ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ГАГАРИНА Ю.А.»

Кафедра Сварка и металлургия

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Модернизация и развитие участка волочения тугоплавких металлов и сплавов

Выполнил:
Студент Порхунов А.В.
курс 4 группа бМЕТЛ-41
Научный руководитель:
доцент, к.т.н. Перинская И.В.

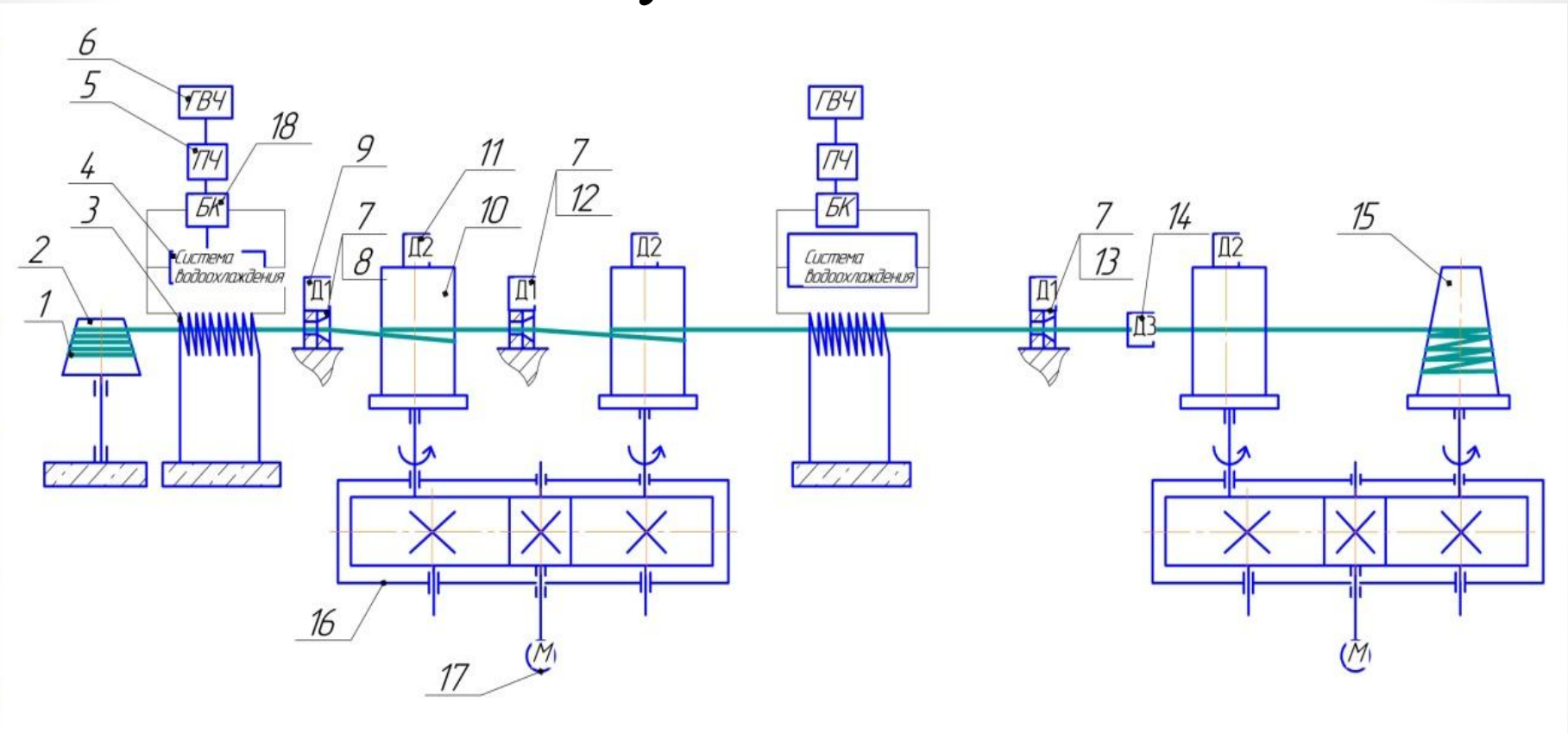
АКТУАЛЬНОСТЬ данной темы заключается в широком применении волочильного оборудования и стремлении усовершенствования и модернизации стана для повышения производительности цехов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: усовершенствование оборудования для волочения тугоплавких металлов путем замены нагрева проволоки перед волочением в топливных камерах на внепечной нагрев, а именно с помощью индукционного метода нагрева.

ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

1. Провести аналитический и патентный обзор методов нагрева материала перед волочением:
   - Физические основы
   - Оборудование для волочения
   - Индукционные установки
   - Оснастка и инструменты для волочения
2. Произвести расчеты основных параметров модернизированного волочильного оборудования
3. Разработать конструкцию модернизированной индукционной установки
4. Провести моделирование индукционного нагрева
5. Оценить экономическую эффективность установки
6. Изучить безопасность технологического процесса индукционного нагрева

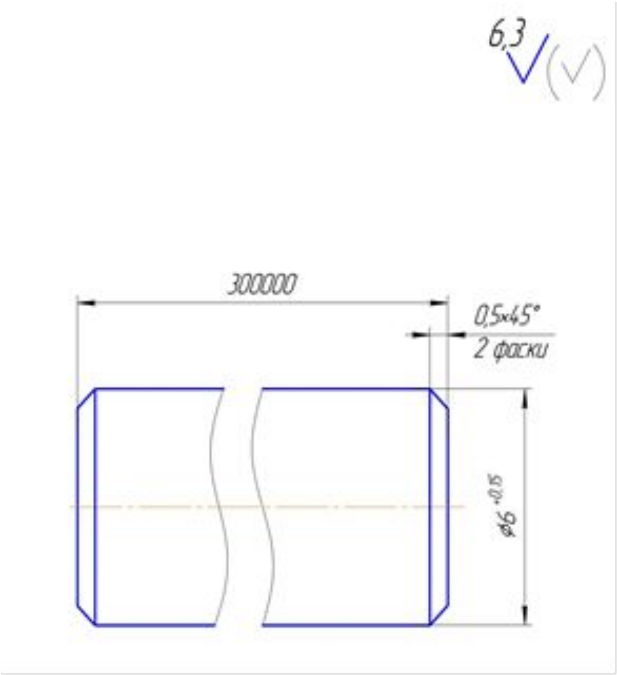
Модернизация волочильного стана для волочения тугоплавких металлов



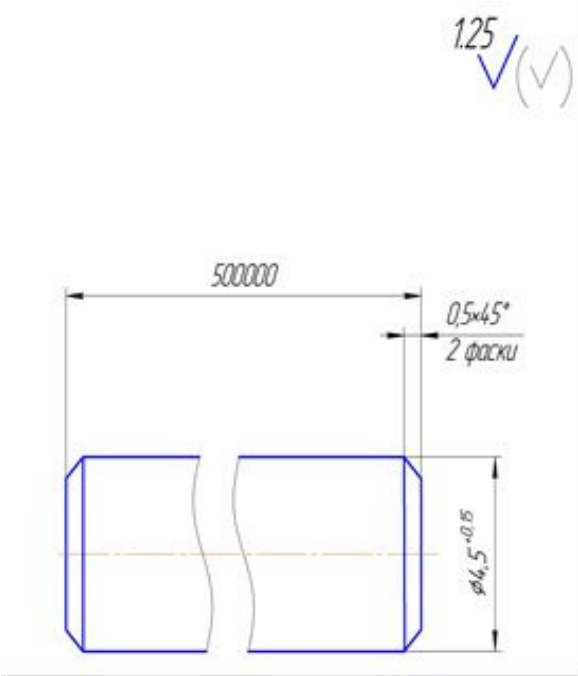
Схематическое изображение волочильного стана UDZSA 2500/3, где: 1 – волочимая проволока; 2 – фигурка; 3 – индуктор; 4 – система водоохлаждения; 5 – преобразователь частоты; 6 – генератор высокой частоты; 7 – обойма для волок; 8 – волока №1; 9 – месдозы; 10 – волочильный барабан; 11 – тахометр; 12 – волока №2; 13 – волока №3; 14 – датчик ODAC TRIO; 15 – фигурка для приема проволоки; 16 – редуктор; 17 – электродвигатель; 18 – батарея конденсатора

Расчет параметров индукционного нагрева вольфрамовой проволоки

Разрабатывается конструкция индуктора для нагрева вольфрамовой проволоки (ВА) диаметром 6 мм. Нагрев проволоки будет производиться до температуры 1500 °С, с последующим волочением.



Проволока до волочения



Проволока после волочения

1. Разработка технологии волочения

Принимаем частоту тока *f* равной 30000 Гц. Условие правильного выбора частоты при нагреве материалов является выражение:

$$\frac{D_2}{\sqrt{2}Z_a} = 2{,}2 \div 2{,}5; \quad (1)$$

где: D_2 – диаметр волочимой проволоки, м; Z_a – глубина проникания тока в начале нагрева в материал, м.

$$Z_a = 503\sqrt{\frac{p_z}{\mu f}}, \text{ м}; \quad (2)$$

где: μ – относительная магнитная проницаемость, равна 1; p_z – удельное сопротивление вольфрамовой проволоки, при температуре 25ºС, равно 5,5×10^{-8} Ом×м, при 1500ºС, равно 41×10^{-8} Ом×м;

$$Z_a = 1{,}8 \times 10^{-3} \text{м};$$

Проверим условие выбора частоты по формуле 1:

$$\frac{D_2}{\sqrt{2}Z_a} = 2{,}3;$$

Данный результат показывает о правильности выборе частоты тока.

2. Расчет мощности индукционной установки

Рассчитаем значение средней полезной мощности за время нагрева проволоки:

$$P_n = mC(t_2 - t_1)/\tau_k, \text{ Вт;} \quad (3)$$

где: m – масса бунта проволоки, (162 кг); C – средняя удельная теплоемкость вольфрама, равна 134,4 Дж/(кг×ºC); t_1, t_2 – начальная (25 ºC) и конечная температура соответственно (1500 ºC); τ_k – время нагрева заготовки, с.

Разделим длину бунта 300 м на мерные длины по 0,1 м. Массу проволоки находим по формуле:

$$m = p \times \pi r^2 h, \text{ кг;} \quad (4)$$

$$m = 0{,}054 \text{ кг.}$$

Время нагрева τ_k заготовки находим по формуле:

$$\tau_k = 5{,}9 \times 10^4 \times D_{\text{р}}^2, \text{ с;} \quad (5)$$

где: $D_{\text{р}}^2$ – расчетный диаметр заготовки, м.

Найдем время нагрева проволоки по формуле 5:

$$\tau_k = 1{,}03 \text{ с.}$$

Найдем значение средней полезной мощности по формуле 3:

$$P_n = 10393 \text{ Вт.}$$

3. Электрический расчет индуктора

Целью данного раздела является рассчитать напряжение на индукторе, ток индуктора, количество витков, коэффициент мощности, КПД и подводимую мощность к индуктору.

Полное сопротивление находим по формуле:

$$Z_i = \sqrt{r_i^2 + x_i^2}, \text{Ом}; \quad (12)$$
$$Z_i = 2{,}3 \times 10^{-4} \text{Ом}.$$

Силу тока в одновитковой катушке индуктора находим по формуле:

$$I = \sqrt{P_n / r_2 C}, \text{А}; \quad (13)$$
$$I = 24020 \text{ А} \approx 24 \text{ кА}.$$

Напряжение на индуктирующем проводе одновиткового индуктора:

$$U = I \times Z_i, \text{В}; \quad (14)$$
$$U = 5{,}5 \text{ В}.$$

Число витков катушки индуктора найдем по формуле:

$$W = \frac{U_{\text{вт}}}{U}, \text{вит.}; \quad (15)$$
$$W = 6 \text{ вит.}$$

где: $U_{\text{вт}}$ – минимальное вторичное напряжение для понижающих трансформаторов индукционных установок, принимаем равным 30.

Расстояние от осевой линии проволоки до осевой линии соленоида, находим по формуле:

$$d_k = \frac{l_1}{W}, \text{м}; \tag{16}$$
$$d_k = 0{,}021 \text{ м}.$$

Длина катушки индуктора находим по формуле:

$$l_2 = W \times d_k \times 1{,}25, \text{м}; \tag{17}$$
$$l_2 = 0{,}125 \text{ м}.$$

Электрический КПД индуктора рассчитываем по формуле:

$$\text{КПД}_\text{э} = \frac{r_i - r_1}{r_1}; \tag{18}$$
$$\text{КПД}_\text{э} = 0{,}82.$$

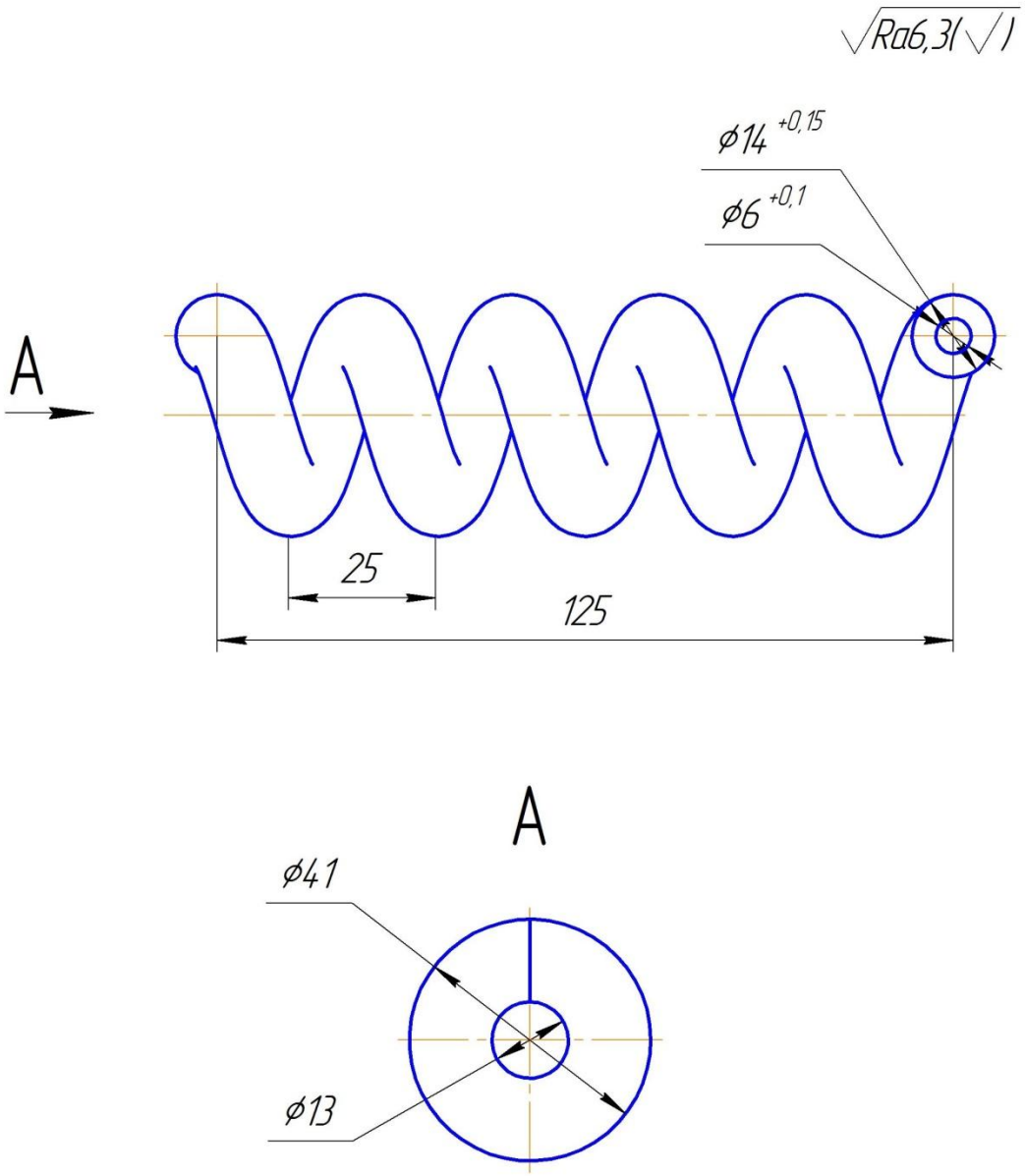
Подводимую мощность к индуктору находим по формуле:

$$\text{P}_\text{п} = \frac{\text{P}_n}{\text{КПД}_\text{э}}, \text{Вт}; \tag{19}$$
$$\text{P}_\text{п} = 12674 \text{ Вт} \approx 13 \text{ кВт}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\vartheta \cdot D_0}{(0{,}66 \cdot 10^{-6})} = \frac{0{,}037 \cdot 0{,}0059}{(0.66 \cdot 10^{-6})} = 330 < 2300, \tag{20}$$

то есть, движение ламинарное, так как $Re = 330 < 2300$.



На основании проведенных расчетов по формулам был сконструирован соленоид индуктора

4. Расчет теплового потока через футеровку

Стенка футеровки состоит из слоя жароупорного бетона, толщиной S_1 = 32 мм и стального каркаса, толщиной S_2 = 10 мм. Длина слоев футеровки составляет b=125 мм. Температура в рабочем пространстве t_1 = 1500ºС, температура наружной поверхности составляет t_3 = 20ºС. Найдем плотность теплового потока через двухслойную стенку :

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2}}, \frac{\text{Вт}}{\text{мм}^2}; \quad (21)$$

$$q = 5{,}9 \times 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 5{,}9 \times 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{мм}^2};$$

где: λ_1–теплопроводность первого слоя, равна 1,3 Вт/м×с; λ_2 – теплопроводность второго слоя, равна 15,4 Вт/м×с.

Найдем тепловой поток :

$$Q = q \times F, \text{ Вт}; \quad (22)$$

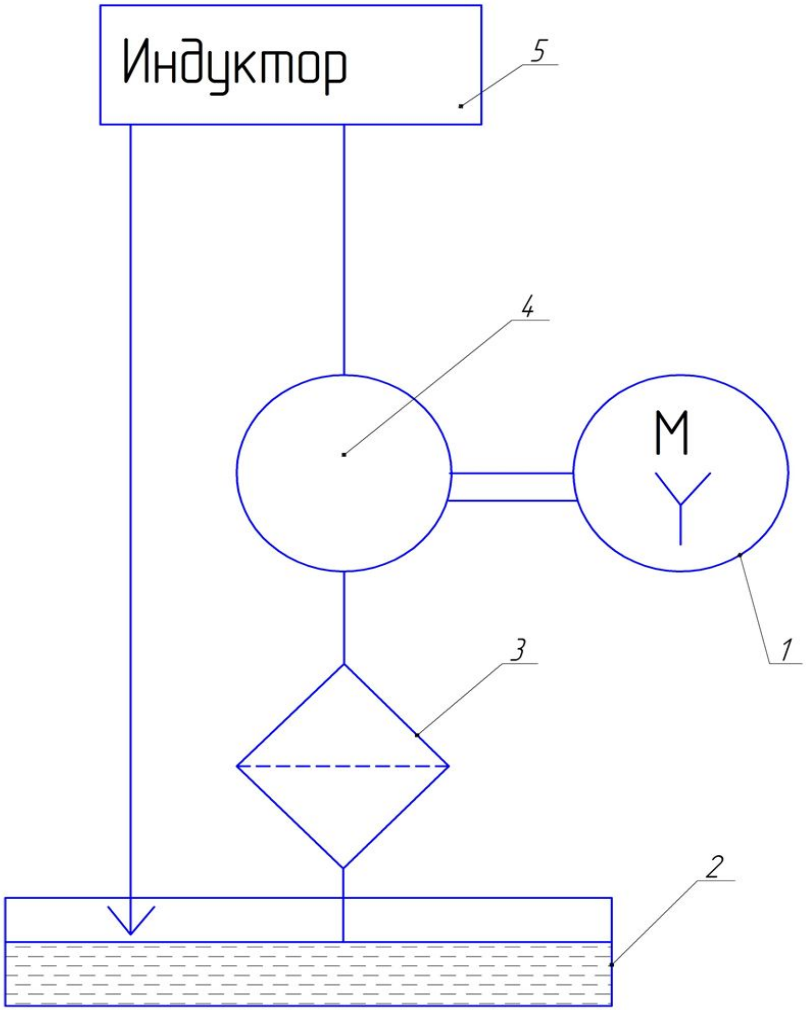
$$Q = 405 \text{ Вт}.$$

где: F – площадь поверхности двухслойной стенки, равна 0,06875 м^2.

Найдем температуру на границе слоев, при постоянном тепловом потоке через каждый слой:

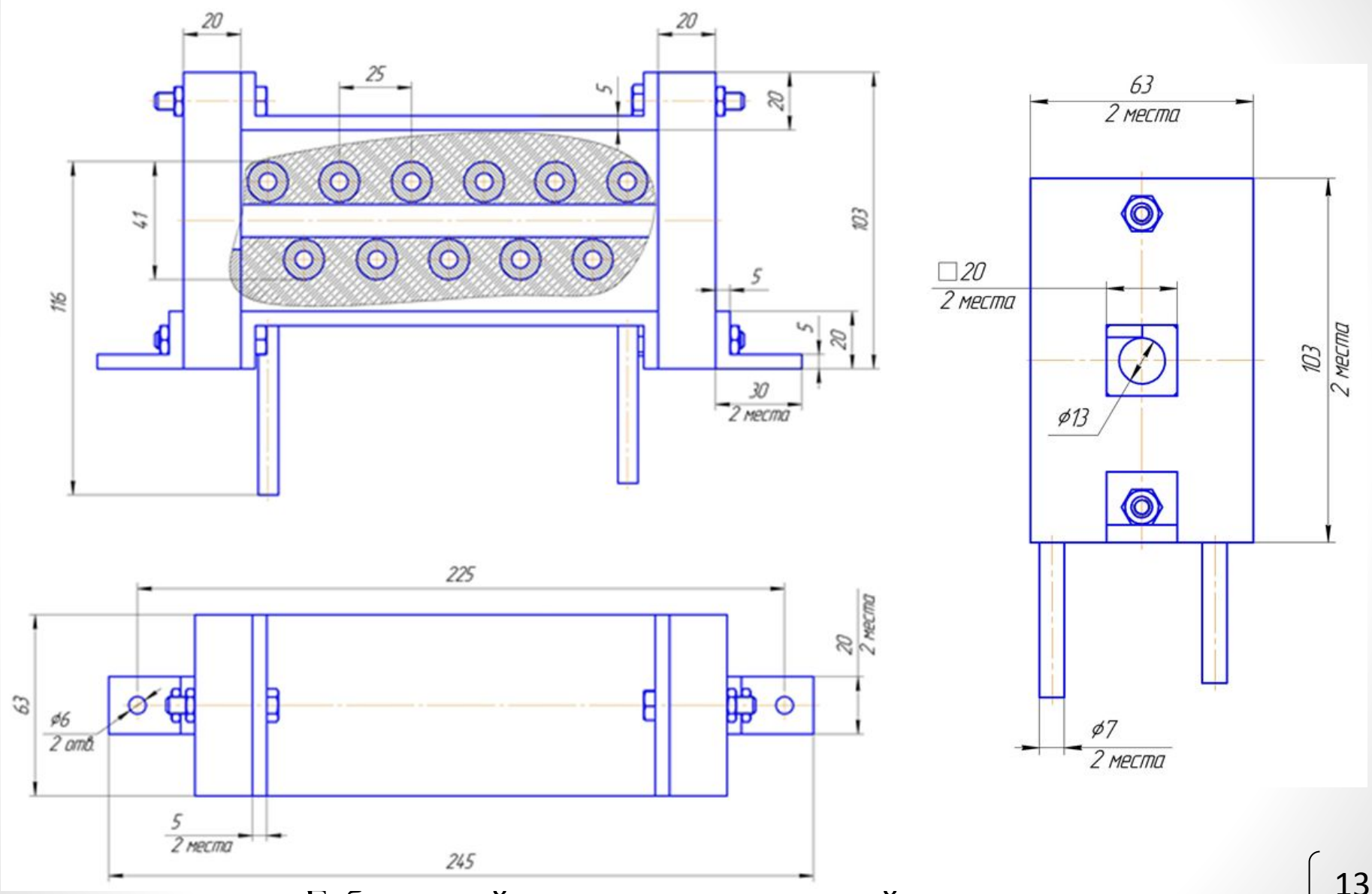
$$t_2 = t_1 - q \times \frac{S_1}{\lambda_1}, \text{ ºС}; \; t_2 = 48\text{ºС} \quad (23)$$

За счет протекающего по индуктору электрического тока происходит его нагрев. Разработана схема для охлаждения индуктора

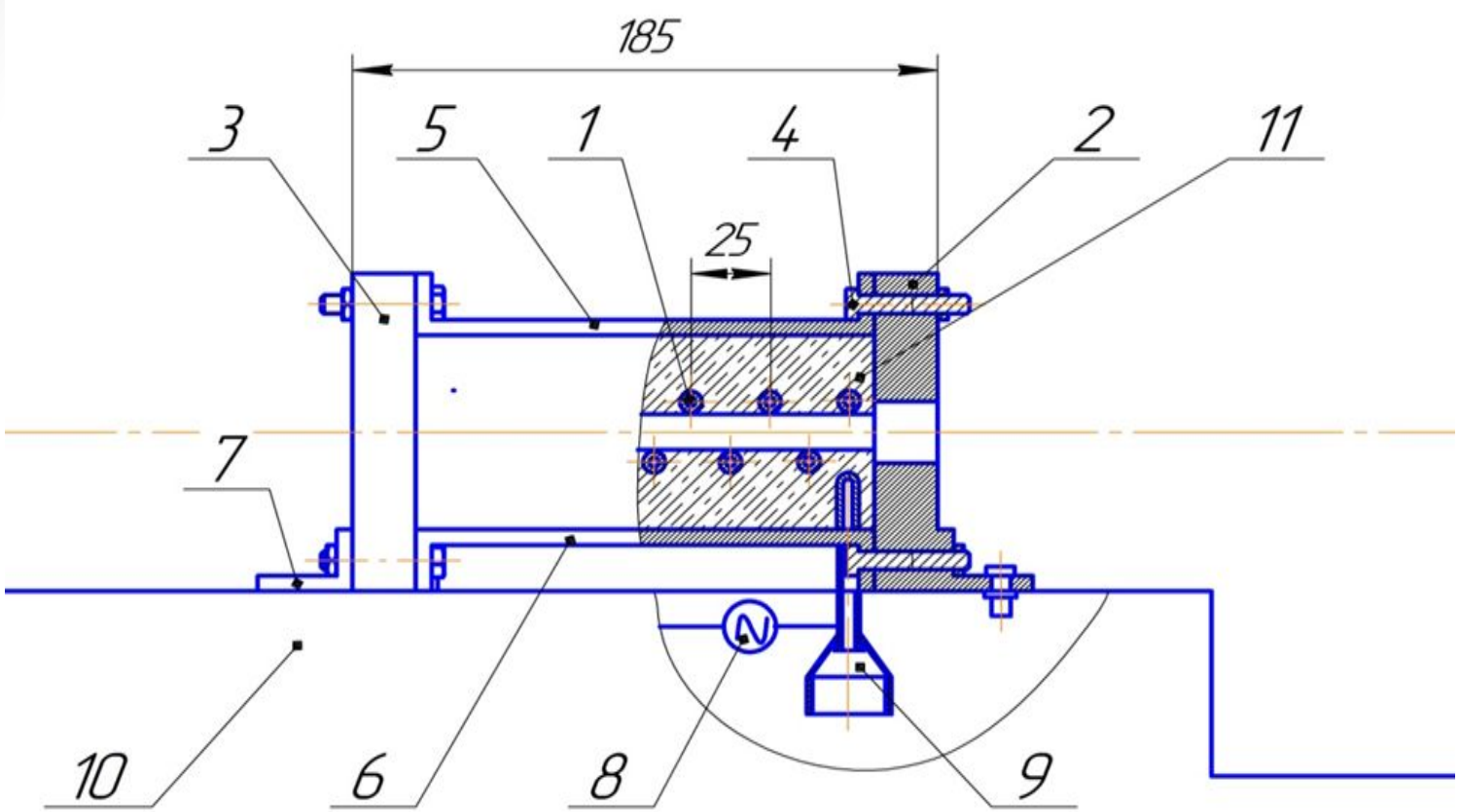


Принципиальная гидравлическая схема индукционной установки, где: 1 – электродвигатель; 2 – бак; 3 – фильтр; 4 – насос; 5 – индуктор

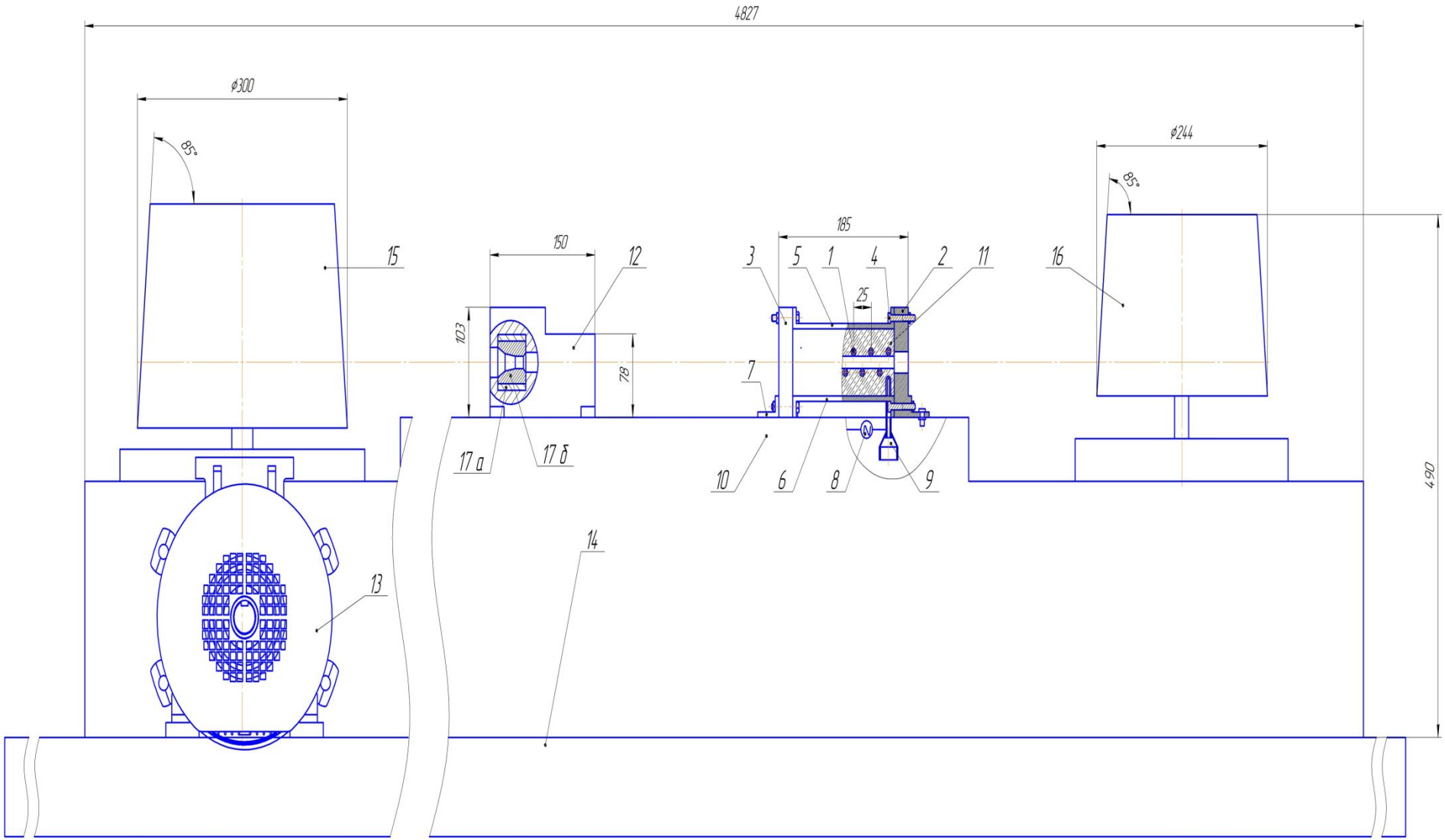
Показаны габариты индукционной установки смонтированной на волочильный стан: ее длина, ширина загрузочного окна и шаг между витками



Габаритный чертеж индукционной установки



Индукционная установка, где: 1 – индуктор; 2,3 – стальные боковины; 4 – болтовое соединение; 5 – верхняя крышка; 6 – нижняя крышка; 7 – уголки; 8 – электропровод; 9 – штуцер; 10 – стан, 11 – бетонная футеровка



Сокращенный габаритный чертеж 3-х кратного волочильного стана, где: 1 – индуктор; 2,3 – стальные боковины; 4 – болтовые соединения; 5 – верхняя крышка; 6 – нижняя крышка; 7 – крепежные уголки; 8 – электропроводка; 9 – штуцер; 10 – станина волочильного стана; 11 – жароупорная бетонная изоляция индуктора; 12 – волочильная коробка; 13 – электродвигатель; 14 – фундамент цеха; 15 – волочильный барабан; 16 – фигурка; 17а – волокодержатель; 17б – волока

Маршрутная карта волочения вольфрамовой проволоки

№ операции	Название операции	Оборудование, инструмент, оснастка	Описание операции	Примечания
005	Промывка	Моечная машина ROBUR 1800	1. Проволоку погрузить на 15-30 мин в раствор едкого натра или калия 2. Промыть водой	Очистить от консервационной смазки
010	Нанесение подсмазочного слоя	Ванна для фосфатирования Фосфол-1К	1. Погрузить бунт проволоки в ванну 2.Наполнить ванну раствором 3.Выгрузить бунт проволоки	
015	Сушка	Промышленный сушильный шкаф ШС 35/250	1.Погрузить бунт в печь 2.При температуре не более 200°С просушить в течении 15–20мин. 3. Транспортировать на волочильный стан	
020	Волочение	Индукционная установка ИКН-20 Волочильный стан SKET UDZSA 2500/3	1.Установка бунта проволоки на фигурку; 2. Заострить один конец; 3.Пропустить проволоку через все волоки и закрепить на накопительном барабане; 4.Запустить индукционную установку и волочильный стан.	
025	Промывка и сушка	Моечная машина ROBUR 1800; сушильный шкаф ШС 35/250	1. Проволоку погрузить на 15-30 мин в раствор едкого натра или калия, 2. Проволоку погрузить на 15-30 мин в раствор едкого натра или калия, 3. Промыть водой 4. Просушить бунт проволоки при температуре не более 200°С в течении 15–20мин.	Эта операция необходима, если проволока отправляется на склад для продажи.
030	Технический контроль	Маятниковый копер МК-30А; Разрывная машина РМУ-0,05-1; Микрометр SHAN МК- 275; Штангенциркуль	1.Проверить размеры проволоки 2. Провести механические испытания	
035	Упаковочная	Машина для упаковки бунтов; Ящики для хранения	1. Установить бунт проволоки на рабочую подложку машины; 2.Произвести обвязку бунта	

Значения диаметров проволоки после выхода каждой волоки

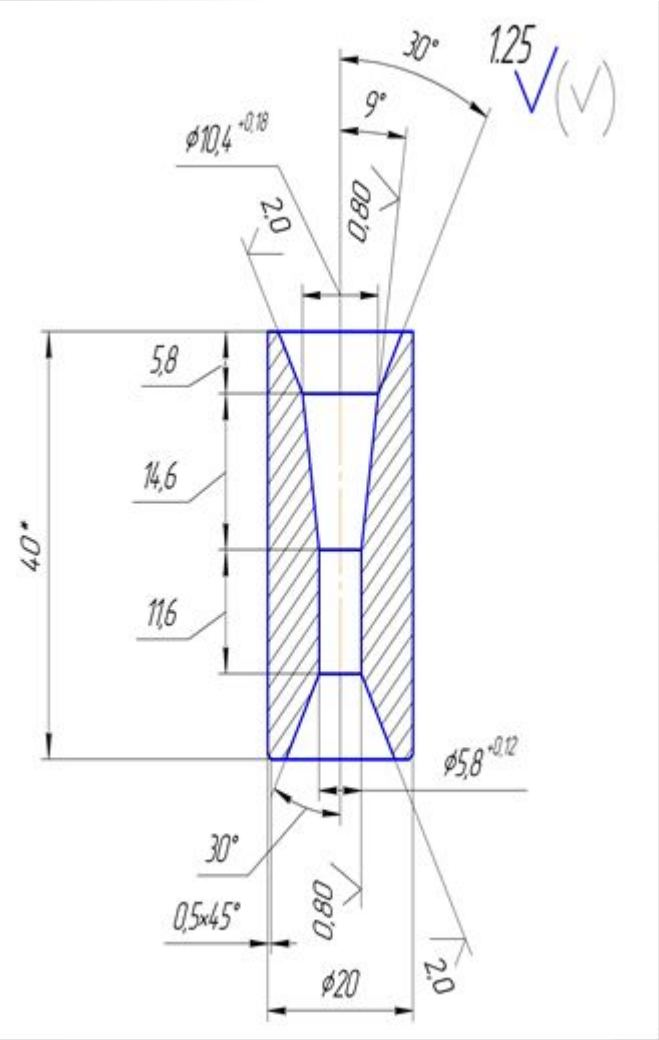
Номер протяжки	Значения диаметров, мм
1	5,8
2	5,1
3	4,5

Результаты расчета длин калибровочных зон волок

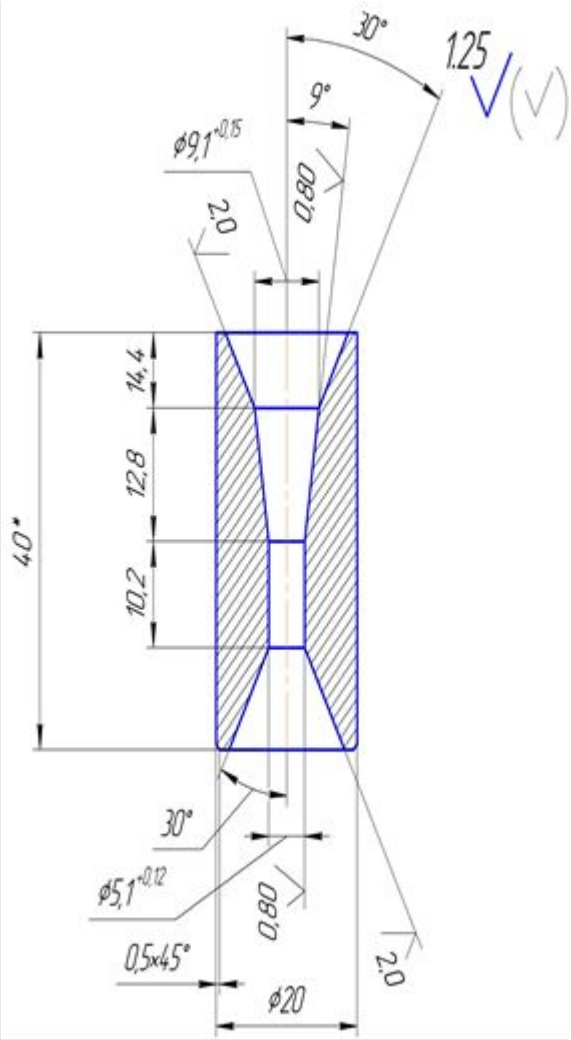
Номер волоки	Значение длин, мм
1	11,6
2	10,2
3	9

Значения длин рабочих зон волок

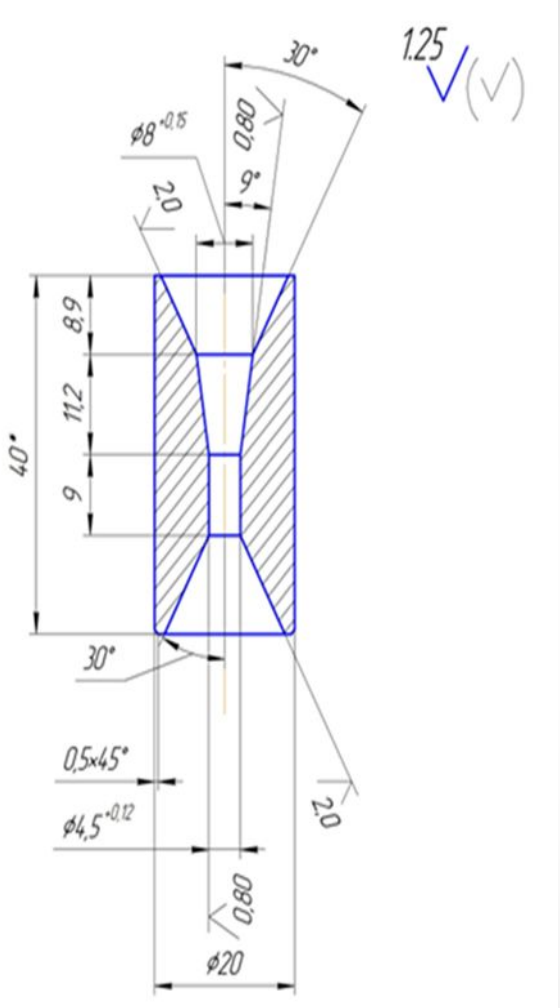
Номер волоки	Значение длин, мм
1	14,6
2	12,8
3	11,2



Волока №1



Волока №2



Волока №3

Модель для численного расчета

Моделирование — это метод воспроизведения и исследования определённого фрагмента действительности (предмета, явления, процесса, ситуации) или управления им, основанный на представлении объекта с помощью модели. Компьютерное моделирование свободно и доступно в использовании, позволяет проверить правильность расчетов индукционной установки, при этом сократить расходы на долгосрочные исследования.

Для моделирования индукционного нагрева применена программа Elcut 6. Изначально была построена геометрическая модель индуктора, нагреваемая заготовка, также обозначены материалы и их границы (рисунок 1).

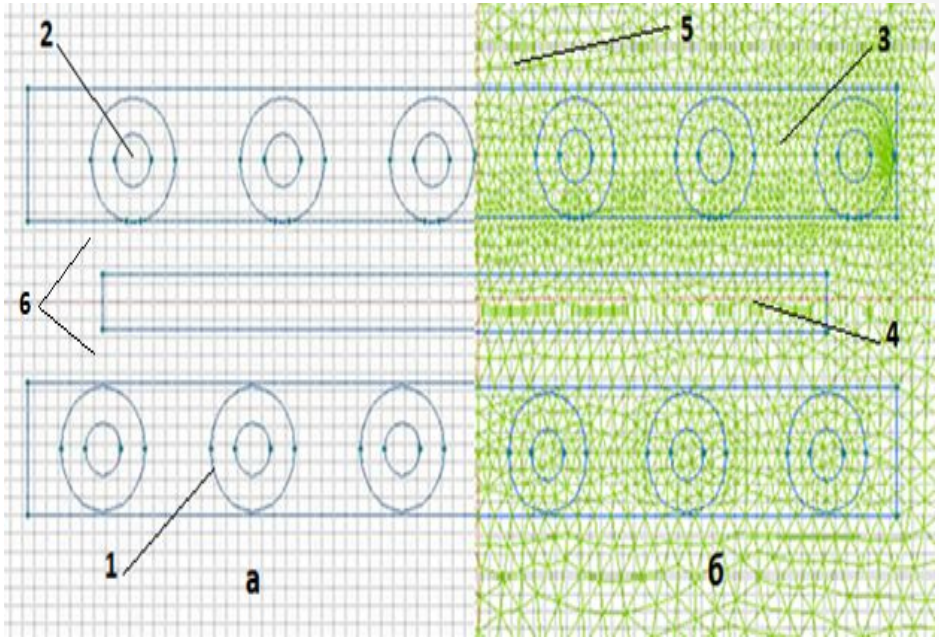


Рисунок 1 – а – геометрическая модель; б – построение сетки на геометрической модели: 1 – индуктор, 2 – охлаждающая жидкость, 3 – футеровка, 4 – вольфрамовая проволока, 5 – сетка конечных элементов, 6 – атмосфера

Результаты расчета плотности тока, энергии и тепловыделения

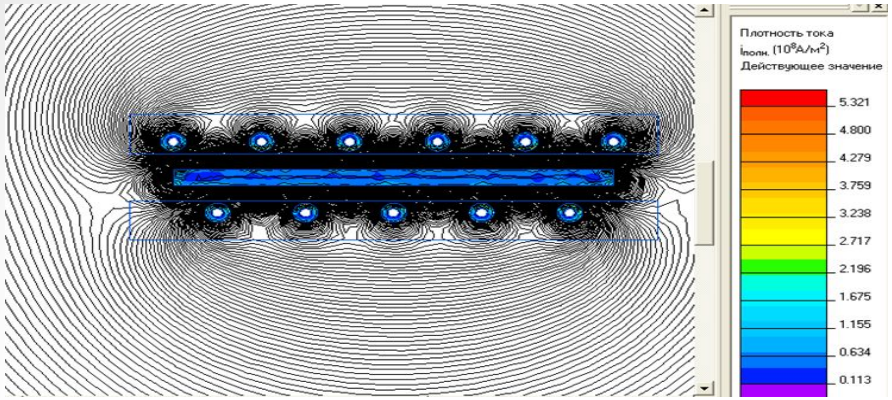


Рисунок 2 – Плотность тока

В результате решения задачи «Магнитное поле переменных токов» можно наблюдать максимальную плотность тока на поверхности вольфрамовой проволоки равную $2{,}717 \cdot 10^8$ А/м^2 (рисунок 2).

Максимальный поток энергии составил 1490 Дж/м^3, который сконцентрирован между внутренней поверхность индуктора и поверхность проволоки и представлен на рисунке 3.

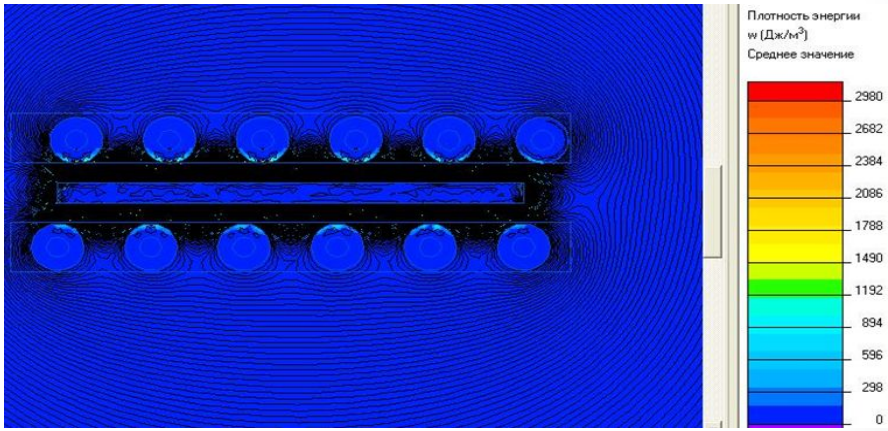


Рисунок 3 – Плотность энергии

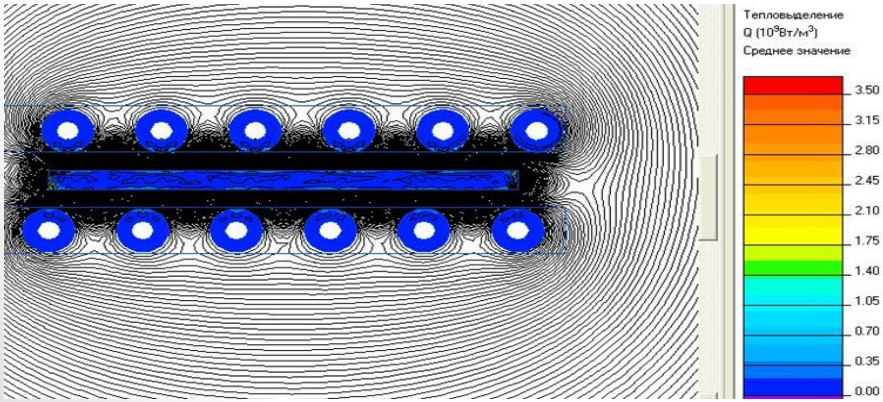


Рисунок 4 – Тепловыделение

Максимальное тепловыделение наблюдается на краях вольфрамовой проволоки и достигает значения $2{,}713 \cdot 10^3$ Вт/м^3 (рисунок 4).

Результаты расчета температурного поля

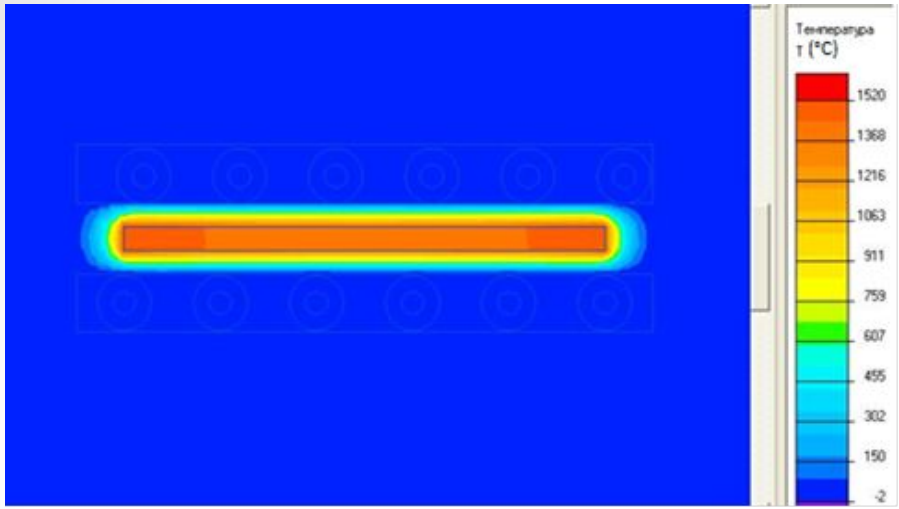


Рисунок 5 – Температура нагрева (при *t*=1520 ºС за 1,03 с.)

Температура нагрева вольфрамовой проволоки достигает 1520 ºС (рисунок 5).

В результате моделирования усовершенствованная конструкция соленоида, за счет утолщения трубки, исправно производит индукционный нагрев вольфрамовой проволоки до температуры в 1500ºС за 1,03 с (рисунок 6).

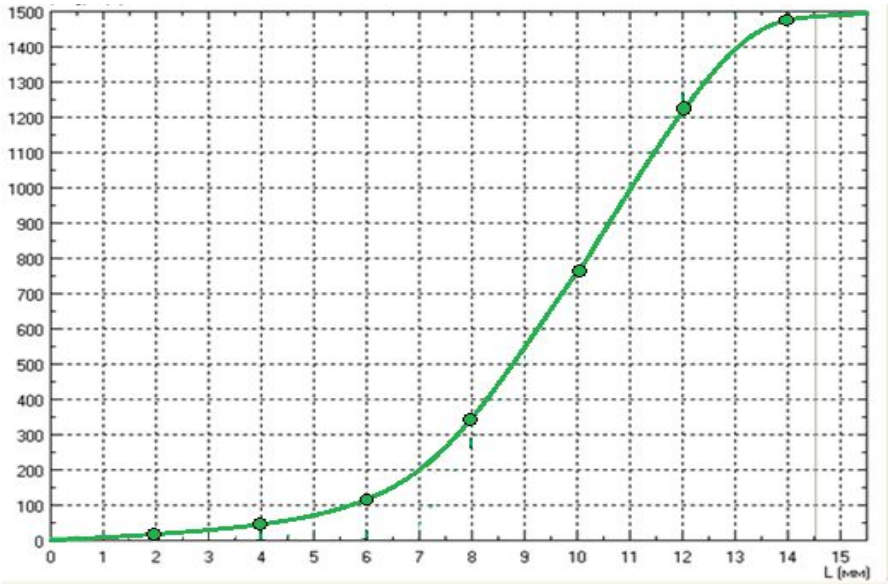


Рисунок 6 – График зависимости температуры от времени (в центральной части изделия).

Оценка экономической эффективности

Показатель	**Печной нагрев**	**Индукционный нагрев**	**Эффективность индукционного нагрева**
Производительность волочильного стана	9 756 кг/час	12 576 кг/час	В 1,5 раза выше
Расход топлива/энергии	210 840 руб.	122 844 руб.	В 2 раза дешевле
Окалинообразование	330 кг	118 кг	В 3 раза меньше

Безопасность технологического процесса. Основные опасные факторы:

- падение бунтов проволоки при транспортировке
- поражение электрическим током
- излучение, исходящее от нагреваемой заготовки
- загрязнение воздуха токсичными элементами рабочей зоны инфракрасное

Меры предотвращения:

- применение средств индивидуальной защиты: специальные костюмы, огнеупорные перчатки, теплоотражающие средства защиты
- обеспечение защитным заземлением
- проведение инструктажа по технике безопасности с персоналом
- использование вентиляционных систем

Заключение

В данной работе была разработана технология горячего волочения вольфрамовой проволоки, были найдены значения диаметров после каждой протяжки, значения усилия и напряжения волочения, длина рабочей и калибровочной зоны волок и часовая производительность стана.

В результате проведенного исследования было выявлено, что при замене печного нагрева на внепечной увеличилась производительность волочильного стана в 1,5 раза.

С экономической точки зрения расчет стоимости затрачиваемой энергии на нагрев вольфрамовой проволоки показал, что использовать электроэнергию экономичнее, чем газообразное топливо. Что сокращает расходы в 2 раза. Также усовершенствованная установка индукционного нагрева способствует меньшему окалинообразованию и позволяет сократить потери металла в 3 раза.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!