

УДК 621.3

## ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

Комаровский Т.Р.

Научный руководитель – старший преподаватель Жуковская Т.Е.

Индукционный нагрев применяется на производстве для: для поверхностной закалки стальных изделий, сквозного нагрева под пластическую деформацию (ковку, штамповку, прессование, прокатку и т.д.), плавления металлов, термической обработки (отжиг, отпуск, нормализация, закалка), сварки, наплавки, пайки металлов. Конструкции индукторов могут быть предназначены для нагрева локального участка или всего объема заготовки. Первые печи, работающие на принципе индукционного нагрева начали появляться еще в самом начале XX века. Сфера очень быстро развивалась и уже через несколько десятков лет появились высокочастотные тигли по КПД почти не уступающие современным. Если раньше индукционные печи для плавки металла устанавливались исключительно в цехах крупных организация, то сегодня современная индукционная печь может находится даже в небольших мастерских.

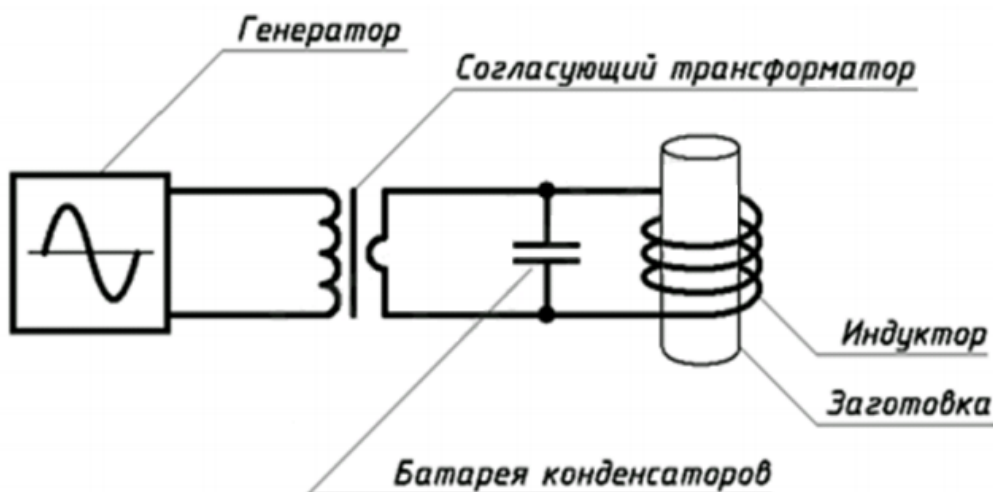


Рисунок 1. Общая схема индукционного нагревателя

Индукционный нагрев проводится следующим образом. Электропроводящая заготовка помещается в индуктор, представляющий собой один или несколько витков провода или трубок (чаще всего из меди). В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи различной частоты (от 50 Гц до десятков МГц), в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи. Вихревые токи разогревают заготовку под действием джоулева тепла. Тепло к заготовке подводится переменным магнитным полем, а не градиентом температуры, как при непрямым нагревах, и возникает прямо в заготовке.

Система «индуктор-заготовка» представляет собой бессердечниковый трансформатор, в котором индуктор является первичной обмоткой. Заготовка является как бы вторичной обмоткой, замкнутой накоротко. Магнитный поток

между обмотками замыкается по воздуху. Чаще всего по трубкам индуктора пускают охлаждающую жидкость.

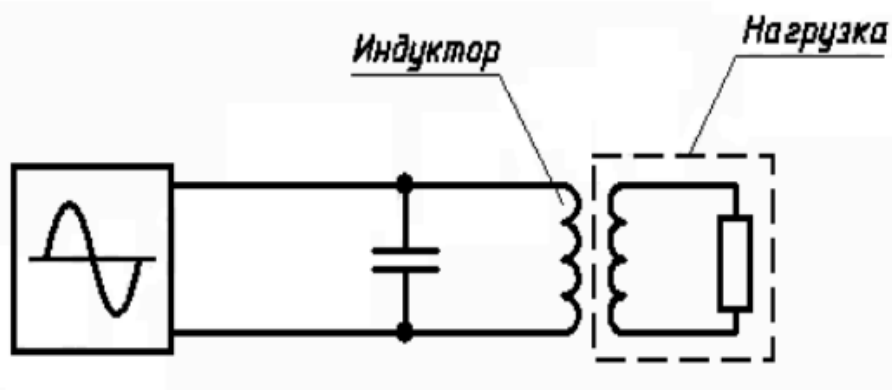


Рисунок 2. Эквивалентная электрическая схема индуктора

В случае индукционного плавления, металл плавится в тигле, размещенном в индукторе больших размеров, а в случае нагрева - заготовка просто помещается непосредственно в индуктор.

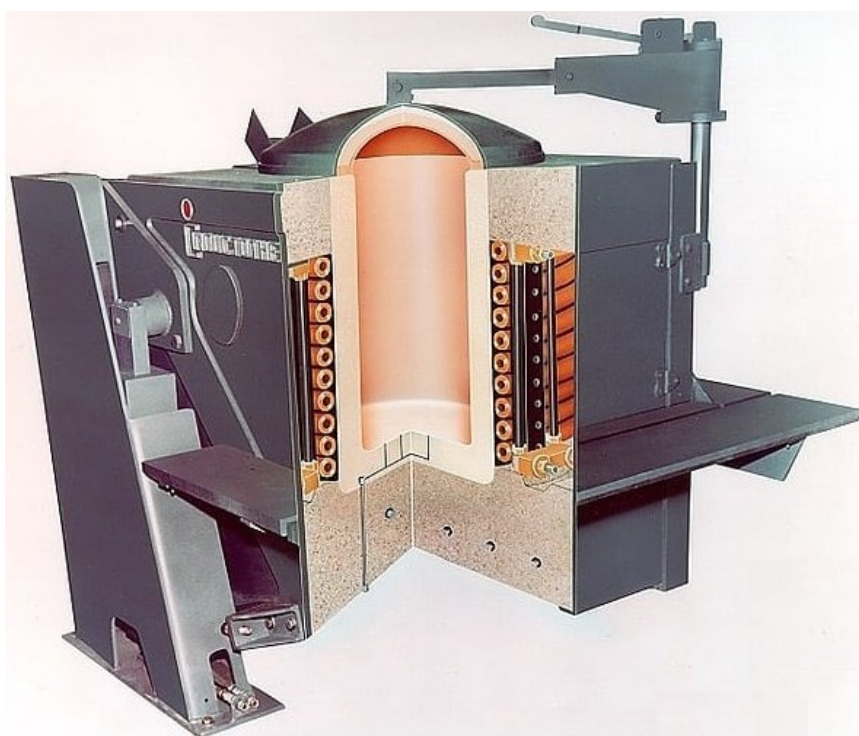


Рисунок 3. Индукционная печь

Тепло в заготовке не образуется равномерно по всему сечению. Например, при нагреве заготовки цилиндрической формы наибольшая плотность тока будет на поверхности заготовки, а к середине снижается приблизительно экспоненциально. Это явление называется скин-эффект.

Толщина скин-слоя, по которому проходит ток, называется глубиной проникновения тока и определяется по следующей формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\gamma\mu\omega}}, \text{ м}$$

где  $\omega = 2\pi f$ ;

$f$  – частота тока, Гц;

$\mu$  – магнитная проницаемость, Гн/м;

$\gamma$  – удельная электропроводимость материала, 1/Ом;

Энергия, переданная в заготовку ее нагревает, но ее часть излучением и конвекцией рассеивается в окружающем пространстве. Частота тока и время нагрева заготовки выбирается в зависимости от материала заготовки и ее габаритов.

Индукционный нагрев применяется для сварки заготовок. Чаще всего это непрерывная шовная и стыковая сварка труб.

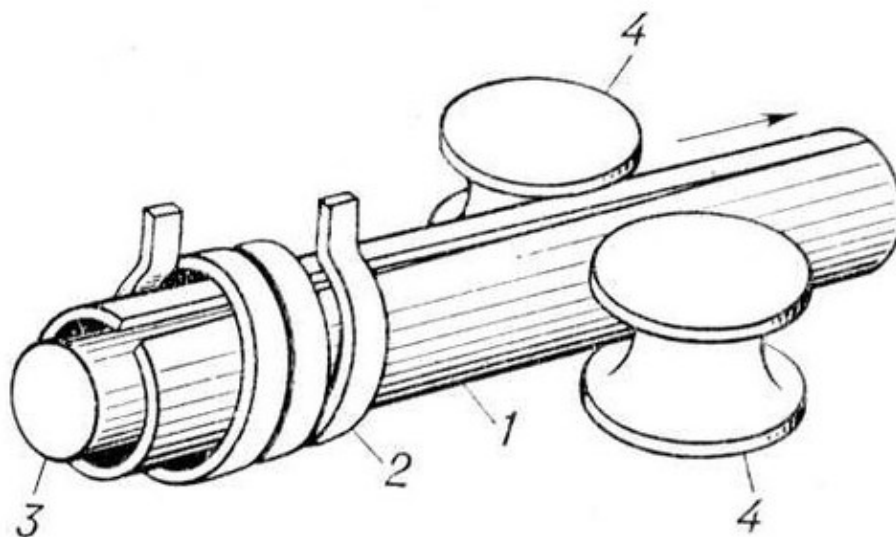


Рисунок 4. Шовная сварка трубы индукционным способом: 1 – труба; 2 – индуктор; 3 – сердечник; 4 – обжимные ролики.



Рисунок 5. Индукционная сварка с давлением

Преимущества индукционного нагрева:

1. Повышенная скорость нагрева по сравнению с установками косвенного действия, в которых изделие нагревается только с поверхности.
2. Электрическая энергия передается в тело без непосредственного контакта, что удобно в автоматизированном поточном производстве при использовании вакуумных и защитных средств.
3. Индукционные установки относительно компактные. Именно поэтому не возникает проблем с их размещением в небольших помещениях.
4. КПД почти 100%.
5. Индукционная плавка занимает первое место по чистоте расплава. За счет того, что нагрев идет изнутри исключается вероятность попадания в состав различных примесей.
6. Безвредность процесса индукционного нагрева.
7. Индуктор можно изготовить особой формы — это позволит равномерно прогревать по всей поверхности детали сложной конфигурации, не приводя к их короблению или локальному непрогреву.

Недостатки индукционного нагрева:

1. Несмотря на небольшие размеры индуктора, агрегат индукционного нагрева в целом достаточно громоздок и маломобилен и больше подходит для стационарной установки в помещении, чем для выездных работ.
2. Требуется мощный источник электроэнергии для питания установки индукционного нагрева, а также насос и бак с охлаждающей жидкостью для охлаждения индуктора, которые в полевых условиях могут отсутствовать.
3. Повышенная сложность оборудования, необходим квалифицированный персонал для проектирования установок, их настройки и ремонта.

#### Литература

1. Проектирование индукционных нагревателей и безопасность при электротермическом нагреве : учеб. пособ. / В. В. Кухарь, Ю. П. Нижельская, А. С. Анищенко. – Мариуполь : ПГТУ, 2016. – 173 с
2. Сайты: <http://electricalschool.info/>  
<https://tokar.guru/>  
<http://beltechnologia.by/>  
<https://ru.wikipedia.org/>