

Инновационные технологии и промышленное оборудование для индукционного нагрева в машиностроении



Иван Вергера,
начальник отдела
Физико-технического
института НАН Беларуси,
кандидат технических
наук, доцент



Виталий Залесский,
директор Физико-
технического института
НАН Беларуси, доктор
физико-математических
наук, доцент

Развитие машиностроения связано с разработкой высокоэффективных процессов термического упрочнения деталей машин, претерпевающих износ, изгиб, удар и высокие контактные и знакопеременные нагрузки. В суммарном потреблении тепло- и энергоресурсов предприятиями промышленности доля производств операциями нагрева превышает 10%. Перспективным для многих деталей машиностроения, работающих на износ или контактную усталость, следует считать различные скоростные методы термического упрочнения, в том числе и поверхностного, с применением высокочастотного, индукционного, лазерного, плазменного, электронно-лучевого нагрева. Они позволяют получать на различных сталях и сплавах поверхностно-упрочненные слои толщиной от 0,1–15 мм, обладающие градиентным распределением свойств по сече-

нию, которые в полной мере отвечают условиям работы деталей. Каждый из перечисленных скоростных методов термической обработки в дополнение к экономическим факторам имеет свои достоинства и недостатки, а также сферу применения. Во многих случаях их использование целесообразно в комбинации с традиционными технологиями термической и химико-термической обработки.

Расширение области применения технологий индукционного нагрева обусловлено рядом преимуществ по сравнению с традиционными изотермическими процессами. Это прежде всего высокий КПД (до 97%) и компактность индукционных установок, позволяющих встраивать их в линии механической обработки, в том числе и роботизированные, точность и стабильность режимов, формирование на поверхности деталей термически упрочненных слоев с заданными параметрами, обеспечивающими требуемые

эксплуатационные характеристики и специальные свойства. Индукционный нагрев уменьшает или полностью исключает известные дефекты термической обработки, такие как обезуглероживание или окисление, резко снижает энергозатраты вследствие уникальной возможности локального упрочнения рабочих поверхностей, минимизирует коробление деталей при закалке, что позволяет существенно уменьшить припуски на механическую обработку. При поверхностной индукционной закалке по сравнению с цементацией в сотни раз сокращается длительность процесса, трудоемкость и стоимость упрочнения, отпадает необходимость использования природного газа, минеральных масел, асбеста, жаропрочных и жароупорных материалов, что значительно снижает выбросы в окружающую среду вредных веществ и продуктов их распада.

Однако, несмотря на все преимущества, индукционные методы нагрева в суммарном объеме термических операций занимают не более 3%. Темпы расширения области их применения сдерживаются проблемами отсутствия технологий упрочнения деталей сложной геометрической формы и выполненных из легированных или специальных сталей и сплавов. Индукционный нагрев требует научно обоснованного выбора режимов с учетом кинетики происходящих в них фазовых и структурных процессов в условиях скоростного нагрева, применительно к конкретному материалу. Весьма актуально создание методик моделирования и расчета процессов и технологий для прогнозирования конечного результата. Не менее

остро стоят вопросы замены, модернизации и разработки нового современного индукционного оборудования и нагревательных устройств для различных термических операций.

Обозначенные проблемы требуют комплексных решений: от создания новой теории современных технологий индукционного нагрева до разработки энергоэффективного оборудования с широкими технологическими возможностями, адаптированного к конкретным производственным условиям и отечественным материалам, по доступной цене, с высоким сервисом обслуживания и научным сопровождением при расширении производства.

Для решения задачи переоснащения машиностроительных производств современным оборудованием и технологиями была разработана Программа технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2010–2015 гг. С учетом имеющейся кадровой и производственной базы ФТИ НАН Беларуси стал головной организацией по научно-техническому сопровождению указанной программы. В 2012 г. в институте был создан Научно-исследовательский центр индукционных технологий и проблем термической обработки. Основными направлениями его деятельности стали исследование фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах в условиях высокоскоростного индукционного нагрева; моделирование и расчет процессов электромагнитного и температурного влияния на материалы; создание новых энергоэффективных технологий; разработка и изготовление

полупроводниковых преобразователей частоты, автоматизированных комплексов и установок индукционного нагрева для термообработки и нагрева под деформацию металлов и сплавов, а также пайки и плавки; оснастки (индукторов); создание автоматизированных и роботизированных систем управления индукционным оборудованием; сертификация, ремонт, монтаж и наладка оборудования; обучение специалистов, в том числе и подготовка кадров высшей квалификации.

В начале 2000-х гг. машиностроительные предприятия Беларуси предпринимали робкие попытки обновления парка индукционного оборудования. Его основными поставщиками в данный период традиционно были предприятия и фирмы Российской Федерации, где имелись крупнейшие научные школы (ВНИИТВЧ, ЛЭТИ, УПИ, ГУСУР), поставлявшие кадры в области силовой электроники. К сожалению, многие из них не выдержали конкуренции и исчезли. Производство переориентировалось на частный малый бизнес с мелкосерийным выпуском полупроводниковых преобразователей и установок различного назначения. Следует отметить, что в отсутствие согласованных технических решений по унификации российского оборудования, каждая фирма (часто не обладающая компетенциями) изготавливала его по своей силовой и кинематической схеме. Вследствие того, что многие такие фирмы распались и исчезли с рынка спустя 2–3 года, а созданное ими оборудование не отвечало необходимым требованиям, пострадало немало покупателей – машиностроительных предприятий нашей страны.

После первого неудачного опыта замены они с опаской стали относиться к новому оборудованию и старались либо поддерживать имеющееся морально и технически устаревшее, либо искали возможности приобретения необходимого в странах Европейского союза, США и Китае.

Вместе с тем развитие производства новой конкурентоспособной техники невозможно без современных технологий. Совершение ошибок на этапе разработки обязательно приводит к преждевременному выходу из строя деталей или узлов и может стать причиной аварии и техногенных катастроф (рис. 1).

Выход из сложившейся ситуации для большинства предприятий машиностроительного комплекса без научно-обоснованного подхода оказался нереальной задачей, поэтому потребовалась разработка собственных теоретических и практических научных основ создания термических производств в машиностроении.

В связи с изложенным перед Физико-техническим институтом была поставлена задача: разработать линейку отечественного оборудования индукционного нагрева под различные технологические задачи и организовать специализированное производство в Республике Беларусь.

Наработанный сотрудниками Физико-технического института за последние годы опыт работы в данной сфере позволил предложить свой оригинальный алгоритм к решению этой задачи. Совокупность проведенных исследовательских и опытно-конструкторских работ по моделированию процессов индукционного нагрева и изыскания в области термокинетики скоростного нагрева сталей и сплавов позволили выработать основные требования к комплектности современного комплекса с учетом современных тенденций к расширению применения информационно-коммуникационных технологий, робототехники

и интеллектуального программного обеспечения.

Предложенный Физико-техническим институтом комплексный алгоритм разработки новых технологий скоростного индукционного нагрева и термообработки включает следующие основные этапы:

- подготовка или анализ конструкторской документации на обрабатываемые детали;
- исследование влияния скоростного нагрева на структуру и свойства материалов, из которых изготавливаются детали;
- расчет физико-механических и технологических свойств, необходимых для деталей, в зависимости от условий их работы с учетом градиентного распределения свойств по сечению;
- моделирование тепловых и электромагнитных полей, формируемых по сечению детали в зависимости от электрофизических и технологических параметров скоростного индукционного нагрева и применяемого оборудования;
- расчет оптимальных электрофизических и технологических параметров индукционного оборудования, позволяющего создать необходимый уровень свойств по сечению деталей представителей;
- разработка оснастки и оборудования, позволяющего реализовать оптимальные режимы нагрева;
- отработка опытных деталей по оптимальным режимам на изготовленном оборудовании и оснастке;
- исследование структуры и распределения свойств по сечению опытных деталей после обработки;



Рис. 1. Пример разрушенных деталей с неоптимальным слоем упрочнения, не выдержавших циклические нагрузки

- корректировка режимов или оборудования и оснастки в случае необходимости;
- создание серийной технологии скоростного индукционного нагрева;
- обработка партии деталей; стендовые или натурные их испытания в случае необходимости.

Для реализации максимального количества технологических операций на одной производственной платформе (установке) Физико-технический институт реализовал концепцию модульного построения универсальных индукционных установок, ориентированную на создание промышленного оборудования по одной из типовых схем.

Мобильная установка, предназначенная для одновременного нагрева всей детали или ее зоны под операции последующей деформации, термообработки, наплавки и пайки, при этом деталь не изменяет положение относительно неподвижного блока преобразователя с блоком согласования и индуктором (рис. 2).

Универсальная установка, в которой деталь линейно перемещается и вращается относительно неподвижного блока преобразователя с блоком согласования и индуктором (рис. 3). Ее преимущества: небольшие габариты, высокая производительность, простота в работе и обслуживании, возможность роботизации с применением промышленных манипуляторов. Индуктор в данных установках находится на уровне 1,1–1,3 м от уровня пола, что позволяет оператору работать стоя и исключает постоянные наклоны для установки и снятия детали с центров. Термо-



Рис. 2. Мобильная установка ФТИ 3.148.10

обработка деталей производится непрерывно-последовательно или одновременно. Оборудование предназначено для деталей длиной до 1 м и массой не более 50 кг.

Универсальная установка, в которой блок преобразователя с блоком согласования и индуктором линейно перемещаются относительно вращающейся детали (рис. 4). Ее используют для обработки крупногабаритных деталей длиной от 1 до 3 м и массой до 1500 кг. Индуктор здесь находится на уровне 0,3–0,5 м от уровня пола, уменьшая общую высоту оборудования. Детали устанавливаются грузоподъемными механизмами, а наиболее тяжелые поддерживаются люнетом. Обработка деталей малых геометрических размеров в данном случае очень неудобна, поскольку оператору приходится постоянно наклоняться для их фиксации и снятия с центров. Использование удлиненных центров



Рис. 3. Универсальная установка ФТИ 3.148.1



Рис. 4. Общий вид установки ФТИ 3.148.3



Рис. 5. Общий вид установки ФТИ 3.148.2

для увеличения рабочей высоты установки приводит к биению и последующему короблению детали. Термообработка деталей производится непрерывно-последовательным или одновременным способом.

Универсальная установка, в которых блоки преобразователя, согласования и индуктор перемещаются в 3 и более координатах относительно вращающейся или также перемещающейся в нескольких координатах детали (рис. 5). Это наиболее универсальное оборудование, позволяющее обрабатывать детали длиной от 0,1

до 3 м и массой до 1500 кг. В случае с маленькими деталями реализуется схема 2, для длинных крупногабаритных – схема 3. Термообработка производится непрерывно-последовательным или одновременным способом. Кроме того, данные установки позволяют сканировать поверхность детали в 3 осях одновременно.

В соответствии с данной концепцией были спроектированы и изготовлены установки общей серией ФТИ 3.148 (рис. 2–5).

Для решения специальных задач в ФТИ НАН Беларуси налажено проектирование и изготовление комплексов индукционного нагрева под конкретного заказчика с определенной номенклатурой деталей, которые не применяются на других видах техники. Их отличительной особенностью является компоновка, габариты, специфический комплект индукторов и оснастки, а также наличие дополнительного оборудования.

Так, для ОАО «БЕЛАЗ» разработана технология и создан комплекс оборудования ФТИ 3.179 (рис. 6) поверхностного электромагнитного упрочнения длиномерных и сложнопрофильных деталей подвески автомобилей БЕЛАЗ грузоподъемностью

до 450 т. На нем термообрабатываются ответственные детали типа штоки, наконечник, штанга, крышка длиной более 2500 мм с внутренними отверстиями диаметром до 300 мм, высотой более 100 мм, массой более 250 кг. К поверхностно-упрочненному слою крупногабаритного узла предъявляются следующие требования: твердость поверхности до 60 HRC, глубина слоя до 6 мм (рис. 7).

В настоящее время оборудование, создаваемое в Физико-техническом институте, перекрывает большинство технологических запросов современных машиностроительных предприятий и предназначено для нагрева металла под пластическую деформацию, термообработку, плавку и пайку и может применяться в автотракторной промышленности, машиностроении, станкостроении, в производстве сельскохозяйственной техники. Основные его преимущества: высокая производительность, технологическая простота, высокая степень автоматизации, малая деформация деталей, отсутствие окалины и обезуглероживания, высокое КПД (не менее 95%), экономия электроэнергии (около 30%), низкий расход воды, экологическая чистота. Полная автоматизация позволяет улучшить качество нагрева и увеличить производительность труда на 20%. При серийном выпуске оборудование дешевле зарубежных аналогов более чем на 50%. Основные его потребители – крупнейшие машиностроительные предприятия Республики Беларусь и России. Индукционное оборудование ФТИ НАН Беларуси не уступает лучшим мировым аналогам, обеспечивает быстрое и качественное расширение производства за счет освоения новых технологий. ■



Рис. 6. Комплекс для обработки деталей подвески ОАО «БЕЛАЗ»



Рис. 7. Номенклатура деталей подвески БЕЛАЗ, обрабатываемых на комплексе