

Высокочастотные электротехнологии. Состояние, проблемы, перспективы (Часть 1)

В. Н. Иванов,
д. т. н., академик АЭН РФ,

Б. М. Никитин,
академик АЭН РФ,
доктор электротехники

В. И. Червинский,
к. т. н.

ФГУП ВНИИТВЧ, г. Санкт-Петербург

В настоящее время трудно себе вообразить жизнь человека на Земле и общество, которое обеспечивает его существование, без электричества. И трудно себе представить, что все открытия, все научные исследования, все изобретения, все промышленно производство в области электричества были созданы всего лишь за 200 с небольшим лет, после того, как Алессандро Вольт создал первый источник тока.

Удивительно, что, несмотря на то, что электричество сыграло такую революционную роль в жизни человека, Академия электротехнических наук была создана в нашей стране лишь 20 лет назад. Тем не менее, это событие является исключительно важным. Объединение ученых, специалистов в области электротехники дает возможность обсуждать результаты их работы, ставить важные для страны и человечества задачи, создает дополнительные условия для развития. Всероссийский научно-исследовательский институт токов высокой частоты, ныне ФГУП «ВНИИТВЧ», является коллективным членом Академии электротехнических наук РФ.

Ключевые слова: индукционный нагрев, термическая обработка, закалка, высокочастотная сварка, сквозной индукционный нагрев.

Особенности воздействия на материал высокочастотных электромагнитных полей были открыты лишь 100 лет назад и ВНИИТВЧ, положив их в основу своих работ, сыграл исключительно важную роль в создании промышленности СССР, как гражданского, так и военного назначения. В настоящее время невозможно представить производство без высокочастотных электротехнологий — технологических процессов, использующих воздействие переменных электромагнитных полей на различные материалы и среды. При реализации этих процессов энергия выделяется непосредственно в обрабатываемых материалах без тепловых носителей. Плотность энергии на порядок выше, чем при многих других способах. Нагрев материалов может быть как равномерный, так и градиентный, достигающий 1000°С/мм и выше.

Поэтому во всех отраслях, где внедрены высокочастотные технологические процессы, получены повышение качества продукции, улучшение условий труда, экономия материальных, трудовых и энергетических ресурсов. В ряде случаев высокочастотные электротехнологии не имеют альтернативы.

Наша страна по праву считается родиной промышленного применения токов высокой частоты, а ВНИИТВЧ, с момента основания в апреле 1947 г., является научным центром высокочастотных технологий.

До этой знаменательной даты основатель института В. П. Вологдин и сотрудники его лаборатории заложили основы теории и практики промышленного применения токов высокой частоты в промышленности. Результаты, полученные в предвоенные годы, во время войны и в послевоенный период, позволили убедить правительство, научное сообщество и руководителей промышленности, в первую очередь, металлургической и машиностроительной, в своевременности и необходимости создания подобного научного центра.

Естественно, что первыми сотрудниками института стали сотрудники лаборатории. Им, наряду с В. П. Вологдиным, принадлежит важнейшая роль в развитии высокочастотной электротехники.

С момента создания института начались целенаправленные исследования процессов нагрева металлов, полупроводников, диэлектриков и ионизированных

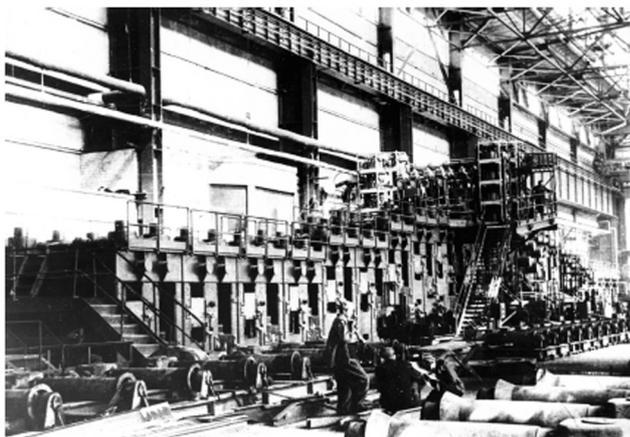


Рис. 1. Установка для закалки головок рельсов на металлургическом комбинате «Азовсталь»

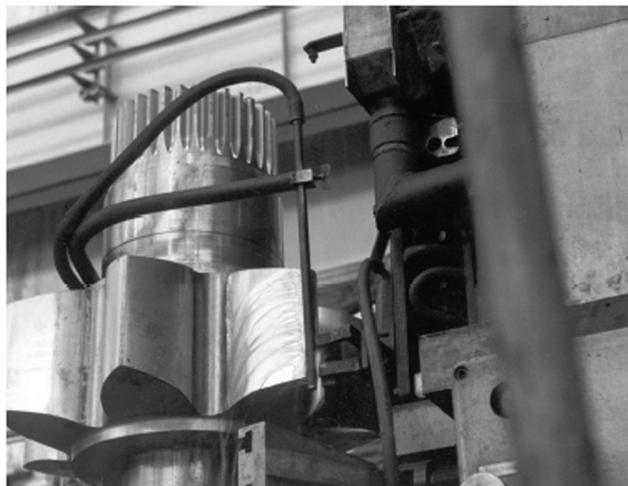


Рис. 2. Закалка шестерни с модулем 80 мм

газов. В результате были созданы новые технологические процессы, которые определили направление работ ВНИИТВЧ на многие годы. Начались работы по созданию теории воздействия нагрева электродинамических сил на обрабатываемые материалы. Совместно с другими организациями были созданы специальные материалы для высокочастотного оборудования электроизоляционные, теплоизоляционные, проводники, магнитопроводы и т. д. Были созданы и налажен выпуск источников питания технологических установок.

К настоящему моменту усилиями ВНИИТВЧ, при научной помощи двух кафедр: ЭПТ СПбГЭТУ (ЛЭТИ) и электротехники и электротехнологий СПбПУ (Политехнический институт), усилиями заводов электротермического оборудования, заводов, производящих специальные комплектующие изделия и материалы созданы разнообразнейшие электротехнологические процессы и оборудование для их реализации.

Рассмотрим ряд основных направлений, связанных с индукционным нагревом металлов, полупроводников и ионизированных газов.

Термообработка машиностроительных деталей и проката. В России и СНГ работает более 120 тыс. закалочных установок, на которых подвергаются термической обработке более 80% подвергаемых упрочнению, машиностроительных деталей.

Среди последних достижений:

- комплекс работ для железнодорожного транспорта, не имеющий аналогов в мире: термообработка головки рельсов по всей длине, обеспечивающая увеличение их «ходимости» в 2 раза (рис. 1); термообработка стыков рельсов, сваренных в плеть на стационарных и мобильных установках; термообработка концов рельсов; термообработка ободов колесных пар вагонов, приводящая к увеличению срока их службы в 2–3 раза [1];
- технология и оборудование для термоупрочнения тяжело нагруженных машиностроительных деталей (шестерен, реек, валов, колец подшипников и т. п.), изготовленных из специально созданной для этого стали с регламентированной прокаливаемостью;
- технология и оборудование для закалки особо крупногабаритных шестерен с модулем до 80 мм для платформ шельфного бурения (рис. 2) [2];



а



б

Рис. 3. Линия для термической обработки анкерных труб:
а – общий вид установки; б – нагревательный блок и закалочная камера

- разработка метода и создание станка для термообработки кулачков распределительного вала и шеек коленчатого вала автомобиля с использованием разъемного бесконтактного индуктора.

В институте накоплен большой опыт разработки технологических процессов закалки машиностроительных деталей из различных сталей, создана база данных, содержащая записи параметров процессов и результатов закалки. Эти материалы после их математической обработки позволяют создать математическую модель индукционной поверхностной закалки, позволяющую рассчитывать и прогнозировать структуру и механические свойства закаленной детали. Работы в этой области проводятся в институте в последние годы.

ВНИИТВЧ продолжает уделять большое внимание разработкам технологии термической обработки труб. Так, за последние 5 лет были разработаны и внедрены в работу несколько новых автоматизированных линий термической обработки (закалка плюс отпуск) утяжеленных буровых труб. Блок закалочных индукторов и оригинальная конструкция спрейерной камеры обеспечивают равномерный прогрев и прокаливаемость труб с толщиной стенок до 65 мм, а блок отпускных индукторов обеспечивает необходимый временной режим отпуска. Возможность управлять режимами нагрева под закалку, охлаждения и отпуска позволили достичь заданной совокупности величин механических параметров специальных винтовых (анкерных) труб, применяемых при строительстве тяжелонагруженных фундаментов, что привело к созданию промышленной линии по выпуску подобных труб и дало возможность отказаться от их импорта из Германии (рис. 3).

Учитывая повышенные требования надежности работы к каждой термообрабатываемой трубе, индукционные установки снабжены системами отображения, архивирования и паспортизации основных электрических и технологических параметров [3].

В арсенале индукционных установок, разработанных во ВНИИТВЧ, имеются также нагреватели для нормализации и закалки электросварных труб мощностью до 3500 кВт.



Рис. 4. Высокочастотная сварка труб с индукционным подводом тока к свариваемым кройкам

В результате нескольких лет исследований был создан и внедрен в промышленное производство процесс и оборудование для скоростной индукционной термообработки (СИТО) тонкостенных труб [4]. Процесс позволяет увеличить либо коэффициент удлинения, либо предел прочности, либо произведение коэффициента удлинения на предел прочности примерно в 2 раза, что позволяет увеличивать энергию поглощения при ударных нагрузках. Например, такие трубы могут устанавливаться в дверные проемы автомобилей для защиты водителей и пассажиров.

Актуальной задачей на ближайшее будущее является расширение области применения разработанной технологии при производстве не только труб, но и сортового проката.

Экспериментальная база института позволила организовать участок для закалки машиностроительных, как правило крупных и сложных, деталей, по заказам промышленных предприятий, которые не имеют возможности приобрести закалочные установки или не видят экономической целесообразности создавать у себя специализированные термические участки. Как правило, проведение этих работ сопровождается предварительными исследованиями и макетированием технологического процесса закалки для данного типа детали.

Дальнейшее развитие технологий и оборудования для высокочастотной термической обработки деталей и проката, отвечающее современным мировым требованиям, связано с решением следующих задач:

- разработка комплексных математических моделей, отражающих теплокинетические процессы при нагреве и охлаждении, и процессы, связанные с кристаллизацией;
- накопление, анализ и математическая обработка технологических режимов закалки с выдачей аналитических зависимостей, позволяющих выбирать технологические режимы с прогнозированием результатов закалки;
- разработка транзисторных генераторов и технологии для двух частотной закалки шестерен;

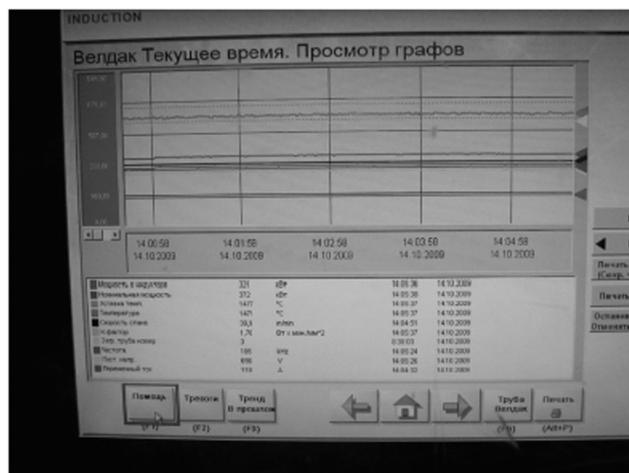


Рис. 5. Панель оператора с записью основных электрических и технологических параметров сварки (Волгореченский трубный завод)

- разработка технологии индукционной поверхностной закалки прокатных валков на глубину до 40 мм для листопркатных станков;
- применение новых композиционных магнитомягких материалов для проектирования и изготовления магнитопроводов;
- разработка новых типов закалочных сред, расширяющих номенклатуру закаливаемых сталей (углеродистых и легированных), и спрейерных систем.

Высокочастотная сварка металлов. Процесс высокочастотной сварки труб и оборудование для сварки активно разрабатывались во ВНИИТВЧ в 1960-е гг. (рис. 4). В короткий срок специалистами института был выполнен целый ряд научно-исследовательских работ, позволивших получить ясную картину физических процессов, протекающих при высокочастотной сварке, создать инженерные методы расчета электро-тепловых параметров сварочных систем, разработать технологию и оборудование для сварки труб диаметром от 10 до 220 мм, что позволил в течение 10 лет удвоить производство электросварных труб на существующих трубоэлектросварочных агрегатах и обеспечить резкий рост жилищного строительства [5]. При непосредственном участии ВНИИТВЧ были созданы новые станы для высокочастотной сварки труб диаметром от 203 до 530 мм. Новый способ позволил повысить качество сварного соединения и использовать сварные трубы взамен бесшовных. Были созданы процессы сварки оболочек кабелей, Т-образных и I-образных профилей, продольного и спирального оребрения труб.

В настоящее время в России, СНГ и 10 странах мира работают, построенные с участием ВНИИТВЧ, свыше 260 агрегатов для высокочастотной сварки труб, профилей и оребрения труб, на них производится 50% по весу и 85% по длине всех производимых труб.

Исследования, проводимы ВНИИТВЧ совместно с трубными институтами, ЦНИИЧерметом, ВНИИ-МЕТМАШем, ВИЛСом и другими организациями, позволили разработать технологию высокочастотной сварки не только малоуглеродистых сталей, но и низколегированных и нержавеющей, не только медь, алюминий и их сплавы, но и титан.

Все агрегаты для высокочастотной сварки были введены в промышленную эксплуатацию с использованием широкой гаммы сварочных установок мощностью до 1000 кВт, с ламповыми генераторами, разработанными институтом, что обеспечило полную независимость трубной промышленности от зарубежных поставок высокочастотных сварочных установок.

На качество сварного соединения при высокочастотной сварке влияет целый ряд электрических и технологических параметров, таких, как температура в точке сварки, частота тока, угол между кромками, давление в валках и др. Возможность контроля, записи и анализа влияния этих параметров на процесс сварки позволит повысить качество сварки (рис. 5). Подобные исследования ведутся специалистами институтами на одном из трубоэлектросварочных агрегатов Выксунского металлургического завода.

В настоящее время, на трубных заводах развернулась модернизация трубных станков с заменой ламповых генераторов на транзисторные, которые приобретаются за рубежом, так как на отечественном рынке транзисторные генераторы необходимой частоты и мощности к сожалению не представлены. Эта проблема может быть решена, специалисты и научный задел в этой области имеется, как во ВНИИТВЧ, так и в ряде других научных организациях, но для разработки и изготовления головных образцов транзисторных генераторов мощностью не менее 250 кВт с частотой тока 440 кГц необходимо целевое финансирование работ. Инвестирование необходимых средств со стороны крупных трубных и металлургических компаний в создание отечественных транзисторных генераторов позволило бы в ближайшей перспективе провести широкую модернизацию трубных станков и снизить затраты на приобретение зарубежного оборудования.

Индукционный нагрев металлов перед обработкой давлением и прокаткой. В России, СНГ и в дальнем зарубежье работает более 200 кузнечных цехов, более 40 мощных прокатных станков, 60 поточных штамповочных линий, индукционное оборудование для которых было разработано и изготовлено во ВНИИТВЧ.

В настоящее время более 60% всех заготовок перед кузнечно-прессовой обработкой нагреваются индукционным способом.

К достижению в этой области необходимо отнести:

- разработку и организацию серийного выпуска широкой гаммы автоматизированных индукционных установок мощностью от 100 до 3250 кВт, с частотой от 50 до 10000 Гц для нагрева мерных заготовок перед пластической деформацией в кузнечно-прессовом производстве;
- создание ряда индукционных установок мощностью до 12 мВт для подогрева бесшовных труб в линиях трубопрокатных агрегатов перед калибровкой и редуцированием;
- участие совместно с ОАО «Тяжпрессмаш» и ОАО «ВНИИМЕТМАШ» в создании высокопроизводительных автоматических линий по производству



Рис. 6. Индукционная установка мощностью 3500 кВт в линии по производству арматуры

железнодорожных болтов, гаек, шурупов, колец подшипников, мелящих шаров, сортового проката, включающих в свой состав специализированные индукционные установки мощностью до 6 МВт (рис. 6) [6];

- создание технологии и оборудования для спекания деталей из порошков, позволяющих заменить двухстадийный процесс на одностадийный.

Значительное распространение индукционный нагрев имел и имеет в трубопрокатном производстве. В последние годы ВНИИТВЧ поставил ряд индукционных установок с тиристорными источниками питания мощностью от 1,6 до 5,7 МВт для Волжского, Ижорского и для двух Днепропетровских трубных заводов. С большой экономической эффективностью была проведена работа на ДТЗ им. В. И. Ленина, где индукционная установка мощностью 4,8 МВт с длиной индукционного нагревателя около 12 м была установлена взамен газовой проходной печи длиной 65 м в линии ТПА-80 перед редуцированием (рис. 7). Затраты на замену газовой печи на индукционную окупилась менее чем за 12 месяцев.

Система управления и автоматического регулирования, использованная в данной индукционной установке, позволила решить основную проблему, присущую прокатке труб на оправке, а именно, ликвидировать неравномерность температуры вдоль трубы.

В последние годы в институте проводятся исследования и разработка оборудования для комбинированных методов нагрева заготовок перед пластической обработкой заготовок.

Этот метод позволяет увеличивать производительность технологических процессов, повышать качество нагрева, снижать термические нагрузки на печное оборудование.

Возможны два варианта комбинированного нагрева:



Рис. 7. Индукционная установка для подогрева труб перед редуцированием в линии ТПА-80

- предварительный нагрев заготовок осуществляется в индукционной печи, при этом в заготовки вкладывается максимум энергии, а затем заготовки переносятся в печь сопротивления, где их температура достаточно быстро выравнивается по всему объему на заданном уровне при минимальном градиенте температур;
- предварительный нагрев заготовок производится в печах (газовых или сопротивления) до точки Кюри, а затем они ускоренно догреваются в индукционной установке. Этот вариант сокращает время нагрева, габариты термического оборудования, снижает окалинообразование и обеспечивает облегченные условия работы печи, (тепловой изоляции, нагревателей).

По заказу ВСМПО – АВИСМА институт совместно с ООО «РТИН» разрабатывает комплекс оборудования, совмещающий индукционные нагреватели и печи сопротивления для комбинированного, прецизионного нагрева слябов из титана и его сплавов перед прессованием [7].

Исходные заготовки с определенным темпом поочередно загружаются в несколько индукторов с помощью механизированной загрузочной тележки, где нагреваются до необходимой температуры с заданным распределением температуры по длине и сечению. Нагретые заготовки, также поочередно, выгружаются из индукторов и перемещаются в печи сопротивления, откуда после полного выравнивания температуры по всему объему поступают в пресс. Помимо сокращения времени и повышения точности нагрева, новый комплекс оборудования обеспечивает минимизацию энергозатрат и повышения производительности.

Для Чепецкого механического завода разработан технический проект линии также комбинированного нагрева (индуктор плюс печь сопротивления) мерных заготовок из титана и циркония, которая обеспечивает точность нагрева $\pm 7^\circ\text{C}$.

Для этого же завода начата подготовка к работе по модернизации индукционных печей для нагрева слитков из титана и циркония диаметром до 450 мм и длиной до двух метров.

До недавнего времени индукционный нагрев в листопрокатном производстве практически не применялся либо имел крайне редкое применение. Однако в последние 10 лет на многих металлургических заводах Европы, Америки, Японии и других стран с помощью индукционного нагрева успешно решается чрезвычайно актуальная задача расширения сортамента листопрокатных станов и повышения качества ленты из среднеуглеродистых и трансформаторных сталей. Индукционные нагреватели, встраиваемые в линии листопрокатных станов, обеспечивают возможность подогрева подката на 50–150 С перед чистовыми клетями, что позволяет получать ленту с уменьшенной толщиной проката и повышать ее качество.

Японская фирма ТМЕИС создала, начиная с 1998 г., более 12 индукционных печей мощностью от 17 до 40 МВт для подогрева подката в линиях прокатных станов по заказам Японии, Кореи, Китая и Тайваня.

Особенно эффективно проявляется возможность подогрева трансформаторных сталей, так как при этом

появляется возможность добиться такой структуры металла, при которой происходит снижение потерь холостого хода и, соответственно, расход электроэнергии при использовании их для изготовления магнитопроводов мощных трансформаторов.

Одновременно с подогревом всего сечения подката возможен подогрев только кромок, температура которых при подходе к чистовым клетям, как правило, ниже середины подката на 50–70°С. Особенно эффективно применение подогрева подката в листопрокатных станах, где подкат получают не черновой прокаткой слябов, а путем непрерывной разливки. Подобный стан с успехом эксплуатации в Италии (г. Кремона).

По заказу НЛМК во ВНИИТВЧ выполнено моделирование, расчет параметров и эскизное проектирование индукционного нагревателя мощностью 64 МВт для подогрева подката шириной 1880 мм и толщиной 50 мм с производительностью 600 т/час. Комбинируя и оптимизируя работу индукторов с поперечным и продольным магнитными полями, удалось достичь требуемой величины подогрева и точности распределения температуры по сечению подката (рис. 8).

Моделирование и расчеты показали теоретическую и практическую возможность реализации подобного проекта.

Во многих странах мира востребован метод индукционного нагрева тонколистовых ферромагнитных материалов в линиях непрерывного отжига и горячего цинкования. Нарботки в этой области также имеются во ВНИИТВЧ, что позволяет предлагать их для промышленной реализации.

Широкое применение на многих автомобильных заводах США, Германии и Японии получил метод штамповки для литья деталей из сплавов алюминия в твердоточном состоянии (тиксотормовка). Несмотря на то, что этот метод показал возможность существенного повышения качества прессуемых деталей, он до настоящего времени оставался вне сферы практических интересов российских автозаводов. Тем не менее, в этом году начато госфинансирование комплексной научно-исследовательской работы по разработке технологии и созданию опытного образца линии по

получению заготовки с требуемой структурой металла, ее прецизионного нагрева до твердоточного состояния с последующей тиксоформовкой деталей. ВНИИТВЧ совместно с ООО «РЭЛТЕК» принимает участие в этой работе на этапе моделирования процесса нагрева и создания опытного индукционного нагревателя [8].

Одним из основных направлений, которым ВНИИТВЧ занимается с момента своего основания, является разработка индукционных установок для нагрева мерных стальных заготовок перед различными видами пластической деформации.

Для повышения качества конечной продукции, например, высокоточных профилей различной формы, получаемых методом прессования, ВНИИТВЧ по заказу ОАО «Северсталь-Метиз» разработал индукционную установку для безокислительного нагрева мерных заготовок диаметром до 140 мм в защитной атмосфере. Специальные камеры на входе и выходе индукторов исключают попадание кислорода в зону нагрева. Установка находится в изготовлении, а ее внедрение намечено в 2013 г.

Постоянно расширяется типаж индукционных установок для нагрева круглого длиномерного проката и область их применения. Разработанные и модернизированные в последние годы индукционные установки мощностью до 6 МВт обеспечивают нагрев прутков диаметром от 6 до 110 мм с производительностью до 15 тонн/ час и более.

Несколько лет назад во ВНИИТВЧ была разработана и изготовлена уникальная установка мощностью 8 МВт для нагрева заготовок диаметром до 230 мм перед станом поперечно-винтовой прокатки осей железнодорожных осей, разработанным ОАО «ЭЗТМ». По ряду организационных причин ввод этой линии в эксплуатацию откладывается.

Очевидно, что уровень разработки подобных установок, их мощность и качество нагрева, позволяют предполагать их использование в сортопрокатном производстве на металлургических комбинатах. В настоящее время во ВНИИТВЧ разработано предложение по запросу ОАО «Северсталь» на создание индукционной установки мощностью 24 МВт для прокатки

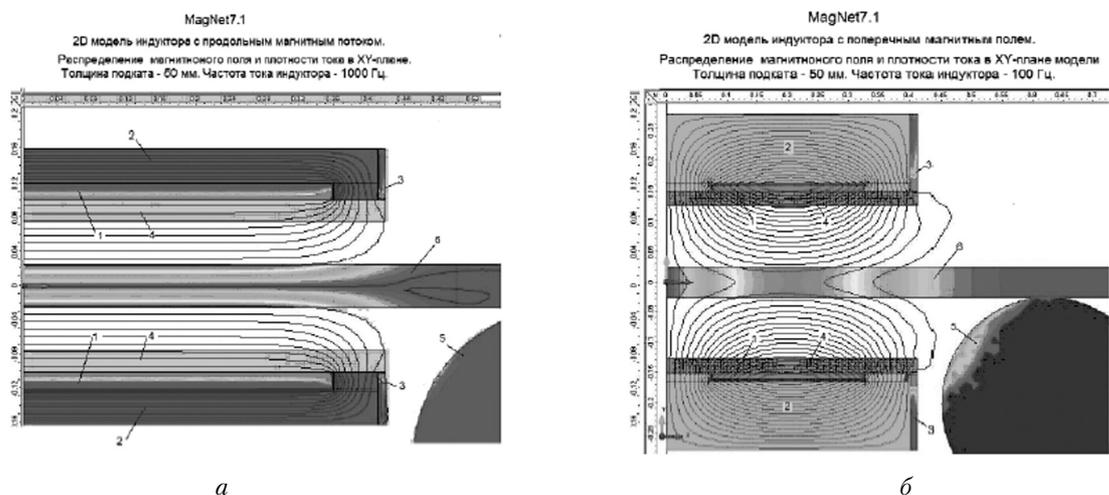


Рис. 8. Модель индуктора: а — схема нагрева и распределение магнитного поля в индукторе с поперечным полем; б — схема нагрева и распределение магнитного поля в индукторе с продольным полем

слябов сечением 250×250 мм с производительностью 60 т/час на сортировочном стане.

Разработки последних лет подтверждают готовность специалистов института к дальнейшей тесной и продуктивной работе по разработке индукционного оборудования, как в традиционных объектах, так и в новых инновационных направлениях.

Среди новых и перспективных направлений работ можно выделить следующие:

- разработка отечественных транзисторных средне-частотных генераторов мощностью до 1000 кВт и генераторов мощностью до 400 кВт с частотой до 440 кГц;
- моделирование процессов нагрева слябов и подката для сортовых и листопрокатных агрегатов, создание специализированных индукционных нагревателей для интегрирования их в металлургические линии с единичной мощностью до 6 мВт;
- создание термических комплексов, сочетающих печной и индукционный нагрев;
- оптимизирование индукционных нагревателей с целью снижения энергозатрат, минимизации габаритов установок, снижение потерь металла на окалинообразование, достижение повышенной точности нагрева заготовок.

Подводя итог кратко о обзор основных направлений работ, связанных с нагревом металлов, можно уверенно сказать, что исследования и разработки, выполненные во ВНИИТВЧ в 1960–1980-е гг. и за последние 20 лет сыграли огромную роль в развитии промышленности СССР и России наших дней, но развитие этой отрасли науки не остановилось, уровень разработок в мире постоянно растет, совершенствуются и появляются новые источники питания, повышаются требования к качеству нагрева.

Для решения поставленных задач особенно важно сотрудничество ФГУП «ВНИИТВЧ» с Академией электротехнических наук.

Список использованных источников

1. В. И. Червинский, В. Г. Шевченко. Применение индукционного нагрева при изготовлении и упрочнении изделий, предназначенных для железнодорожного транспорта//«Индукционный нагрев», № 4, 2010.

2. Е. М. Иевлев. Практические аспекты поверхностной закалки с индукционным нагревом элементов зубчатых зацеплений//«Индукционный нагрев», № 1, 2009.
3. В. В. Андрушкевич, Г. П. Киреева, М. В. Севергин, А. А. Меркушев. Автоматизация технологических процессов индукционного нагрева длинномерных изделий перед прокаткой или с целью термической обработки//«Индукционный нагрев», № 1, 2009.
4. Н. В. Зимин, В. И. Червинский. Скоростная индукционная термическая обработка — универсальный метод повышения эксплуатационных свойств низко- и среднелегированных сталей//«Индукционный нагрев», № 3, 2007.
5. В. Н. Иванов, С. Г. Гуревич, Г. В. Будкин. Исследования процесса высокочастотной сварки на численных моделях//«Индукционный нагрев», № 2, 2007.
6. Г. П. Киреева, В. А. Оленин, А. И. Ратникова, В. Г. Шевченко. Опыт разработки универсальной индукционной установки для нагрева длинномерных изделий//«Индукционный нагрев», № 4, 2009.
7. В. Б. Демидович, Б. М. Никитин, В. А. Оленин. Индукционный нагрев титановых заготовок перед обработкой давлением//«Индукционный нагрев», № 3, 2008.
8. В. Б. Демидович, И. И. Растворова, Ф. В. Чмиленко, Е. А. Григорьев. Индукционный нагрев алюминиевых заготовок перед прессованием//«Индукционный нагрев», № 6, 2008.

High frequency of electrotechnology. Status, Problems and Prospects

V. N. Ivanov, Doctor of Technical Sciences.

B. M. Nikitin.

V. I. Chervinsky, PhD.

At the moment it is difficult to imagine human life on Earth, and a society that ensures its existence without electricity. And it's hard to imagine that all discoveries, all research, all inventions, all industrial production in the field of electricity were established in only 200-odd years, after Alessandro Volta created the first current source.

Surprisingly, despite the fact that electricity played a revolutionary role in human life, the Academy of Electrical Sciences was established in our country only 20 years ago. However, this event is extremely important. Association of scientists, experts in the field of electrical engineering provides an opportunity to discuss the results of their work, pose important for the country and humanity tasks creates additional conditions for development. All-Russian Research Institute of high-frequency currents, now FSUE «VNIITVCH» is a member of the Academy of Electrical Sciences.

Keywords: induction heating, heat treatment, hardening, high-frequency welding, induction heating through.