

**Занятие №4 (2 часа).
Электроустановки
индукционного нагрева**

4.1. Общие сведения

Индукционный нагрев проводящих тел основан на поглощении ими электромагнитной энергии, возникновении наведенных вихревых токов, нагревающих тело по закону Джоуля-Ленца.

Принципиальная схема индукционного нагрева включает: индуктор, зазор и нагреваемое тело.

Индуктор создает переменный во времени магнитный поток, действующий на нагреваемое тело.

В нагреваемом теле возникает ЭДС (E), которая обеспечивает возникновение вихревых токов (I) и выделение мощности (P).

$$E = 4,44\Phi wf \cdot 10^8$$

$$P = \frac{E_2 R}{Z^2}$$

где: E — ЭДС, возникающая в нагреваемом теле, В;
 Φ — магнитный поток, создаваемый индуктором, Вб;
 w — число витков индуктора, шт.;
 f — частота питающей сети, Гц;
 P — мощность, выделяемая в нагреваемом теле, Вт;
 R — сопротивление нагреваемого тела, Ом;
 Z — полное сопротивление цепи, Ом.

Формы индукторов различны — цилиндрическая, плоская и др.

Индукторы изготавливают обычно из меди — немагнитного материала, охлаждаемого водой.

Он имеет много витков и может быть снаружи и внутри нагреваемого тела.

Достоинствами электроустановок индукционного нагрева являются:

- высокая скорость нагрева и неограниченный уровень температур,
- простота автоматизации технологического процесса,
- возможность регулирования зоны действия вихревых токов в пространстве (ширина и глубина прогрева),
- хорошие санитарно-гигиенические условия труда.

Но, вместе с этим, требуются более сложные источники питания и повышенный удельный расход электроэнергии на технологические операции.

Ток индукторов составляет от сотен до нескольких тысяч «А» при средней плотности тока 20 А/мм².

Индукционный способ нагрева применяется для:

- плавки металлов и неметаллов,
- поверхностной закалки,
- нагрева изделий для пластической деформации и т.п.

Индукционные электротехнологические установки разделяются на плавильные, нагревательные и закалочные.

Они могут работать от источников на частотах:

- 50 Гц — промышленная;
- 0,5-10 кГц — средняя;
- сотни-тысячи кГц — высокая.

Видео

Индукционный кузнечный нагреватель

[Смотреть](#)

Плавильные установки (печи) разделяются по конструкции на индукционные канальные печи (ИКП) и индукционные тигельные печи (ИТП).

Для рабочего процесса печей характерно:

- электродинамическое и тепловое движение жидкого металла в ванне или тигле, что способствует получению однородного по составу металла и равномерному прогреву по всему объему;
- малый угар металла (в несколько раз меньше, чем в дуговых печах).

Рабочие температуры печей:

750 °C — для выплавки алюминия,

1200 °C — для выплавки меди,

1200-1400 °C — для выплавки чугуна,

1600 °C — для выплавки стали.

Индукционные тигельные печи (ИТП) (рис.4.1.)

работают на промышленных, средних и высоких частотах. ИТП состоит из индуктора (1), подключаемого к источнику питания переменного тока, расплавленного металла (2), находящегося внутри огнеупорного тигля (4), и магнитопровода внешнего (3), применяемого в печах большой емкости.

Магнитопровод предназначен для экранирования от полей рассеяния индуктора и уменьшения потерь энергии.



Индукционная тигельная печь

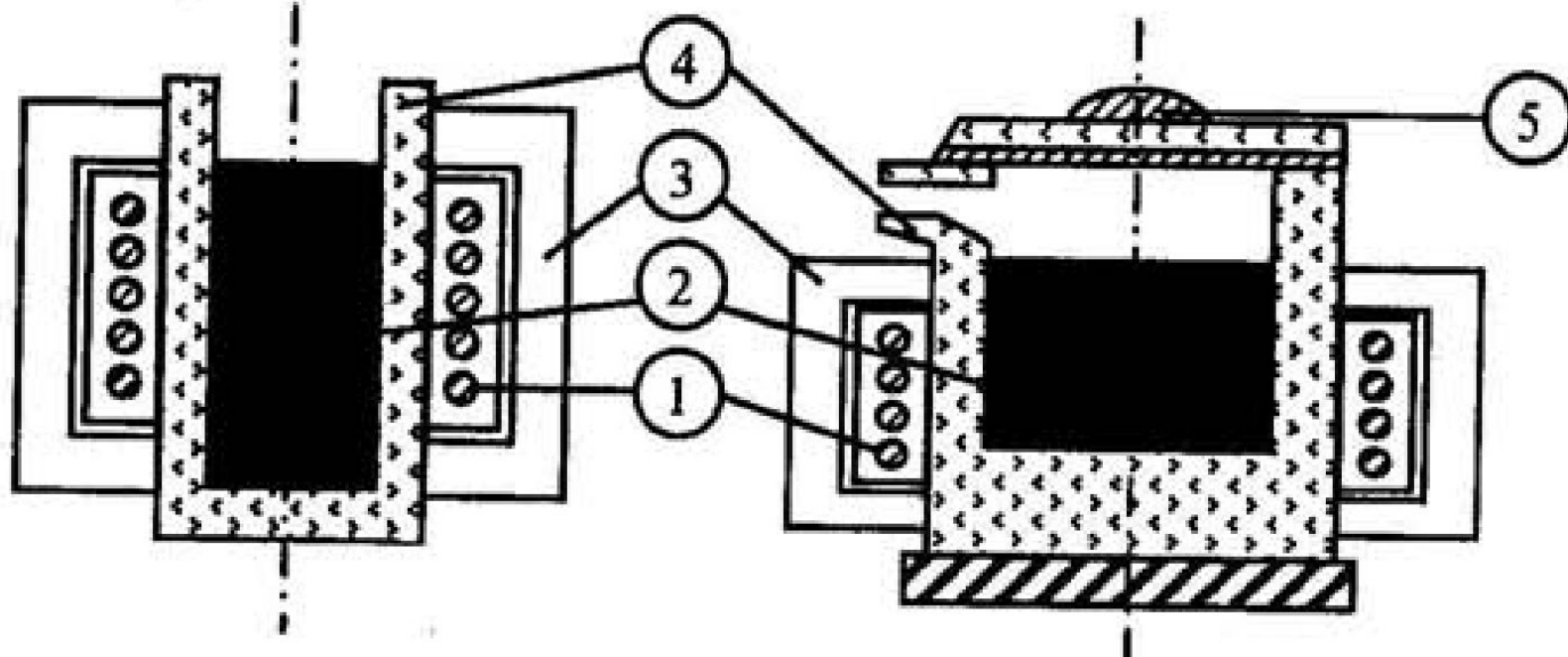


Рис.4.1. Индукционная тигельная электропечь

- 1 — индуктор, 2 - расплавленный металл,
3- магнитопровод внешний , 4 — огнеупорный тигль,
5- крышка тигля

Нагрев и расплавление салки происходит за счет вихревых токов, наводимых в ней. Плотность тока в загрузке (садке) неравномерна- наибольшая в слое, прилегающем к стенкам тигля, а наименьшая — в центральной части. Вследствие этого возникает естественная циркуляция расплава в тигле, скорость которой зависит от напряженности магнитного поля, частоты источника, удельной мощности печи и т.п.

Кроме того, ИТП имеют механизмы подъема крышки (5), наклона печи, загрузки (подвесные тележки, мостовые краны и т. п.).

В ИТП большой емкости применяются источники питания промышленной частоты, средней и малой емкости — повышенной и высокой частоты.

Оптимальная частота, необходимая для нагрева на заданную глубину, определяется из соотношения

$$f_{opt} = \frac{\rho}{\pi \mu \Delta l^2}$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление нагреваемого материала. Ом • м;

Δl — глубина электрического прогрева, м;

μ — магнитная проницаемость металла заготовок, безразмерная.

Электрический КПД ($\eta_{\text{э}}$) индуктора зависит от ряда величин:

- геометрических размеров индуктора и детали,
- удельного сопротивления их материалов,
- магнитной проницаемости металла заготовки.

$\eta = 0,7 \dots 0,8$ при нагреве стали

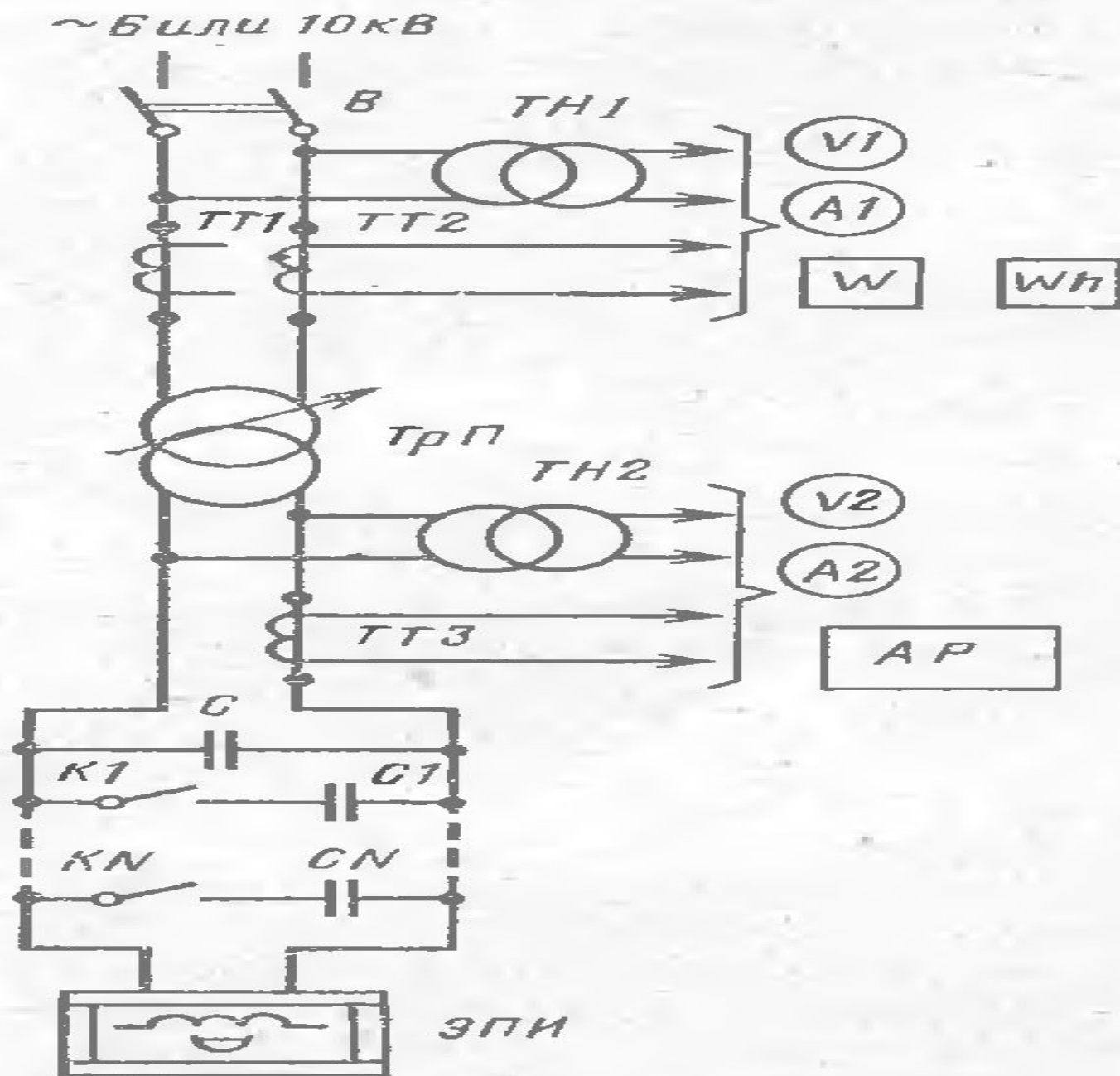
$\eta = 0,5$ при нагреве цветных металлов.

4.2. Электрическая схема питания индукционной печи промышленной частоты.

(рис.4.2.)

Напряжение на печь *ЭПИ* подается после включения выключателя *B*.

На стороне ВН печного трансформатора *ТрП* через трансформаторы напряжения *ТН1* и тока *ТТ1*, *ТТ2* присоединены измерительные приборы — вольтметр *V1*, амперметр *A1*, ваттметр *W* и счетчик *Wh* активной энергии, потребляемой печью, и аппараты релейной защиты.



Параллельно индуктору печи подключена компенсирующая конденсаторная батарея, которая состоит из постоянной присоединенной секции C и секций $C1 — CN$, управляемых контакторами $K1 — KN$, где N — число секций.

На стороне низшего напряжения (НН) печной установки от трансформаторов напряжения $TH2$ и тока $TT3$ получают питание вольтметр $V2$ и амперметр $A2$, а также автоматический регулятор режима печи AP .