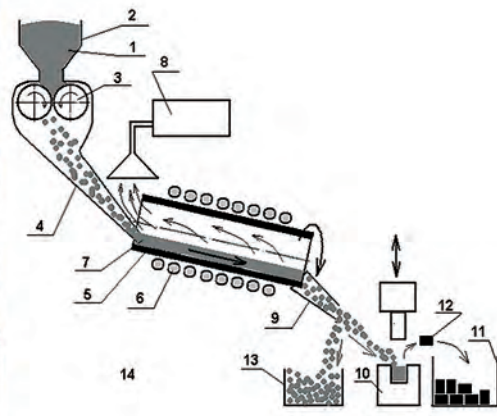


Рис. 6. Структура стальной литой дроби до термообработки (а); после термообработки (б). а – $\times 125$; б – $\times 500$



а



б

Рис. 7. Комплекс технологического оборудования для брикетирования металлической стружки с термоочисткой ТВЧ (а); схема установки брикетирования стружки с применением термоочистки при индукционном нагреве (б)

ремещения заготовки плавно регулируется в необходимых пределах. Нагрев осуществляют до температуры 780–860 °С.

Эстафету руководства лабораторией электронагрева на МАЗе в 1996 г. принял Анатолий Игнатьевич Михлюк, прошедший школу индукционной обработки на МАЗе в качестве инженера-конструктора и начальника экспериментальной лаборатории ЦЗЛ УГМет и принимавший активное участие в разработке, изготовлении и внедрении всех устройств и установок обработки изделий с применением индукционного нагрева в период с 1980 по 2012 г. А. И. Михлюк является ближайшим соратником и соавтором П. С. Гурченко при разработке и внедрении большинства изобретений и полезных моделей, созданных на ОАО «МАЗ» в области индукционного нагрева в период с 1984 по 2012 г.

В 2005–2008 гг. на ОАО «МАЗ» выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по термической обработке стальных прямоугольных труб каркасов автобусов. Внешний

вид созданной линии термической обработки стальных прямоугольных труб каркасов автобусов показан на рис. 9.

Необходимость термической обработки труб была вызвана хрупким разрушением сварных конструкций каркасов автобусов, которые наступали уже в процессе его сборки и в дальнейшем возникали в процессе эксплуатации автобусов и приводили к преждевременному выходу из строя. Вид хрупкого разрушения каркаса автобуса в зоне сварки показан на рис. 10.

Выполненными на МАЗе исследованиями было установлено, что предположительными причинами хрупкого разрушения являются наличие свободного цементита в структуре труб в состоянии поставки, завышенная твердость и повышенные напряжения в зонегиба ребер труб, возникающих при их изготовлении. Установлено, что индукционный нагрев до температуры 780–8000 °С позволяет устранить структурно-свободный цементит, что также повышает пластичность материала. Распределение твердости по сечению трубы до и по-



Рис. 8. Линия индукционной термообработки проката под изготовление крепежных изделий



Рис. 9. Линия МАЗ термической обработки труб каркасов автобусов с применением индукционного нагрева

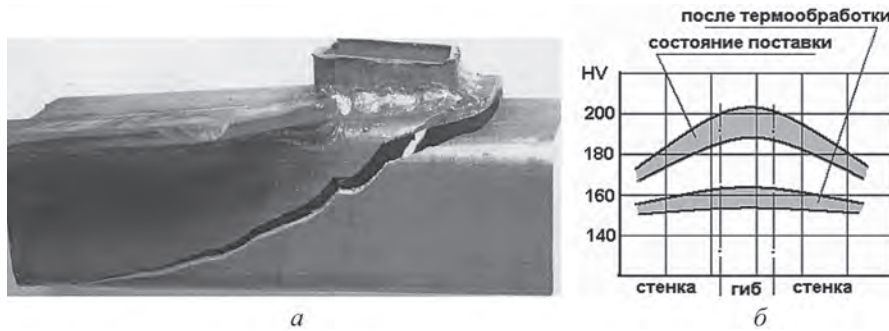


Рис. 10. Вид хрупкого разрушения каркасов автобуса в зоне сварки (а) и распределение твердости в сечении труб в состоянии поставки и после термической обработки с применением индукционного нагрева (б)



Рис. 11. Установка для поверхностной заковки с индукционным нагревом длинномерных изделий

сле индукционной термообработки показано на рис. 10, б. Внедрение технологии индукционной термообработки труб каркасов автобусов позволило полностью исключить появление трещин как в процессе сборки, так и в процессе эксплуатации. Конструкция линии для термообработки труб защищена патентом РБ на полезную модель [20].

В 1998–2001 гг. на ОАО «МАЗ» спроектирована, изготовлена, внедрена и используется до настоящего времени индукционная установка для поверхностной заковки с индукционным нагревом длинномерных изделий (рис. 11). Установка используется для заковки направляющих станин ме-

таллорежущих станков длиной до 6 м в процессе их ремонта. Она создана на базе стандартного строгального станка путем установки на него в качестве инструмента закалочного трансформатора и присоединенного к нему индуктора для непрерывно-последовательной заковки.

Ряд исследований выполняются на ОАО «МАЗ» в рамках научно-технического сотрудничества с учеными институтов ОИМ, ФТИ, ИПФ НАН Беларуси, а также с БНТУ и БГУИР.

В 1998–2002 гг. совместно с ИТМО НАН Беларуси созданы теоретические основы, экспериментальная и производственная установки для управляемой заковки водовоздушной смесью штампового инструмента [21]. Технология и оборудование были внедрены в производство в условиях кузнечно-термического цеха инструментально-штампового производства ОАО «МАЗ». Внедрение установки позволило повысить срок службы штампового инструмента при одновременном снижении энергозатрат при его термической обработке. Общий вид и функциональная схема установки водовоздушной заковки штампов показаны на рис. 12.

Усовершенствованная конструкция установки водовоздушной заковки штампов внедрена и успешно используется с 2000 г. на Минском заводе специального инструмента и технологической оснастки

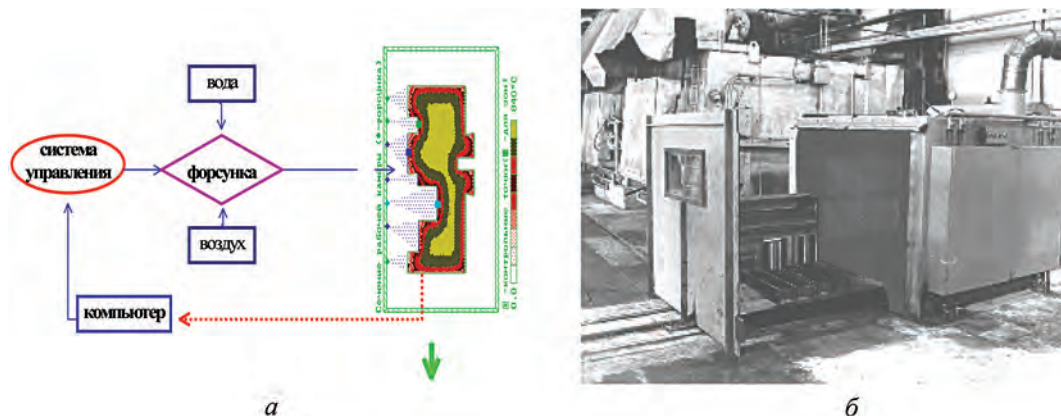


Рис. 12. Функциональная схема (а) и производственная установка МАЗ (б) управляемой заковки штампов водовоздушной смесью

«СииТО», входящего в состав ПО «МТЗ и с 2001 г. на кузнечном заводе ОАО «Курганмашзавод». Использование созданной технологии позволило снять операции печного отпуска всего штампа и местного отпуска хвостовика на газовой щелевой печи. Применение технологии обеспечило экономию минерального масла, природного газа, электроэнергии, увеличение срока службы штампов.

В 1998–2005 гг. специалисты ОАО «МАЗ» совместно с БГУИР принимали участие в создании теоретических основ и выполнении опытных работ по созданию и верификации программного комплекса моделирования процессов закалки с применением индукционного нагрева деталей автомобильной техники.

Мероприятия по расширению области применения индукционного нагрева на Минском автомобильном заводе и все мероприятия по пропаганде этой технологии в период с 1995 по 2008 г. активно поддерживались администрацией МАЗ: генеральными директорами Г. А. Исаевичем и В. А. Гуриновичем, техническим директором А. П. Ракомсиным, главным инженером И. С. Гаухштейном, зам. технического директора М. И. Деминым.

Помимо участия в различных международных научных конференциях и семинарах, проводимых НИИ и вузами республики, на базе Минского автомобильного завода в 1999, 2002, 2005 и 2008 гг. для повышения квалификации научных и производственных кадров машиностроительных предприятий и учебных заведений республики совместно с БНТУ и НАН Беларуси проведены международные научно-технические конференции по тематике «Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях». На конференциях присутствовали ведущие специалисты республики и СНГ в области термической обработки и индукционного нагрева, включая мировых лидеров в области индукционного нагрева – генерального директора ВНИИТВЧ Ф. В. Безменова, директора ВНИИТВЧ В. Н. Иванова, профессора ЛЭТИ (Ленинградского электротехнического института) В. Б. Демидовича и создателя теории объемно-поверхностной закалки и сталей пониженной прокаливаемости К. З. Шепеляковского В проведении конференций принял активное участие академик НАН Беларуси С. А. Астапчик.

В своей научной деятельности специалисты индукционного нагрева Минского автомобильного завода всегда поддерживали тесное сотрудничество с учеными НАН Беларуси, БНТУ и ведущими специалистами Министерства промышленности Республики Беларусь.

На 1995–2008 гг. приходится и наибольшая активность работников ОАО «МАЗ» в научной деятельности. В эти годы работниками завода подготовлено и защищено ряд диссертаций, посвященных проблемам термической обработки с применением индукционного нагрева. Это докторская диссертация начальника ЦЗЛ МАЗ П. С. Гурченко (1999 г.) и кандидатские диссертации главного инженера МАЗ И. С. Гаухштейна (2003 г.), зам. начальника ЦЗЛ А. И. Михлюка (2004 г.), зам. технического директора М. И. Демина (2005 г.). Опубликовано более 230 научных работ. Получено 28 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели.

Нельзя не отметить, что теоретические основы скоростного индукционного нагрева были заложены еще в сороковых-семидесятих годах уральской, московской, ленинградской и нашей отечественной школами термистов.

В Физико-техническом институте Академии наук БССР с 1965 г. работает лаборатория структурных превращений в сталях и сплавах при быстром нагреве. Коллективом этой лаборатории создано собственное оборудование для исследований, позволившее проводить эксперименты по скоростному нагреву сталей, титановых сплавов, бронз и других материалов, получать новые данные по влиянию превращений в сталях и сплавах на их свойства [22–24].

Установленные особенности протекания рекристаллизационных процессов, изменений в зеренной структуре сталей и сплавов, внутризеренного строения, окисления поверхностных слоев при быстром нагреве, диффузионных процессов легли в основу создания будущих технологий индукционного нагрева.

Серьезным достижением в деле развития индукционных технологий является создание в Физико-техническом институте НАН Беларуси оборудования закалки с индукционного нагрева плоских элементов бронезилетов. Авторы этих работ – Анатолий Илларионович Гордиенко, Виктор Викторович Ивашко, Александр Семенович Дымовский. Совместно с отраслевым московским институтом НИИ стали были изготовлены армейские жилеты, спасавшие жизнь наших ребят в боевых действиях в Афганистане. Сейчас в институт налажено производство бронезилетов различного типа, а также получили развитие работы по броневым элементам военной техники.

Необходимо отметить, что наряду с выполнением научно-исследовательских и внедренческих работ в период с 1999 по 2009 г. на ОАО «МАЗ» выполнены существенные работы по налажива-

нию учебного процесса по подготовке и переподготовке специалистов в области термической обработки. С 1999 г. на базе ЦЗЛ УГМет ОАО «МАЗ» налажено выполнение учебного процесса в виде прохождения всех видов практик, выполнения курсовых и дипломных проектов, лабораторных работ. В 2000 г. на базе ЦЗЛ УГМет МАЗа организована совместная с механико-технологическим факультетом БНТУ научно-учебно-производственная лаборатория материаловедения, в которой было отлажено проведение всех видов учебной работы со студентами, включая чтение лекций, проведение практических занятий и др. В 2008 г. лаборатория трансформирована в филиал кафедры «Материаловедение в машиностроении» механико-технологического факультета Белорусского национального технического университета на базе Управления лабораторных и исследовательских работ ОАО «МАЗ».

Начиная с 2008 г. к руководству лабораторией электронагрева пришли молодые специалисты нового поколения – Андрей Александрович Солонович (2008–2011 гг.), Евгений Петрович Бабук (2011–2012 гг.), Георгий Викторович Борткевич.

Достижения лаборатории индукционного нагрева МАЗа, результаты совместных работ оказались особенно актуальными после принятия Программы технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2007–2010 гг., утвержденной Советом Министров Республики Беларусь в 2007 г. (постановление от 31.10.2007 г. № 1421). В Программе отмечено, что в суммарном потреблении теплоэнергетических ресурсов предприятиями Министерства промышленности Республики Беларусь термические производства составляют 10%. Оборудование в термическом производстве в большинстве своем физически и морально устарело, его КПД не превышает 10%, а это значит, что 90% энергоресурсов выбрасывается «в трубу». В то же время хорошей альтернативой печному нагреву, в том числе с точки зрения экономии газа и электроэнергии, является индукционный нагрев. В новой редакции Программы на 2010–2015 гг. имеется около 30 заданий таким заводам, как МАЗ, Гомсельмаш, МТЗ, МЗКТ, Бобруйский завод тракторных деталей и агрегатов и другим по внедрению индукционного оборудования (перевод нагрева поковок на индукционный нагрев, замена преобразователей частоты на тиристорные, внедрение установок для термообработки).

Широкое распространение таких технологий на другие предприятия Республики Беларусь сдерживается отсутствием у них современных генераторов индукционного нагрева. Проведенный Физико-

техническим институтом НАН Беларуси в рамках Государственной программы научных исследований «Металлургия» (головная организация – Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси) мониторинг наличия, технического состояния и применения оборудования индукционного нагрева на 60 предприятиях Республики Беларусь показал, что в наличии находится и используется около 500 высокочастотных преобразователей. Причем около 50% из них машинные генераторы, 38% – ламповые, 10% – тиристорные и только 3% транзисторные генераторы. При этом 70% эксплуатируемых генераторов имеют 100%-ный износ, 20% – износ более 50% и 10% – износ менее 50%.

Следует отметить, что эксплуатируемые в настоящее время установки индукционного нагрева в основном российского производства. Вместе с тем, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработаны и изготовлены полупроводниковые (транзисторные) генераторы для замены электромашинных преобразователей в оборудовании индукционного нагрева и термообработки сталей и сплавов. Выпущено около 30 преобразователей. Учитывая низкий КПД электромашинных генераторов (на уровне 70–75%) и высокий КПД транзисторных генераторов (не менее 92%), экономия электроэнергии на одной электротермической установке мощностью 250 кВт при двухсменной работе составляет до 16 500 кВт·ч/год. Начиная с 2010 г., работами по созданию преобразователей занялся также Физико-технический институт НАН Беларуси.

Созданный в 2011 г. в Физико-техническом институте НАН Беларуси Научно-исследовательский центр «Индукционных технологий и проблем термической обработки» специализируется на разработке и изготовлении высокочастотных генераторов в модульном исполнении с частотой от 2,4 до 66 кГц и мощностью до 250 кВт, автоматизированных установок индукционного нагрева для термообработки и нагрева под деформацию металлов и сплавов, вспомогательного оборудования, систем управления индукционным термическим оборудованием на базе современных промышленных контроллеров, сертификации, монтаже и наладке оборудования индукционного нагрева. В настоящее время Физико-технический институт НАН Беларуси и Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси выполняют проект по созданию комплекса автоматизированного оборудования для замены газовой печи для нагрева заготовок под последующую деформацию в кузнечном цехе ОАО «МАЗ». Техно-экономические расчеты показали, что замена газового нагрева на индукционный обе-

спечивает повышение КПД нагрева с 30–40% (КПД печи) до 95–97% (КПД комплекса), снижение расхода энергоносителей в 3,8 раза. Кроме того, будет достигнуто повышение качества нагрева за счет исключения обезуглероживания и угара металла. Полная автоматизация технологии нагрева и подачи заготовок позволяет увеличить производительность труда не менее чем на 20%. Окупаемость комплекса оборудования составит около 3 лет. В 2013 г. запланирован запуск комплекса на ОАО «МАЗ» с объемом выпуска деталей до 400 000 в год. В настоящий момент в связи с полной модернизацией кузнечного цеха ОАО «МАЗ» имеется потребность в изготовлении четырех подобных комплексов. Заинтересованность во внедрении данных комплексов выражают также РУП «МТЗ» и ПО «Гомсельмаш».

Второй проект предусматривает создание комплексной автоматизированной установки для поверхностной закалки и отпуска деталей в термическом цехе ОАО «МАЗ». Установка будет выполнена на современной элементной базе (транзисторные модули взамен машинных генераторов). Экономия электроэнергии при внедрении составит до 20 000 кВт/ч в год за счет высокого КПД установки (97%) по сравнению с машинным генератором (60–70%), а также исключения потребления на холостом ходу. Срок окупаемости установки 2,5–3 года. В 2013 г. по данной технологии будет выпускаться около 140 000 деталей в год на сумму около 40 млн. долларов. Интерес во внедрении подобных установок выразили более 20 предприятий Министерства промышленности (ОАО «МАЗ», РУП «МТЗ», ПО «Гомсельмаш», ОАО «МЗОР», СИТОМО, ОАО «Гидромаш» и др.).

Еще в 2007 г. руководством Минского автомобильного завода было принято решение о готовности по заявкам предприятий разрабатывать и изготавливать оборудование индукционного нагрева для:

- методического или поштучного (локального или полного) нагрева цилиндрических заготовок диаметром 12–150 мм и плоских заготовок длиной до 2200 мм для обработки давлением (ковка, штамповка, высадка, гибка, завивка);
- электроконтактного нагрева под гибку, навивку и закалку заготовок пружин из стали диаметром 10–18 мм;
- поверхностной индукционной закалки цилиндрических (наружных и внутренних), плоских, сферических, шлицевых, зубчатых и фасонных поверхностей деталей размерами от 5 до 2500 мм;
- объемно-поверхностной закалки деталей из сталей пониженной прокаливаемости в свободном состоянии и штампах;

- термической индукционной обработки длинномерного проката (пруток, трубы диаметром 16–38 мм, прямоугольные трубы с размером грани до 120 мм и др.);

- термической индукционной обработки сыпучих металлических материалов (металлическая дробь, стружка и др.) производительностью до 1,2 т/ч;

- индукторов для нагрева и закалки ТВЧ изделий всех типов (имеется каталог разработанных индукторов более 3200 типоразмеров) для нагрева, закалки, пайки, плавки и других термических операций.

Вместе с тем, в большинстве случаев предприятия страны при техническом переоснащении ориентируются на закупки установок и генераторов ТВЧ за рубежом. Так, например, по данным Физико-технического института НАН Беларуси, для модернизации термических производств ежегодно в республике закупается 30–40 генераторов стоимостью по 30 000 и более долларов. Также закупаются комплексы индукционного нагрева, стоимость которых составляет от 250 тыс. до 1 млн. долларов. Создание в республике специализированного производства позволило бы удовлетворить потребность предприятий и ежегодно экономить средства на сумму не менее 3–5 млн. долл. Подобное оборудование востребовано на внешних рынках, в том числе, и на совместных производствах, создаваемых в Индии, Вьетнаме, странах южной Америки, Казахстане, Туркменистане и др. [25].

В ближайшие годы в части внедрения ТВЧ необходимо:

- заменить парк устаревших энергозатратных машинных преобразователей частоты (КПД 60–70%) на современные тиристорные и транзисторные (КПД 90–95%);

- обеспечить автоматизированный контроль, регулирование и документирование технологических параметров для получения заданных параметров закалки (мелкодисперсной структуры, заданной толщины закаленного слоя, необходимой твердости на поверхности и по сечению);

- перейти к упрочнению с использованием индукционного нагрева ранее не упрочняемых крупногабаритных несущих конструкций автомобильной и сельскохозяйственной техники, например, каркасов автобусов, лонжеронов автомобилей и других, что позволит снизить массу изделий и расход металла, а также повысить эксплуатационные характеристики таких конструкций (усталостной прочности, износостойкости и др.);

- осуществить замену сложнолегируемых сталей (типа 20ХН3А, 20Х2Н4А), подвергаемых ХТО на углеродистые (типа 45, У8, 60ПП), термообра-

батываемые ТВЧ, что позволит не только резко снизить стоимость изделий, но и повысить их срок службы и надежность за счет получения заданного дифференцированного распределения твердости, структуры и напряженного состояния по контуру и сечению упрочненных изделий не только простой, но и сложной формы;

- внедрить неразрушающий контроль качества термической обработки, в том числе и поверхност-

ной, с использованием портативных приборов для определения структуры, твердости, толщины упрочненных слоев [26].

А самое главное, что нужно сделать – обеспечить создание отечественного производства конкурентоспособного оборудования индукционного нагрева, способного удовлетворить потребности внутреннего рынка и расширить экспортные поставки.

Литература

1. Гурченко П. С. Упрочнение при индукционном нагреве и управляемом охлаждении Гомель: ИММС НАН Беларуси, 1999.
2. Гурченко П. С., Михлюк А. И. Современная практика применения индукционной термообработки на Минском автомобильном заводе // Индукционный нагрев. 2007. № 1. С. 40–44.
3. Гордиенко А. И., Гурченко П. С., Михлюк А. И., Вегера И. И. Обработка изделий машиностроения с применением индукционного нагрева. Минск: Беларуская навука. 2009.
4. Гурченко П. С., Михлюк А. И., Кондратович Н. Б., Цедрик Л. В.: А. с. СССР № 1615224: БИ № 47, 1990. Установка для диффузионного насыщения из жидких сред.
5. Бодяко М. Н., Гурченко П. С., Шипко А. А. Способ нитроцементации стальных изделий: А. с. СССР № 1271123.
6. Бодяко М. Н., Шипко А. А., Гурченко П. С. Структурные превращения и распределение элементов в сталях при скоростной нитроцементации // Митом, 1987. № 1.
7. Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль термических процессов на машиностроительных предприятиях // Сб. научн. тр. / Под ред. П. С. Гурченко. Мн.: РДУП «Издательство ОСПИ», 2005.
8. Гурченко П. С., Быков В. М., Шумаков Ю. И. Способ индукционной закалки шестерен и индуктор для его осуществления: Пат. РБ № 209 от 23.11.1993. С 21 D 9/32, SU 1640180 A1.
9. Гурченко П. С., Толстой А. В., Шипко А. А. Структура и свойства сложнопрофильных шестерен, упрочненных объемно-поверхностной закалкой // Материалы, технологии, инструменты. 2006. Т. 11. № 2.
10. Гурченко П. С., Михлюк А. И., Карпушкин Н. С. и др. Установка для термической обработки круглого стального проката: Пат. РБ № 1756 на полезную модель от 01.10.2004. С21D 1/10, 1/42.
11. Гурченко П. С., Ракомсин А. П., Михлюк А. И. Планетарная колесная передача ведущего моста транспортного средства: Пат. № 3721 РБ на полезную модель от 18.04.2007. МПК (2006) F 16H 1/28.
12. Гуринович В. А., Ракомсин А. П. Устройство для управляемой закалки деталей и сталей пониженной прокаливаемости: Пат. РБ на полезную модель № 2374 от 15.09.2005. С21D 1/00.
13. Гурченко П. С., Михлюк А. И., Дыбаль А. И. Способ закалки металлических изделий: Пат. РБ на изобретение № 6067 от 30.03.2004. С21D1/78.
14. Гурченко П. С., Демин М. И., Карпушкин Н. С., Михлюк А. И. Способ нагрева сыпучих металлических частиц: Пат. РБ № 8141 от 21.02.2006. С21D 1/42 F27B 7/14.
15. Гурченко П. С., Демин М. И., Карпушкин Н. С., Михлюк А. И. Устройство для нагрева металлических сыпучих частиц: Пат. РБ на полезную модель № 788 от 01.11.2002. С21D1/10, С21D1/42, F27B7/18.
16. Гурченко П. С., Демин М. И., Карпушкин Н. С., Михлюк А. И. Пристрій для нагріву металевих сипких часток. Декларацийний патент на корисну модель України № 2117 С21D1/10, С21D1/42, F27B7/18, Бюл. № 11 от 17.11.2003
17. Гурченко П. С., Демин М. И., Карпушкин Н. С., Михлюк А. И. Устройство для нагрева металлических сыпучих частиц: Свид. РФ на полезную модель № 33118 от 10.10.2003.
18. Гурченко П. С., Михлюк А. И., Демин М. И., Скибарь А. М. Способ брикетирования стальной стружки: Пат. № 11033 от 06.06.2008. В23K 35/30.
19. Гурченко П. С., Михлюк А. И., Демин М. И., Скибарь А. М. Способ брикетирования стальной стружки: Пат. РФ № 2354723 от 04.07.2007 г.
20. Гурченко П. С., Михлюк А. И., Гуринович И. М., Позняк С. А., Тишкевич Р. И. Установка для термической обработки прямоугольного стального проката: Пат. № 4441 РБ на полезную модель от 17.03.2008 МПК (2000) С21D 1/00.
21. Гурченко П. С., Желудкевич П. С. Способ управляемой закалки стальных изделий и устройство для его осуществления: Пат. РБ № 4566, 2002. С21D 11/00.
22. Бодяко М. Н., Астапчик С. А., Ярошевич Г. Б. Термокинетика рекристаллизации. Минск: Наука и техника, 1967.
23. Бодяко М. Н., Астапчик С. А. Электротермообработка сплавов с особыми свойствами. Минск: Наука и техника, 1977.
24. Гордиенко А. И., Шипко А. А. Структурные и фазовые превращения в титановых сплавах при быстром нагреве. Минск: Наука и техника, 1983.
25. Витязь П. А., Дюжев А. А., Шипко А. А., Вегера И. И. Научное обеспечение Программы технического переоснащения и модернизации производств: результаты и перспективы развития // Белорусский промышленный форум. 15–18 мая 2013 г. (в печати).
26. Шипко А. А., Гурченко П. С., Руденко С. П. Промышленные методы упрочнения стальных деталей – эффективность и направления развития // Сб. материалов VII МНТК: Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Минск: ФТИ НАН Беларуси, 19–21 сентября. 2012. Кн. 3. С. 347–356.