

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

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

можно без систем управления на базе промышленных компьютеров и программаторов.

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

## РАБОТЫ ВНИИТВЧ В ОБЛАСТИ ИНДУКЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ

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

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

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

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

Созданы и выпускаются источники питания

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

08Г2Т, 15Г2 и ОХ13.

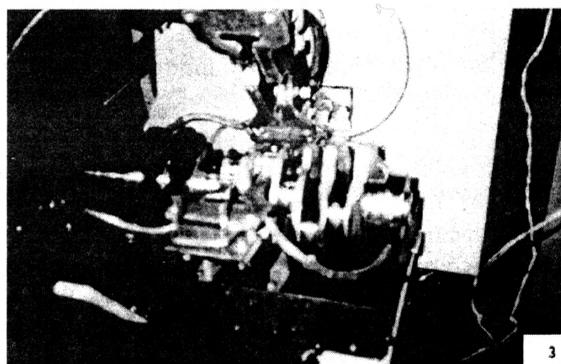
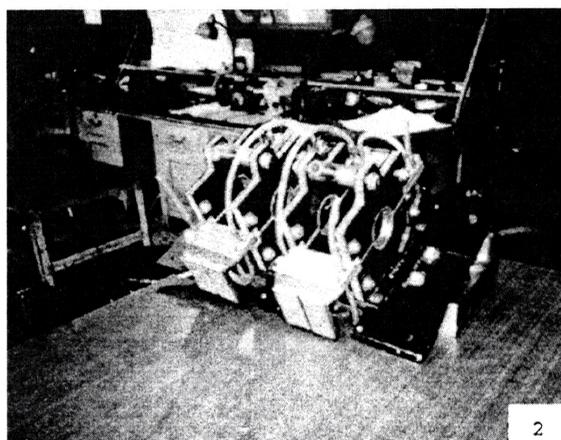
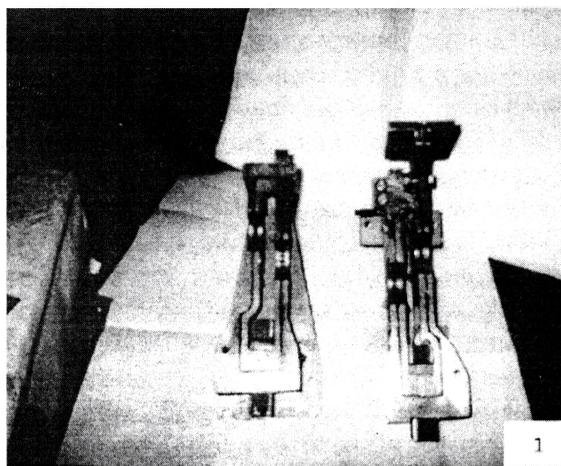


Рис. 1. Разъёмный петлевой индуктор для закалки шеек коленчатого вала автомобиля Форд. 1 — индуктирующие витки(справа- подключаемый, слева- короткозамкнутый); 2 — общий вид индуктора; 3 — индуктор для закалки одной пары шеек, в открытом состоянии

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

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

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

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

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

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

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

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

#### **Термообработка шестерен**

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

деления температуры определяется выбором частоты и времени нагрева.

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

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

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

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

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

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

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

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

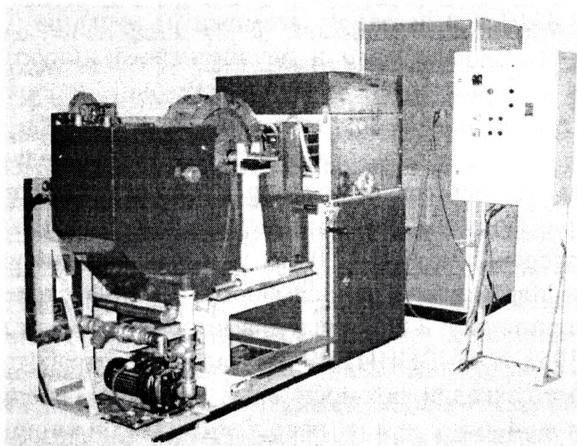


Рис. 2. Автоматизированная установка для закалки крановых колёс (внедрена в 2007 г. на ОАО «АСК»-Крановый завод, г. Санкт-Петербург)

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

#### Объемно-поверхностная закалка поршневых пальцев

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

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

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

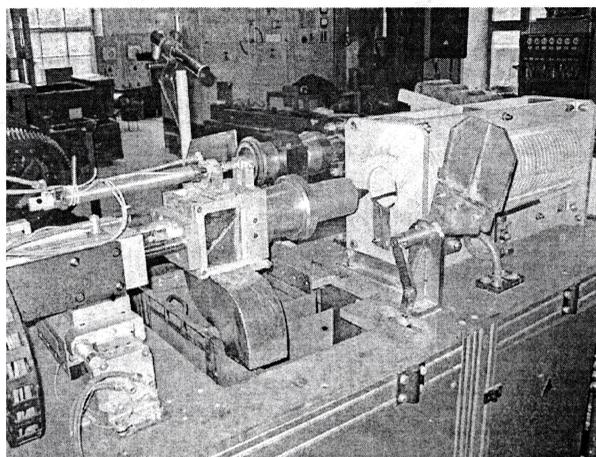


Рис. 3. Автоматизированная установка для объемно-поверхностной закалки поршневых пальцев (внедрена на Уссурийском локомотиво-ремонтном заводе)

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

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

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

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