

Мониторинг параметров

для обеспечения эффективного управления индукционной закалкой

Одной из важнейших особенностей современных установок индукционного нагрева является адекватная система мониторинга.

**Рэй Л. Кук
(Ray L. Cook)
Р. Дж. Майерс
(R. J. Myers)
доктор
Валерий И. Руднев
(dr. Valery I. Rudnev)**

**Перевод:
Юрий Болотовский, к. т. н.**

eltech@ufacom.ru

Георгий Таназлы, к. т. н.

g_thanazly@mail.ru

Система мониторинга установки индукционного нагрева сообщает оператору, что реально происходит во время технологического процесса и является ли процесс нагрева заготовки эффективным.

На ранних этапах развития индукционного нагрева использовалось такое простое средство контроля, как замер границ параметра. По ним выяснялось, укладывался ли заданный параметр в диапазон, определяемый соответствующими пределами во время замера. С появлением программируемого логического управления гораздо большее количество параметров подвергалось мониторингу в реальном времени на протяжении цикла нагрева. В начале 1980-х годов немецкая фирма HWG GmbH (теперь эта фирма входит в Inductoheat) разработала систему характеристик индуктора (технологии характеристик), которая была успешно реализована в большом количестве технологических комплексов.

Главной идеей этой технологии является наличие системы, которая отслеживает значения нерегулируемых параметров, относящихся к работе индуктора, и хранит наиболее важные из них во время всего цикла нагрева. Эти значения сравниваются с уставками программируемого логического управления, и выходящая информация выводится на дисплей. Она используется для того, чтобы определить, лежит ли значение параметра внутри или вне заданного диапазона.

По мере развития микропроцессорных систем технология характеристик применялась производителями оборудования, измеряющего деформации и вихревые токи. Современные системы, основанные на этой технологии, позволяют одновременно измерять значения многих параметров с графическим отображением их изменения в реальном времени и анализом статистического управления технологическим процессом, если он необходим.

Основная проблема всегда сводилась к выбору параметров, которые позволили бы определить, успешно ли протекает технологический процесс. Один из производителей, покупающий большое количество оборудования, использовал подход, реализованный в методе «планирования эксперимента» для многопараметрических процессов. Этот метод позволил определить, что из всех параметров сравнительно небольшое количество является значащим в технологии характеристик. Было решено контролировать значащие параметры, пренебрегая большим количеством мало-значущих, которые ранее обычно рассматривались.

Во время индукционного нагрева происходит существенное изменение свойств нагреваемого материала, включая электрическое сопротивление и относительную магнитную проницаемость (для ферромагнитных материалов). Это приводит к существенному перераспределению тепла в нагреваемом теле во время цикла нагрева. Изменения электрического сопротивления и магнитной проницаемости во время нагрева приводят к изменению относительной глубины проникновения тока в нагреваемую заготовку, что может быть определено мониторингом напряжения на индукторе, тока через индуктор и фазного угла индуктора (рисунок).

Поскольку вышеописанные изменения могут приводить к нежелательным последствиям, определены некоторые параметры, изменяя которые, можно уменьшить эти последствия. Для систем нагрева массивных заготовок с достаточно низкой напряженностью поля относительная магнитная проницаемость может варьировать при прогреве заготовки от 100 до 1. Для поверхностной закалки, которая происходит с плотностью 100 кВт на квадратный дюйм (15,5 кВт/см²), изменение относительной магнитной проницаемости может происходить только в диапазоне от 8 до 1. Так как глубина проникновения изменяется обратно пропорционально корню квадратному от изменения проницаемости, фактическое изменение индуктивности при нагреве заготовки может быть относительно малым.

Во многих случаях индукционной закалки фактическое изменение индуктивности и полного сопротивления относительно мало и существенно снижа-

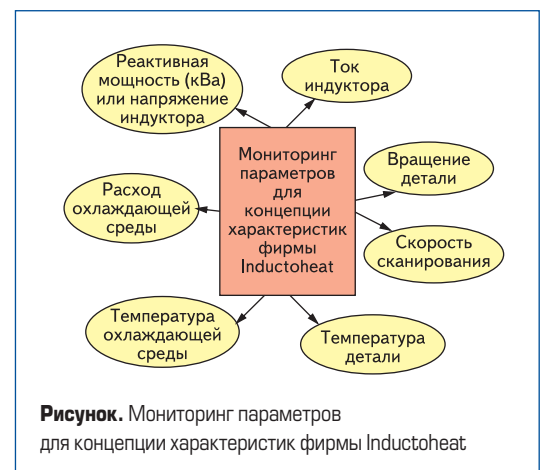


Рисунок. Мониторинг параметров для концепции характеристик фирмы Inductoheat

ется для сильных магнитных полей и более высоких удельных мощностей. Самыми интересными параметрами являются ток катушки и коэффициент мощности системы (косинус угла сдвига фаз). Выбор контроллера, осуществляющего мониторинг, зависит от особенностей технологического процесса, продолжительности технологического цикла, технологических требований и стоимости. В ряде случаев достаточным будет применение относительно простого энергетического контроллера. В других случаях может потребоваться усовершенствованный контроллер для мониторинга характеристик.

Энергетический контроллер

Простой энергетический контроллер измеряет и выводит на экран значение энергии, подводимой к индуктору, в киловатт-секундах. Стоимость этого контроллера достаточно низка. Как только нагрета тестовая заготовка, для которой определены мощность и время нагрева, информация об этом вводится в контроллер. Приемлемые верхний и нижний пределы по киловатт-секундам вводятся пользователем. Если в нагрузке выделяется недостаточное или избыточное количество энергии, на дисплей контроллера выводится сообщение «БРАК/НЕДОГРЕВ» или «БРАК/ПЕРЕГРЕВ» соответственно. Вспомогательная система используется для удаления бракованной заготовки из автоматической линии или для включения звукового сигнала в случае ручного управления процессом. Если же значение энергии находится в пределах заданного диапазона, то выдается сообщение «НОРМА».

Энергетический контроллер может быть использован для автоматического отключения мощности, когда желаемое количество энергии выделено в нагрузку. При этом с достаточной точностью измеряется и выдается на дисплей мощность источника питания. Используемые ранее радиочастотные контроллеры осуществляли измерение мощности по входу источника питания; опторазвязка сделала измерение напряжения и частоты с помощью контроллера безопасным.

Мониторинг с расширенными возможностями

Во многих случаях энергетический контроллер может эффективно отслеживать цикл нагрева. Однако при некоторых процессах энергетический контроллер дает неполную информацию, так как стадия резкого охлаждения является столь же критичной для закаливаемой детали, как и стадия нагрева. Желательно иметь оборудование, позволяющее производить более полный мониторинг. Такое оборудование отслеживает в реальном времени несколько параметров одновременно и показывает, какие параметры могут быть причиной нарушения процесса закалки.

Концепция Stativision использовалась фирмой Inductoheat при разработке устройств для мониторинга с расширенными возможностями. Контроллеры, реализующие эту концепцию, имеют интерфейсы реального времени,

которые отслеживают энергию, поступающую в технологическую установку, и сравнивают ее с уставками, обеспечивающими идеальное проведение технологического процесса. Опрос параметров, характеризующих нагрузку, осуществляется с периодом от 30 мс до 2 с, который подразделяется на 75 шагов. Идеальные значения параметров запоминаются. В течение каждого успешного технологического цикла полученное значение параметра сравнивается с запомненным идеальным значением. Различие между этими значениями выдается на дисплей вместе с текущим значением параметра. Если эти два значения не согласуются, то регистрируется предпосылка к браку и выдается сигнал оповещения.

На экранах операторов также отображается информация о процессе. Главный экран имеет несколько шкал, показывающих определяющие параметры процесса, такие как мощность, частота, ток и т. д. Экран неисправностей отображает перечень нарушений в системе, включая выход за рамки пределов изменения параметров. На этом экране оператор может наводить курсор на отображение информации о нарушении в системе или выходе параметра за границы пределов. Нажатием клавиши включается экран помощи, и на нем отображается информация, соответствующая выбранному пункту. Экраны помощи обеспечивают реализацию дружественных пользователю диагностических процедур, которые минимизируют время, затрачиваемое на устранение нежелательных ситуаций, и обеспечивают оптимальную настройку, необходимую для конкретной нагрузки.

Промышленная установка, такая как QA ULTRA 8000 фирмы Inductoheat, способна отслеживать четыре или восемь параметров процесса одновременно. Эта установка сравнивает текущее значение параметров с уставками, чтобы обеспечить требуемое качество обработки детали. При этом можно фиксировать такие параметры, как высокая или низкая мощность, высокая или низкая скорость вращения, избыточное или недостаточное охлаждение, высокое или низкое время термообработки и т. д. Особенности и преимущества такой фиксации, так же как и у других аналогичных систем мониторинга, сводятся к следующему:

- повторяемость результатов обработки;
- мониторинг параметров в реальном времени;
- снижение стоимости за счет уменьшения объема разрушающих испытаний;
- немедленное получение результатов обработки;
- легкость настройки и функционирования;
- измерение большого количества параметров, позволяющее с минимальными затратами определять технологические нарушения;
- идентификация и отчет об условиях технологического нарушения;
- обеспечение анализа тенденций изменения параметров;
- применение стационарного позиционирования или режима сканирования;
- сбор данных для программного обеспечения по управлению статистическими процессами.

**В рядах
серии FPS1000 —
12-вольтовое
пополнение**