

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ НА МИНСКОМ ТРАКТОРНОМ ЗАВОДЕ

*Космович Л.С., Баранов В.С., Гурченко П.С., Шипко А.А.*

*Основы использования электронагрева ТВЧ для термообработки в СССР положены во второй половине 30-х гг. В.В. Вологдиным, М.Г. Лозинским и Г.И. Бабатом. В годы войны группа профессора В.В. Вологодина работала над внедрением закалки с электронагревом ТВЧ на заводах оборонной промышленности. После войны на базе группы инженеров-исследователей, в составе Министерства Автомобильной и Тракторной промышленности был создан НИИТВЧ, который возглавил работу по внедрению закалки ТВЧ в производство.*

*В Республике Беларусь технологии обработки изделий машиностроения с применением индукционного нагрева токами высокой частоты нашли наиболее широкое применение и дальнейшее развитие на Минском тракторном (МТЗ) и автомобильном (МАЗ) заводах.*

*В настоящей статье основное внимание уделено изложению опыта в области освоения и совершенствования технологий и оборудования индукционного нагрева ТВЧ, накопленного на Минском тракторном заводе (по материалам Баранова В.С. и Космовича Л.С.).*

Минскому тракторному заводу принадлежит роль первого промышленного предприятия Беларуси, освоившего технологии и оборудование термической обработки с применением токов высокой частоты и внесшего ощутимый вклад в развитие этих технологий.

В проекте Минского тракторного завода, созданного в 1946 г. под производство трактора «Кировец Д-35» (КД-35), уже было предусмотрено применение следующего оборудования ТВЧ:

- в термическом цехе лампового генератора ГЗ-46 для закалки деталей двигателя трактора;
- в инструментальном цехе такого же генератора для пайки резцов;
- в дизельном цехе машинного генератора для закалки коленчатого вала;
- в деревообделочном цехе установки для сушки досок;
- машинного генератора фирмы АЯКС мощностью 1000 кВт для кузницы.

Поэтому 1948 г. — год начала выпуска пусковых двигателей к трактору, является началом применения ТВЧ на МТЗ. С этого года в термическом цехе завода приступили к закалке деталей пускового двигателя, затем дизеля и деталей трактора.

В марте 1950 г. на участке ТВЧ в термическом цехе работала в три смены на одной закалочной установке бригада электротермистов: А.Т. Майборода, В.С. Баранов, М.К. Берников под руководством мастера Л.С. Космовича. С этого времени и до 1991 г. Л.С. Космович был бессменным руководителем всех работ по развитию технологии нагрева ТВЧ на МТЗ и прошел путь от мастера участка ТВЧ до начальника проектно-технологического отдела электронагрева ТВЧ.

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 другие. Они и составили на долгие годы ядро коллектива специалистов ТВЧ на МТЗ.

В первые годы все работы по освоению закалки ТВЧ очередной новой детали электротермисты во главе с мастером Л.С. Космовичем выполняли самостоятельно: изучали технические условия чертежа, проектировали и изготавливали опытную оснастку, включая профилирование медной трубки и пайку индукторов.

*Лев Степанович Космович 1928 г.р. В 1947 г. закончил политехникум по специальности техник-электрик. В 1959 г. — Белорусский политехнический институт по специальности инженер-электромеханик, в 1975 г. — закончил аспирантуру без отрыва от производства. В 1976 г. защитил диссертацию кандидата технических наук. О преданности делу развития технологий ТВЧ говорит справка кадровой службы МТЗ: за период трудовой деятельности Космовича в области технологий ТВЧ на заводе сменилось: начальников Центральной заводской лаборатории — 5, главных металлургов — 6, директоров — 6, главных инженеров — 10, главных технологов — 12. Список можно продолжить.*



*Владимир Степанович Баранов 1930 г.р. В 1948 г. начал работу на МТЗ в термическом цехе электротермистом на установках ТВЧ. Имеет более двадцати авторских свидетельств и патентов на изобретения, награжден двумя медалями ВДНХ.*



Возможности нагрева ТВЧ были быстро оценены и номенклатура закаливаемых ТВЧ деталей стала расти. К концу 1949 г. закалке подвергались 4 детали, а концу 1950 г. уже 12, в 1952 г. — 36, в том числе и местная закалка цементируемых деталей, на которых благодаря этому было ликвидировано гальванопокрытие отдельных участков для предохранения от цементации. В 1954 г. число закаливаемых ТВЧ деталей выросла до 66 наименований. В 90-х годах более чем в 20 цехах завода располагались более сотни ВЧ установок общей мощностью свыше 20 тыс. кВт, обрабатывающих несколько сот наименований изделий.

В 1951 г. с Ленинградского Кировского завода началась передача на МТЗ производства трелевочного трактора КТ-12. Среди деталей, подлежащих освоению, были подвергавшиеся термообработке ТВЧ, в том числе новые, оригинальные для МТЗ: бортовая шестерня, ведущие звездочки, цилиндры и валы различных диаметров, шлицевые втулки, вилки КПП и др.

Большую помощь в становлении службы ТВЧ на МТЗ оказывал НИИТВЧ (впоследствии — ВНИИТВЧ). Сотрудники института: Н.П. Глуханов, А.Н. Шапов, С.Е. Рыскин, С.Н. Перовский, В.Г. Шевченко, Ю.А. Семан, Н.И. Андрианов, В.А. Бодажков, Л.И. Карпенков, Д.А. Мавлюдова, Е.П. Евангулова, М.А. Попов

и др. часто посещали завод. На курсах повышения квалификации в НИИТВЧ (а потом — и ВНИИТВЧ) прошли обучение практически все специалисты службы ТВЧ МТЗ.

Постоянное внимание, научную и организационную поддержку службе ТВЧ МТЗ уже с 1951 г. оказывал Михаил Николаевич Бодяко — тогда еще кандидат технических наук, а впоследствии — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент АН БССР. Он был активным сторонником широкого внедрения ВЧ нагрева, поддерживал Л.С. Космовича в его начинаниях и всемерно содействовал его творческому росту. Так же действовал и старший научный сотрудник лаборатории, кандидат технических наук, а впоследствии академик, директор этого института Станислав Александрович Астапчик. Вообще эта лаборатория Физтеха наряду с уральской, московской, ленинградской, украинской школами, изучавшими особенности скоростного нагрева сталей и сплавов, внесла существенный вклад в развитие этого научного направления, что видно, например, из следующих работ того времени [2–4]. В последние годы диапазон тематических направлений, связанных с нагревом материалов скоростными методами — индукционным, электроконтактным, лазерным, электронно-лучевым, плазменным и другими, значительно расширен

не только в Физико-техническом институте НАН Беларуси, но и в других научных организациях нашей страны. При этом заложенные в прошлые годы основы поведения металлов и сплавов при скоростном нагреве используются учеными и специалистами для практического освоения этих энергоэффективных технологий.

В 1950 г. встала задача по организации поверхностной закалки шеек коленчатого вала дизеля Д-35. Изготовление закалочного станка для шеек коленчатого вала дизеля Д-35 по проекту ГИПРОТРАКТОРОСЕЛЬХОЗМАШа было предусмотрено на Горьковском автозаводе в кооперации с московским автозаводом имени Сталина (ЗИС), однако по различным причинам задерживалось. Поэтому в термическом цехе МТЗ был создан участок для поверхностной газопламенной закалки коленчатых валов. Поверхностный нагрев шеек осуществляли специальными горелками, а закалочное охлаждение потоком воды через встроенные щелевые сопла. Закалка производилась при медленном вращении вала. Производительность метода была невелика, да и качество закалки было невысоким, посколь-

ку нагрев был исключительно поверхностным, а получение необходимой глубины закаленного слоя достигалось за счет перегрева поверхности. Особенно досаждали невидимые трещины, которые выявлялись магнитным дефектоскопом — «магнофлексом», установленным в моторном цехе на участке коленчатого вала, где мастером в то время был Николай Никитович Слюньков (впоследствии директор завода и член Политбюро ЦК КПСС). Рассказывали, что при очередной остановке производства по причине закалочных трещин на коленвале, директор завода Александр Михайлович Тарасов (впоследствии Председатель СНХ БССР и Министр Автомобильной промышленности СССР) сказал: «Магнофлекс неисправен, Таубес (Григорий Николаевич, начальник электроцеха, впоследствии — главный энергетик завода), возьми его в ремонт, да не торопись, отремонтируй хорошенько!». Таубес понял распоряжение правильно. И с тех пор магнофлекса на участке не было и участок работал бесперебойно. По-настоящему решить проблему трещин удалось только при внедрении термообработки шеек коленчатых валов с нагревом ТВЧ.



*Лаборатория термокинетики структурных и фазовых превращений в металлах и сплавах при быстром нагреве Физико-технического института АН БССР. Слева направо: первый ряд – Виктор Ивашко, Наталья, Михаил Бодяко, Елена Лезинская, Михаил Прохорчик; второй ряд – Елена, Сергей Кашулин, Станислав Астапчик, Алексей Шипко, Лукашевич; третий ряд – Александр Дымовский, Леонид Гресский, Виктор Крылов, Анатолий Гордиенко, Ксаверина, Чернявская, Гелярий Ярошевич.*



В 1952 г. между НИИТВЧ и МТЗ был заключен договор о содружестве и технической помощи. На завод прибыли ведущие сотрудники НИИТВЧ А.Н. Шамов и С.Е. Рыскин для ознакомления с состоянием дел. По их рекомендации 25 апреля 1952 г. на МТЗ создан «цех ТВЧ» по опыту ЗИС в составе 25 человек: 10 ИТР и 15 рабочих. И.о. начальника цеха назначен Л.С. Космович, а заместителем начальника — К.Е. Осюхин. Цех ТВЧ находился в подчинении главного металлурга и состоял из технологической, конструкторской групп, группы внедрения и экспериментально-производственной базы для проведения опытных и наладочных работ. На цех ТВЧ возлагались задачи: технологическая подготовка производства, проектирование и изготовление специального оборудования оснастки, внедрение процессов с применением ТВЧ, контроль за соблюдением технологии ВЧ термообработки, изготовление технологической оснастки для обработки ТВЧ, надзор за эксплуатацией и ремонтом высокочастотного оборудования.

Цех ТВЧ просуществовал около 2 лет. В 1954 г. специалисты ТВЧ выведены из состава термического цеха и переведены в отделение электронагрева (ОЭН) при сохранении указанных для цеха функций. С этого времени в соответствии с должностными обязанностями над ОЭН шефствовал начальник термического сектора ОГМет, первым из которых был кандидат технических наук Яков Израйлевич Прейгерзон, (впоследствии преподаватель БПИ), и далее С.В. Ляшенко и В.И. Зябкин. По настойчивой рекомендации Я.И. Прейгерзона первоочередной задачей была поставлена ликвидация «ручной» закалки, осуществляемой в то время для ряда деталей путем ручного удержания закаливаемой детали вблизи индуктора до тех пор, пока, по мнению калильщика, поверхность детали «не достигнет закалочной температуры», после чего оператор бро-

сал нагретую деталь в емкость с охлаждающей жидкостью. В течение 1952–1956 гг. все детали, подвергавшиеся высокочастотной термообработке, имели специальную оснастку. Во многих случаях это были автоматические и полуавтоматические устройства. Выполнены обширные работы по расширению применения ТВЧ [5–7].

ОЭН в 1956 г. преобразован в лабораторию электронагрева (ЛЭН) ОГМет. В этом году пошел процесс «признания» службой отдела главного конструктора метода термообработки с нагревом ТВЧ, как одного из перспективных видов термического упрочнения. После внедрения ВЧ закалки коленвала в дизельном цехе была внедрена закалка распределителя и гильзы цилиндра. Распределение закаленного слоя в сечении гильзы цилиндра показано на рис. 1.

Индукционное устройство было изготовлено в электроцехе по проекту ЛЭН и установлено в линии механической обработки гильзы, что позволило отказаться от перевозки гильзы в термический цех. Сокращена трудоемкость и расход электроэнергии при изготовлении детали.

Период 1955–1959 гг. характерен значительными для ЛЭН событиями:

- создан участок закалки ТВЧ с двумя параллельно работающими машинными генераторами по 100 кВт каждый и двумя двухпозиционными закалочными станциями в механическом цехе N4 (МЦ4);
- разработана и отлажена на этом участке система ожидания с независимым регулированием напряжения на каждой позиции [35];
- для одновременной закалки всех зубьев ведущей звездочки трактора ТДТ-60 изготовлен закалочный станок и подключен к генератору 250 кВт 2500 Гц в дизельном цехе;
- в термическом цехе корпуса смонтирована и запущена преобразовательная подстанция, в которой были установлены два машинных преобразователя ESAB-100 кВт с частотой 8 кГц;

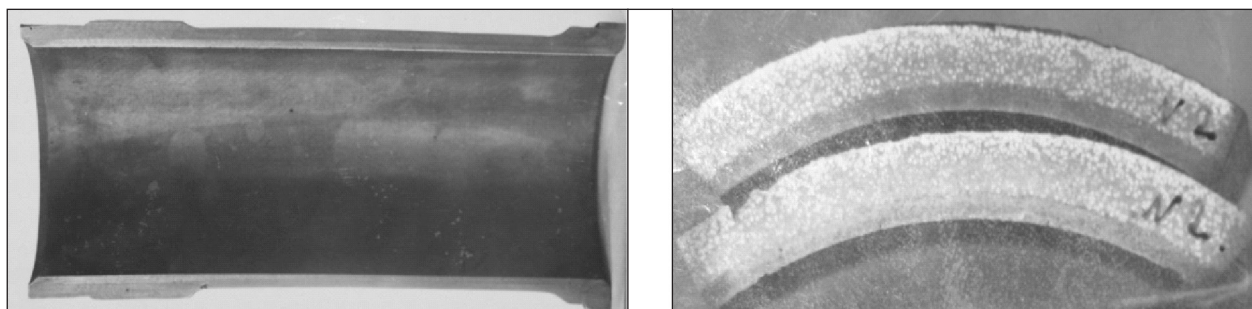


Рис. 1. Распределение слоя закалки ТВЧ в сечении гильзы цилиндра трактора МТЗ

— для закалки длинномерных валов и цилиндров ленинградским Кировским заводом МТЗ были переданы станки для высокочастотной термообработки таких валов и гидроцилиндров. Один из этих станков до настоящего времени успешно применяется на механическом участке отдела.

Задачи лабораторией решались часто оригинально. В 1957 г. Л.С. Космовичем в соавторстве с В.И. Дмитриевым получено первое авторское свидетельство на автоматическое устройство для закалки колец тяги. Тогда же В.И. Прицев нашел техническое решение параллельного включения электромашинных усилителей для возбуждения машинных генераторов ТВЧ.

*Виктор Иванович Прицев 1930 г.р. на МТЗ поступил после окончания политехникума, получив специальность техника-электрика. В службе электронагрева работал с 1952 г. инженером-электриком. С 1960 г. — заместителем начальника лаборатории электронагрева. В 1972 г. окончил политехнический институт, в 1975 г. — курсы повышения квалификации ИТР во ВНИИТВЧ. Имеет два изобретения и ряд научно-технических публикаций.*

В 1955 г. в кузнечном цехе возникли трудности при изготовлении конусного расширения трубы трактора КТ-12 диаметром 350 мм на длине 100 мм ввиду неравномерности нагрева этого участка в печи. По просьбе начальника кузнечного цеха М.Е. Гаврилова в ЛЭН был создан индукционный нагреватель промчастоты с магнитопроводом для нагрева подлежащего обработке участка. Нагреватель, подключенный непосредственно к цеховой сети 380 В, обеспечивал должное качество нагрева.

Во втором полугодии 1959 г. Совнархоз БССР принял решение о расширении и развитии конструкторских и технологических служб (всего 54) на предприятиях Республики. Этим решением предусматривалось создание на ряде предприятий Совнархоза базовых лабораторий для развития и внедрения новой техники. На МТЗ этим постановлением было создано шесть таких лабораторий. Они входили в состав завода на правах структурных подразделений, работали на хозрасчете и подчинялись техническому управлению Совнархоза БССР. Решением МТЗ ЛЭН ОГМет преобразована в БЛЭН и включена в нее группа по обслуживанию МТЗ. За счет этого общая численность БЛЭН выросла до 75 человек, в т.ч. 45 ИТР и служащих. Лаборатории надлежало оказывать помощь всем предприятиям Совнархоза

по их заказам. БЛЭН, как и другие базовые лаборатории, подчинялась непосредственно главному инженеру МТЗ — З.С. Рубанову, затем его заместителю. В разное время это были Хейкер, Забродин, Арефьев, Тимошенко, Золотухин, Егоров, Козлов, Харитонович, Петровский. Среди них особо выделился кандидат технических наук В.И. Егоров, который организовал научно-исследовательский центр (НИЦ) и взял под свою опеку в 1966 г. кроме базовых лабораторий информационно-вычислительный центр и службы организации мероприятий новой техники.

После ликвидации Совнархозов в 1976 г. БЛЭН переименована в ПЛЭН — проблемную лабораторию электронагрева МТЗ. Сохранились и условия хозрасчета в экономике лаборатории. Лаборатория электронагрева окупала свои затраты доходами от выполнения работ по заказам цехов завода и сторонних организаций, технологическим обслуживанием действующего производства, подготовкой производства и экономической эффективностью внедренных мероприятий. Окупаемость затрат ежеквартально контролировала экономическая служба завода. За счет имевшейся прибыли лаборатория приобретала необходимое лабораторное оборудование.

С 1976 г. наступил период систематического сокращения численности технических служб завода, в том числе и лаборатории, что привело к сокращению объема поисковых и исследовательских работ. Лаборатория превратилась в технологическую службу ТВЧ и в 1988 г. переименована в проектно-технологический отдел электронагрева токами высокой частоты — ОТВЧ. В 1996 г. решением дирекции завода ОТВЧ, исследовательская лаборатория металловедения и термообработки и проектно-технологическое бюро химико-термической обработки и борирования отдела главного металлурга объединены в Термический отдел (ТерМО).

В процессе становления БЛЭН, (ПЛЭН, ОТВЧ, ТерМО) сформирована структура подразделений и определены их функции.

**Технологическая служба (бюро) ТВЧ** была включена в систему подготовки производства и наравне с другими технологическими отделами получала конструкторскую документацию на подготовку производства термообработки ТВЧ. Взаимоотношения конструкторов и специалистов ТВЧ складывались трудно. Конструктор не признавал специалистов ТВЧ как «субъект инициативы» в формулировании технических требований чертежа детали и зачастую требова-

ния на ВЧ закалку не отличались от требований на цементацию. Это постоянно вызывало возражения цеха ТВЧ о невозможности обеспечения таких требований. В результате длительных дискуссий разработана заводская нормаль на технические требования чертежа по ВЧ закалке деталей и применяемые для этого процесса марки сталей, в которой были изложены основные принципы задания технических условий на закалку деталей ТВЧ. Технические требования, отличающиеся от «нормальных» конструктор мог устанавливать только по согласованию с ТВЧистами после выпуска опытной партии деталей.

Работу с ОГК и производственными цехами по подготовке производства, внедрению и технологическому сопровождению термообработки с нагревом ТВЧ в действующем производстве осуществляло главным образом техбюро, работавшее под руководством М.А. Довнара и его приемником М.Л. Этиным. Этот участок работы имеет первостепенную важность, поскольку он прямым образом оказывает влияние на бесперебойную работу производственных цехов по ВЧ закалке, обеспечивает необходимое качество выпускаемой продукции и своевременную подготовку производства. О важности этого участка говорит тот факт, что, несмотря на многочисленность технологических процессов, завод по высокочастотной закалке рекламаций не имел. Это отмечалось руководством завода на итоговых совещаниях по качеству.

*Михаил Антонович Довнар родился в 1924 г. В 1941 г. после окончания 10 классов поступил работать на Минский авиационный завод (впоследствии МТЗ). С началом войны эвакуировался вместе с заводом в Улан-Уде, где проработал до 1945 г. По окончании войны вернулся в Минск и работал на заводе Промсвязь. В 1959 г. окончил БПИ по специальности инженер-электромеханик. С 1958 г. работал на МТЗ в лаборатории электронагрева инженером, старшим инженером. С 1962 по 1966 г. — начальник техбюро лаборатории. С 1966 г. до выхода на пенсию работал заместителем начальника ЛЭН, ПЛЭН, БЛЭН по производству.*

Следует отметить работу технологов А.Т. Майбороды, Ю.А. Чистякова, Т.В. Элькиной, Н.В. Кошеленковой, И.Н. Бурдюк, с привлечением КБ (В.И. Дмитриев, Б.Н. Хацкевич) и ЭПУ (Я.Т. Федорович и др.). Они являлись по существу форпостом, ограждавшим от повседневных забот исследователей, и в значительной мере — начальника, позволяя им плодотворно работать на перспективу.

**Конструкторское бюро** в разное время возглавляли начальники: В.И. Дмитриев, В.И. Соколин, Б.Н. Хацкевич и конструкторы — И.Г. Комар, В.Н. Шут, Л.А. Ленцевич, Т.Г. Шут и др. Ими были созданы различные устройства для термической обработки и нагрева под ОМД заготовок деталей МТЗ. К сожалению, систематическое сокращение численности лаборатории после 1965 г. отразилось, прежде всего, на КБ — как на численности, так и на уровне разработок. В некоторых случаях закалочные или нагревательные установки, например, для нагрева под высадку и «чулочную» закалку задней полуоси, созданы в содружестве с отделом механизации, но отсутствие «генерального конструктора» не лучшим образом отразилось на конечном результате — единого станка, нагревателя не получилось.

**Экспериментальный участок** создавался для ВЧ закалки деталей опытного производства, выполнения экспериментальных работ и отладки оборудования перед передачей его в цех. Участок оснащен машинными и ламповыми генераторами, закалочными станками, испытательным стендом и ВЧ распрестройством, позволяющим подключить любой нагреватель к одному или двум параллельно работающим генераторам любой из двух частот. При необходимости на участок завозилось другое, необходимое в данное время, оборудование. Инженеры-технологи и исследователи совместно с высококвалифицированными наладчиками: И.А. Коптуром, Е.С. Лисковым, Н.П. Ходотовичем, Е.И. Широковым, В.А. Самойловым, И.И. Минько и др. отлаживали на ЭУ закалку бортовых шестерен, высадку торсионов, автомат для высадки болтов, горячую резку труб, электрогидравлическую штамповку и многое другое. На участке выполнялись металлографические исследования, электрические и тепловые измерения и т.п.

**Участок изготовления оснастки.** Еще со времен цеха ТВЧ рабочие этого участка изготавливали опытные устройства и участвовали в их испытаниях. Высококвалифицированные рабочие: М.Я. Горбачев, В.О. Ермолович, О.Д. Ермолович, И.А. Коптур, Н.Г. Котов, В.Н. Кузьмичев, Е.С. Лисков, И.И. Минько, В.А. Самойлов, Н.Г. Ходотович, Е.И. Широков, Е.И. Юшкевич под руководством Я.Т. Федоровича, изготавливали все индукторы и приспособления, в том числе — автоматические, для ВЧ закалки и горячей резки для цехов завода и много — для сторонних организаций, первые экземпляры закалочных трансформаторов, индукторов к кузнечным



нагревателям, некоторые закалочные станки и множество опытных установок.

*Техническая группа* отвечала за делопроизводство, внедрение вычислительной техники и АСУ; техническую информацию; ведение технического архива; ведение технической библиотеки; оформление рацпредложений и изобретений.

#### *Достижения МТЗ по созданию оборудования и технологий обработки ТВЧ*

В процессе реконструкции завода под выпуск 75000 тракторов в 1960 г. было намечено осуществление полного цикла изготовления деталей, включая механическую обработку, термообработку и сварку выполнять в технологических линиях. При этом неприемлемой оказалась установка в линиях механической обработки большого числа отдельных машинных преобразователей для индивидуального питания закалочных установок. Было принято решение о сооружении в цехе централизованной преобразовательной подстанции (ПП) с несколькими преобразователями частоты, работающими параллельно на единые шины, к которым подключаются все закалочные станки, установленные в линиях [8]. Начиная с 1959 г. на заводе начато применение централизованного питания закалочных станков цеха от общих шин единой преобразовательной подстанции по радиальной схеме. Такая схема позволила в необходимых случаях повышать мощность, потребляемую закалочным станком до 200 кВт и более, сократить до 30–50 % установленную мощность преобразовательной подстанции.

Применение централизованного питания закалочных станков потребовало высокой стабильности напряжения на общих шинах преобразовательной подстанции. Однако, выпускаемые в СССР ВЧ установки с машинными генераторами до 1965 г. комплектовались для возбуждения электромашинными усилителями (ЭМУ), что сдерживало развитие применения централизованного питания.

Инженер БЛЭН МТЗ Я.Е. Добис для возбуждения генераторов разработал автоматический электронный регулятор напряжения (АРН). Дальнейшее его совершенствование привело к созданию тиристорного АРН МТЗ [19], которыми были укомплектованы все ПП ТВЧ на МТЗ и АРН НИИТВЧ, которые стала выпускать электротехническая промышленность. Блок автоматического регулирования напряжения (АРН) конструкции МТЗ показан на рис. 2.

АРН позволил с точностью до 1 % поддерживать напряжение на шиносборке преобразо-

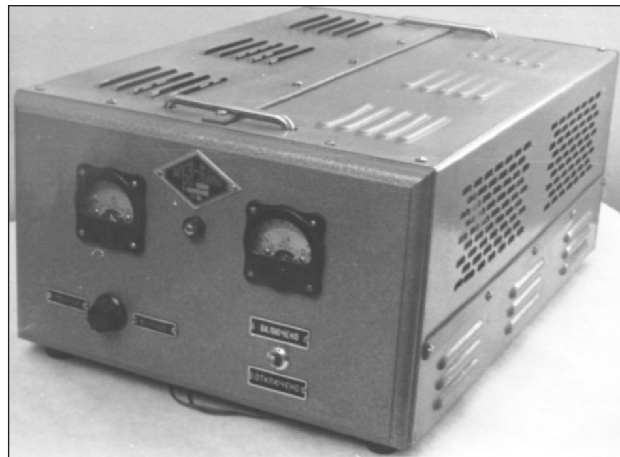


Рис. 2. Блок автоматического регулирования напряжения (АРН) конструкции МТЗ

вательной подстанции независимо от нагрузки, что позволило стабилизировать качество термообрабатываемых деталей [9, 10]. Разработка автоматического тиристорного регулятора напряжения позволила создать комплект типовой аппаратуры управления как одним, так параллельной работой группы высокочастотных генераторов. Автоматический тиристорный регулятор напряжения отмечен бронзовой медалью ВДНХ. Применение созданной типовой аппаратуры позволило отказаться от проектирования щитов и схем управления для каждого машинного зала, как это делалось ранее. Регулятор успешно применяется на большинстве машинных преобразователей МТЗ, на заводах-филиалах в Витебске, Бобруйске, также на заводе шестерен, МАЗе и ряде других заводов. Документация на регулятор передана 24 предприятиям и организациям. Активное участие в разработке и испытании тиристорного регулятора приняли специалисты ЛЭН Л.С. Космович, Г.В. Лукинский, М.Р. Слепнян, Я.Е. Добис, И.А. Коптур, А.Ф. Григорьев.

Технологами и конструкторами ТВЧ МТЗ постоянно велись работы по совершенствованию и автоматизации оснастки для ТВЧ закалки [11, 12]. В связи с тем, что на энергонасыщенных тракторах, начиная с МТЗ-50, для ответственных деталей стали применяться легированные стали, закалка которых даже с надлежащим самоотпуском не исключала образование трещин, появилась проблема подбора закалочной среды, обеспечивающей отсутствие трещин. Даже применение широко рекламируемой немецкой закалочной среды «аквопласт» не исключило образование недопустимых дефектов в связи с быстрым изме-

нением состава среды. По инициативе В.С. Баранова была освоена закалка легированных сталей со спрейерным охлаждением маслом. Для закалки маслом были созданы специальные закалочные станки с пневмогидравлическим насосом [13], позволившие осуществлять закалку в линиях механической обработки и внешне выглядявшие не хуже других закалочных станков. В создании и внедрении этого оборудования участвовали В.И. Дмитриев, М.А. Довнар, К.Н. Кошеленков, Е.С. Лисков, М.Л. Этин и др.

На МТЗ были созданы специальные технологические устройства и освоена закалка зубчатых венцов (рис. 3).

Опыты по закалке бортовых шестерен трактора МТЗ В.С. Баранов совместно с Л.С. Космовичем, Е.С. Лисковым и др. начали проводить в 1958 г., ознакомившись с примерами закалки шестерен в станкостроении [14].

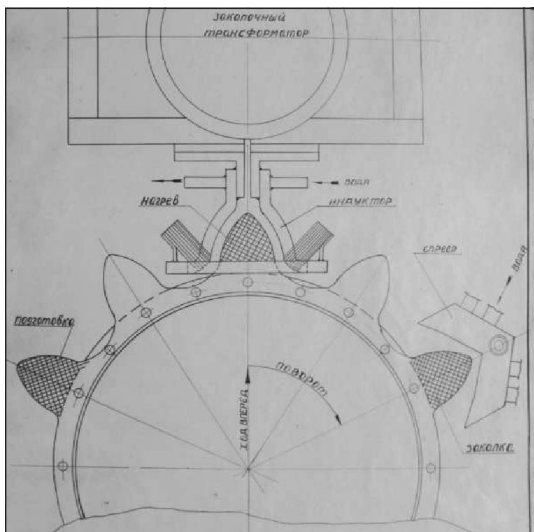
Работа по созданию технологии поверхностной закалки по контуру зубчатой поверхности бортовых шестерен трактора МТЗ, изготовленных из стали 50ХГТР и прошедших предварительную объемную закалку с печного нагрева, была завершена в 1975 г. при содействии лаборатории термокинетики ФТИ АН БССР под руководством М.Н. Бодяко и С.А. Астапчика [15–17]. Для поверхностной закалки шестерен применили предварительный подогрев в шахтной печи и быстрый, в течение 5 с, одновременный нагрев мощностью до 1000 кВт на частоте 8 кГц всей зубчатой поверхности на индукционной установ-

ке, показанной на рис. 4. Для выполнения такого нагрева понадобилось включение в параллельную работу 10 преобразователей мощностью по 100 кВт.

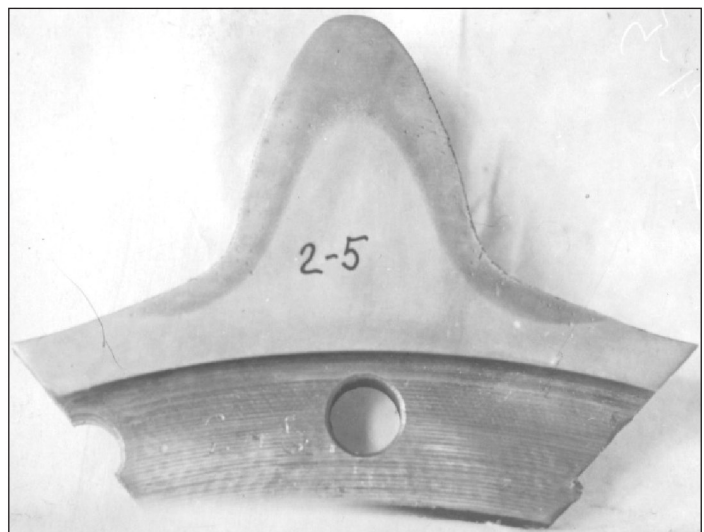
Распределение твердости в сечении зуба бортовой шестерни после такого комбинированного упрочнения показано на рис. 5. Стендовые испытания показали пригодность закаленной ТВЧ шестерни для установки на трактор.

К сожалению, пока опытные работы по закалке ВЧ шестерен были завершены, был построен участок цементации шестерен и вопрос внедрения ТВЧ закалки стал не актуален.

А вот исследования поверхностной закалки по всей длине, как ее окрестили на заводе — «чучелочной», закалки задней полуоси [18–19], начатые в 1966 г. В.С. Барановым, В.Ф. Волчком, Л.С. Космовичем, К.Н. Кошеленковым, Е.С. Лисковым, Б.Н. Хацкевичем и др., завершились внедрением. Когда в связи с увеличением мощности трактора и нагрузки на полуось встал вопрос об увеличении ее диаметра, оказалось, что выносливость полуоси, закаленной ТВЧ на порядок выше серийной и она может успешно использоваться на новом тракторе даже при изготовлении ее из более дешевой стали. Это дало значительный экономический эффект. Способ и устройство закалки с циклическим охлаждением полуоси трактора и одновременным индукционным отпуском, проводимым за одну установку детали, награжден серебряной медалью ВДНХ.



а



б

Рис. 3. Схема технологического устройства для закалки зубчатых венцов – а, и расположение закаленного слоя в сечении зуба венца – б





Рис. 4. Общий вид установки для поверхностной закалки бортовых шестерен трактора МТЗ

Сущность такого охлаждения заключается в том, что закалку производят в непрерывно последовательном режиме в перемещающемся относительно изделия охлаждающем устройстве, состоящем из нескольких спрейеров, каждый из которых выполнен с различными углами охвата изделия (соответственно 270 °С, 180 °С, 90 °С) и обеспечивает выполнение соответствующего импульсного цикла активного охлаждения, уменьшающегося в процессе перемещения детали от спрейера к спрейеру. В процессе окончания одного цикла активного охлаждения (под циклом в данном случае подразумевается часть оборота закаливаемого изделия происходящего в пределах угла спрейера охватывающего поверхность детали) по выходу из которой температура поверхности в течение 0,25 с мгновенно повышается за счет накопленного тепла. После входа в зону активного охлаждения спрейера в течение 0,75 с (скорость вращения изделия 1 об/с) температура поверхности снижается. При этом средняя скорость охлаждения детали в диапазоне 700 °С – 180 °С на ее поверхности составляла 40 °С/с.

В таком режиме охлаждение осуществлялось в течение 13 с, и температура поверхности изделия при этом снижалась до 180 °С. В момент

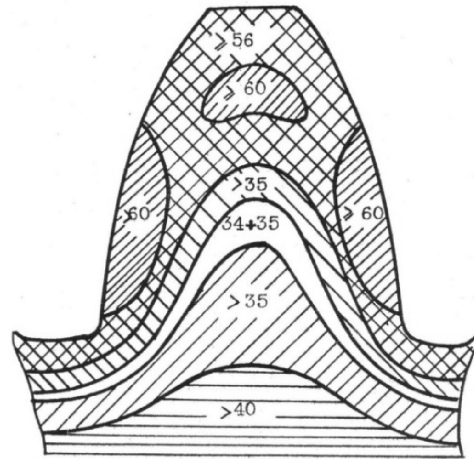


Рис. 5. Распределение твердости по шкале HRC в сечении зуба шестерни из стали 50ХГТФ после поверхностной закалки

выхода изделия из спрейера за счет накопленной деталью теплоемкости его температура в течение 4 с повышалась и достигла 370 °С. Далее в течение 4 с закаливаемый участок охлаждался во втором спрейере до температуры 180 °С, по выходу из которого в течение 8 с его температура достигает 320 °С, и входит в третий спрейер, в котором охлаждается до 120 °С. По мере дальнейшего перемещения детали закаленная область входит в отпускной виток индуктора, который осуществляет ее подогрев для отпуска.

Отпускной виток индуктора выполнен в виде шестигранника и включен последовательно с основным индуктором. На пяти сторонах отпускного витка установлен магнитопровод с возможностью его поворота вокруг оси грани, что позволяет регулировать температуру отпуска закаливаемого изделия.

Перед высокочастотной термообработкой наиболее нагруженная область (участок выхода шпоночного паза детали на цилиндрическую поверхность) подвергалась предварительному подогреву, что в конечном итоге позволило увеличить глубину закаленного слоя в необходимом месте.

Надежность процесса проверялась десятикратной закалкой детали изготовленной из стали 38ХГС, с завышенным содержанием углерода до 0,47 %. Несмотря на сложную конфигурацию детали, включающей в себя шпоночный паз, рейку в виде зубчатой поверхности, концентрично оси детали выступающий упорный бурт подшипника и шлицевую поверхность, закалочных дефектов на поверхности детали после многократной закалки обнаружено не было.

Одновременно была произведена замена марки стали 38ХГС на 40Х.

Стендовые испытания полуоси изготовленной из стали 40Х термообработанной по новой технологии, проведенные Генеральным конструктором, показали 7-кратное увеличение усталостной прочности и ни разу не были доведены до поломки детали ввиду недостаточной прочности испытательного стенда. Экономический эффект в ценах августа 1996 г. по замене марки стали с внедрением «чулочной» закалки составил более 14 млрд руб. В расчете не учтены затраты на строительство и перевозку деталей в случае их отпуска в печи термического цеха.

Аналогичная работа после выявления слабых сторон была проведена с полуосями энергонасыщенных тракторов МТЗ-1025, МТЗ-1021, МТЗ-1522, МТЗ-1822, МТЗ-12222 и МТЗ-2522.

С момента внедрения процесса было выпущено 2500000 деталей и не получено ни одной рекламации. Схема спрейера для циклического закалочного охлаждения полуоси после индукционного нагрева показана на рис. 6. На рис. 7 показано изменение температуры поверхности полуоси в процессе циклической закалки.

Закалку производят в непрерывно последовательном режиме со скоростью вращения детали 1 об/с в перемещаемом относительно изделия устройстве. Охлаждающее устройство состоит из нескольких спрейеров (рис. 6), каждый из которых выполнен с различным углом охвата изделия (270°, 180°, 90°).

В момент выхода изделия из первого спрейера его температура в течение 4 с повышалась до 370 °С. Далее в течение 4 с закаливаемый участок охлаждался во втором спрейере до темпера-

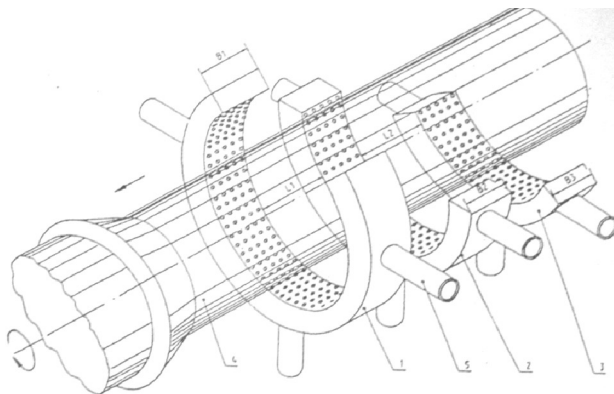


Рис. 6. Схема спрейера для циклического закалочного охлаждения полуоси после индукционного нагрева

туры 180 °С, а по выходе из него в течении 8 с температура достигала 320 °С, далее этот участок попадает в третий спрейер, угол охвата которого составляет 90 °С. В нем поверхность изделия охлаждается до 120 °С. По мере дальнейшего перемещения закаленная область изделия входит в отпусковой виток индуктора, который осуществляет ее подогрев до заданной температуры отпуска.

Перед высокочастотной термообработкой наиболее нагруженную область (участок выхода шпоночного паза детали на цилиндрическую поверхность) подвергают предварительному подогреву, что позволило увеличить глубину закаленного слоя в наиболее нагруженном участке детали.

Надежность процесса проверяли десятикратной закалкой детали изготовленной из стали 38ХГС, с завышенным содержанием углерода до 0,47 % после которой трещин обнаружено не было.

Стендовые испытания полуоси изготовленной из стали 40Х термообработанной по новой технологии, показали 7-кратное увеличение усталостной прочности и ни разу не были доведены до поломки детали ввиду недостаточной прочности испытательного стенда.

Лабораторией была спроектирована универсальная нагревательная станция, впоследствии нашедшая широкое применение не только на предприятиях и институтах Республики, но и на других предприятиях бывшего СССР.

Повышение удельных нагрузок на деталях новых тракторов предопределило изготовление этих деталей из легированных марок сталей, что в свою очередь вынуждало технологов изыскивать новые методы термообработки. На МТЗ был разработан процесс и специальное оборудование для высокочастотной термообработки

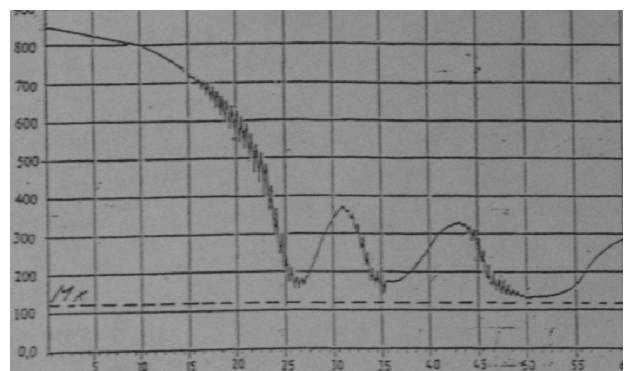


Рис. 7. График циклического закалочного охлаждения полуоси

деталей с закалочным охлаждением маслом, что позволило полностью избежать возникновения трещин на деталях сложной конфигурации, сохранив при этом достаточно высокую твердость поверхности, небольшую глубину закаленного слоя и минимальную деформацию. Для нагнетания масла в спрейер, взамен громоздкой и дорогой системы, включающей циркулярный масляный насос и гидроклапан, применен пневмогидравлический насос периодического действия, который размещается непосредственно в баке под индуктором и работает от сети сжатого воздуха по команде схемы автоматического управления. Усовершенствована конструкция электрогидравлического клапана путем замены поршневого привода клапана диафрагменным. Это упростило конструкцию крана и резко повысило его надежность.

Вклад в разработку процессов и оборудования закалки маслом внесли начальник лаборатории высокочастотной закалки В.С. Баранов, начальник КБ В.И. Дмитриев, начальник ТБ М.Л. Этин, зам. начальника лаборатории В.И. Прицев и М.А. Довнар и др.

По мере модернизации основного производства пополнен парк высокочастотного оборудования вспомогательного производства. В середине 70-х гг. произвели модернизацию машзала ремонтно-механического цеха. Здесь освоен процесс сорбитизации крановых колес, высокочастотная термообработка дисков турбин дробетных машин, ведущих и ведомых звездочек главного и вспомогательных конвейеров, тяговых конвейерных цепей, крупномодульных шестерен весом до 3 т и целого ряда других деталей вспомогательного производства.

В 1984 г. в лаборатории начали проводиться экспериментальные работы по отработке режимов нагрева заготовки полуоси для ее последующей высадки двух участков с одного нагрева. После изготовления оборудования и его отладки процесс был успешно внедрен в производство и получены сотни тонн экономии дорогостоящей легированной стали. Активное участие по внедрению процесса высадки полуоси принимали специалисты ПЛЭН и ОГМет: Н.Ф. Ладутько, Л.С. Космович, В. Дегтярев, Б.Н. Хацкевич, В.И. Прицев и др.

Начиная с 1953 г. быстрыми темпами возрастают масштабы применения технологии с использованием ТВЧ не только закалки, но и для плавки металла в литейном производстве. В середине 60-х гг. в автоматном (механическом № 3) цехе вводится в

строй преобразовательная подстанция, где были установлены 2 стокиловатных преобразователя МПП-102 и четыре высокочастотные плавильные печи. На этом оборудовании была освоена плавка цветного литья. Одновременно в цехе подготовки и хранения материалов (ЦПиХМ) был введен в строй плавильный участок ТВЧ для производства точного стального литья, который просуществовал вплоть до 1971 г. и был демонтирован только после ввода в строй преобразовательной подстанции ТВЧ в цехе точного стального литья.

Коллективом ПЛЭН выполнена модернизация индукционных плавильных печей литейного производства, которая заключалась в увеличении мощности установки, изменении конструкции индуктора и плавильной печи за счет увеличения объема тигля по жидкой стали с 480 до 500 кг. Одновременно произведена модернизация преобразовательной подстанции и высокочастотные генераторы ВГО-250-2,4 были заменены на ОПЧ-500-2,4. В результате проведенных мероприятий выпуск стали на участке возрос с 72 до 95 т.

В этом же цехе в конце 60-х гг. был внедрен станок-автомат для профилирования торозных лент с высокочастотным нагревом. Станок был спроектирован и изготовлен специалистами БЛЭН на экспериментальном участке. Внедренное новшество позволило значительно улучшить качество деталей и повысить производительность труда. Разработан и внедрен станок специалистами: И.Г. Комаром, Н.Ф. Ладутькой, И.И. Минько, Я.Т. Федоровичем и др.

В 1979 г. в лаборатории освоен процесс ВЧЗ гнезд клапанов головки блока. Для этой цели был использован ранее разработанный индуктор, активный виток которого был соединен с приводом для вращения его вокруг оси. Схема устройства для закалки гнезд клапанов головки блока цилиндров двигателя трактора МТЗ показана на рис. 8, а, общий вид закалочного приспособления в процессе закалки показан на рис. 8, б. Технология ВЧ термообработки состояла в том, что перед нагревом под ВЧ закалку головка блока объемно нагревалась до 200 °С.

Почти изотермическое охлаждение при закалке гарантировало получение высокой твердости на фаске гнезда без образования трещин. Госкомитетом по делам открытий и изобретений СССР было выдано авторское свидетельство на изобретение. Однако в процессе испытаний из 10 на 2-х выхлопных гнездах была обнаружена трещина. Ввиду этого МТЗ отказался проводить



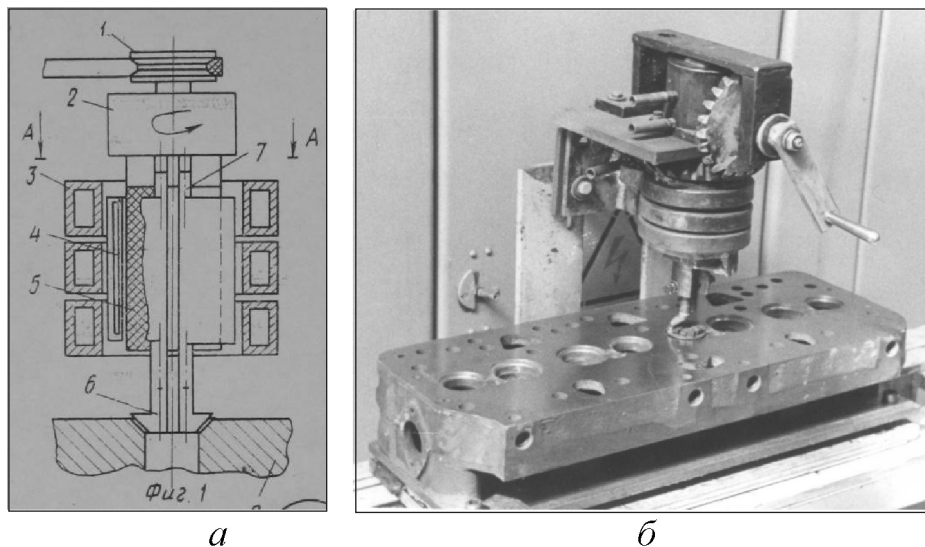


Рис. 8. Устройства для закалки гнезд клапанов головки блока цилиндров трактора МТЗ:  
а — схема; б — общий вид

дальнейшие работы. С таким же грифом было выдано АС свидетельство на способ изготовления тяг трактора. Этим же устройством, но с другим индуктором по просьбе ГСКБ начальником бюро П.А. Стецко проведена опытная работа по закалке посадочного гнезда в корпусе заднего моста.

По инициативе и под руководством главного металлурга МТЗ О. Лашкевича в 2005–2010 гг. на МТЗ создана и на филиале МТЗ в г. Сморгонь внедрена установка для термической обработки балки плуга, позволяющая осуществлять термическую обработку балок длиной 4000–7600 мм, сечением от 40×60 мм до 200×200 мм и толщиной стенки до 8 мм. Схема установки для термической обработки балки плуга показана на рис. 9. Общий вид установки и индуктора в процессе закалки балки показан на рис. 10.

Индукционная установка для высокочастотной закалки оснащена индуктором 1, обеспечивающим нагрев детали до температуры 950 °С и сквозной прогрев на глубину до 8 мм. При расчете индуктора ставилось целью обеспечить сквоз-

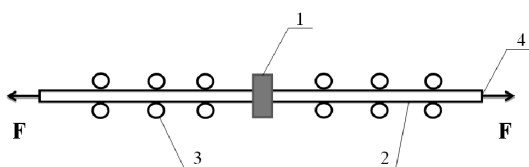


Рис. 9. Схема установки для термической обработки балки плуга:  
1 — индуктор; 2 — балка; 3 — ролики; 4 — место приложения силы для растягивания балки

ной нагрев балки и максимально снизить возможность перегрева поверхностных слоев изделия. Нагрев производят от тиристорного преобразователя мощностью 500 кВт с частотой тока 2400 Гц.

Закалка осуществляется душирующим устройством — спреером, расположенным непосредственно после индуктора, водой, что обеспечивает как большую скорость охлаждения, так и его равномерность.

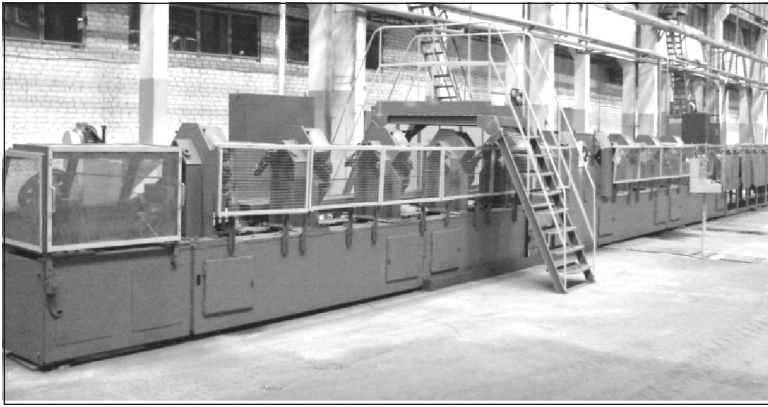
Параметры спреерного устройства:

Давление воды  $0,3 \pm 0,05$  кг/см<sup>2</sup>;

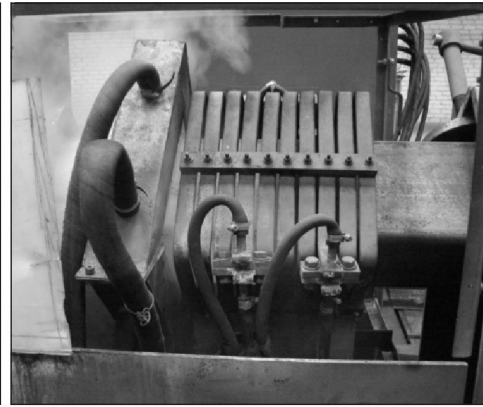
Расход спреерной воды 40 м<sup>3</sup>/ч.

Деталь перемещается по роликам 3, расположенным по всей длине установки. Растяжение детали при закалке обеспечивается двумя стальными тросами 4, которые крепятся к торцам балки 2, обеспечивая как ее непосредственное растяжение в противоположные стороны, так и ее передвижение (скорость перемещения может составлять 2–20 мм/с) во время процесса закалки. Эта особенность применения стальных тросов позволяет в значительной степени снизить коробление изделия и обеспечить постоянство получаемых результатов по крайней мере применительно к исследуемой марке стали и техпроцессу.

В 1965 г. началась крупная подготовка производства по термической обработке деталей машин оборонной техники. Для обеспечения надежности оборонной техники специалистами ОГМет ПЛЭН и термического цеха 93 МСП необходимо было изучить технологию процессов химико-термической обработки и высокочастотной закалки машин оборонной техники. С этой целью



*а*



*б*

Рис. 10. Общий вид установки К-549 (а) и индуктора (б) для закалки балки плуга

используют опыт оборонных заводов СССР. Для выпуска оборонной техники не было необходимых мощностей. В конце 60-х гг. был разработан проект на строительство и ввод в эксплуатацию цехов механосборочного производства (МСП), в том числе термического цеха МСП.

Сложность подготовки производства заключалась в том, что применяемые марки стали 18Х2Н2МА и 18Х2Н2В ранее на МТЗ не применяли. Высокая точность геометрических параметров требовала исследования новых режимов термической обработки.

За короткий срок в механосборочном производстве (МСП) был построен и введен в эксплуатацию термический цех с организацией всех видов термической и химико-термической обработки.

Процесс подготовки производства по изделию в большой степени коснулся и ПЛЭН. Предстояло выполнить проекты более чем на 120 наименований сложной оснастки, среди которых были такие крупногабаритные детали, как катки гусениц. Среди деталей, на первых порах производства, было много наименований шестерен коробки перемены передач, закалка которых при высокочастотном нагреве представляла собой большую трудность, поскольку шестерня после ВЧЗ должна была иметь три различные твердости. Для всех этих деталей необходимо было не только спроектировать, но и оснастить всю эту номенклатуру деталей. По уже принятой технологии подготовку производства, отработку режимов высокочастотной закалки проводили на экспериментально-производственном участке ПЛЭН. Одновременно производили наладку преобразовательной подстанции на шесть генераторов с частотами на 8 и 2,5 кГц, и двух установок на частоту 70 кГц.

Вся технология, проверка и доработка оснастки проводилась на экспериментальном участке ПЛЭН (УЭ).

В 1954 г. началась подготовка производства по применению индукционного нагрева в кузнечном производстве. Коллективом ОЭН был спроектирован и совместно с электроцехом изготовлен и внедрен в производство нагреватель-автомат для нагрева венцов маховика под чеканку и калибровку заготовок венца маховика диаметром около 450 мм и сечением примерно 24×26 мм. Вскоре, после создания в 1960 г. базовых лабораторий, началась совместная работа БЛЭН и Базовой лаборатории обработки металлов давлением (БЛОМД) по высадке с электронагревом деталей типа стержней с головками (болты и т.п.). В МЦ-3 был создан специальный участок, где высадка осуществлялась на механических прессах, а нагрев — на однопозиционных нагревательных станциях (ОНС). Для высадки болтов, изготавливавшиеся в больших количествах, процесс высадки был механизирован, а для наиболее массовых деталей — в 1974 г. создан автомат [20, 21].

В 1960 г. начались работы по широкому внедрению индукционного нагрева в кузнице. Не обошлось без досадных курьезов. Так, в цехе горизонтальных ковочных машин (ГКМ) кузницы запроектированной первоначально мощности преобразовательной подстанции хватило только для нагрева заготовок нескольких технологически особо сложных деталей, а в цехе механических ковочных прессов (МКП) все установленные по проекту индукционные нагреватели в одночасье были заменены газовыми печами, потому что в 1965 г. на завод пришел дешевый Дашавский газ. Анализ, проведенный БЛЭН, показал, что для нормальной работы цеха ГКМ мощность на-

гревателей, предусмотренная проектом, должна быть увеличена в 3 раза, а преобразовательной подстанции (ПП) ТВЧ — в 6–7 раз.

По инициативе и под руководством БЛЭН, и в первую очередь М.Р. Слепяна, человека в высшей степени ответственного и организованного, и при поддержке директора завода И.И. Кулешова были осуществлены реконструкции преобразовательной подстанции ТВЧ в цехах МКП и ГКМ и сооружение новой в кузнечно-заготовительном цехе [22]. И.Г. Комаром, Н.Ф. Ладутько, Г.В. Лукинским, М.М. Мовшовичем, В.И. Прицевым, Я.Т. Федоровичем, Б.Н. Хацкевичем, В.Н. Шутом и др. была проведена работа по модернизации и наладке оборудования, внедрению и автоматизации индукционного нагрева в кузнечных цехах. Особо эффективным явилось внедрение высадки одновременно двух участков на заготовке задней полуоси с предварительным их нагревом до заданных температур, осуществленное совместно с технологами БЛОМД и кузницы.

В 1962–1964 гг. завод приступил к серийному выпуску энергонасыщенных универсально пропашных тракторов МТЗ-50 и МТЗ-52. В это же время в кузнечном производстве выстроены высокочастотные подстанции, где силами ОТВЧ было отлажено и введено в эксплуатацию 42 машинных преобразователя для питания 25 индукционных нагревателей. Общая мощность преобразовательных подстанций составила 21 000 кВт.

До 1967 г. «узким местом» в кузнечно-заготовительном цехе была резка толстостенных труб, диаметром до 100 мм на короткие заготовки (втулки, кольца) на резцовых трубоотрезных станках с вращающейся трубой. Целая батарея труборезов едва справлялась с программой, а при поступлении труб с завышенной твердостью происходили сбои в работе. Рационализаторами БЛЭН (В.И. Дмитриевым и др.) было предложено применить горячую резку, для чего заменить резцы дисковыми пилами и нагревать вращающуюся трубу ТВЧ в зоне резки [15, 19]. Взаимное расположение разрезаемой трубы, индуктора и пилы в установке показано на схеме рис. 11.

Внедрение новой технологии в несколько раз сократило время резки и ликвидировало зависимость от качества предварительной термообработки труб. Разработку технологии ВЧ термообработки пил горячей резки, оборудования для этого процесса, а также создание станка для горячей резки проката и внедрение этого комплекса в производство выполнили Н.Ф. Ладутько, В.И. Дмитриев, В.С. Баранов, А.И. Тарарук, Л.В. Кли-

мов, Е.И. Широков, Е.С. Лисков, К.Н. Кошеленков, Я.Т. Федорович.

Процесс упрочнения пил горячей резки проката, позволивший увеличить стойкость инструмента в несколько раз, награжден Серебряной медалью ВДНХ. Общий вид индуктора и расположение в процессе закалки относительно пилы показан на рис. 12.

В 1968 г. назрела необходимость замены установки с контактным нагревом для электровысадки (получения сферического набора металла на конце стержня) установкой с индукционным нагревом. В БЛЭН была изготовлена экспериментальная установка, на которой М.М. Мовшович попытался получить требуемое изделие. Результат оказался отрицательным: набор металла получался вместо сферического — цилиндрический. Когда об этом сказали начальнику кузнечного цеха М.Е. Гаврилову — он обрадовался: для изготовления заготовки торсиона подвески сидения-стержня с цилиндрическими утолщениями на концах кузницы по технологическим ограничениям вынужде-

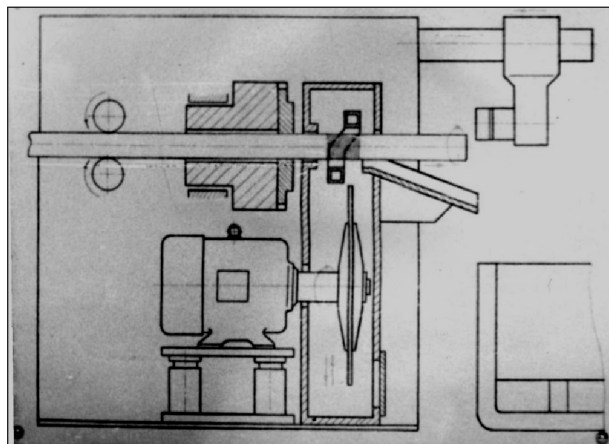


Рис. 11. Схема установки для горячей резки труб с нагревом ТВЧ

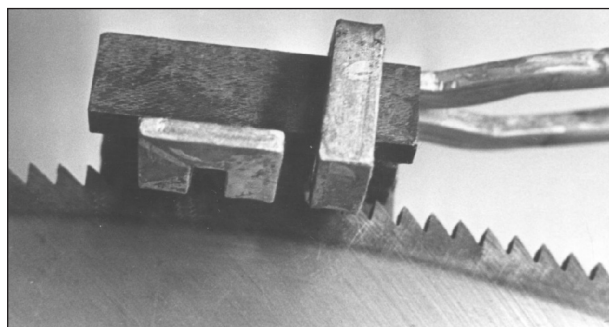


Рис. 12. Общий вид индуктора и расположение в процессе закалки относительно пилы



ны использовать исходный пруток завышенного диаметра, а механики — его обтачивать до нужного размера. Набор металла с индукционным нагревом позволял получить заготовку из прутка окончательного размера. Сотрудники БЛЭН (И.Л. Бейль, И.И. Гончаров, И.Г. Комар, Н.Ф. Ладутько, М.М. Мовшович, В.И. Прицев, В.И. Сорокин, Е.И. Широков, Н.Л. Янюк и др.) спроектировали, отладили и внедрили в производство в 1974 г. специальную установку для свободного набора цилиндрического утолщения диаметром 28 мм длиной 100 мм на прутке, диаметром 16 мм [15].

1970–1974 гг. параллельно с подготовкой производства была разработана проектно сметная документация на строительство преобразовательной подстанции ТВЧ на четыре машинных преобразователя ОПЧ-250/10000. К концу 70-х гг. закончилось строительство, оснащение, отлажена работа оборудования и введена в строй высокочастотная преобразовательная подстанция в МЦ-5. Вся работа по отладке оборудования была проведена сотрудниками лаборатории М.Р. Слепняном, Г.В. Лукинским и И. Каптуром.

Практически одновременно с закалкой на заводе начал применяться ТВЧ нагрев при пайке резцов в инструментальном производстве, а несколько позже — при изготовлении трубопроводов гидросистемы трактора [23, 24]. Применение ТВЧ нагрева взамен газопламенного дало значительный экономический эффект, улучшило условия труда и повысило качество спаянного соединения. В течение нескольких лет изготовление более 80 % трубопроводов гидросистемы было переведено на нагрев ТВЧ, а подготовка производства новых тракторов изначально велась в расчете на пайку с ТВЧ нагревом. Для ТВЧ пайки в МЦ-3 был сооружен специальный участок с 6 ламповыми генераторами ТВЧ. Значительные трудности представляло проектирование оснастки для удержания нескольких (5–6) одновременно нагреваемых труб в индукторе. Дело в том, что трубы разных наименований имеют различную и сложную конфигурацию, соответствующую трассе прокладки трубопровода на тракторе, и, зачастую, большую длину — превышающую 1000 мм. А в приспособлении для пайки они должны надежно удерживаться в заданном положении, быстро устанавливаться и легко убираться. Не зная координат центра тяжести и возможных точек опоры спроектировать такое приспособление было очень сложно. Перед проектированием приспособления путем экспериментов подбирались точки опоры трубки. Такая работа требо-

вала непосредственного участия конструктора, технолога и слесаря, затрачивалось время и материальные ресурсы на изготовление и испытание опытного приспособления с поддержками, но не всегда была удачной и подвергалась неоднократным переделкам. Задача была решена, когда для расчетов была использована ЭВМ, выделенная лаборатории одной из первых на заводе. Расчеты и программу разработал В.Ф. Волчек. Внедрение проектирования на ЭВМ позволило значительно снизить трудоемкость процесса проектирования трубок.

Большой экономический эффект дало разработанное и внедренное В.С. Барановым с участием А.Н. Басальго, В.Ф. Волчка, В.А. Гуриновича, В.И. Прицева и др. устройство для одновременной припайки к бачку масляного радиатора 52 трубок, расположенных в 3 ряда.

Не так широко как индукционный нагрев металлов, но и нагрев диэлектриков также нашел применение на заводе. В 1965 г. закончена отработка технологии и создание специального оборудования сварки чехлов для запасных частей из полихлорвиниловой пленки с резистивным нагревом и нагревом ТВЧ. Общий вид установки для сварки пленки показан на рис. 13.

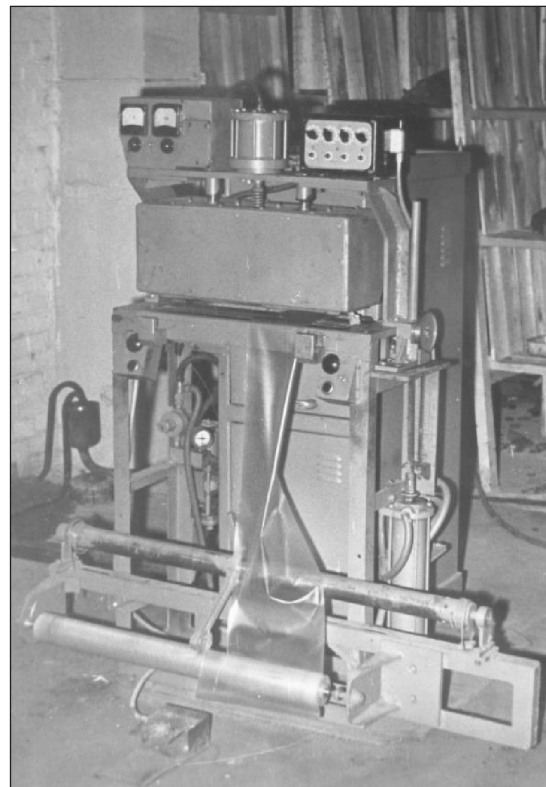


Рис. 13. Общий вид установки для сварки полихлорвиниловой пленки

Нагрев в поле ТВЧ применен также для сушки стержней в сталелитейном цехе. Активное участие в разработке оборудования и по внедрению этих процессов принимали И.Г. Комар, В.И. Дмитриев, В.А. Гуринович, Я.Т. Федорович, А.Н. Басальго, Э.А. Воронцов, Я.Е. Добис, И.И. Минько.

Служба ТВЧ МТЗ постоянно поддерживала связи с ФТИ АН БССР [17, 25], ВНИИ ТВЧ [26]; сотрудничала с институтами тепло и массообмена, Прикладной физики, БПИ и др.

В процессе производственной деятельности в лаборатории сформировались условия, способствующие творческому подходу к решению производственных задач. Проявление творческой активности ИТР и рабочих является результатом всемерной поддержки этого движения администрацией и общественными организациями. «Узкие места» обсуждались коллективно на активно работающем совете НТО. Ежедневно проводились технические информации. На информационной доске вывешивалось описание «узких мест» для их последующего коллективного обсуждения. Лучшие решения поощрялись и оформлялись рационализаторскими предложениями.

В лаборатории функционировало общественно-конструкторское бюро (ОКБ) и общественно-патентное (ОПБ), деятельность которых осуществлялась во вне рабочее время.

Авторские свидетельства и патенты на изобретения получили Л.С. Космович, В.С. Баранов, В.И. Дмитриев, Н.Ф. Ладутько, К.Н. Кошеленков, В.И. Прицев, В.Ф. Волчек, В.А. Гуринович, Л. Я. Фельдман.

За время существования ПЛЭН коллективом лаборатории было создано около 40 изобретений, многие из которых внедрены в производство и дали большой экономический эффект. Более 20 авторских свидетельств и патентов получено В.С. Барановым. По числу полученных авторских свидетельств и патентов среди коллективов отделов завода ПЛЭН находилась на втором месте, а по числу полученных изобретений среди отделов ИТР на одного работающего — на первом.

подавляющее большинство руководителей и ведущих специалистов приехали на МТЗ с других городов страны. Здесь набирались молодые специалисты, в основном, техники, может быть и сверх производственной необходимости — для

обучения. Очень скоро из них выросли и ведущие конструкторы, и технологи, и мастера, и начальники подразделений.

Цех укомплектовывали тремя путями: переводом сотрудников термического цеха и молодыми специалистами, прибывшими по распределению после окончания учебного заведения, а также «добровольцами», попавшими в ЦТВЧ в надежде найти «где лучше». Никто из всех категорий не имел специального образования или теоретической подготовки в области высокочастотной электротермии. Учиться надо было на ходу, самостоятельно, без отрыва от производства. Подавляющее большинство специалистов службы ТВЧ МТЗ (ЦТВЧ-ОТВЧ) начинали работу в этой службе техниками (Космович, Ладутько, Слепян и др.) или рабочими (Баранов, Кошеленков, Кошеленкова и др.) и получили высшее образование без отрыва от производства.

За 45 лет через службу ТВЧ МТЗ прошло 150–200 человек, а может быть и больше. Часть из них проработали до пенсии, часть уволилась по объективным причинам, а часть — «не пришла ко двору». О последних сказать нечего, а вот первая и, отчасти, вторая группа — это люди, определившие успехи и создавшие доброе имя БЛЭН – ПЛЭН – ОТВЧ — В.С. Баранов, А.Н. Басальго, В.И. Дмитриев, Я.И. Добис, М.А. Довнар, Н.Ф. Ладутько, В.И. Прицев, М.Р. Слепян, В.И. Сорокин, Я.Т. Федорович, М.Л. Этин, К.Н. Кошеленков.

К сожалению, следует отметить, что если в 50–60-е гг. отдел кадров регулярно направлял в ЦТВЧ, ОЭН, БЛЭН молодых специалистов, то в 70–90-е гг., когда особенно остро ощущалась потребность в подготовке смены специалистам предпенсионного возраста, в ПЛЭН-ОТВЧ были направлены всего несколько человек. Это привело к резкому постарению кадров службы ТВЧ в настоящее время, что, конечно, не способствует повышению эффективности работы. Нет ничего хорошего в том, что с 1987 г. по 1994 г. достигли пенсионного возраста все руководители подразделений ОТВЧ и не всем им была подготовлена достойная замена. Омолождение руководства отдела началось только в 1990 г., когда достигшего пенсионного возраста В.И. Прицева сменил 26-летний В.Ф. Волчек, а в 1991 г. заместителем начальника по производству стал В.А. Гуринович.



*Ветераны-энтузиасты развития индукционного нагрева на МТЗ, г. Минск, 1993 г. Задний ряд слева: Гуринович Владимир Александрович, Кошеленков Константин Николаевич, Волчек Владимир Федорович, Космович Лев Степанович, Баранов Владимир Степанович, второй ряд: Кошеленкова Нелли Владимировна, Хоцкевич Борис Никитич, Прицев Виктор Иванович, Этин Михаил Львович, на переднем плане: Космович Нина Антоновна.*

#### **Литература**

1. Гурченко, П.С. История и направления развития индукционного нагрева ТВЧ на Минском автомобильном заводе / П.С. Гурченко, А.А. Шипко // Литье и металлургия. — 2013. — № 2.
2. Бодяко, М.Н. Термокинетика рекристаллизации / М.Н. Бодяко, С.А. Астапчик, Г.Б. Ярошевич. — Минск, 1967. — 251с.
3. Бодяко, М.Н. Электротермообработка сплавов с особыми свойствами / М.Н. Бодяко, С.А. Астапчик. — Минск: Наука и техника, 1977. — 256 с.
4. Гордиенко, А.И. Структурные и фазовые превращения в титановых сплавах при быстром нагреве / А.И. Гордиенко, А.А. Шипко. — Минск: Наука и техника, 1983. — 335 с.
5. Космович, Л.С. Расширение области применения электронагрева / Л.С. Космович // За новую технику и прогрессивную технологию. — Госиздат БССР. — 1958.
6. Космович, Л.С. Развитие применения индукционного нагрева. / Л.С. Космович // Бюллетень технической информации. — МТЗ. — 1958. — N 4(8).
7. Космович, Л.С. Высоочастотная закалка на Минском тракторном заводе / Л.С. Космович // Пятая республиканская технологическая конференция: тезисы докладов. — Минск, 1959.
8. Космович, Л.С. Высоочастотная закалка в линиях механической обработки деталей / Л.С. Космович // Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение. — ЦИНТИАМ. — 1964. — № 2.
9. Космович, Л.С. Типовая аппаратура управления преобразовательной подстанцией с высокоочастотными машинными генераторами. / Л.С. Космович // Передовой научно-технический и производственный опыт. — ГОСИНТИ. — Москва, 1964. — N 28-64-1275/61.
10. Космович, Л.С. Централизованное питание закалочных станков от машинных преобразователей частоты / Л.С. Космович // Промышленная энергетика. — 1989. — N 10.
11. Устройство для закалки цилиндрических деталей: а.с. / В.И. Дмитриев, Л.С. Космович. — N 190392.
12. Устройство для закалки цилиндрических деталей: а.с. / В.И. Дмитриев, Л.С. Космович. — N 228703.



13. Дмитриев, В.И. Пневматический насос для спрейерной закалки маслом / В.И. Дмитриев, Л.С. Космович // Бюллетень технико-экономической информации. — ГНИИНИТИ. — Москва, 1966. — N 3.
14. Космович, Л.С. Высокочастотная закалка шестерен: сб. работ по металлосведению и термической обработке / НТК СНХ БССР. — Минск, 1959.
15. Опыт применения ТВЧ в электротермии / М.Н. Бодяко [и др.] // 8 Всесоюзная конференция по применению ТВЧ в электротермии: тезисы докладов, 15–17 апр. 1975 г.: в 2 ч. / ВНИИТВЧ. — Ленинград, 1975.
16. Исследование технологических параметров высокочастотной закалки ведомых бортовых шестерен трактора МТЗ-80 / М.Н. Бодяко [и др.] // Научно-практическая конференция, посвященная 30-летию МТЗ: тезисы докладов. — Минск, 1976.
17. Космович, Л.С. Изменение твердости стали 50ХГТР при изотермическом отпуске. Прогрессивные методы в машиностроении / Л.С. Космович [и др.]. — Минск: Наука и техника, 1978.
18. Баранов, В.С. Комплексная термическая обработка с индукционным нагревом задних полуосей трактора / В.С. Баранов, Л.С. Космович, А.Л. Парнас // Металловедение и термическая обработка металлов. — 1987. — N 9.
19. Способ управления индукционным нагревом изделий и устройство для его осуществления: а.с. / В.С. Баранов, Л.С. Космович, В.И. Прицев. — N 1305180 // Бюллетень изобретений и открытий. — 1987. — N 15.
20. Автомат для горячей высадки болтов: а.с. / И.Г. Комар [и др.]. — N 1311830 // Бюллетень изобретений и открытий. — 1987. — N 19.
21. Ладутько, Н.Ф., Хацкевич Б.Н. Автомат для горячей высадки головок болтов. Прогрессивные методы в машиностроении / Н.Ф. Ладутько, Б.Н. Хацкевич. — Минск: Наука и техника, 1978.
22. Ладутько, Н.Ф. Перспективы применения индукционного нагрева в кузнечном производстве / Н.Ф. Ладутько // Научно-практическая конференция, посвящ. 30-летию МТЗ: тезисы докладов. — Минск, 1976.
23. Басальго, А.Н. Высокочастотная пайка деталей маслопроводов. Прогрессивные методы в машиностроении / А.Н. Басальго, И.Г. Комар. — Минск: Наука и техника, 1978.
24. Серединский, Е.Е. Пайка с нагревом ТВЧ на Минском тракторном заводе / Е.Е. Серединский // 5 Республиканская технологическая конференция: тезисы докладов. — Минск, 1959.
25. Индукційны адпал прамысловых сталей / М.М. Бадзяка [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларускай ССР. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 1965. — N 1.
26. Тиристорный преобразователь для индукционных установок / Л.С. Космович [и др.] // Электротермия. — 1971. — Вып. 111.
27. Ермоленко, Н.Н. Стеклокристаллический материал для электротермических установок / Н.Н. Ермоленко, З.Н. Шалимо, Л.С. Космович // Промышленность Белоруссии. — 1965. — N 6.
28. Н.Ермоленко, И.Трунец, Л.С.Космович, М.Довнар Использование ситаллов в индукторах высокочастотного нагрева / Н. Ермоленко [и др.] // Промышленность Белоруссии. — 1975. — N 11.