



Analysis of state of matters and perspectives of the induction thermal processing development at industrial enterprises of the Republic of Belarus is carried out.

А. И. ГОРДИЕНКО, ФТИ НАН Беларуси, А. И. МИХЛЮК, ОАО «МАЗ»,
И. И. ВЕГЕРА, ФТИ НАН Беларуси

УДК 621.74

ИНДУКЦИОННАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В МАШИНОСТРОЕНИИ: АНАЛИЗ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Введение. Индукционный нагрев вот уже более ста лет широко используют в промышленности при термообработке деталей, пластической деформации поковок, плавке металлов, при получении новых материалов и т. д. Созданы и внедрены десятки способов и технологических процессов индукционной термической обработки, разработаны и освоены материалы с новыми свойствами, спроектирована широкая гамма оборудования. Упрочненные слои обладают высокими эксплуатационными свойствами. Применение индукционного нагрева по сравнению с другими видами термической обработки позволяет получить экономию топливно-энергетических ресурсов, обеспечить повышение производительности, улучшение качества, снижение себестоимости, повышение культуры производства и улучшение экологии [1].

Вместе с тем, развитие промышленности Республики Беларусь в условиях глобального промышленного кризиса и постоянного повышения стоимости энергоресурсов требует разработки и создания новых современных энергоэффективных технологий и оборудования в этом направлении. Решение этой задачи невозможно без системного подхода к индукционной термической обработке, проведения анализа состояния дел в этой области и разработки концепции ее развития.

Индукционная термическая обработка как техническая система. Если рассматривать индукционную термическую обработку как техническую систему, то можно утверждать, что данная система является иерархической и сложноорганизованной, состоящей из следующих составных частей, выполняющих общую задачу: объекта (деталь или заготовка), подвергаемого индукционному термическому воздействию, и технологии про-

ведения данного воздействия и оборудования для ее осуществления (рис. 1).

Из рисунка видно, что собственно термообработываемый объект (деталь, заготовка, полуфабрикат, металл) иерархически подчинен надсистемам H_1 и H_2 . Причем указанная подчиненность предопределяет определяющую роль требований надсистемы H_2 как конечного продукта основной технологии получения изделия (надсистема H_1). Для обеспечения требований надсистем H_1 и H_2 в рассматриваемой технической системе предусмотрено использовать подсистемы $П_1$ (технологический процесс) и $П_2$, (индукционное оборудование), причем подсистема $П_1$ является доминирующей, а подсистема $П_2$ – ведомой или исполнительной.

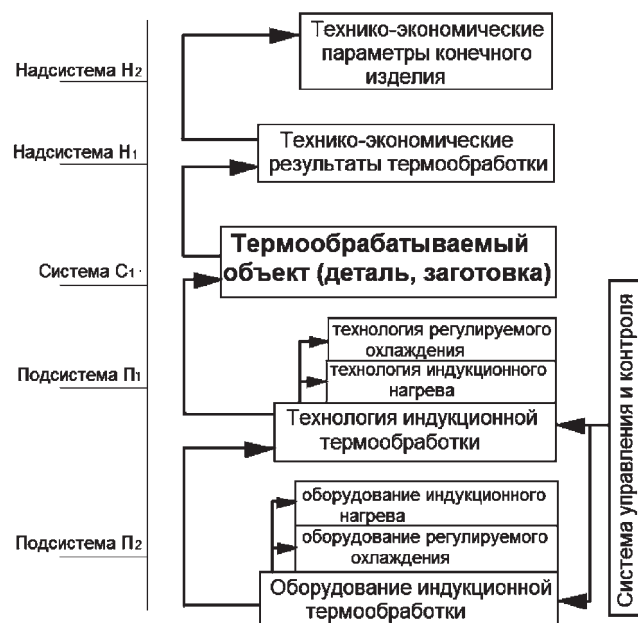


Рис. 1. Пространственно-временная схема технической системы «индукционная термическая обработка»

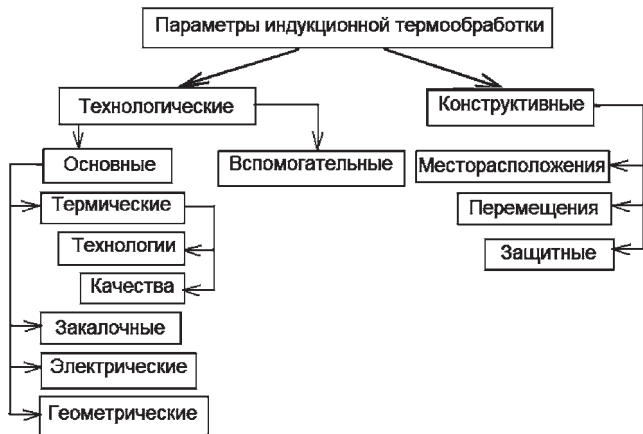


Рис. 2. Параметры технологий индукционной термообработки, применяемой в машиностроении

Для управления подсистемами Π_1 и Π_2 необходимо применять систему управления и контроля.

Для подсистемы Π_1 в машиностроительном производстве возможны следующие варианты:

- нагрев под последующие операции, связанные с изменением формы;
- нагрев с последующим регулируемым охлаждением, связанным с изменением структуры и свойств.

Подсистема Π_1 характеризует технологию. Технология индукционной термообработки – сложная техническая система временного типа с множеством параметров, для которых характерны две составляющие – динамичность и неравномерность.

На рис. 2 показаны параметры, которые используются при разработке и выполнении технологий индукционной термообработки. Эти параметры можно разбить на две большие группы – технологические, которые связаны с операцией индукционной термообработки, и конструктивные, которые зависят от особенностей конструкции применяемого оборудования. При этом технологические па-

раметры являются главными и подлежат обязательному присутствию, контролю и управлению.

Контролю подлежат следующие параметры технологического процесса:

- термические – температура нагрева, температура самоотпуска, скорость нагрева и др.;
- закалочные – температура закалочной среды, длительность и интенсивность охлаждения – время, давление и расход закалочной среды;
- электрические – ток, напряжение, мощность, $\cos \varphi$ и др.

На готовом изделии контролю подлежат следующие параметры качества:

- термические – твердость поверхности, расположение зоны закалки, глубина закаленного слоя и микроструктура и др.;
- геометрические – величина деформаций и короблений при термообработке.

Выбор и оптимизация значений технологических и конструктивных параметров является важной задачей, определяющей конечное качество изделия.

Подсистема Π_2 характеризует индукционное оборудование и его параметры, обеспечивающие требования технологического процесса – подсистемы Π_1 . Все индукционное оборудование в машиностроении можно разделить на две большие группы: индукционное оборудование для термической обработки и индукционное оборудование для нагрева.

На рис. 3 показана структурная схема индукционного оборудования обоих типов. Как видно из рисунка, несмотря на многообразие видов индукционного нагрева, нагреваемых изделий и поверхностей, состав индукционного оборудования имеет несколько основных узлов или блоков. Правильный выбор и разработка конструкции этих узлов обеспечивают требуемое качество выполнения технологической операции.

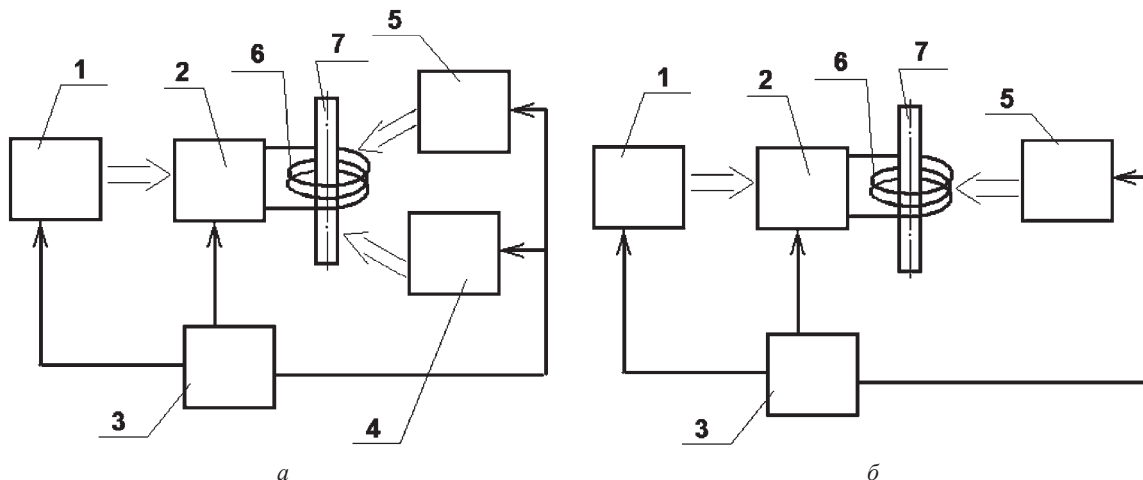


Рис. 3. Структурная схема индукционного оборудования для термообработки: а – для термической обработки; б – для нагрева: 1 – источник питания; 2 – блок согласования; 3 – система управления и контроля; 4 – система закалочного охлаждения; 5 – система механизации; 6 – индуктор; 7 – нагреваемая деталь

Источник питания. Источником питания в индукционном оборудовании являются преобразователи частоты различного типа, которые преобразовывают 3-фазный ток промышленной частоты и напряжения в однофазном требуемой частоты и напряжения. В настоящее время существуют три типа преобразователей частоты: машинные, ламповые и полупроводниковые (тиристорные или транзисторные). Внутри каждого типа имеется большое количество различных моделей преобразователей частоты, которые способны при правильном выборе обеспечить требования индукционной технологии при практически неограниченном многообразии его видов.

Основными характеристиками любого преобразователя являются мощность и частота. На рис. 4 показаны области применения различных типов преобразователей частоты в зависимости от мощности и частоты.

Как видно из рисунка, существуют области диаграммы, в которых могут использоваться несколько типов преобразователей. Частота – это важный параметр индукционной технологии, так как она определяет глубину проникновения тока в металл и, как следствие, глубину и геометрию нагреваемого слоя, который может составлять от долей миллиметра на поверхности до полного размера заготовки. Мощность, необходимая для конкретного процесса индукционного нагрева, зависит от объема нагреваемого металла, степени нагрева и способа нагрева. В современных условиях для создания высокоэффективного индукционного оборудования и технологии тип и конструкция преобразователя, кроме соответствия по мощности и частоте, должны соответствовать ряду дополнитель-

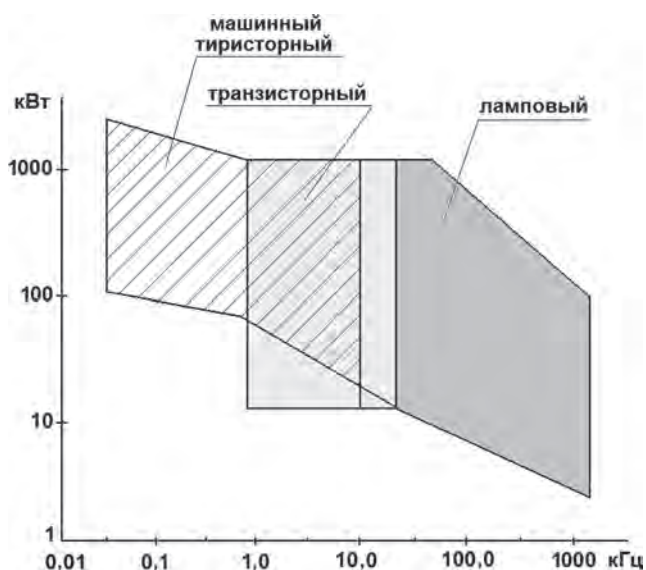


Рис. 4. Области применения различных типов преобразователей для технологий индукционной термообработки

ных требований, среди которых следует особо выделить эффективность преобразования энергии, уровень контроля, повторяемости и управляемости процессом, надежность и долговечность.

Эффективность преобразования энергии преобразователем частоты в первую очередь зависит от типа преобразователя. Поэтому, исходя из рис. 4, при выборе типа преобразователя (в случае совпадения областей использования для нескольких типов) следует отдавать предпочтение более энергоэффективным полупроводниковым, тиристорным или транзисторным преобразователям. При выборе преобразователя частоты по уровню контроля, повторяемости и управляемости процессом необходимо определить контролируемые параметры и уровень их контроля. Прежде всего, в преобразователе должен обеспечиваться контроль и управление электрических индукционных параметров его работы. К таким параметрам относятся ток и напряжение преобразователя, величина и отклонение от номинального значения (изменения) частоты, реальная мощность преобразователя. Данные параметры могут контролироваться или регистрироваться несколькими способами.

1. Стрелочная или цифровая индикация на контрольно-измерительных приборах без регистрации и архивирования. Этот способ наиболее легко выполним, но при этом трудно проконтролировать, когда происходили отклонения от параметров, заданных в технологии.

2. Индикация на контрольно-измерительных приборах с регистрацией, архивацией. Этот способ обеспечивает высокое качество и повторяемость результатов, позволяет довольно оперативно отреагировать на нарушение технологии.

3. Индикация на контрольно-измерительных приборах с регистрацией, архивацией и регулировкой контролируемых параметров путем сравнения с эталонным значением. Данный способ обеспечивает наиболее высокое качество выполнения операции, позволяя оперативно производить корректировку параметров или отбраковку деталей.

Таким образом, можно сформулировать основные требования, предъявляемые к источникам ТВЧ (преобразователям), применяемым в составе индукционного оборудования:

1) преобразователь подбирается и должен соответствовать требованиям технологического процесса по мощности и частоте;

2) преобразователь должен обладать высоким к. п. д. преобразования электроэнергии, чтобы обеспечивать эффективные технико-экономические показатели технологического процесса;

3) преобразователь должен иметь систему контроля и управления, обеспечивающую контроль выходных параметров, контроль собственных (внутренних) параметров, диагностику неисправностей и отклонений, обладающую способностью к наладке и переналадке.

Блок согласования. Главными показателями блока согласования индукционного оборудования являются уровень и время переналадки. Эти показатели важны для большинства установок индукционного нагрева, в которых проходит обработку различные типы деталей или заготовок. Основными элементами блока согласования служат согласующий или понижающий трансформатор и конденсаторная батарея или конденсаторы. Главный параметр согласующего трансформатора – значения коэффициента трансформации $k_{тр}$, который должен меняться с интервалом не более 2 ед. Например, согласующий трансформатор ТЗ7 имеет следующие значения $k_{тр}$: 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26. Количество и величина емкости в конденсаторной батарее также должны изменяться. Для этого применяются специальные так называемые подстроечные конденсаторы, позволяющие изменять величину емкости в малых пределах.

Для специализированного индукционного оборудования, где обрабатывается одна деталь или одна поверхность, показатель переналадки не актуален. Параметры согласующего трансформатора и конденсаторов рассчитываются или подбираются один раз и не подлежат изменению в процессе работы.

Таким образом, можно сформулировать основное требование к блоку согласования – переналадка в широком диапазоне для обеспечения термообработки широкой номенклатуры деталей или изделий.

Система закалочного охлаждения. Главным качественным показателем работы системы закалочного охлаждения должна быть неизменность параметров ее работы в течение длительного периода времени. Другими словами, закалочная среда должна подаваться на закаливаемую деталь с постоянной температурой, одинаковой скоростью и в одинаковом количестве. Соблюдение этих требований обеспечивает стабильные показатели качества закалки – твердость поверхности и глубину закаленного слоя с точностью не более $\pm 2\%$.

Постоянство температуры должно обеспечиваться наличием отдельной емкости с аппаратурой для «слива–долива» и (или) «нагрева–охлаждения» охлаждающей среды, постоянство скорости охлаждения – применением отдельного насоса в системе охлаждения, обеспечивающего постоянным давлением в трубопроводах; постоянство коли-

чества охлаждающей среды – применением дозированного по времени включения–выключения подачи охлаждающей среды.

На рис. 5 показана схема системы закалочного охлаждения, позволяющая поддерживать температуру, давление и расход закалочной воды постоянными в течение всего длительного периода времени работы установки ТВЧ с точностью $\pm 2\%$. Блок подготовки воды связан с заводской системой водоснабжения 9. Насос для подачи воды (на схеме не показан) обеспечивает подачу воды при работе установки и ее перемешивание при поддержании заданных параметров температуры. Система стабилизации воды состоит из нагревательных элементов 2 и системы электроклапанов 5 и 6 для подачи холодной и слива горячей воды в заводскую систему водоснабжения. Контрольно-измерительные приборы (на схеме не показаны) предназначены для измерения температуры охлаждающей воды и поддержания ее в заданных параметрах.

Таким образом, главной характеристикой системы закалочного охлаждения является обеспечение стабильности температуры, количества и времени подачи закалочной среды на обрабатываемую деталь.

Система механизации. Всякое индукционное оборудование имеет различные механизмы. Это может быть самое простое приспособление для установки резца на операции пайки или гидравлическая турбинка для вращения деталей при одновременной закалке, или комплекс механизмов автоматической работы КИН. Всем этим механизмам можно дать одно название – система механизации.

Основные функции системы механизации: установка (загрузка) детали или заготовки; технологические движения детали (индуктора) при выполнении операции – перемещение, вращение, фиксация; снятие (удаление) детали после окончания технологической операции.

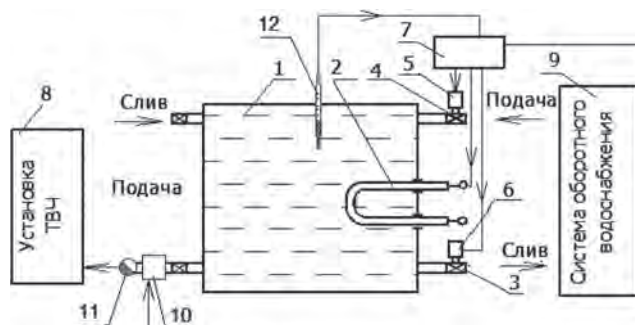


Рис 5. Схема блока подготовки воды: 1 – бак; 2 – электронагреватели; 3 – сливная задвижка; 4 – подающая задвижка; 5, 6 – электроклапаны управления; 7 – блок управления; 8 – установка ТВЧ; 9 – система заводского водоснабжения; 10 – подающий насос; 11 – расходомер; 12 – термометр

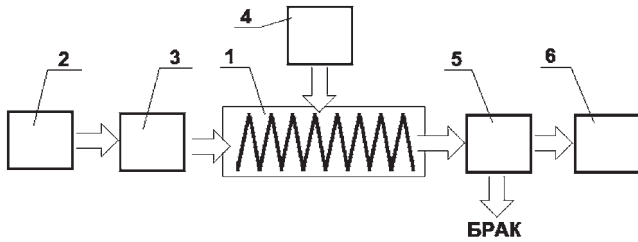


Рис. 6. Структурная схема системы механизации индукционного оборудования для операций нагрева: 1 – индуктор; 2 – механизм сортировки и ориентации заготовок; 3 – механизм загрузки заготовок в индуктор; 4 – механизм перемещения заготовок в индукторе; 5 – механизм выгрузки заготовок из индуктора; 6 – механизм перемещения заготовки на рабочее место оператора

Основные требования к системе механизации: повторяемость результатов; постоянство рабочих значений в процессе одного движения; дискретность выдаваемых сигналов и исполнительных механизмов; наличие защитных функций; обязательная автоматизация процесса на стадии технологических движений; надежность в работе; простота в работе и обслуживании; переналаживаемость.

Исходя из технологий применения индукционной термообработки, следует рассматривать два типа системы механизации: для индукционного оборудования операций нагрева (нагрев под кузнечную обработку, плавку, нагрев длинномерных заготовок) и индукционного оборудования для термообработки (одновременная закалка, непрерывно-последовательная закалка, нормализация и др.).

На рис. 6 показана структурная схема системы механизации индукционной установки для нагрева под операцию пластической деформации. Эта схема будет приемлема для другого аналогичного оборудования операций индукционного нагрева. Главная задача данной системы – обеспечение равномерного и дозированного перемещения заготовки через индуктор 1 при его нагреве. Следовательно, в систему механизации должны входить следующие основные узлы: механизм сортировки и ориентации 2 – подготовка заготовок (перемещение из заводской тары в приемный бункер, сортировка по размеру, ориентация по положению) перед подачей их в механизм загрузки; механизм загрузки заготовок в индуктор 3 – поштучная или непрерывная подача заготовок в (к) механизм перемещения; механизм перемещения заготовок в индукторе 4 – перемещение заготовок в индукторе с требуемой скоростью или темпом выдачи для равномерного нагрева; механизм выгрузки 5 – выгрузка заготовок из индуктора с отбраковкой заготовок по температуре нагрева; механизм переме-

щения заготовки на рабочее место оператора 6 – перемещение заготовок к кузнечно-прессовому оборудованию на рабочее место оператора.

На рис. 7 показана структурная схема системы механизации индукционного оборудования для операций упрочнения. Основной задачей системы механизации для данного типа индукционного оборудования является обеспечение технологических движений при выполнении операций закалки. Исходя из требуемой задачи, основные узлы системы механизации должны обеспечивать: механизм сортировки и ориентации детали 3 – подготовку детали 1 (перемещение из заводской тары в приемный бункер, ориентацию по положению) перед подачей их в механизм загрузки-выгрузки 4; механизм загрузки-выгрузки детали в индуктор 4 – поштучную или непрерывную подачу детали в механизм технологических перемещений 5; механизм технологических перемещений 5 – необходимые движения (перемещение и вращение) детали относительно индуктора или индуктора относительно детали, обеспечивающие равномерный нагрев и закалочное охлаждение; механизм выгрузки 6 – выгрузку детали из механизма загрузки-выгрузки с отбраковкой по параметрам закалки.

Таким образом, основной задачей системы механизации является обеспечение технологических движений заготовки или детали при индукционной термической обработке.

Система управления и контроля. Функции и конфигурацию системы управления и контроля современной индукционной технологии и оборудования можно сформулировать следующим образом в зависимости от длительности цикла.

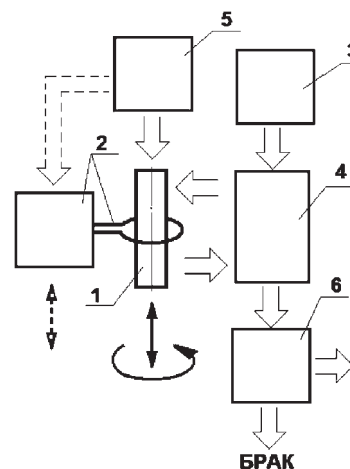


Рис. 7. Структурная схема системы механизации индукционного оборудования для операций упрочнения: 1 – упрочняемая деталь; 2 – блок согласования с индуктором; 3 – механизм сортировки и ориентации детали; 4 – механизм загрузки – выгрузки детали в индуктор; 5 – механизм технологических перемещений детали (блока согласования с индуктором); 6 – механизм выгрузки детали



Рис. 8. Схема системы управления и контроля технологий индукционной термообработки непрерывным циклом одного действия не менее 5–15 мин

Технологии индукционной термообработки с длительностью цикла не менее 1–3 мин. Это операции нагрева под пластическую деформацию, плавки, термообработки проката и длинномерных изделий, т. е. операции, когда длительность высокочастотного электромагнитного индукционного воздействия на объект значительна и есть время для регулирования и управления этим воздействием. Для данного типа оборудования система управления и контроля должна быть построена по принципу адаптивного управления с идентификатором (рис. 8). В этом случае роль идентификатора должна выполнять температура нагрева поверхности заготовки или детали. Величина данного параметра постоянно контролируется и сравнивается с требуемым значением. Сигнал о готовности продукта, например достижении температуры поверхности заготовки до интервала ковочных температур, подается после положительного сравнения с идентификатором.

В данном случае идентификатор является как управляющим звеном, так и контролирующим, позволяющим заготовки, имеющие отклонение по температуре нагрева, отправлять в брак.

Технологии индукционной термообработки с длительностью цикла менее 1 мин. Это технологические процессы, в которых длительность высокочастотного электромагнитного индукционного воздействия на объект незначительна и недостаточно времени для регулирования и управления этим воздействием. Это в основном операции упрочнения при индукционном нагреве. Длительность времени нагрева в большинстве случаев измеряется секундами. Кроме того, возрастает количество контролируемых параметров, так как для операции закалки важны два фактора – нагрев и охлаждение.

Для систем управления индукционными технологиями данного типа оптимальной будет схема управления по отклонению (рис. 9). Параметры источника, воздействующие на объект, сравниваются с заданным, после чего подается команда о его готовности или браке. Другими словами, в процессе закалки с индукционного нагрева ве-



Рис. 9. Схема системы управления и контроля технологий индукционной термообработки непрерывным циклом одного действия менее 5–15 мин

личины контролируемых параметров (мощность нагрева, параметры охлаждения) сравниваются с заданными интервалами. После окончания процесса закалки деталь признается либо годной, либо браком.

Таким образом, для различных технологий индукционной термообработки в зависимости от ее длительности оптимальными будут два типа систем управления и контроля: система с обратной связью и управлением процессом во время проведения технологической операции и система сравнения готового продукта по задаваемым параметрам воздействия.

Оценка состояния индукционной термической обработки на предприятиях Республики Беларусь. Индукционная термообработка стала широко применяться в промышленности во второй половине XX в., когда закладывались основы современного машиностроения республики. Освоение этого вида термической обработки начиналось на крупных промышленных предприятиях: Минском тракторном и Минском автомобильном заводах. Позднее были начаты работы в этом направлении на других промышленных предприятиях республики в Минске, Гомеле, Борисове, Жодино, Гродно и ряде других городов. Основным направлением в работе стало технологическое – разработка и освоение технологических процессов и оборудования с использованием серийно выпускаемых в то время генераторов. Создан значительный научный и практический потенциал промышленного применения ТВЧ, имеются высококвалифицированные специалисты, применяется широкая гамма различного оборудования.

В настоящее время в республике находится в эксплуатации более 1000 установок индукционной термообработки, причем примерно около 580 из них эксплуатируется на предприятиях машиностроения [2, 3]. Более 50% эксплуатируемого индукционного оборудования на промышленных предприятиях РБ используется для нагрева деталей под закалку ТВЧ, 30% – для нагрева заготовок или полуфабрикатов под последующую их деформацию в кузнечном, штамповом или прокатном производ-

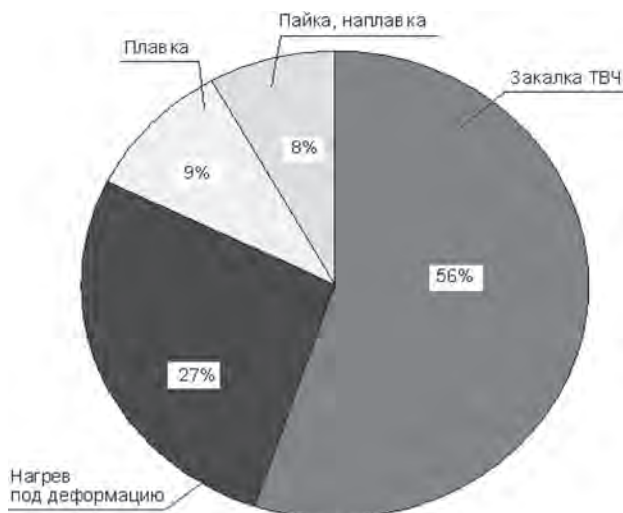


Рис. 10. Распределение индукционного оборудования по видам технологий

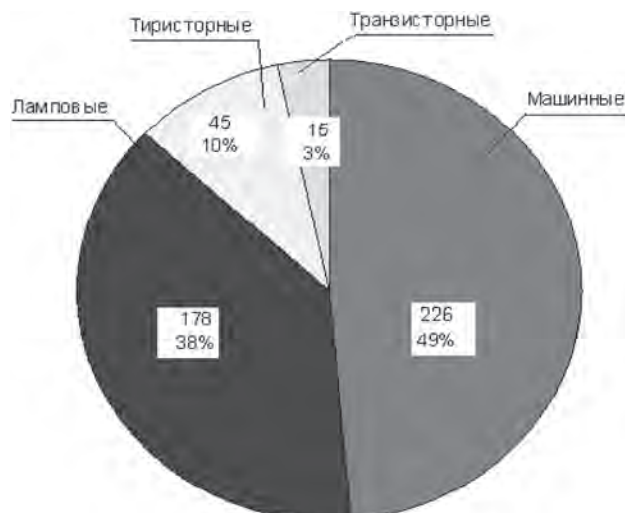


Рис. 11. Распределение индукционного оборудования по типам источников

стве. По 10% в общем количестве операций с использованием индукционного нагрева занимают плавка черных и цветных металлов, а также пайка и наплавка инструмента и деталей (рис. 10).

При этом около 50% оборудования питается от машинных генераторов, 38 – от ламповых, 10 – от тиристорных и только 3% – от транзисторных генераторов (рис. 11).

Основное количество индукционного оборудования (около 50%) сосредоточено на крупных промышленных предприятиях, таких, как РУП «МТЗ», ОАО «МАЗ», ПО «Гомсельмаш», ОАО «Белкард»

и др. Большинство индукционного оборудования (97%) произведено в СССР или СНГ.

Анализ оборудования по годам выпуска четко демонстрирует историю развития ТВЧ нагрева в Беларуси в целом (рис. 12). Первые индукционные установки с ламповыми и машинными преобразователями появляются в единичных экземплярах на предприятиях республики в 1955–1965 гг. Начиная с 70-х годов происходит интенсивный рост использования индукционного нагрева, достигнув своего пика в 80-е годы. В данный период впервые начинается использование тиристорных

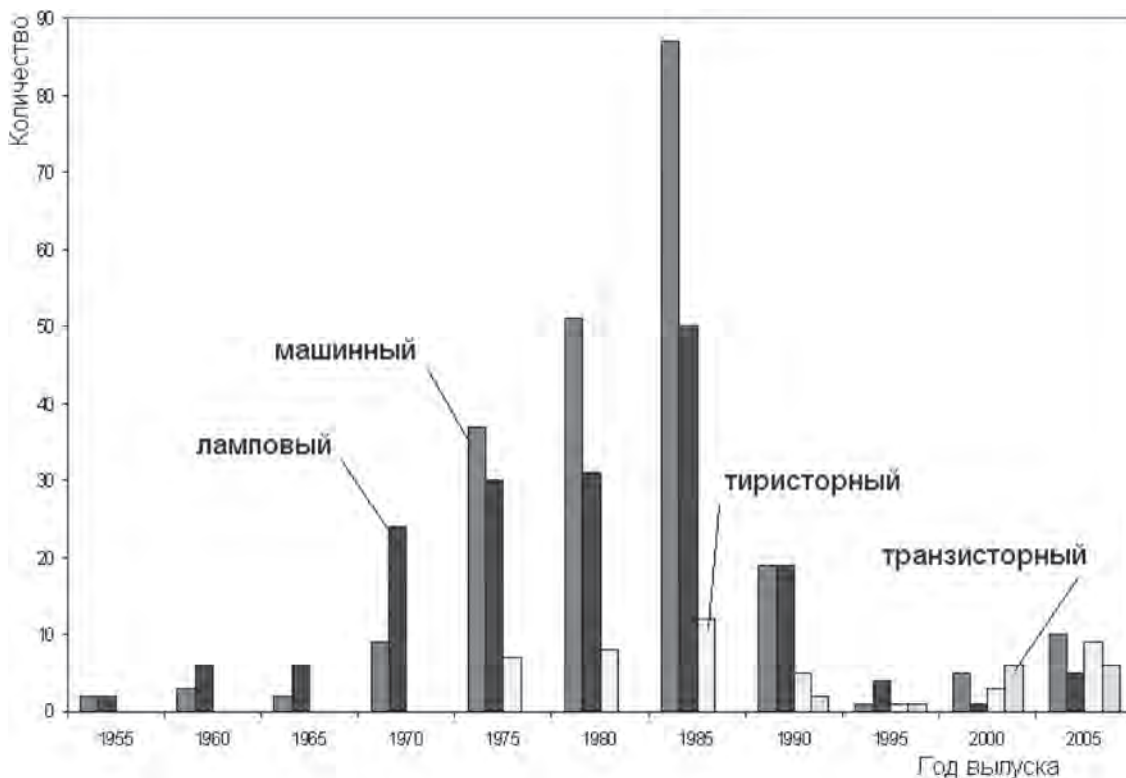


Рис. 12. Количественный состав преобразователей частоты на промышленных предприятиях Республики Беларусь по годам выпуска

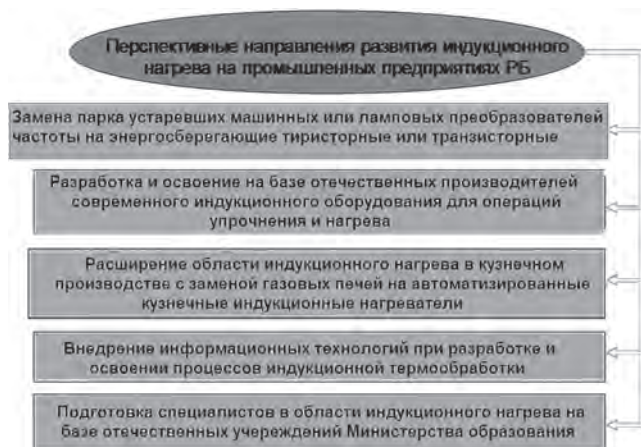


Рис. 13. Перспективы развития технологий индукционного нагрева в Беларуси

преобразователей, что связано с запуском машинного зала на заводе «Автогидроусилитель» (г. Борисов) с тиристорными преобразователями серии ТПЧ производства Estel Elektro (Эстония, г. Таллинн). В 90-е годы в связи с кризисом в экономике республики наблюдается резкое снижение закупок индукционного оборудования, однако следует отметить, что именно в этот период на Белорусском металлургическом заводе появляются первые транзисторные преобразователи частоты импортного производства.

Начиная с 2005 г. прослеживается положительная тенденция по увеличению закупок нового оборудования, причем наряду с машинными и ламповыми преобразователями активно закупаются тиристорные и транзисторные. Вместе с тем, тревожной остается статистика изношенности индукционного оборудования на предприятиях республики – около 70% генераторов имеют 100%-ный износ, 20% – износ более 50% и 10% – износ менее 50%.

Таким образом, можно утверждать, что, несмотря на имеющийся значительный потенциал, индукционная термическая обработка требует модернизации и замены имеющегося индукционного оборудования. При этом речь должна идти не о замене физически изношенного, а о приобретении нового современного оборудования.

Перспективы развития индукционной термической обработки. Проведенный анализ промышленных предприятий республики показал, что индукционный нагрев занимает значительное место в структуре технологических операций производственных процессов и от правильного выбора перспектив его развития во многом зависит его дальнейшее эффективное развитие. На рис. 13 показаны основные направления развития технологий индукционного нагрева, которые, по мнению авторов, наиболее актуальны и перспективны в настоящее время для промышленности Беларуси [3].

Рассмотрим подробнее каждое из направлений. Замена парка устаревших машинных и ламповых преобразователей частоты на энергосберегающие тиристорные или транзисторные. Это направление перспективно по следующим причинам.

Во-первых, внедрение тиристорного или транзисторного преобразователя всегда выгодно с точки зрения экономии энергоресурсов, площадей и культуры производства. Срок окупаемости данного мероприятия за счет только экономии электроэнергии составляет от 3 до 5 лет [4]. Во-вторых, для данного типа оборудования в отличие от машинного преобразователя не требуется отдельного помещения, оно практически бесшумно в работе. В-третьих, современные тиристорные и транзисторные преобразователи оснащаются системами управления, диагностики и контроля, которые позволяют выполнять технологическую операцию на более высоком технико-экономическом уровне.

На рис. 14 показаны сравнительные показатели преимуществ и недостатков от внедрения современных тиристорных или транзисторных преобразователей.

Разработка и освоение на базе отечественных производителей современного индукционного оборудования для операций упрочнения и нагрева. В настоящее время эксплуатируемое индукционное оборудование как для закалки, так и для нагрева ТВЧ устарело как морально, так и физически. Анализ выпускаемого оборудования данного типа традиционных производителей, прежде всего РФ, показывает значительное отставание от аналогичного импортного оборудования, например немецкого, американского или итальянского.

Современное индукционное оборудование должно в своем составе иметь энергосберегающий современный преобразователь; систему механизации на базе современных электрокомплектующих



Рис. 14. Преимущества внедрения полупроводниковых преобразователей частоты

и механических передач; систему закалочного охлаждения (для оборудования упрочнения), обеспечивающую неизменность параметров закалочной среды в течение длительного времени работы; систему управления оборудования на базе промышленного компьютера с возможностью гибкого управления технологическим процессом, диагностирования и документирования результатов работы; систему контроля технологического процесса с высокой повторяемостью технологического цикла и возможностью документирования и архивирования результатов.

Создание и промышленное освоение подобного оборудования позволит получить значительный технико-экономический эффект, повысит производительность труда и качество термообработки.

Расширение области индукционного нагрева в кузнечном производстве с заменой газовых нагревательных печей на автоматизированные кузнечные индукционные нагреватели. Перспективность этого направления заключается в том, что в условиях постоянно роста цен на энергоносители и в первую очередь газ индукционный нагрев позволяет получить экономический эффект. Кроме того, только индукционное оборудование в этом секторе позволяет полностью автоматизировать технологический процесс перемещения заготовки от заводской тары до рабочего места кузнеца (а в будущем и автоматизировать процессковки), что минимизирует присутствие человека во вредных условиях кузнечного производства. На рис. 15 показаны преимущества индукционного нагрева в кузнечном производстве.

Внедрение информационных технологий при разработке и освоении технологий и оборудования индукционного нагрева. В данном направлении в республике совершаются только первые шаги. Вместе с тем, широкое внедрение информационных технологий позволит не только просчитать и спрогнозировать индукционную термообработку



Рис. 15. Преимущества внедрения индукционного нагрева в кузнечном производстве

на стадии проектирования, но и обеспечить высокое качество выполнения операции и работы оборудования. Сегодня промышленные предприятия республики остро нуждаются в разработке и освоении программных продуктов по моделированию процессов индукционной термообработки. Разработка и внедрение современного индукционного оборудования невозможно 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 республики испытывают острую нужду в специалистах в области индукционной термообработки, которые должны обладать достаточными знаниями в трех областях техники – материаловедении, электротехнике и механике. 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.

Литература

1. Гордиенко А. И., Гурченко П. С., Михлюк А. И., Вегера И. И. Обработка изделий машиностроения с применением индукционного нагрева. Мн.: Беларуская навука, 2009.
2. Ивашко В. В., Вегера И. И., Михлюк А. И. Развитие индукционного нагрева в Республике Беларусь. // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Инновации в машиностроении». Мн., 30–31 октября 2008 г.
3. Астапчик С. А., Гордиенко А. И., Гурченко П. С. и др. Состояние и перспективы развития индукционного нагрева на промышленных предприятиях Республики Беларусь // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении». Мн., 19–21 ноября 2008 г.
4. Хайтин И. А., Головач О. А., Викторovich В. В., Михлюк А. И. Разработки транзисторных преобразователей для электротехнологий // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении». Мн., 19–21 ноября 2008 г.