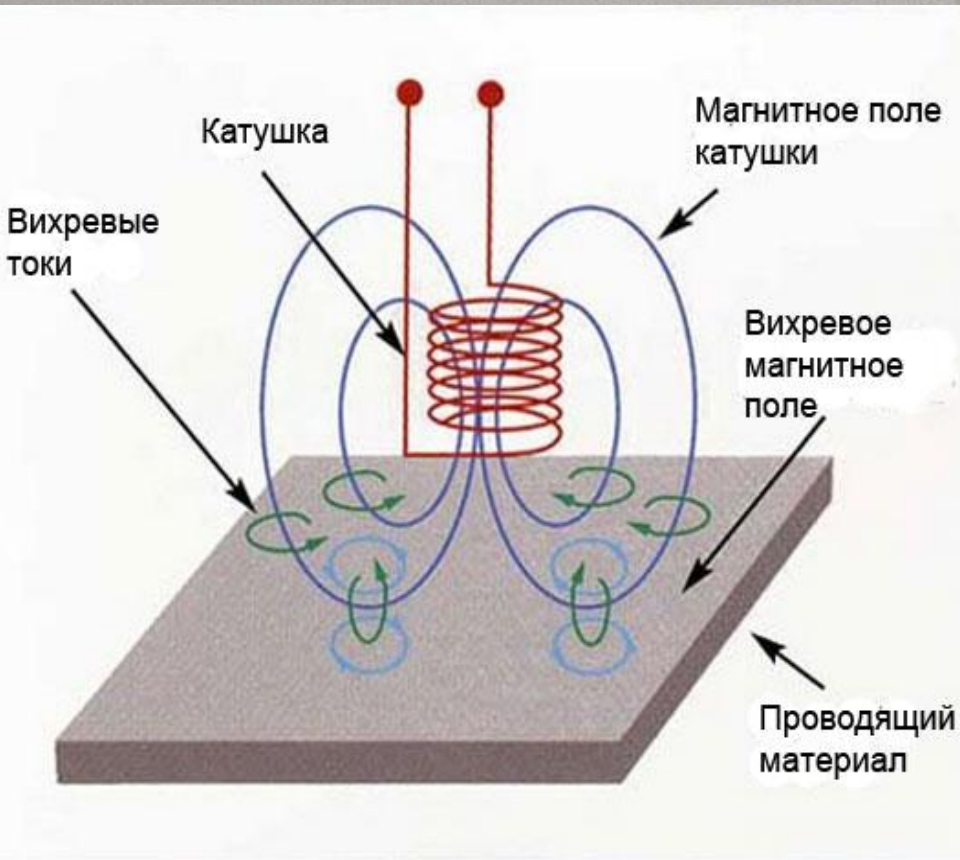




Индукционные печи

Доклад выполнили:
Австрийская Анастасия
Елисеев Кирилл
Малыш Максим
Никонова Алина

Индукционный нагрев в ИП



Преобразование энергии электромагнитного поля в тепловую энергию при помощи наведённых вихревых токов

Физическая основа:

- Закон электромагнитной индукции
- Закон Джоуля-Ленца
- Показатели:
- Высокая напряжённость электромагнитного поля
- Высокая частота тока питающей сети f

Классификация индукционных установок

промышленно
й частоты

50 Гц

питающиеся от сети
непосредственно
или через
понижающие
трансформаторы

повышенной
частоты

500-10000 Гц

получающие
питание от
электромашинных
или
полупроводниковы
х
преобразователей
частоты

высокочастотн
ые установки

66 000-440 000 Гц
и выше,
питающиеся от
ламповых
электронных
генераторов.

Классификация индукционных установок

Нагревательные

Плавильные

Индукционные плавильные установки

Канальные
печи

Вакуумные
печи

Печи непрерывного
действия

Устройства для
зонной плавки

Устройства для
гарнисажной плавки

Тигельные печи

Печи с холодным
тиглем

Устройства для
зонной плавки

Устройства для плавки в
электромагнитном тигле

Устройства для
струйной плавки

Конструкция

Плавильный узел индукционной печи ИСТ

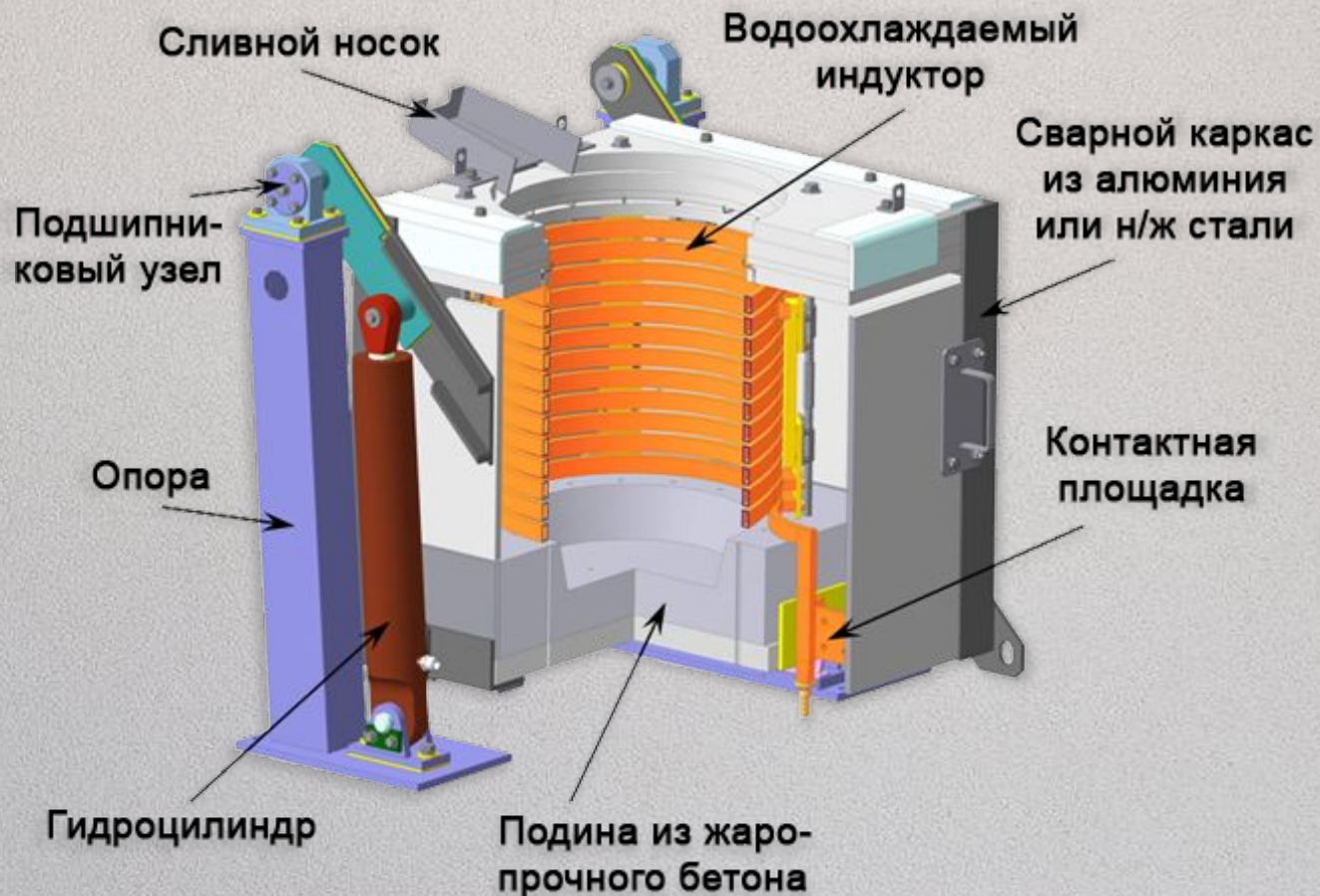


Схема индукционной канальной печи

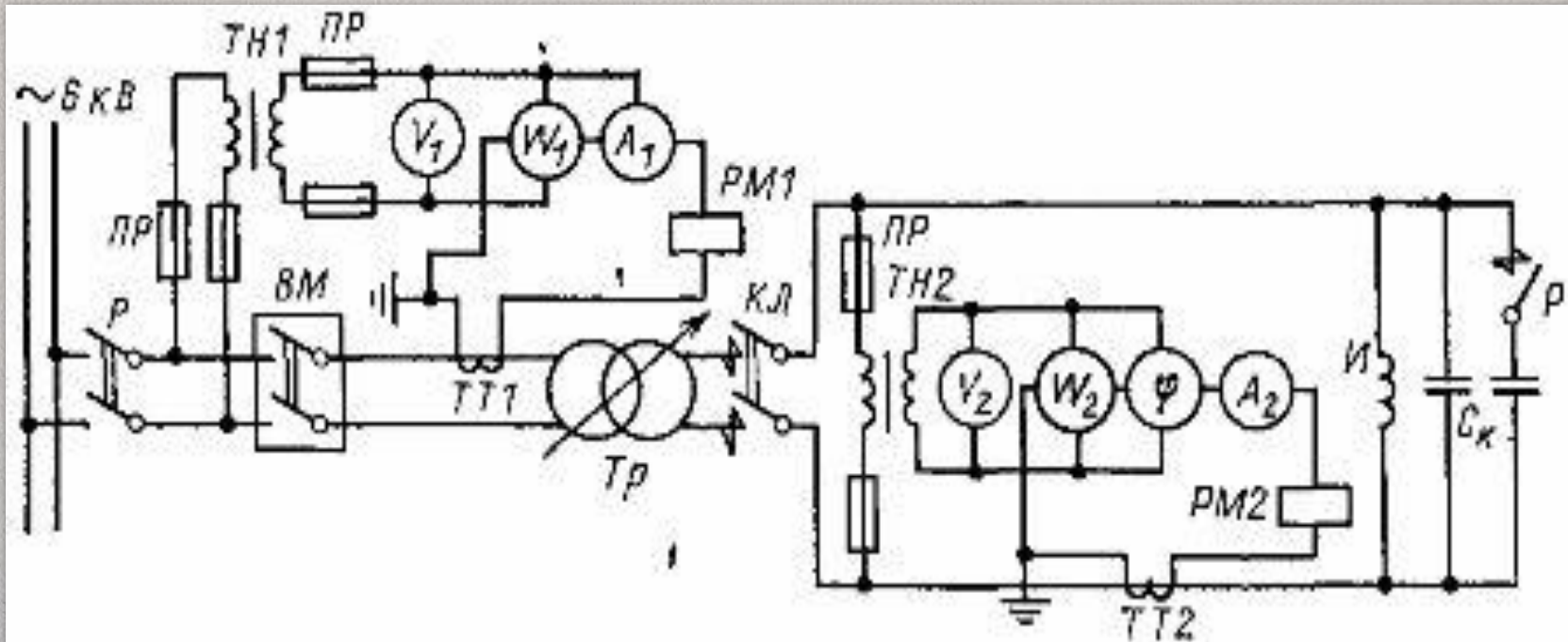


Рис. 1. Принципиальная схема питания индукционной единицы канальной печи: ВМ — выключатель мощности, КЛ — контактор, Тр — трансформатор, С — конденсаторная батарея, И — индуктор, ТН1, ТН2 — трансформаторы напряжения, ТТ1, ТТ2 — трансформаторы тока, Р — разъединитель, ПР — предохранители, РМ1, РМ2 — реле максимального тока.

Схема индукционной тигельной печи

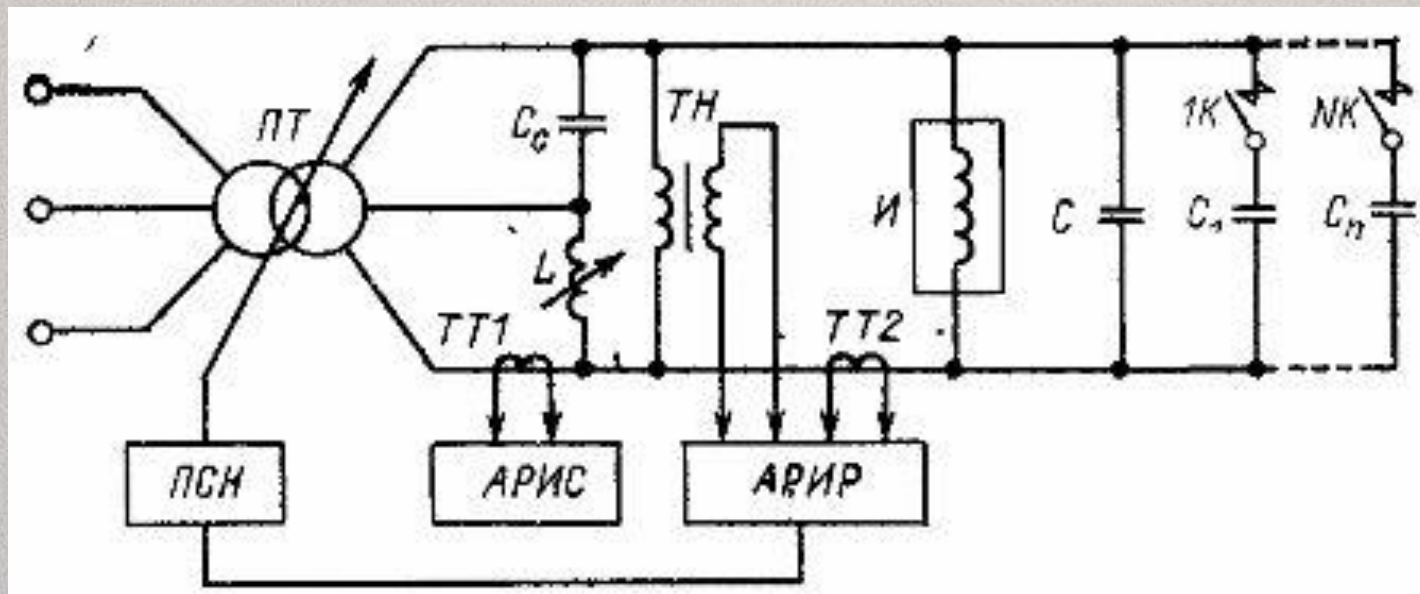


Рис. 2. Схема питания индукционной тигельной печи от силового трансформатора с симметрирующим устройством и регуляторами режима печи: ПСН — переключатель ступеней напряжения, С — симметрирующая емкость, L — реактор симметрирующего устройства, С-Ст - компенсирующая конденсаторная батарея, И — индуктор печи, АРИС — регулятор симметрирующего устройства, АРИР — регулятор режима, 1К—NK — контакторы управления емкостью батареи, ТТ1, ТТ2 — трансформаторы тока.

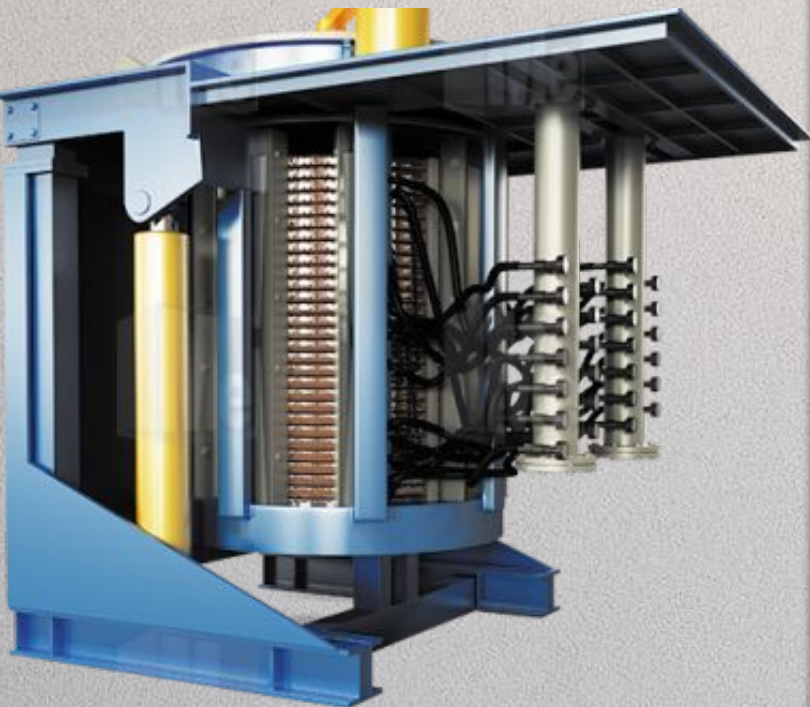
Область применения тигельных печей



Индукционные тигельные печи (ИТП) применяют

- ❶ для плавки черных и цветных металлов на воздухе, в вакууме и в защитных атмосферах;
- ❷ для плавки высококачественных сталей и других специальных сплавов, требующих особой чистоты, однородности и точности химического состава;
- ❸ В настоящее время ИТП повышенной и промышленной частоты широко применяют для плавки обычных тяжелых и легких цветных металлов и их сплавов в производствах с периодическим режимом работы и широким ассортиментом выплавляемых сплавов
- ❹ для плавки сильно загрязненной шихты с большим содержанием стружки или сплавов, требующих модифицирования.

Область применения канальных печей



Индукционные канальные печи используются для плавки **цветных металлов** (медь и сплавы на медной основе – латуни, бронзы, мельхиоры, кунiali; цинк; алюминий и их сплавы) и чугуна, а также в качестве миксеров для тех же металлов. Использование для плавки стали ограничивается из-за недостаточной стойкости футеровки. Наличие в индукционных канальных печах электродинамического и теплового движения расплавленного металла или сплава обеспечивает однородность химического состава и равномерность температуры расплавленного металла или сплава в ванне печи. Индукционные канальные печи рекомендуется использовать в тех случаях, когда к выплавляемому металлу и полученным из него отливкам предъявляются высокие требования, в частности, по минимальным **газонасыщенности и неметаллическим включениям**.

Область применения вакуумных печей



Индукционные вакуумные печи применяют:

- 1 для плавки черных и цветных металлов и их сплавов из чистых твердых шихтовых материалов;
- 2 рафинирования полупродукта на промышленной частоте;
- 3 переплава чистых металлов для фасонного литья.
- 4 Химически активные и особо чистые материалы получают в индукционных вакуумных печах с так называемым холодным тиглем, представляющим собой медный водоохлаждаемый тигель с продольными разрезами, через которые электромагнитные волны проходят к расплавленному материалу, не поглощаясь в электропроводном тигле.

Характеристики Тигельных ИП

В настоящее время используются печи емкостью от десятков грамм до десятков тонн

Технические данные некоторых тигельных индукционных печей

Наименование и назначение печи	Тип печи	Емкость печи, т	Мощность печи, кВт	Частота, Гц	Напряжение на индукторе, В	Мощность конденсаторной батареи, квар	Максимальная рабочая температура, °С	Максимальная производительность, кг/ч	Удельный расход электроэнергии на расплавление, кВт·ч/т	Габаритные размеры, мм		Масса печи, т
										в плане	высота	
Индукционная тигельная для плавки стали	ИСТ-1,0	1,0	790	1000	2000	15600	1650	1330	625	2700x2120	3800	6,5
	ИСТ-2,5	2,5	2350	500	1910	22500	1600	4000	600	3000x2850	3740	15,4
	ИСТ-6	6,0	2330	500	1500	45000	1650	3500	600	-	-	-
	ИСТ-10	10,0	3200	500	1500	48000	1650	5000	640	-	-	-
Индукционная тигельная для плавки чугуна	ИЧТ-2,5	2,5	910	50	980	-	1400	1700	550	3164x3000	3620	17
	ИЧТ-6	6,0	1600	50	1000	-	1400	2200	546	4815x3120	4620	28
Индукционный тигельный миксер для перегрева чугуна	ИЧТМ-6	6,0	370	50	500	-	1400	6000	52	5350x3120	6500	28
	ИЧТМ-10	10,0	840	50	1255	-	1400	17600	48	5700x3600	7100	35,7
Индукционная тигельная для плавки алюминия и его сплавов	ИАТ-0,4	0,4	170	50	340	-	750	230	745	3164x3000	3100	-
	ИАТ-1	1,0	320	50	485	-	750	1300	580			
	ИАТ-6	6,0	1400	50	1050	-	750	2000	560			
Индукционная тигельная для плавки меди и ее сплавов	ИЛТ-1	1,0	325	50	485	-	1200	1000	380	4840x3600	5570	-
	ИЛТ-2,5	2,5	720	50	980	-	1200	2000	355			
	ИЛТ-10	10,0	1290	50	1050	-	1200	3600	350			
<i>Вакуумные печи</i>										Изложница		
Индукционная вакуумная для плавки стали и жаропрочных сплавов периодического действия	ИСВ-0,06ПИ ИСВ-0,16ПИ ИСВ-0,16НИ ИСВ-1,0НИ ИСВ-2,5НИ	0,06	155	2400	800	1760	1800	67	2500	500x600	1000	6,5
		0,16	157	2400	800	4400	1700	107	2170	500x600	1000	7,75
		0,16	435	2400	800	4400	1650	200	2100	2000x1200	1200	
		1,0	1000	1000	1000	8600	1650	445	2000	200x200	2500	49,3
		2,5	1500	1000	1000	20000	1800	750	2000	700x900	1800	152,0
Индукционная вакуумная для плавки стали полунепрерывного действия	ИАВ-0,06ПИ ИАПВ-0,25ПИ	0,06	50	2400	475	-	800	10	-	500x500	800	18,27
		0,25	500	1000	2000	-	2000	125	-	Кокиль 240x1200	1300	42,7
Индукционная вакуумная для плавки меди и ее сплавов	ИМВ-0,16ПИ	0,16	162	2400	445	-	1300	64	-	∅300	800	7,28

Характеристики Канальных ИП

Технические характеристики индукционных канальных печей

Характеристики	Тип электропечей								
	ИЛК-0,75	ИЛК-1	ИЛК-1,6	ИЛК-2,5	ИЛК-6	ИАК-0,4	ИАК-6	ИЦК-25	ИЦК-40
Емкость, т - полная, - полезная	1,05 0,75	1,3 1,0	2,5 1,6	5,5 2,5	10,3 6	0,7 0,4	9 6	25 25	40 40
Мощность, кВт	250	250	750	750	316x4	125	1000	540	700
Производительность (ориентировочно), т/сутки	30	21	64	63	80	5	42	130	187
Число индукционных единиц	1	1	1	1	4	1	1	6	6
Число фаз	1	1	3	3	1	1	3	3	3
Коэффициент мощности без компенсации	0,70	0,66	0,66	0,66	0,32	0,4	0,3	0,65	0,63
Масса печи, общая с металлом, т	7,2	7,8	15,5	32	60	6,7	52	55	80

Характеристики Вакуумных ИП



Для плавки черных и цветных металлов и их сплавов из чистых твердых шихтовых материалов на частоте 1 – 2,5 кГц (вместимость до 10-15 т), рафинирования полупродукта на промышленной частоте (вместимость до 60 т), переплава чистых металлов для фасонного литья (вместимостью до 450 кг).

Установки располагают потенциалом от 3 до 20 кВт. В стандартные промышленные модели такого типа можно загружать от 15 до 40 кг материала в среднем. Но встречаются и агрегаты, позволяющие обслуживать за раз до 100 кг. Наделенная средними характеристиками индукционная плавильная печь способна за одну смену обслуживать до 9000 кг.

Температурный диапазон - от 1800 до 2000 °С.

Достоинства Тигельных ИП

- Выделение энергии непосредственно в загрузке, без промежуточных нагревательных элементов;
- Интенсивная электродинамическая циркуляция расплава в тигле, обеспечивающая быстрое плавление мелкой шихты и отходов;
- Быстрое выравнивание температуры по объему ванны и отсутствие местных перегревов и гарантирующая получение многокомпонентных сплавов, однородных по химическому составу;
- Возможность создания в печи любой атмосферы (окислительной, восстановительной, нейтральной) при любом давлении (вакуумные или компрессионные печи)
- Высокая производительность, достигаемая благодаря высоким значениям удельной мощности (особенно на средних частотах).
- Возможность полного слива металла из тигля
- Относительно малая масса футеровки печи, что создает условия для снижения тепловой инерции печи благодаря уменьшению тепла, аккумулированного футеровкой;
- Печи этого типа весьма удобны для периодической работы с перерывами между плавками и обеспечивают возможность для быстрого перехода с одной марки сплава на другую;
- Простота и удобство обслуживания печи, управления и регулирования процесса плавки, широкие возможности для механизации и автоматизации процесса;
- Высокая гигиеничность процесса плавки;
- Малое загрязнение воздушного бассейна.

Недостатки Тигельных ИП

- Относительно низкая температура шлаков, наводимых на зеркало расплава с целью его технологической обработки;
- Холодные шлаки затрудняют протекание реакций между металлом и шлаком и затрудняют процессы рафинирования;
- Сравнительно низкая стойкость футеровки при высоких рабочих температурах расплава и при наличии резких колебаний температуры футеровки при полном сливе металла;
- Высокая стоимость электрооборудования, особенно при частотах выше 50 Гц.
- Более низкий КПД всей установки вследствие необходимости иметь в установке источник получения высокой или повышенной частоты, а также конденсаторов, а также при плавке материалов с малым удельным сопротивлением.

Достоинства Канальных ИП



1 Минимальное окисление и испарение металла, так как нагрев происходит снизу. К наиболее нагретой части расплава, находящейся в каналах, нет доступа воздуха, а поверхность металла в ванне имеет сравнительно низкую температуру.

2 Малый расход энергии на расплавление, перегрев и выдержку металла.

Канальная печь имеет высокий электрический КПД благодаря использованию замкнутого магнитопровода.

В то же время высок и тепловой КПД печи, так как основная масса расплава находится в ванне, имеющей толстую теплоизолирующую футеровку.

3 Однородность химического состава металла в ванне благодаря циркуляции расплава, обусловленной электродинамическими и тепловыми усилиями. Циркуляция способствует также ускорению процесса плавки.

Недостатки Канальных ИП



- 1 Тяжелые условия работы футеровки канала – подового камня. Стойкость этой футеровки снижается
- 2 Необходимость постоянно (даже при длительных перерывах в работе) держать в печи сравнительно большое количество расплавленного металла.
- 3 Невозможен быстрый переход с одной марки выплавляемого сплава на другую. В этом случае приходится проводить ряд балластных переходных плавов. Постепенной загрузкой новой шихты меняют состав сплава от исходного до требуемого.
- 4 Шлак на поверхности ванны имеет низкую температуру. Это затрудняет проведение нужных металлургических операций между металлом и шлаком. По этой же причине, а также ввиду малой циркуляции расплава вблизи

Достоинства и недостатки Вакуумных ИП



Достоинства:

- ❶ По сравнению с обычными печами для термообработки вакуум позволяет осуществлять высокоэффективное тепловое воздействие на заготовки
- ❷ У оператора есть возможность гибкой регулировки параметров нагрева, которую, например, предусматривает вакуумная индукционная печь с тиглем. К достоинствам таких конструкций относят и возможность получения относительно чистого металлического материала.

Недостатки:

- ❶ Жесткие условия, которые требуются для обеспечения производительной термообработки и которые влияют на структуру рабочих поверхностей.
- ❷ Стоимость в среднем составляет 500-700 тыс. руб.

Данные ИП типа ИСТ 0,4/0,32

Номинальная
ёмкость, т
стали

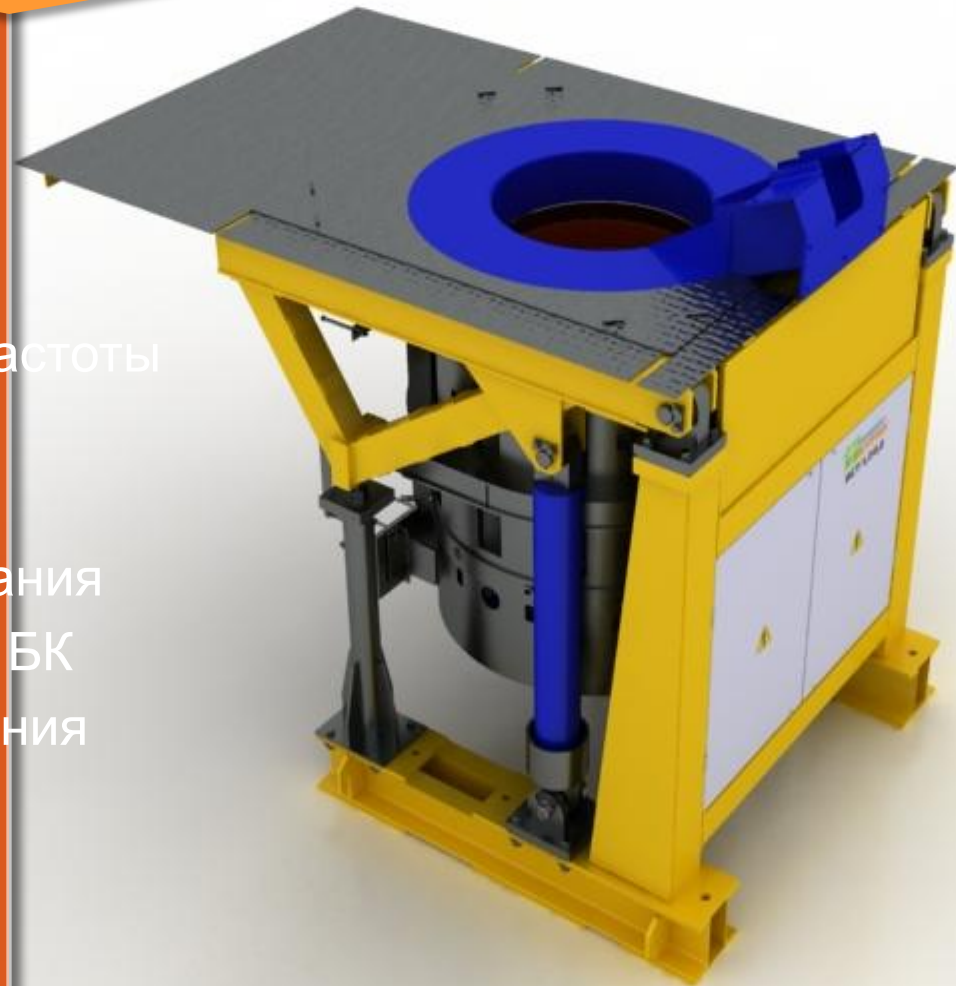
Мощность
преобразовательного
трансформатора,
кВА



	Число фаз	f, Гц	Uном, В	Iном, А
Питающая сеть	3	50	380	-
Контурная цепь	1	800-1000	700	3000

Состав установки ИП типа ИСТ 0,4/0,32

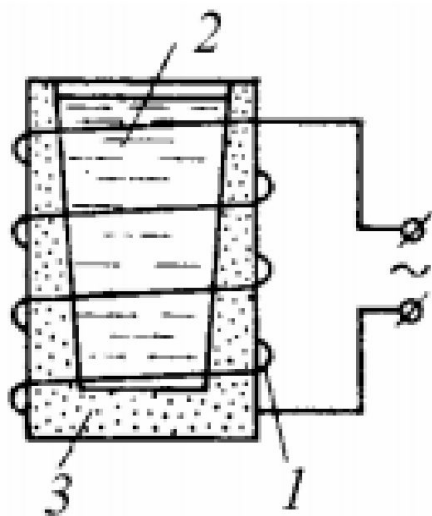
- Каркас
- Индуктор
- Энергопровод
- Узел контроля водоохлаждения
- Защита печного агрегата
- Тиристорный преобразователь частоты
- БК и шинопроводы
- Гидропровод
- Пульт дистанционного обслуживания
- Переключающее устройство для БК
- Система обратного водоснабжения



Индукционная печь как потребитель электроэнергии

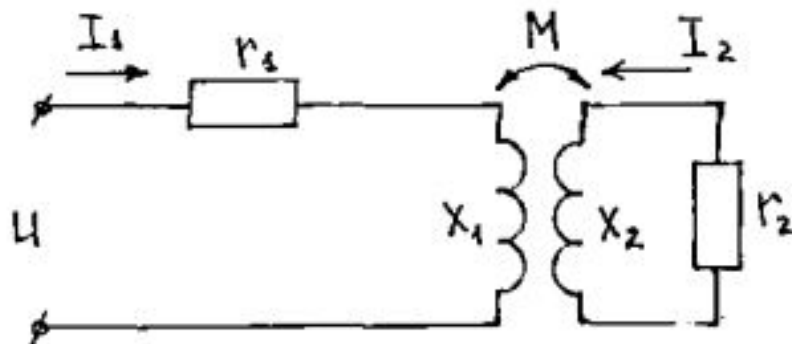
Тигельная печь

В тигельной печи первичной обмоткой служит индуктор, обтекаемый переменным током, а вторичной обмоткой и одновременно нагрузкой – сам расплавляемый металл, загруженный в тигель и помещенный внутрь индуктора.



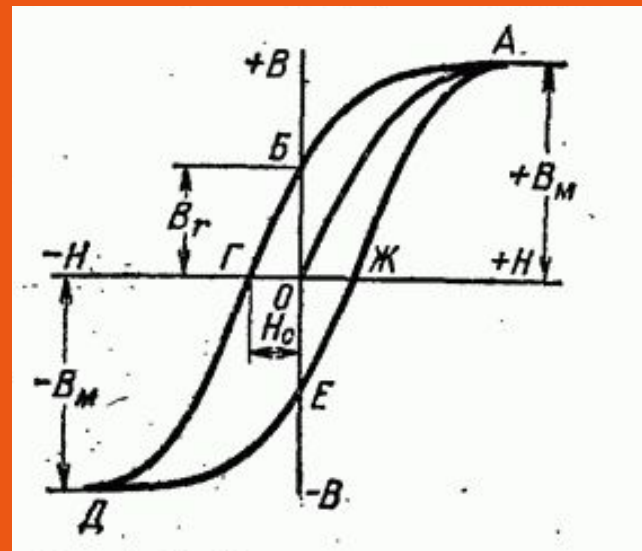
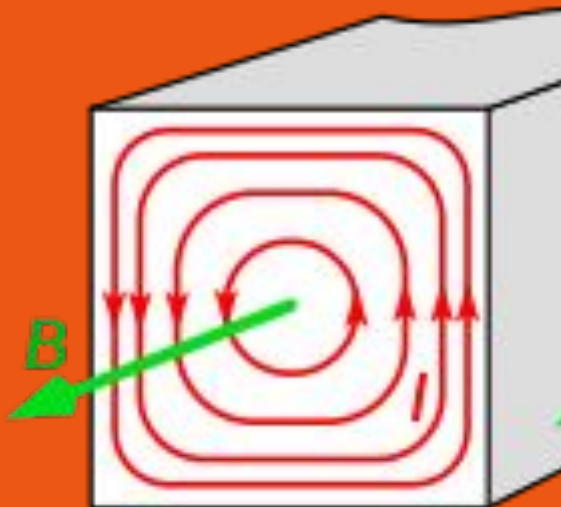
Индукционная плавка металлов в тигельной печи:

1 – индуктор; 2 – расплав;
3 – огнеупорный тигель



КПД тигельной печи

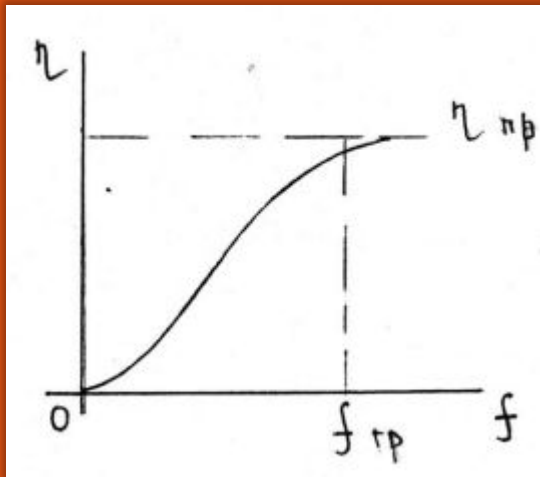
Ферромагнитные металлы



КПД тигельной печи

Мощность, а следовательно, и тепло, выделяемое вихревыми токами, которые наводятся и циркулируют в металле, зависят от частоты переменного магнитного поля.

$f=50 \text{ Гц}$ \longrightarrow $7-10 \text{ Вт/см}^2$



Обычно стараются обеспечить КПД на уровне близком к предельному $\eta=0,9\eta_{пред}$.

Мощность печей от 0,18 до 20 МВА. Для печей мощностью до 2,5 МВА используются *одно и трехфазные трансформаторы*, для печей свыше 4 МВА – *только трехфазные*.

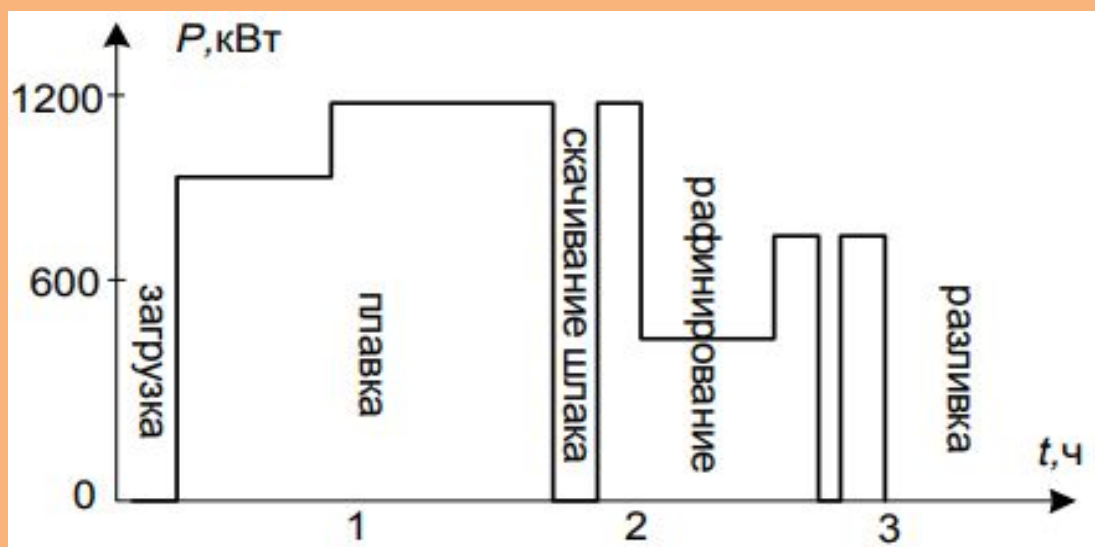
Питание печей в основном производится от сети **напряжением** 10 кВ.

Естественный **коэффициент мощности** не превышает 0,1÷0,4, после компенсации 0,98÷1.

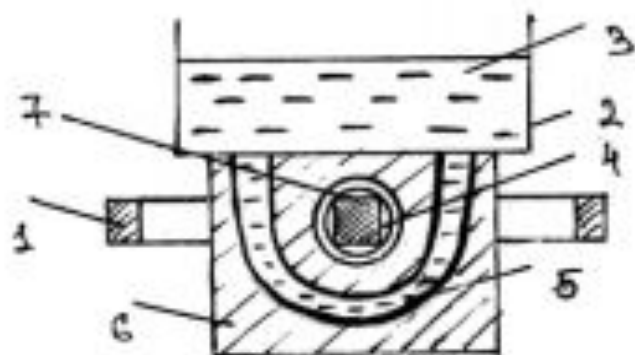
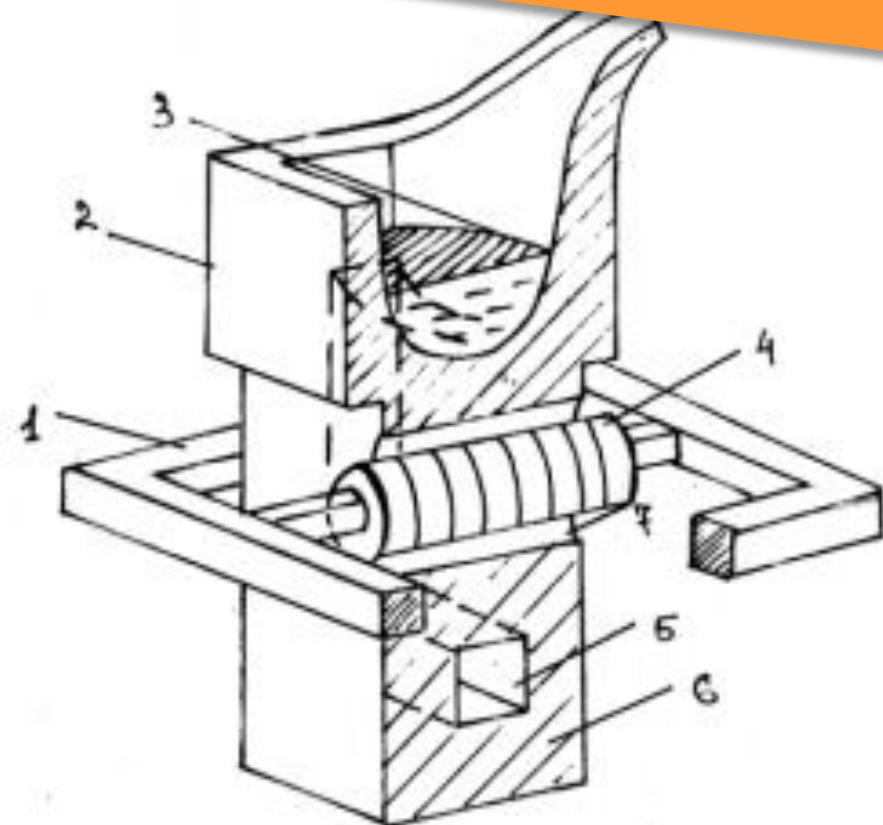
Режим работы печей – продолжительный, а электрическая нагрузка – непрерывно-циклическая, переменная.

По **надежности** электроснабжения ИТП относятся к потребителям 2 категории.

Для питания индукционной печи напряжением повышенной частоты используется тиристорный преобразователь.



Канальная печь



1- стальной магнитопровод

2-футерованная ванна

3-расплавляемый металл

4-индуктор

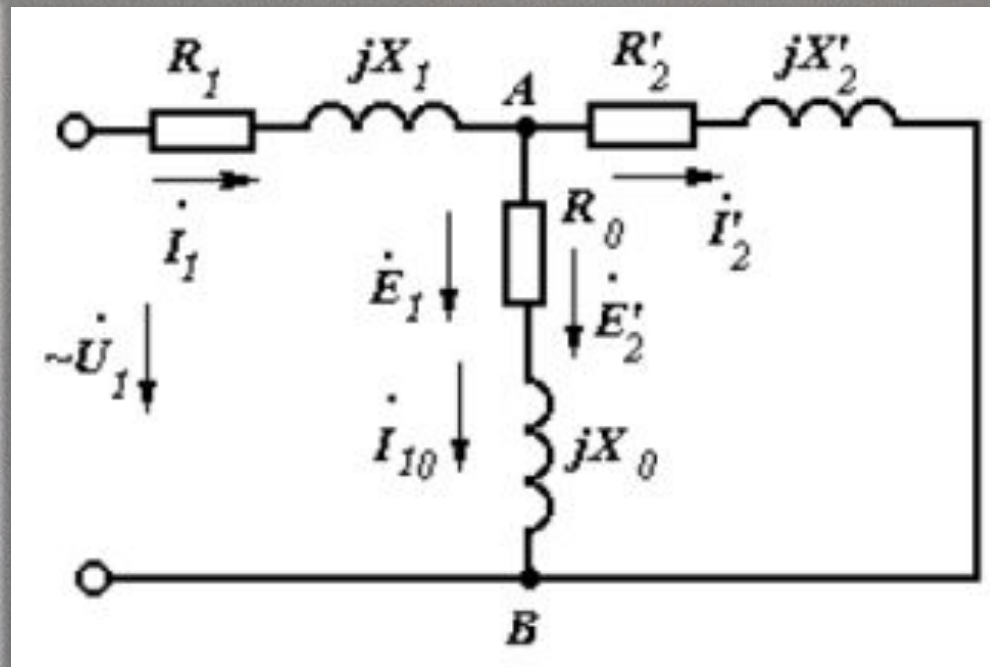
5-канал

6-подовый камень

7-цилиндрический проём

Канальная печь

По принципу действия ИКП является трансформатором со стальным магнитопроводом 1. Первичной обмоткой служит индуктор 4, который питается током с частотой 50 Гц, а вторичная обмотка – это один виток из расплавленного металла, находящегося в ванне (2) и канале (5).

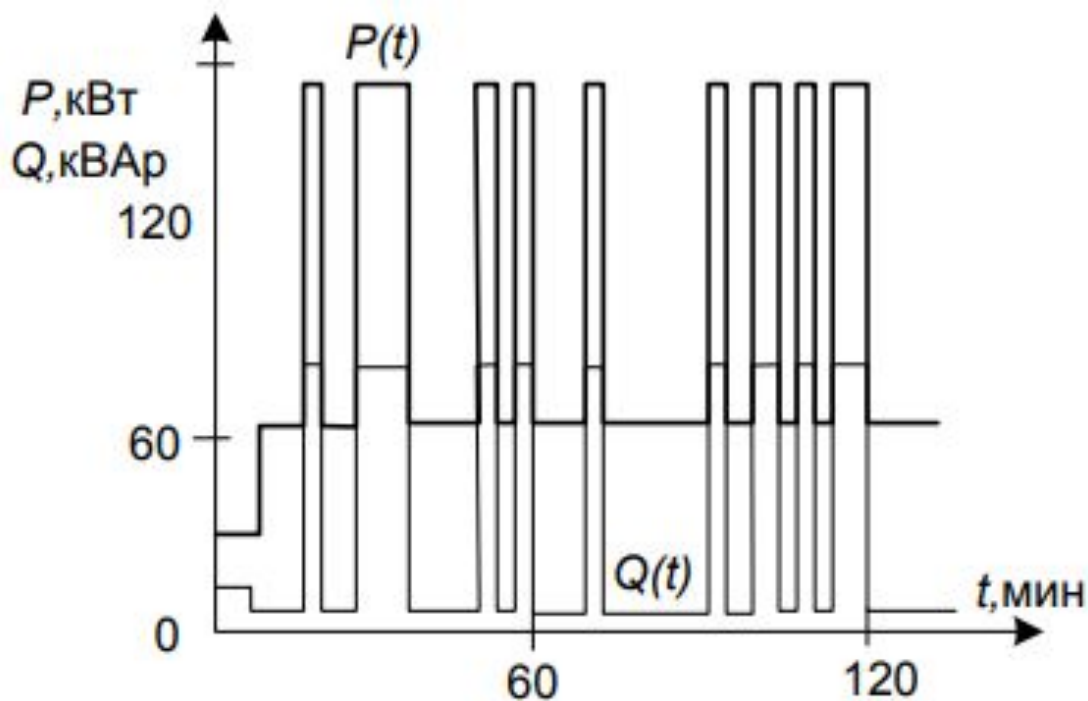


Канальная печь

- **Мощность ИКП** изменяется от 60 до 6000 кВт.
- Маломощные печи питаются от цеховой распределительной сети напряжением 0,4 кВ. Печи большой мощности подключаются к сети 10 кВ.
- Существуют *однофазные, двухфазные и трехфазные* установки.
- **КПД и коэффициент мощности** заметно ниже, чем у обычного трансформатора.
- В зависимости от выплавляемого продукта естественный **коэффициент мощности** составляет 0,2÷0,7.
- По **надежности** электроснабжения ИТП относятся к потребителям 2 категории.



Режим работы печей – продолжительный. График электрической нагрузки определяется суточной программой выпуска продукции.



Требования к питающей сети

- Изменение питающего напряжения несет огромное число изменений в режим работы электроустановок, которые в свою очередь наносят ущерб всему технологическому процессу в целом.
- ИКП могут эксплуатироваться лишь в непрерывном или полунепрерывном режимах и не приспособлены для смены выплавляемого металла, т.е. являются специальными.

- **Источниками колебаний напряжения** являются мощные электроприёмники с импульсным, резкопеременным характером потребления активной и реактивной мощности.
- **Источниками несинусоидальности** напряжения являются тиристорные преобразователи в индукционных печах.
- **Несимметрия напряжений** проявляется из-за однофазных или двухфазных электротермических установок.
- Низкий естественный **коэффициент мощности**