

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Факультет Институт электронной техники и машиностроения  
Направление Металлургия  
Кафедра Сварка и металлургия

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Разработка технологии термохимического упрочнения изделий из технического  
титана

(тема)

Выполнил студент группы б1МЕТЛ-41 Войко А. В.

зачет. кн. № 133764

Руководитель работы к.т.н., доцент Фомин А. А.

Саратов – 2017

**Цель:** разработать технологию термохимической обработки (ТХО) и определить влияние термохимической обработки на изменение физико-механических свойств поверхности титановых изделий .

**Актуальность:** отсутствие эффективных ресурсосберегающих подходов к повышению механических характеристик изделий из титана.

Для достижения поставленной цели необходимо решить несколько **основных задач:**

1. провести аналитический обзор литературы и патентной документации;
2. разработать конструкцию оснастки для ТХО, а также некоторых узлов индукционной установки;
3. провести численное моделирование процесса ТХО;
4. разработать технологию ТХО титановых изделий типа диск;
5. исследовать влияние ТХО на физико-механические свойства изделия;
6. дать оценку безопасности технического процесса;
7. выявить вредные факторы, воздействующие на человека и экологию;
8. дать технико-экономическую оценку разработанным технологическим рекомендациям.

# Изделия из титана с термохимически обработанными поверхностями

Контактные площадки датчиков



Медицинские изделия



Детали турбин



Комплектующие ДВС



## Методы термохимической обработки титановых сплавов

Азотирование – повышает твердость и коррозионную стойкость;

Наводороживание – повышает твердость и пластичность

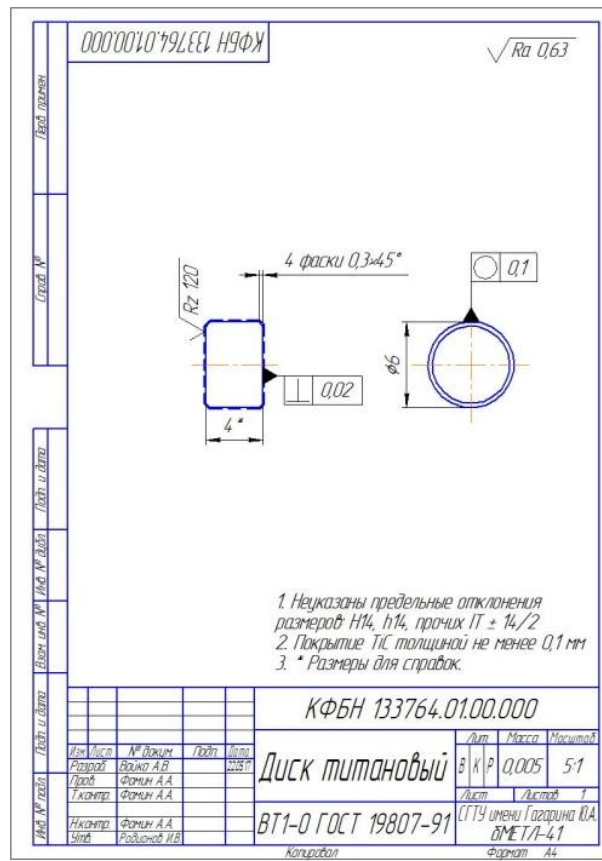
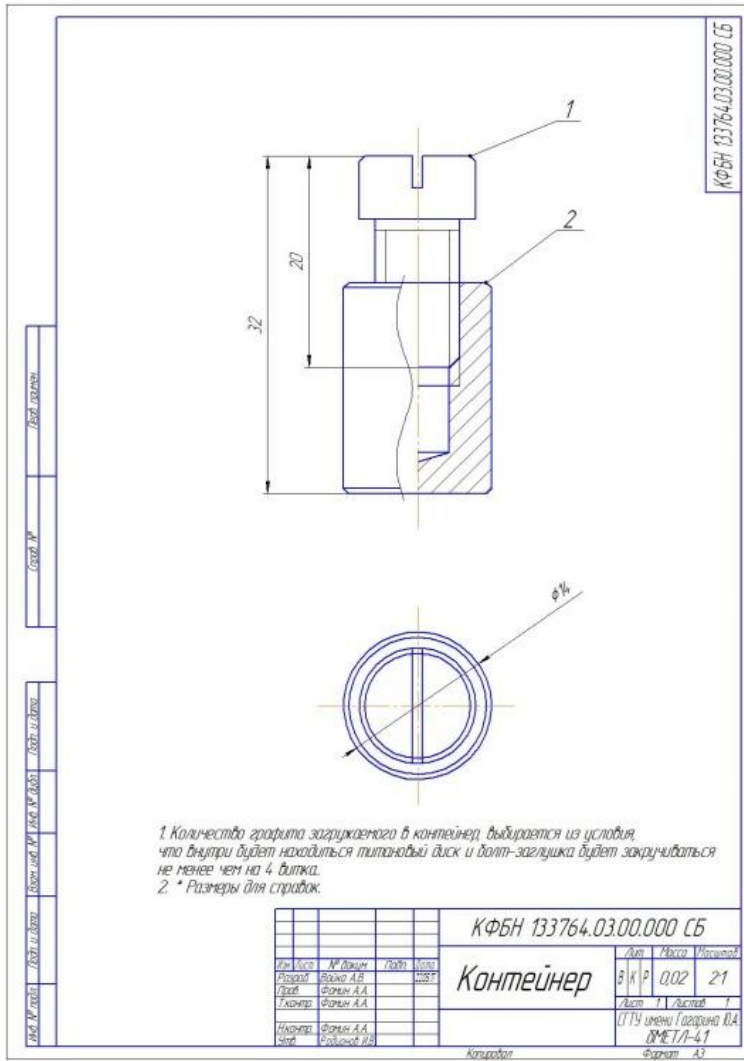
Силицирование – повышает жаростойкость, твердость и износостойкость;

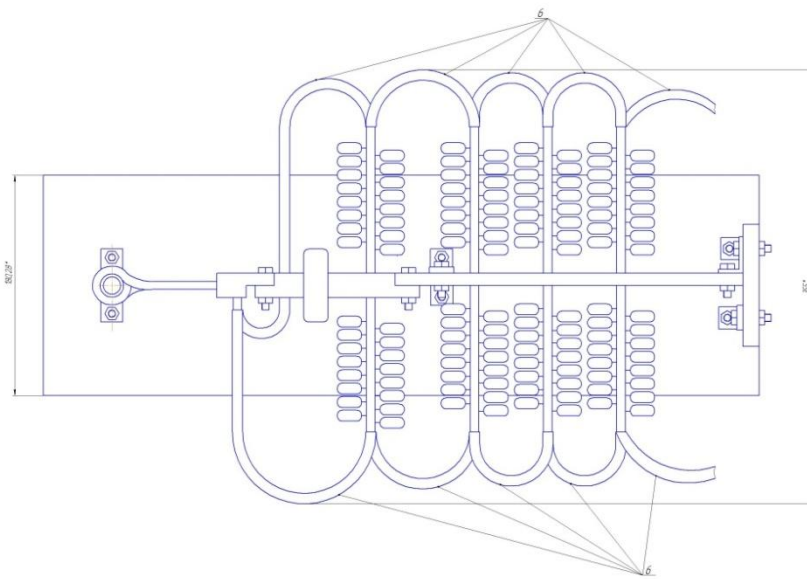
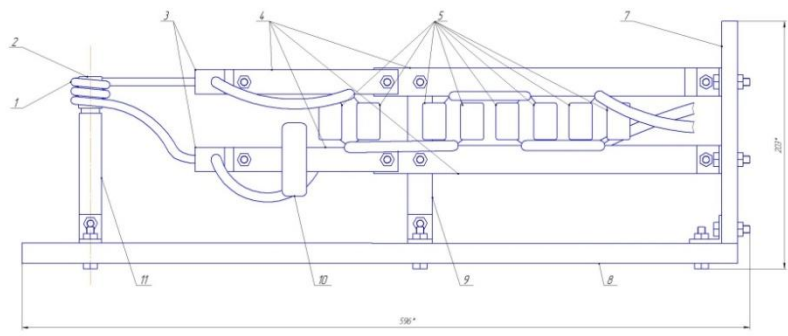
Борирование – повышает тепло- и электропроводность

Оксидирование – повышает твердость, коррозионную стойкость и биосовместимость

Науглероживание титана – повышает твердость, износо- и коррозионностойкость

# Разработка конструкции устройства нагрева титанового контейнера для термохимической обработки





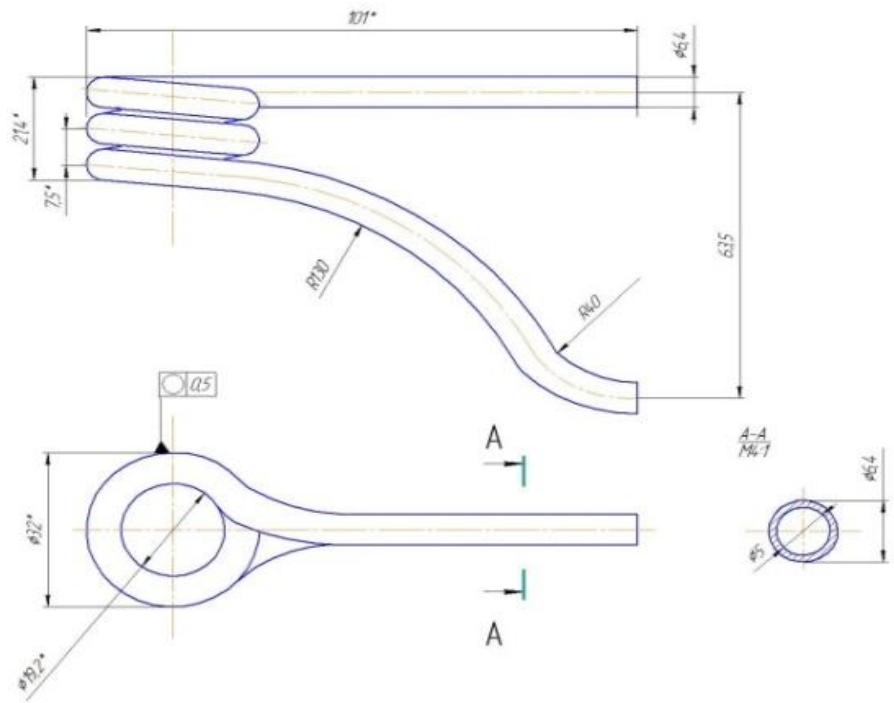
1. Фиксация силиконовых шлангов подающих жидкостями. Внутренний диаметр 6,2 мм, существует 3 варианта.
2. Ленты шлангов выгибаются такими, образом чтобы не было перегибов в местах фиксации.
3. Соединение индуктора с медными клеммами и конденсаторов с медными трубами, осуществляется посредством притон ПВС 60.
4. Структурная емкость конденсаторной батареи 6,8 мкФ.
5. Токоподводящие части конденсаторных батарей изготовлены из медной трубки внешним диаметром 6,4 мм и внутренним 5 мм.
6. Соединение токоподводящих частей осуществляется болтами Н04х25.
7. Диэлектрическая опора, диэлектрическая опора и задняя стенка изготавливаются из текстолита марки А.
8. Токовые шины изготавливаются из медного прутка диаметром 20 мм.
- 9\* размеры для стробок.

КФЭИ 03764.02.00.020 СЕ	
Контракт	Контракт
Инвентарный номер	Инвентарный номер
Дата	Дата
Исполнитель	Исполнитель
Контракт	Контракт
Инвентарный номер	Инвентарный номер
Дата	Дата
Исполнитель	Исполнитель

Сборочный чертеж контура установки для индукционного нагрева: а – вид спереди, б – вид сверху; цифрами на рисунке показано: 1 – индуктор, 2 – кварцевая камера, 3 – медные клеммы, 4 – токовые шины, 5 – конденсаторные батареи, 6 – силиконовые шланги, 7 – задняя стенка, 8 – диэлектрическое основание, 9 – диэлектрическая опора, 10 – токовый трансформатор, 11 – диэлектрический держатель образца

КФБН 133764.02.01000

√ Ra 0,63



- 1. Число отверстий - 3
- 2. Наружные резьбы - левые
- 3. \* размеры для справок

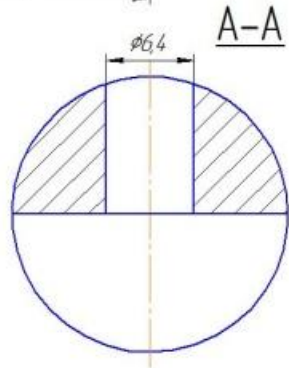
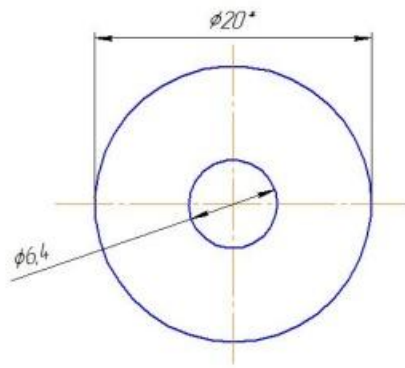
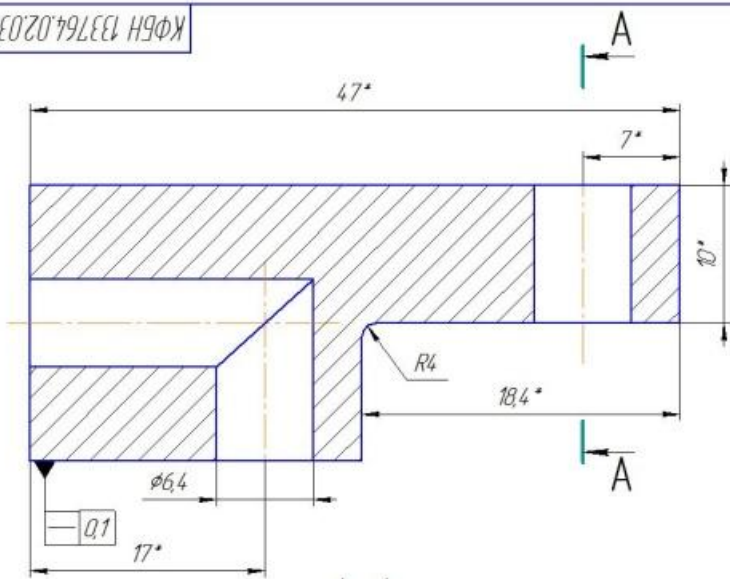
№ докум.	Изм.	Исполн.	Провер.	Дата

КФБН 133764.02.01000			
<b>Индуктор</b>			
Мат. групп.	№ докум.	Техн. экз.	Масштаб
Услов.	Исполн. А.И.	Провер.	2:1
Лист	Стрелка А.А.	Лист	2:1
Лист	Стрелка А.А.	Лист	2:1
Масштаб	Стрелка А.А.	Масштаб	2:1
Стрелка А.А.	Стрелка А.А.	Стрелка А.А.	Стрелка А.А.

Металл. трубка диаметром 64 мм  
 ГОСТ 10283-75  
 ГОСТ 10283-75  
 ГОСТ 10283-75

КФБН 133764.02.03.000

$\sqrt{Ra 125}$

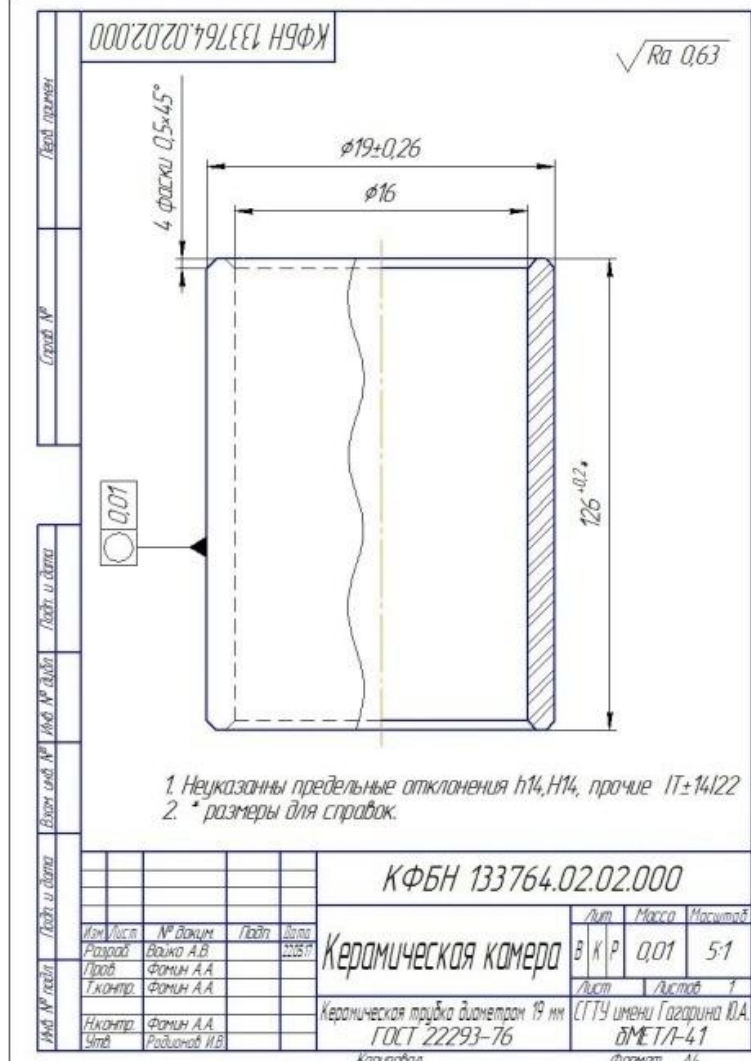
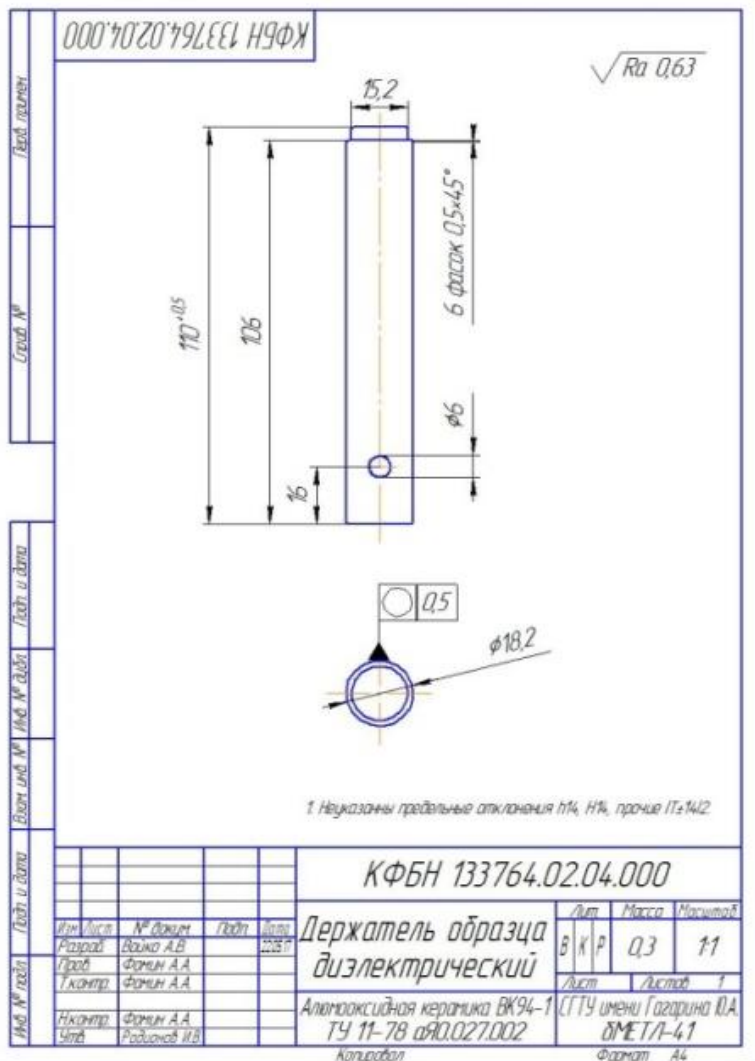


1. Неуказаны предельные отклонения h14, H14, прочие IT±14/12
2. Фаски кругом 0,5x45°
3. Радиальные отверстия расположены под одним углом по отношению друг к другу
4. \* размеры для справок.

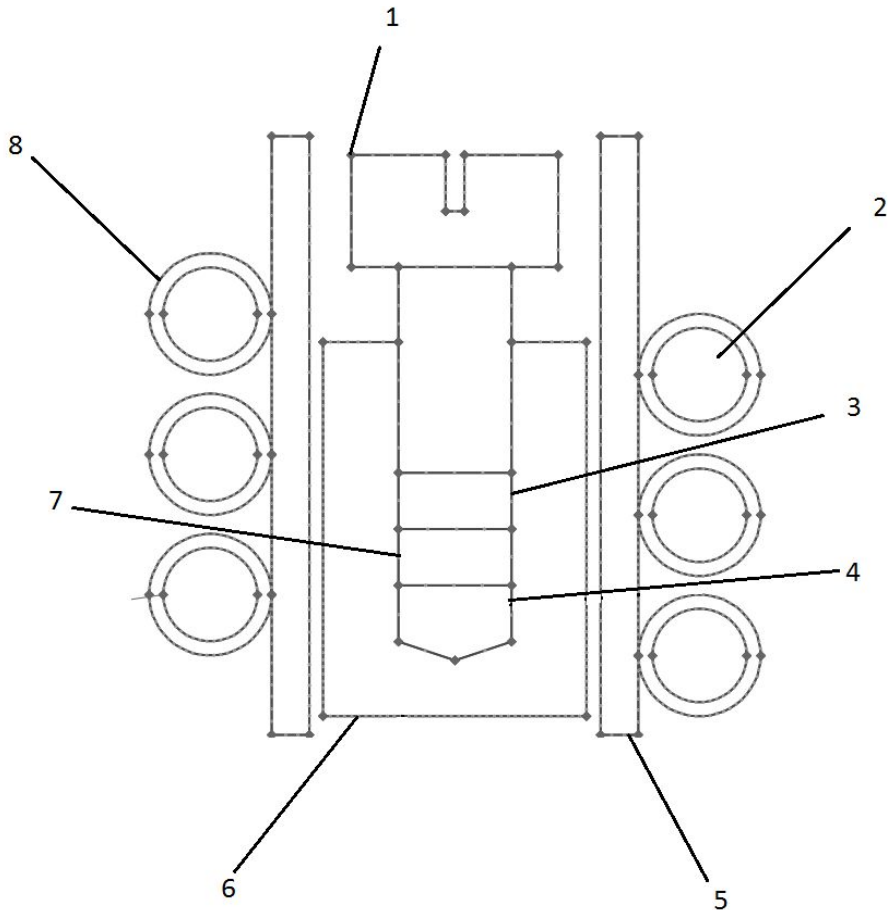
				<b>КФБН 133764.02.03.000</b>					
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	В	К	Р	Масса	Масштаб
								0,1	5:1
Разработ				Валко А.В.					
Проект				Фомин А.А.					
Контроль				Фомин А.А.					
Исполнитель				Фомин А.А.					
Человек				Радченко И.В.					
<b>Медный клемник</b>									
<b>Медь М1 ГОСТ 859-2001</b>									
						ОГТУ имени Гагарина Ю.А. ВМЕТ/1-41			
						Формат А3			

Копировал

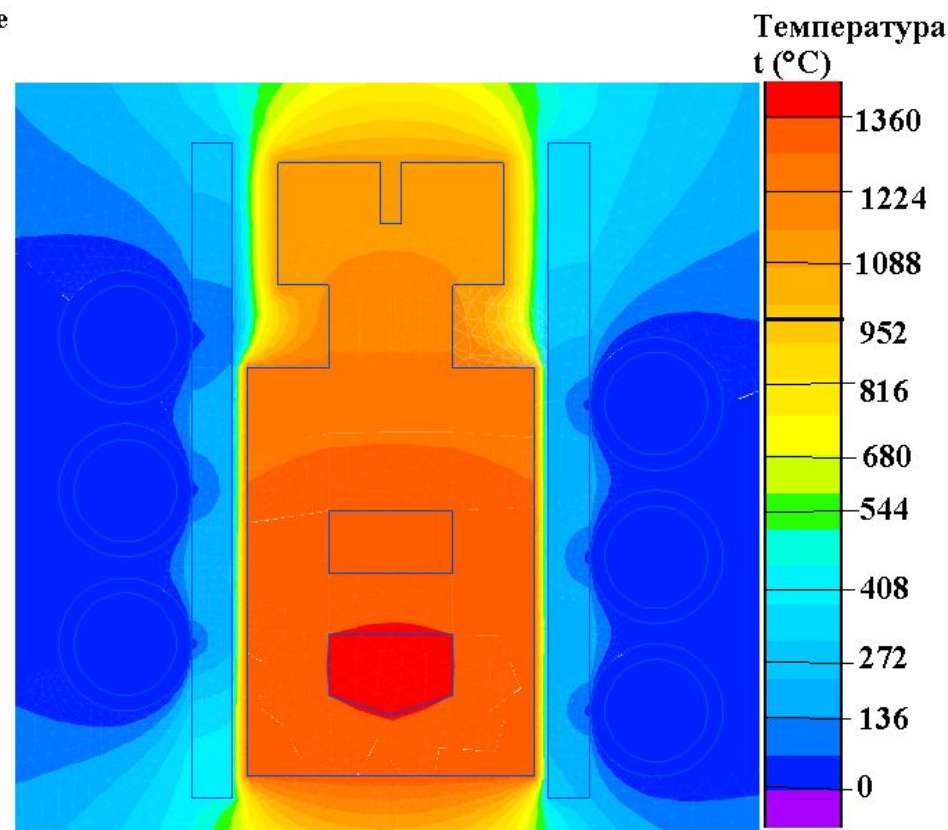
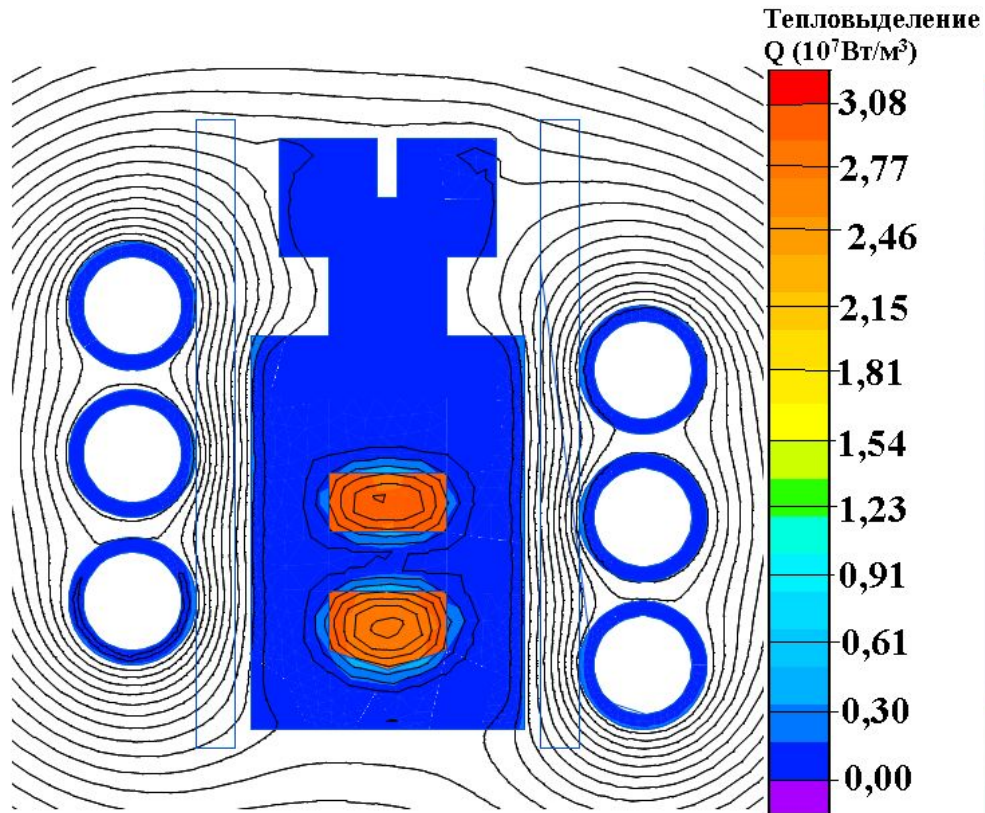




## Численное моделирование процесса нагрева титанового контейнера токами высокой частоты



- Исходная двумерная модель контейнера для ТХО помещенного в индуктор. Цифрами на рисунке обозначено: 1 – титановый болт; 2 – вода; 3-4 – графит; 5 – кварцевая трубка; 6 – титановый контейнер; 7 – титановый образец; 8 – индуктор



- Результат расчета при силе тока индуктора 0,6 кА и  $t = 300$   
с

# Технологии изготовления титанового изделия и проведения процесса термохимической обработки

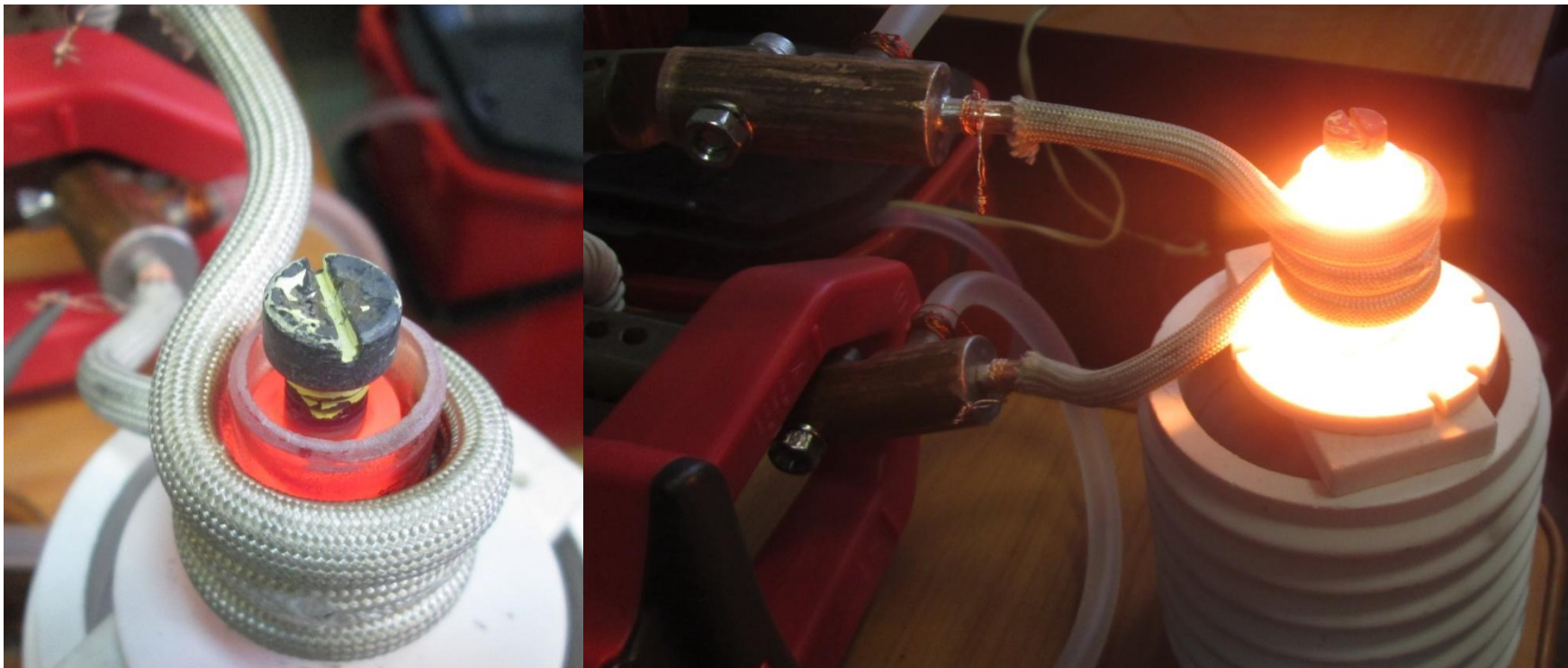
Номер операции	Тип операции	Цели операции	Описание операции	Оборудование, инструмент, материалы, режимы
1	2	3	4	5
005	Заготовительная	Подбор материала	1. Отрезание, правка	Визуальный осмотр. Инструменты: штангенциркуль; материалы: ВТ1-0.
010	Токарно-винторезная	Получение образца заданной формы и размера	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установка и снятие детали</li> <li>2. Проточка заготовки до диаметра 6 мм;</li> <li>3. Подрезание торца Ra=0,63;</li> <li>4. Снятие фаски;</li> <li>5. Отрезание диска от заготовки длиной 4 мм;</li> </ol>	<p>Оборудование: настольный токарно-винторезный станок «Энкор Корвет-400».</p> <p>Инструменты: токарный резец (проходной); токарный резец (подрезной); токарный резец (отрезной); надфиль;</p> <p>Режимы: скорость резания 15-30 мм/мин; глубина резания: 0,4-0,5 мм (черновая), 0,01-0,02 мм (чистовая).</p>
015	Монтажная	Установка титанового образца в контейнере	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Засыпка графита внутрь корпуса контейнера (1/4 внутреннего объема);</li> <li>2. Установка образца внутри корпуса контейнера;</li> <li>3. Засыпка графита внутрь корпуса контейнера (1/4 внутреннего объема);</li> <li>4. Вкручивание в корпус болт-заглушку.</li> </ol>	Титановый контейнер, болт-заглушка. Инструменты: ложечка; отвертка прямая.

Продолжение таблицы

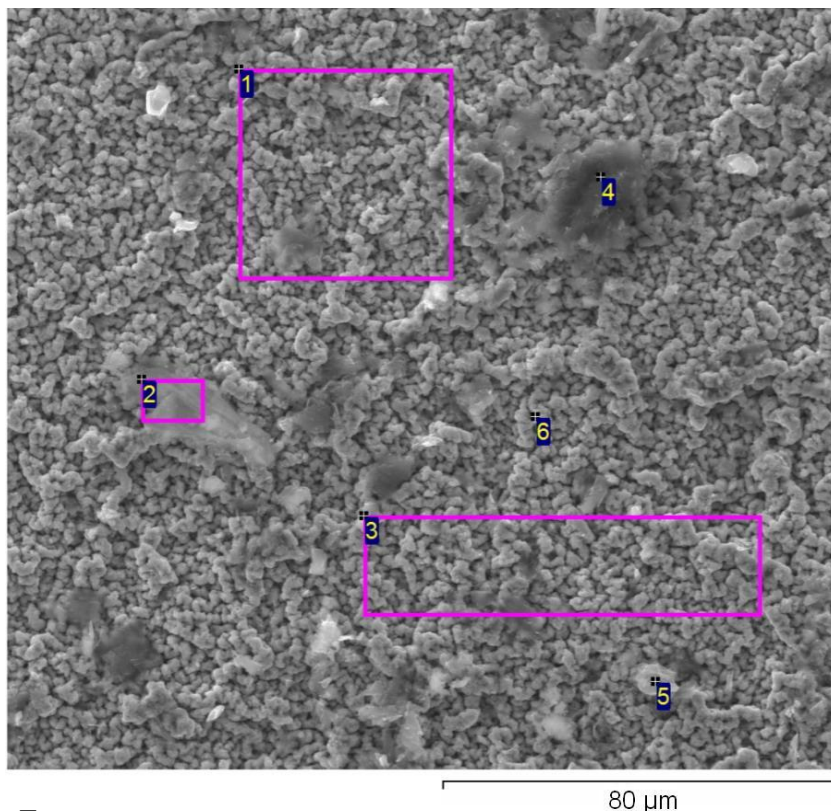
1	2	3	4	5
020	Термообработка	Нагрев металлического контейнера токами высокой частоты	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установка контейнера в индуктор;</li> <li>2. Разогрев до заданной температуры;</li> <li>3. Выдержка при заданной температуре;</li> <li>4. Охлаждение до комнатной температуры;</li> <li>5. Извлечение контейнера из индуктора.</li> </ol>	Оборудование: индукционная установка; пирометр; температура $T = 1300 \text{ C}$ , выдержка 0,1 ч
025	Демонтажная	Извлечение образца из контейнера	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Извлечение контейнера из индуктора;</li> <li>2. Выкручивание болта заглушки;</li> <li>3. Извлечение остатка графита;</li> </ol>	Титановый контейнер, болт-заглушка. Инструменты: ложечка; отвертка прямая.
030	Промывочная	Удаление с поверхности изделия остатков графита	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Помещение изделия в ультразвуковую ванну;</li> <li>2. Заливка изделия спиртовым раствором;</li> <li>3. Запуск установки;</li> <li>4. Выключение установки;</li> <li>5. Извлечение титанового изделия;</li> </ol>	Оборудование: ванна ультразвуковая «ВУ-09-Я-ФП-03». 70 % спиртовой раствор. Режимы: частота ультразвукового колебания – 40 кГц; температура среды – 30°C; продолжительность – 3 мин.
035	Контрольная	Измерение параметров структуры, твердости	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ структуры об разцов;</li> <li>2. Измерение микро-твердости.</li> </ol>	Оптический микроскоп «МБС-10», «МИМ-8М», микротвердомер «ПМТ-3М».



## Исследование влияния термохимической обработки на твердость изделий из технического титана



- Режимы ТХО: температура -  $1300^{\circ}\text{C}$ , выдержка 5 мин.



Соотношение  
 $\text{Ti/C} \approx 1$

- Данные энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа поверхности титана полученные с помощью растрового электронного микроскопа «MIRA II LMU» при увеличении  $\times 1000$ , цифрами обозначены участки, где анализировался химический состав покрытия

- Морфология поверхности диска из технического титана а – до ТХО, б – после ТХО

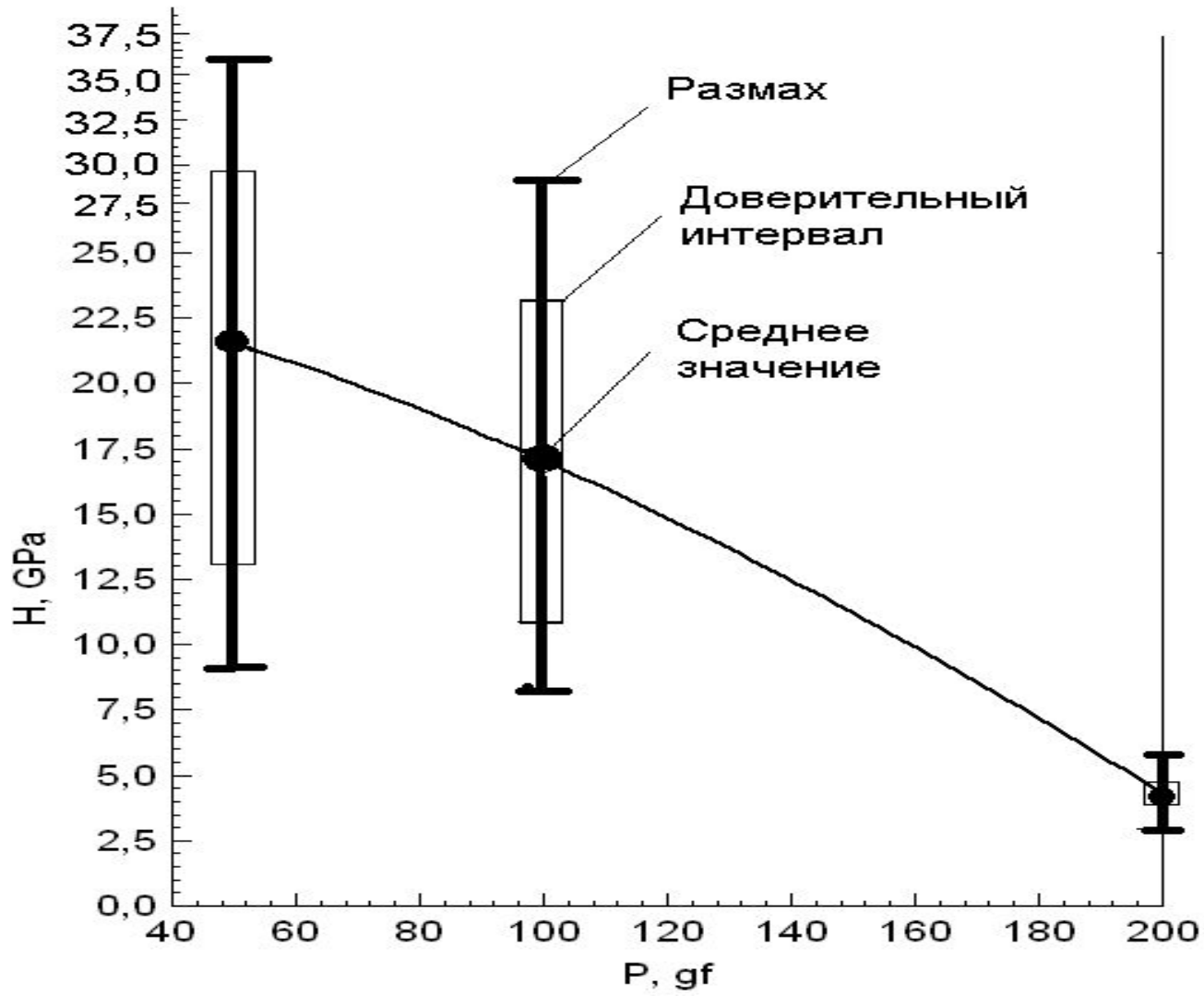


График зависимости величины твердости  $H$  (ось  $x$ ) от нагрузки  $P$  (ось  $y$ )



## Безопасность технологического процесса обработки токами высокой частоты (ТВЧ)

- В данном разделе были представлены опасности возникающие при проведении данного процесса, а также произведены инженерные решения и способы уменьшения возникновения опасных факторов:

1. Повреждение от падающих заготовок
2. Поражение о вращающиеся части станка
3. Попадание на кожу охлаждающих жидкостей и смазочных масел
4. Поражение повышенным уровнем шума
5. Воздействие вибраций
6. **Поражение металлической пылью**

## Экологическая экспертиза объекта

Конечным результатом экологической экспертизы объекта является:

- 1. расчет ПДК титановой пыли и ее сравнение с показателями, указанными в документе ГН 2.2.5.686-98**
- 2. определение образования пара при испарении СОЖ в результате нагрева заготовки во время точения**
3. выбор мероприятия по эффективному снижению или устранению вредного воздействия на экологическую обстановку
4. приведение экологической эффективности разрабатываемой технологии.

## Экономическая эффективность внедрения процесса термообработки титановых изделий с пористыми элементами

Деталь	Стоимость
Аналог	6000
Предлагаемый	8200

Коэффициент удорожания изделия по предлагаемой нами составляет 1,36

Экономическая эффективность составляет 2,6 рубля, на каждый 1 рубль, затраченный на термохимическую обработку ТВЧ

# Заключение

- В результате выполненной данной исследовательской работы, было установлено, что в процессе термохимической обработки технического титана в герметичном контейнере происходит заметное упрочнение поверхностного слоя изделия. Также было установлено, что в результате термохимической обработки на поверхности изделия образуется карбид титана, имеющий высокую твердость и износостойкость.

Титановые изделия типа «диск», имеющие высокую твердость покрытия TiC порядка 21,6 ГПа после ТХО, могут эффективно использоваться в устройствах не разрушающего контроля, а именно контактных площадок коэрцитиметров (структуроскопов), вихретоковых измерителей толщины и шероховатости.

**Спасибо за внимание!**