

ИНДУКТОРЫ



Введение

- “Трудно сделать индуктор, который вообще **не будет работать**”
Анатолий Иванович Смирнов, старый мастер, 1958
- Дополнение: Но нелегко сделать индуктор, который отвечает требованиям современных заказчиков или превышает их

- Существует огромное количество индукторов, отличающихся по типу, конструкции, размерам, материалам и технологии изготовления
- Большие индукторы нужны в плавильных печах (диаметр несколько метров), нагревателях слэбов и др. Мощности в единице до 30 МВт, частоты обычно низкие – от 50/60 Гц до 1000 Гц
- Малые индукторы – пайка элементов электроники, очков, медицинского инструмента, упаковка и т.д. Размеры от нескольких мм до сантиметров. Частоты от 100 кГц до нескольких МГц, мощность – до 1 кВт
- В настоящей главе рассматриваются в основном индукторы для закалки машиностроительных деталей

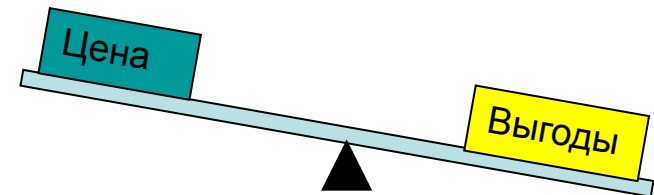


Требования к индукторам

Индукторы являются существенной частью всей установка и их конструкция и качество исполнения очень важны

Они должны:

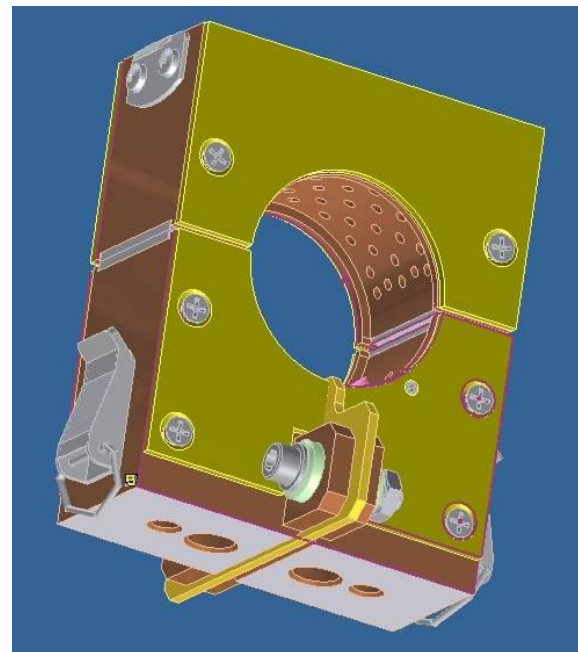
- Обеспечивать необходимое распределение температуры
- Иметь высокий электрический и термический КПД
- Иметь длительный срок службы (у закалочных индукторов обычно требуется не менее 50000 циклов)
- Обеспечивать высокую производительность
- Иметь благоприятные параметры для источника питания, (импеданс, коэффициент мощности, напряжение)
- Иметь низкую чувствительность к изменениям параметров нагреваемой детали и ее положению
- Соответствовать специальным производственным требованиям (подача закалочной жидкости, атмосфера, крепление детали, встраивание в машину, пр.)
- Иметь приемлемую цену



Современные методы проектирования индукторов

Современные методы проектирования закалочных индукторов включают:

- Детальный анализ требований к индуктору, имеющемуся оборудованию и условиям производства
- Иногда может быть использована стратегия “Designed for Induction Heating”, которая включает:
 - Изменение требований к закаленному слою
 - Изменение геометрии детали
 - Изменение материала
 - Последовательность операций



Индуктор для закалки коленвалов (ручная установка); тонкие пластины из материала Fluxtrol на боковых поверхностях экранируют соседние зоны

Современные методы проектирования индукторов (продолжение)

Этапы создания индукторов:

- Выбор типа индуктора (петлевой, цилиндрический, специальный) и процесса нагрева (сканирование, одновременный, статический)
- Компьютерное моделирование для оптимизации **процесса и индуктора**
- Анализ применения магнитных концентраторов
- Рабочее проектирование индуктора (конструкция самого индуктора, соединительные элементы, конструктивные элементы, охлаждающая жидкость и пр.)
- Применение прогрессивных технологий изготовления
- Испытание индуктора в лаборатории или на производстве
- Окончательные корректировки

Пример усовершенствования конструкции индуктора

Пример оптимизации с использованием концентратора

Исходный индуктор для покрытия Нейлоном конца шлицевого вала создавал неравномерное температурное распределение и часто повреждался деталью

Новый залитый индуктор (слева) с магнитным контроллером из материала Fluxtrol и защитным фланцем из нержавеющей стали создает необходимый нагрев, имеет более высокую производительность и отличную механическую защиту

Фланец и кольцо из материала Fluxtrol



Типы индукторов

Существует тысячи различных конструкций индукторов

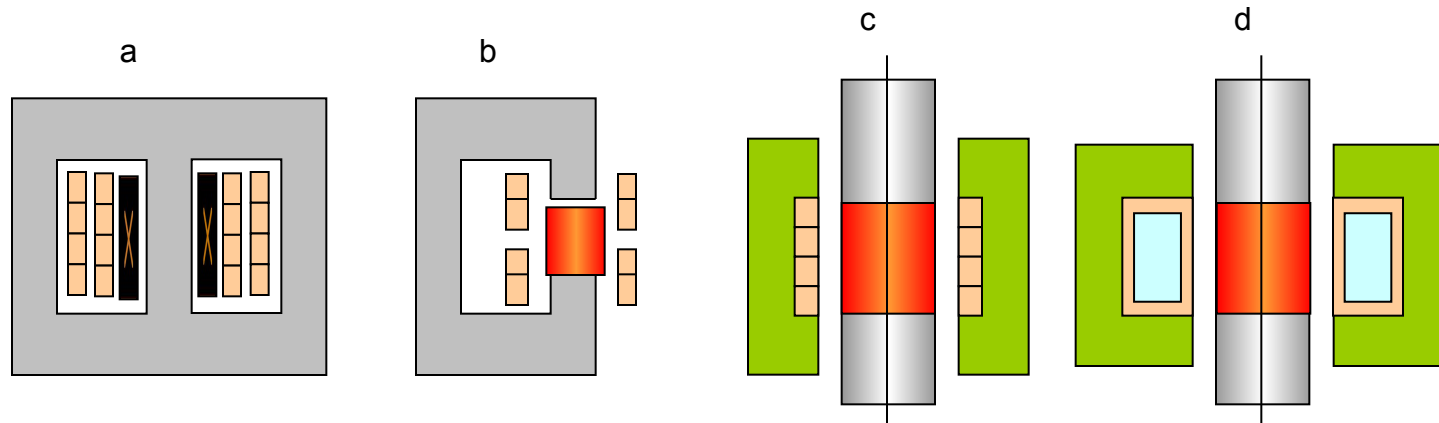
Они могут быть сгруппированы в несколько типов или их комбинаций

- Цилиндрический индуктор внешнего нагрева (OD)
- Внутренний индуктор (ID)
- Петлевой индуктор (Hairpin – Шпилька)
- Расщепленный индуктор (Split-n-Return)
- Дисковый индуктор (Pancake -Сковорода)
- Индуктор вертикальная петля
- Индуктор одновременного нагрева (Single-shot)
- Туннельный индуктор
- Индуктор сквозного нагрева и пр.



Эволюция от трансформатора к индуктору

Любой индуктор можно представить в виде “ трансформатора” с рабочей деталью в виде короткозамкнутой вторичной обмотки



- a. Трансформатор с двуслойной первичной обмоткой и короткозамкнутой вторичной (черная)
- b. Индуктор в виде трансформатора
- c. Многовитковый цилиндрический индуктор с концентратором
- d. Одновитковый цилиндрический индуктор с концентратором

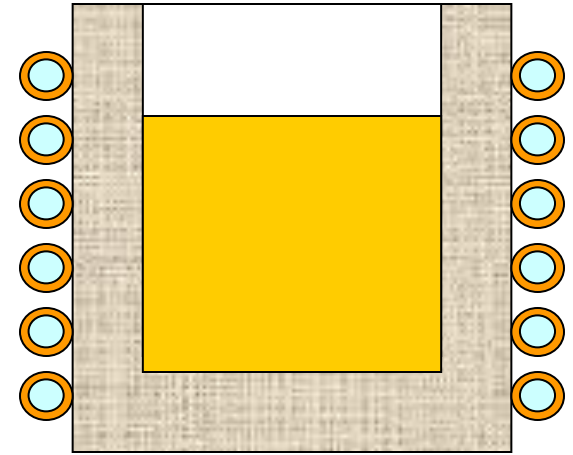
Цилиндрический плавильный индуктор

Существует большое разнообразие плавильных индукторов по размерам и конструкции

Диапазон частот: от промышленной частоты для больших печей до радиочастот для плавки специальных и драгоценных металлов

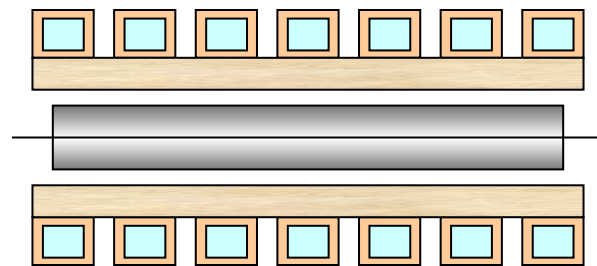
Большие печи обычно имеют шунты из ЭТ стали для улучшения параметров, экранирования магнитного поля и как конструктивные элементы

Магнитные контроллеры могут быть эффективны для вакуумных печей или печей со специальной атмосферой (в основном для экранирования). Справа – индуктор для плавки радиоактивных материалов в защитной атмосфере. Экран из Fluxtrol A значительно улучшил эффективность и коэффициент мощности и позволил использовать печь большего размера в той же камере



Цилиндрические многовитковые кузнечные индукторы

- Многовитковые цилиндрические или овальные индукторы используются для нагрева слитков, стержней и слябов под прокатку, ковку, штамповку и экструзию. Обычно они имеют теплоизоляцию для снижения тепловых потерь и защиты обмотки
- Использование концентраторов мало улучшает параметры таких индукторов. Однако при низких частотах часто используют шунты из расслоенной стали для механической прочности и для снижения внешнего магнитного поля
- Контроллеры могут быть использованы на концах индуктора для улучшения температурного распределения в заготовке и защиты элементов машины от нежелательного нагрева



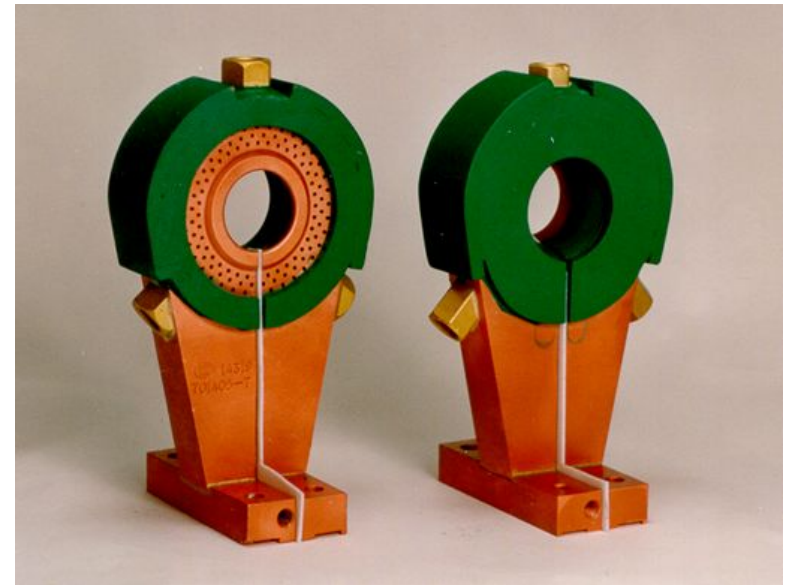
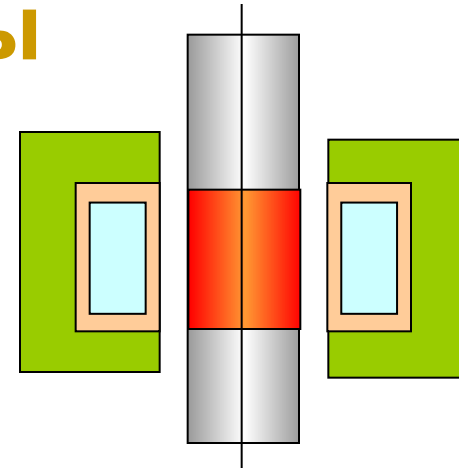
Многовитковый кузнечный индуктор



ВНИИТВЧ Санкт Петербург, Россия

Цилиндрические закалочные индукторы

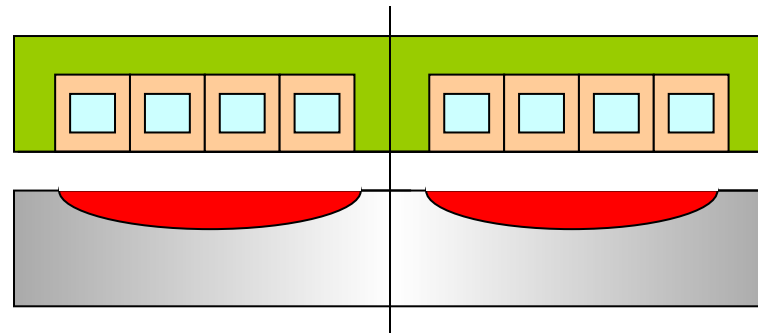
- Существует множество цилиндрических закалочных индукторов с различным числом витков, профилем медной трубки, наличием концентратора, геометрией и пр.
- Они широко используются для местного статического нагрева и сканирования
- Концентраторы наиболее эффективны для одно и двухвитковых индукторов. С их помощью можно получить требуемый профиль нагрева, улучшить качество и увеличить производительность



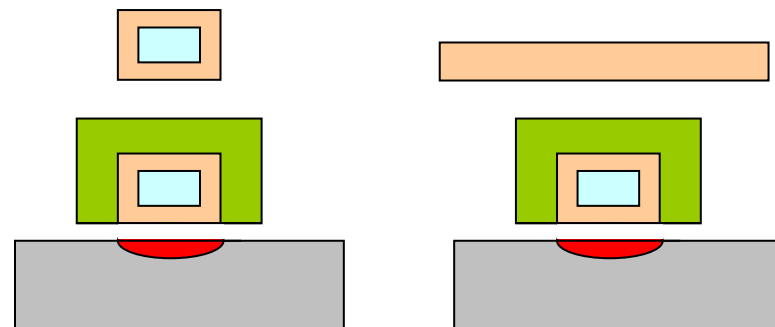
Одновитковый индуктор для сканирования с концентратором Fluxtrol A и встроенным спреером

Дисковый индуктор и Вертикальная петля

- Дисковые индукторы обычно много-витковые. Они нагревают поверхность в виде кольца. Центральная зона нагревается контактным методом или в результате сдвига индуктора или детали с её вращением
- Концентраторы в таких индукторах улучшают параметры и снижают размер недогретой зоны. Для равномерного нагрева диска витки обмотки должны размещаться неравномерно
- Индуктор в виде вертикальной петли может нагревать практически прямоугольные зоны. Может быть использован для статического или сканирующего нагрева в продольном или поперечном направлении
- Для таких индукторов также следует использовать концентраторы. Желательно иметь ширину возвратного провода больше, чем основного провода



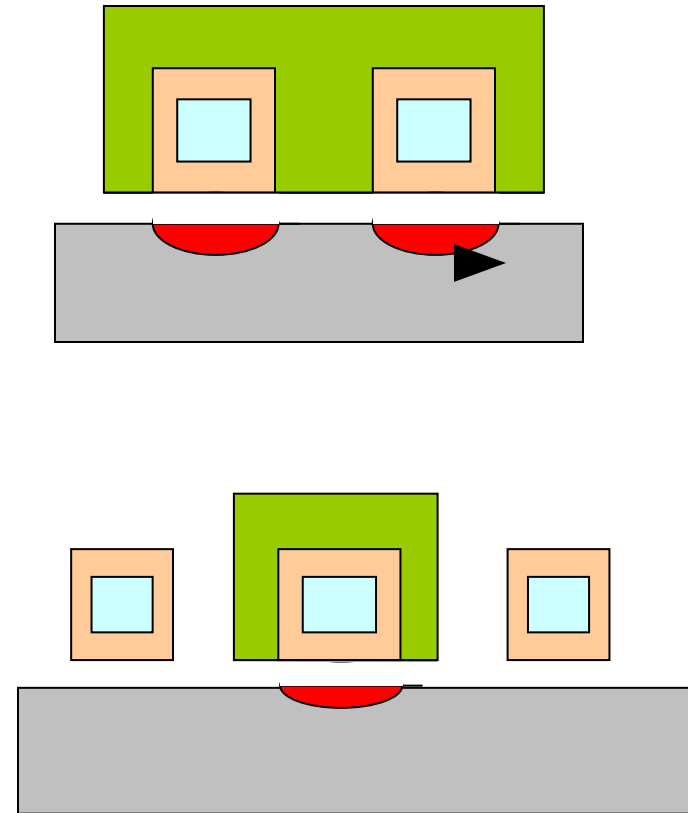
Дисковый (Pancake) индуктор



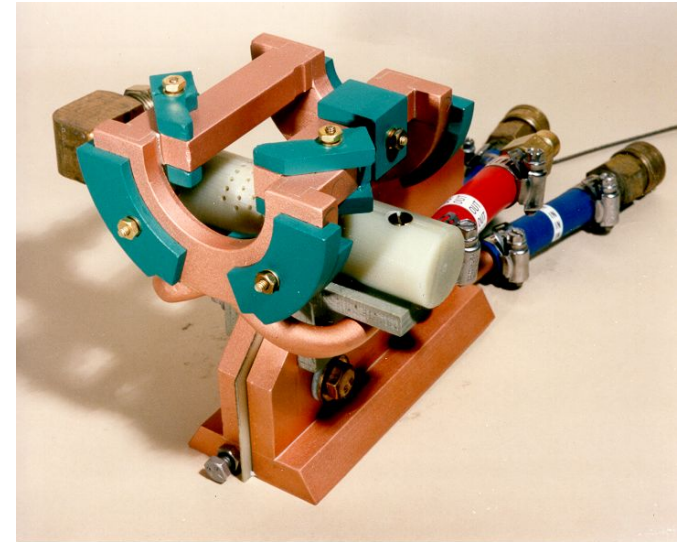
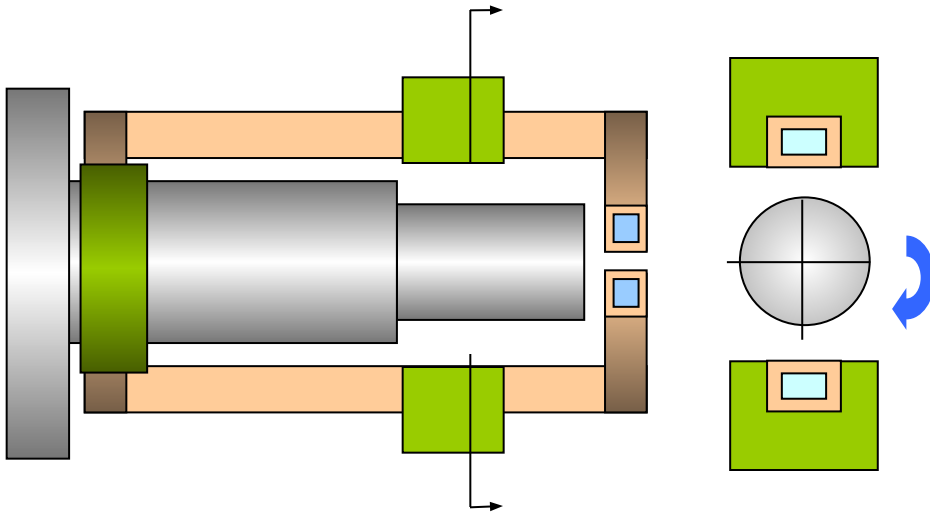
Индуктор Вертикальная Петля

Петлевой и Расщепленный индукторы

- Петлевые (Hair-pin) индукторы широко применяются для сканирующего нагрева плоских поверхностей. Концентраторы существенно повышают эффективность и коэффициент мощности
- Расщепленными (Split-n-Return) индукторами можно греть практически прямоугольные зоны. Они могут применяться как для статического, так и для сканирующего нагрева длинных деталей, обычно в продольном направлении (отжиг сварных швов труб и пр.)
- Концентраторы существенно улучшают параметры индуктора
- Эти индукторы несколько более эффективны, но более громоздки, чем индукторы «вертикальная петля»,



Индуктор одновременного нагрева



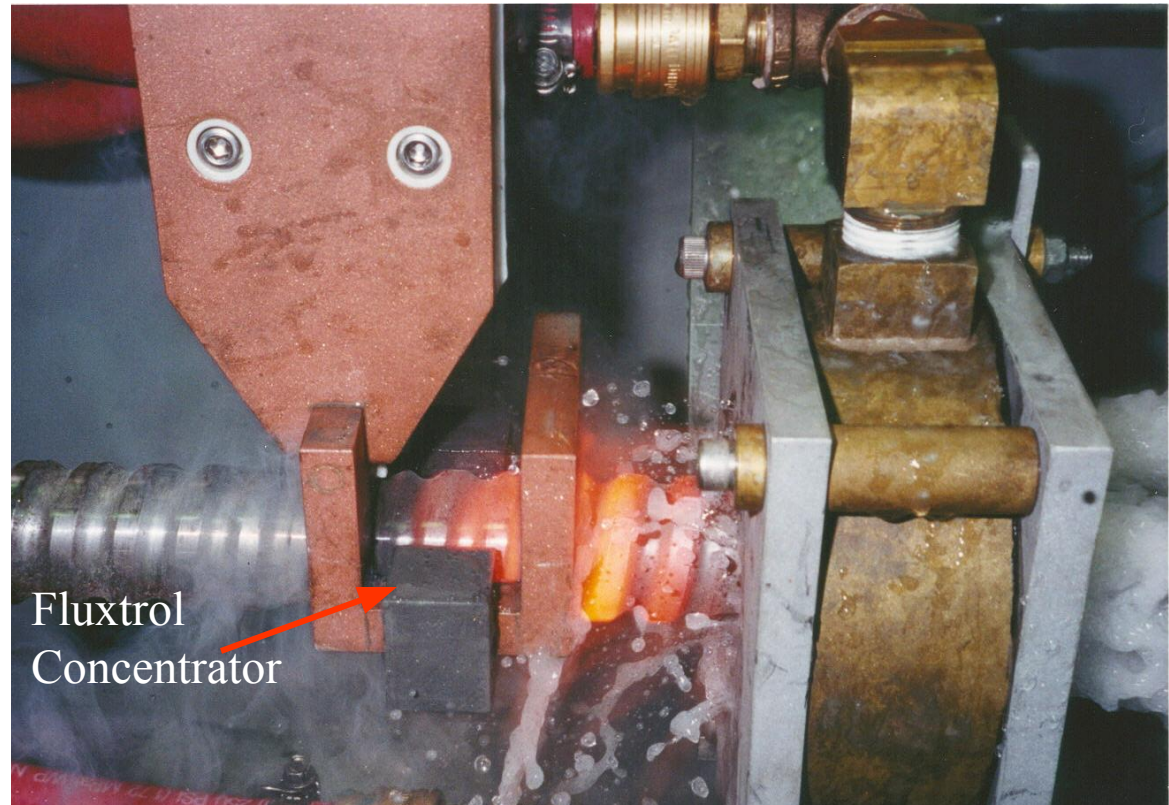
CVJ индуктор (Single-shot)

- Широко используется для нагрева осей, ступиц и других деталей, особенно с различными поперечными сечениями. Цилиндрические детали должны вращаться. Требуют больших мощностей, в результате чего медь тяжело нагружена
- Концентраторы необходимы для местного контроля температуры и улучшения параметров индуктора

Сканирующий нагрев петлевым индуктором

Короткий петлевой индуктор может быть использован для сканирующего нагрева червячных валов и других деталей

Использование концентраторов улучшает распределение температуры и улучшает параметры индуктора



AjaxMagnethermic-TOCCO company

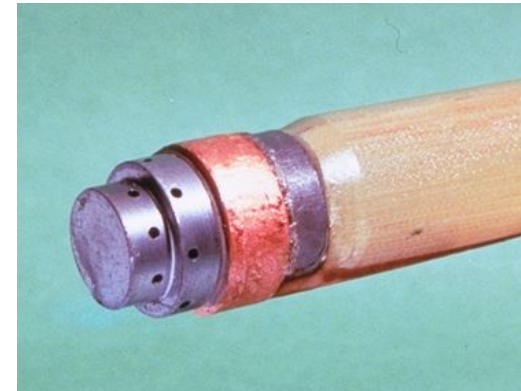
Внутренний индуктор (ID)

Для нагрева внутренних поверхностей могут быть использованы различные типы индукторов

- Цилиндрический одно- и многовитковый
- Индуктор – шпилька (петлевой)
- Индуктор с центральным стержнем

Наиболее распространены цилиндрические индукторы

Все внутренние индукторы кроме индуктора с центральным стержнем работают значительно лучше с концентратором



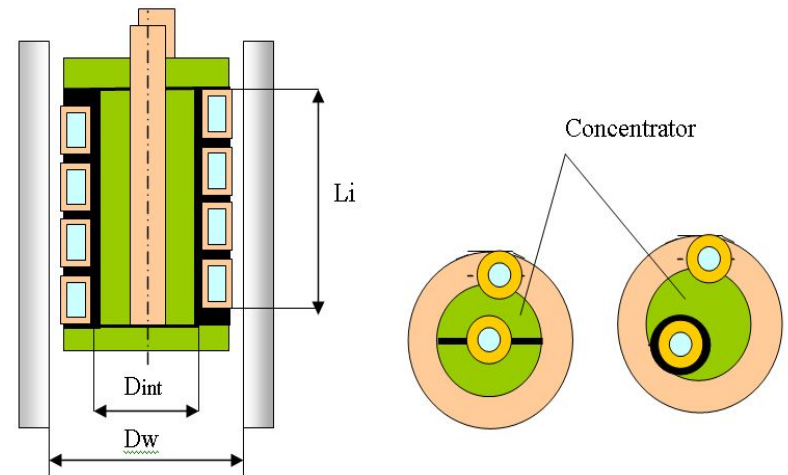
Одновитковый сканирующий индуктор с концентратором Ferrottron 559H. Охлаждающая жидкость поступает через отверстия в концентраторе



Двухвитковый индуктор с концентратором из Fluxtrol. Охлаждающая жидкость течет по fiberglass трубки, проложенной внутри концентратора

Многовитковые внутренние индукторы

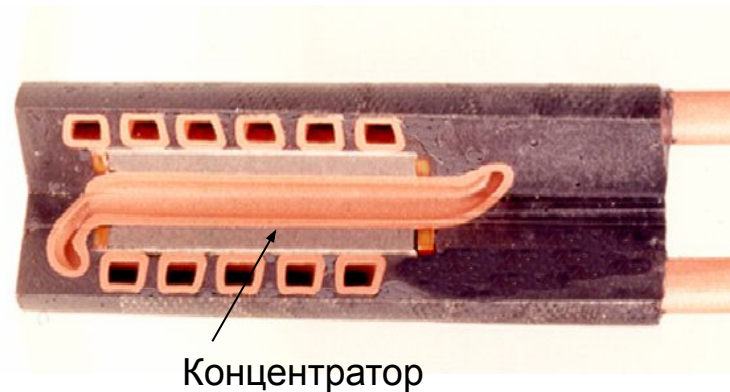
- Одновитковый цилиндрический индуктор может быть использован для статического нагрева коротких зон и для сканирования длинных деталей
- Многовитковый внутренний индуктор для статического нагрева длинных отверстий сравнительно большого диаметра, поскольку имеет обратный провод внутри индуктора
- Рекомендуется концентратор выполнять из двух частей с зазором или смещать обратный провод к обмотке для снижения создаваемого им магнитного поля



Слева-многовитковый внутренний индуктор с концентратором
Справа-два положения обратного провода

Многовитковые внутренние индукторы

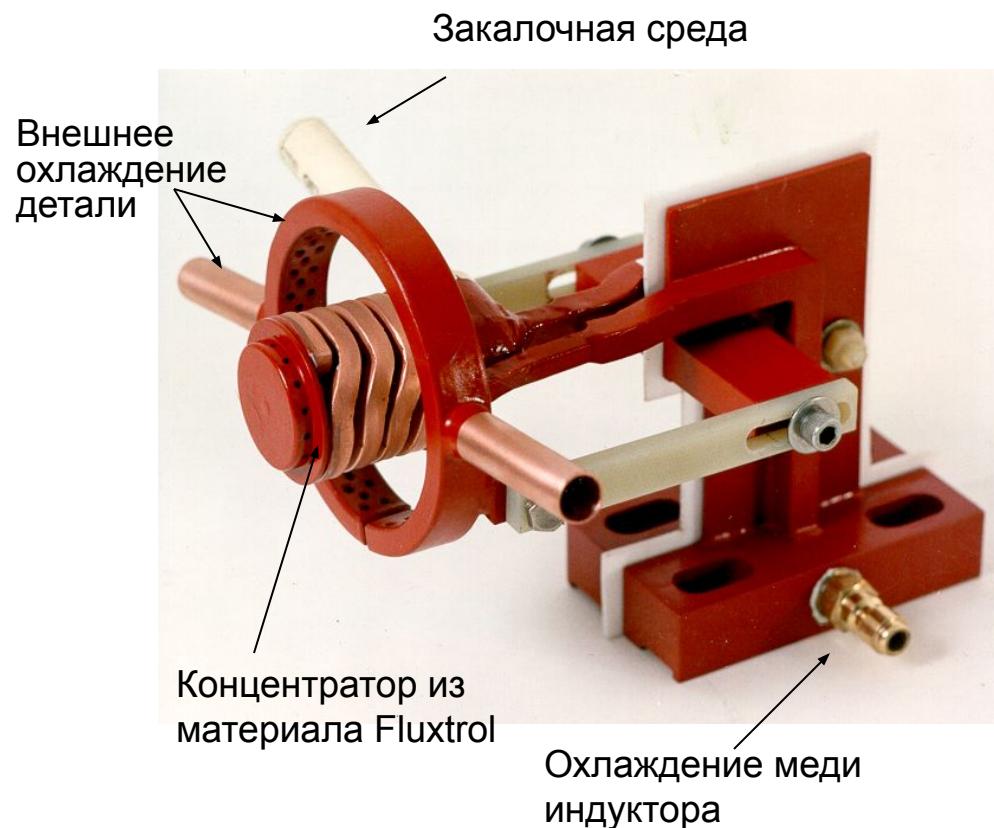
- Применение магнитных концентраторов существенно улучшает эффективность, коэффициент мощности и величину потребляемого тока. Рекомендуется применять полюса на концах сердечника
- Внутренние индукторы используются для закалки цилиндров двигателей, отверстий, пайки, и других операций



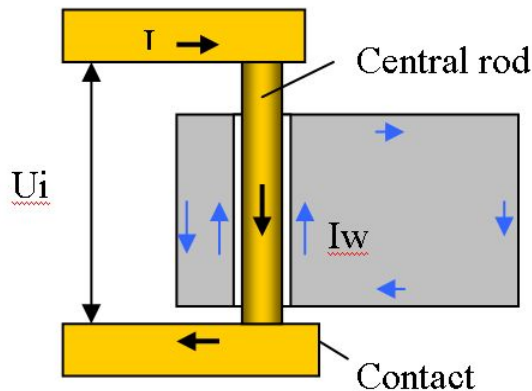
Шестивитковый залитый внутренний индуктор с концентратором Fertron 559H для низкотемпературного нагрева

Пример внутреннего индуктора с внешним охлаждающим кольцом

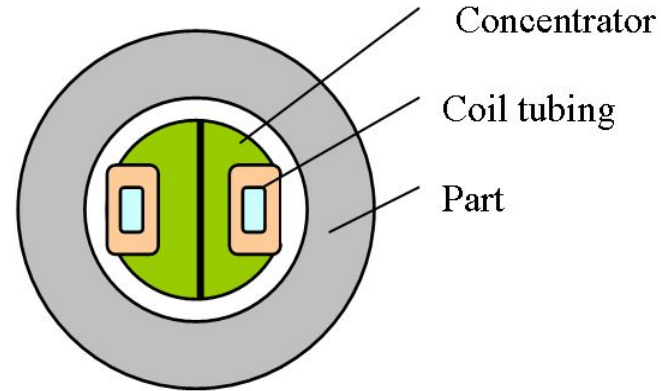
Показанный многовитковый внутренний закалочный индуктор используется для закалки тонкостенных деталей. Он имеет внешнее кольцо охлаждения для контроля глубины закалки. Закалочная жидкость поступает через отверстия в концентратор и пространство между витками индуктора.



Другие типы внутренних индукторов



Индуктор с центральным стержнем



Петлевой индуктор

- Индуктор с центральным стержнем может быть использован для нагрева внутренних отверстий малого диаметра (свыше 10 мм). Недостатком данных индукторов является необходимость наличия электрического контакта в токовой цепи
- При использовании петлевого индуктора необходимо вращать деталь. Для его эффективного использования следует применять концентраторы. Изменяя материал концентратора или его размер, можно контролировать мощность и распределение температуры по длине детали

Робот с петлевым индуктором

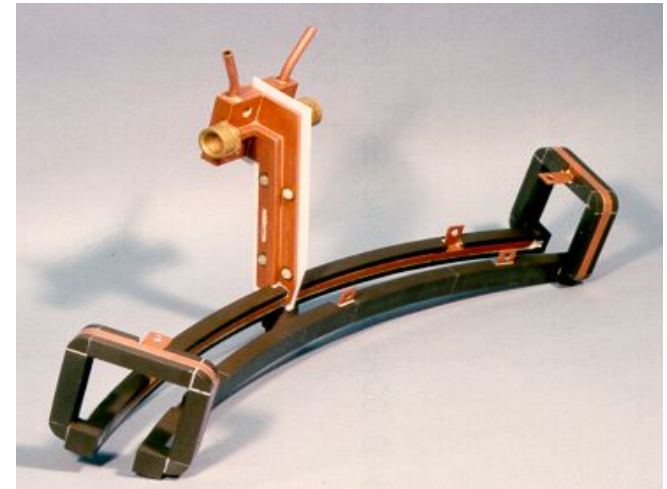
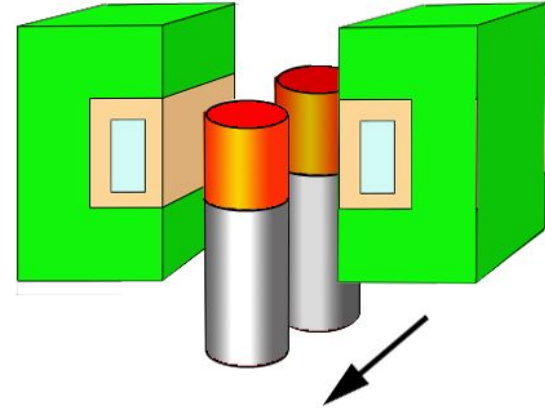
Пример влияния концентратора на работу петлевого индуктора:

- Петлевой индуктор, закрепленный на руке робота, движется вдоль поверхности искривлённого листа из нержавеющей стали, охлаждаемого водой снизу
- Индуктор имеет две части: с концентратором и без него
- Применение концентратора резко повышает интенсивность нагрева и позволяет осуществлять глубокий контроль распределения температуры. Для “плавного” контроля могут использоваться различные типы и размеры концентраторов



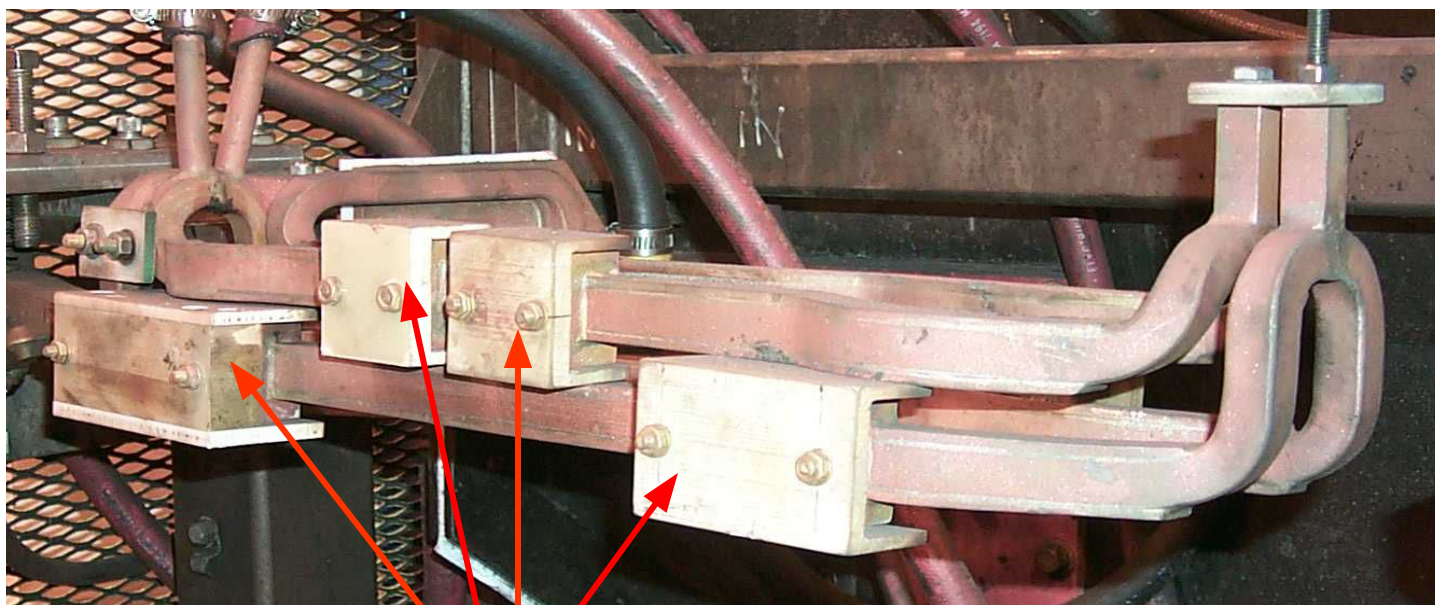
Туннельные индукторы

- Туннельные индукторы используются для местного и полного нагрева различных деталей под отжиг, закалку, пайку, спекание, горячую деформацию и пр.
- Они могут быть одно - и многовитковыми
- Концентраторы повышают КПД и улучшают контроль распределения температур. Для качественного нагрева неравномерно подаваемых деталей ток туннельного индуктора следует поддерживать постоянным.
- Туннельный индуктор для нагрева под пайку (внизу) с концентратором на основной части и магнитными экранами (“деконцентраторами”) на перемычках для снижения ЭД сил, которые могут смещать компоненты изделия на входе и выходе индуктора



Двухвитковый туннельный индуктор для сквозного нагрева

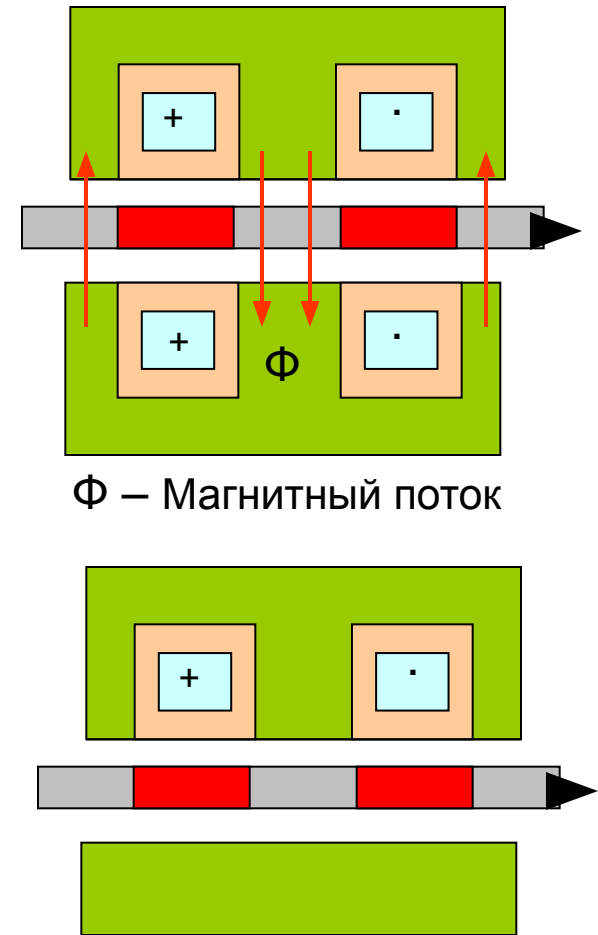
Индуктор для нагрева заготовки балки перед гибкой



Концентратор Fluxtrol A с защитным кожухом

Индукторы для поперечного нагрева

- Индукторы поперечного нагрева могут греть очень тонкие детали с высокой эффективностью (полосы, пластины) при сравнительно низких частотах. Они состоят из двух или более петлевых или расщепленных индукторов, расположенных на противоположных сторонах детали. Широко применяются в металлургии (нагрев ленты) и упаковке (сварка, склеивание)
- Для повышения эффективности и контроля температуры в этих индукторах необходимо использование концентраторов
- Могут применяться более простые системы, в которых индукторы расположены на одной стороне. При этом на обратной стороне желательно устанавливать магнитные концентраторы



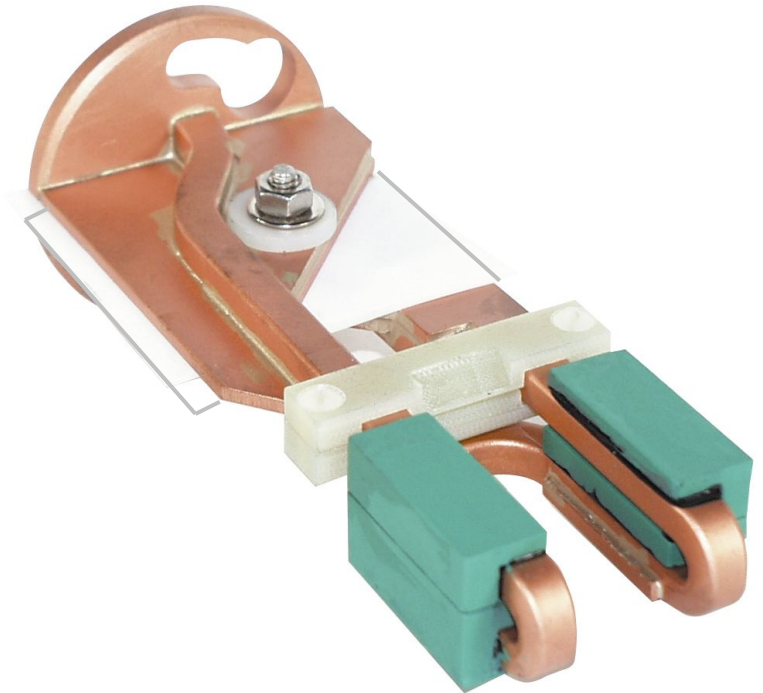
Примеры сложных индукторов

Многие индукторы имеют сложную конфигурацию, которая может быть представлена в виде комбинации нескольких стандартных типов

Представленный справа «индуктор – подкова» создан для припайки трубок к алюминиевому теплообменнику автомобиля. Может рассматриваться как комбинация полуцилиндрического индуктора с двумя петлевыми

Для таких индукторов применение концентраторов просто обязательно. Они обеспечивают качественную пайку и улучшают параметры индуктора.

Различные соединения могут паяться индуктором с тем же самым токопроводом при изменении профиля концентратора



Примеры индукторов

