

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

Кафедра общей физики

Пантелеев Семён Александрович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изготовление датчика проплава для установки Электронно-лучевой
сварки**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №20301

Научный руководитель:

с.н.с, А.А. Старостенко

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к. ф-м. н. А.В. Судников

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2021

Аннотация

Целью работы являлось изготовление прибора, способного зафиксировать момент проплавления металла при электронно – лучевой сварке. Было решено регистрировать проплавление при помощи рентгеновского излучения, которое выделяется при соударении электронов с энергией 60 кэВ с неподвижной деталью. Были проведены эксперименты с различными измерительными компонентами, которые могли бы ощутить на себе влияние рентгеновского излучения, был выбран наиболее чувствительный. Был создан контур с измерительным элементом, источником постоянного напряжения, интегрирующей цепочкой и осциллографом для фиксации рентгеновского излучения в зависимости от проплавления. Удалось зафиксировать момент проплавления металла. Были предложены дальнейшие варианты доработки установки.

Ключевые слова: Электронно-лучевая сварка, р-п переход, фотодиод, рентгеновское излучение.

Оглавление

1. Введение	4
2. Теоретическая часть	5
2.1 Обоснование метода	5
2.2 p-n переход	5
2.3 Воздействие радиации	6
3 Перебор различных вариантов измерительного прибора и экспериментальная установка.	7
4 Обработка экспериментальных данных	10
5 Основные результаты	12
6 Благодарности	13
7 Список литературы	13

1. Введение

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) является одним из наиболее высокотехнологичных и высокопроизводительных способов сварки. Для этого способа сварки, как правило, не используют расходные сварочные материалы (проволоку, электроды, флюсы). По эксплуатационным расходам сварка электронным лучом в вакууме существенно дешевле дуговой сварки в камерах с контролируемой атмосферой. Все основные энергетические и геометрические параметры электронного пучка регулируются с высокой скоростью и быстродействием. Это позволяет вводить в металл точно дозированную энергию, реализовывать различные технологические приемы и обеспечивать высокую воспроизводимость процесса сварки. Можно производить сварку сложных конструкций в углублениях и труднодоступных местах. При ЭЛС используется кинетическая энергия потока электронов, движущихся с высокими скоростями в вакууме. Для уменьшения потери кинетической энергии электронов за счет соударения с молекулами газов воздуха, а также для химической и тепловой защиты катода в электронной пушке создается вакуум порядка 0,1 – 0,01 Па [1].

Целью данной работы являлся поиск способа контроля проплавления металлов при ЭЛС, без прямого зрительного контакта. Как следствие, работа разбивается на следующие подзадачи, которые необходимо поочередно решить:

- 1) Выбрать прибор, который позволит стабильно измерять насыщенность рентгеновского излучения, и его зависимость от глубины проплава образца
- 2) Посмотреть зависимость рентгеновского излучения от времени воздействия пучка на пробный материал.
- 3) Зарегистрировать момент проплава металла при помощи изготовленного датчика

2. Теоретическая часть

2.1 Обоснование метода

При ЭЛС электроны, эмитируемые с катода в электроннолучевой пушке, под действием ускоряющего напряжения порядка 60 кэВ, в виде пучка вылетают в вакуумную камеру, где находится сварочный образец. И при столкновении с образцом электроны теряют свою энергию, которая, в свою очередь, переходит в тепловое, радио-, рентгеновское излучения и прочее. Последнее и может быть использовано в качестве носителя информации о проплавлении, в силу его большой информационной насыщенности и малой зависимости от помех. [3]

2.2 p-n переход

Электронно-дырочным или p-n переходом называют область, возникающую на границе двух полупроводников с различными типами электропроводности. При контакте таких полупроводников в результате диффузии зарядов дырка из p области попадает в n область. Она тут же рекомбинирует с одним из электронов в этой области. В результате этого в n области появляется избыточный положительный заряд, а в p области - избыточный отрицательный заряд. Таким же образом один из электронов из n области попадает в p область, где рекомбинирует с ближайшей дыркой. Следствием этого также является образование избыточных зарядов. В результате диффузии граничная область наполняется зарядами, которые создают электрическое поле. Оно будет направлено таким образом, что будет отталкивать дырки, находящиеся в области p, от границы раздела. И электроны из области n также будут отталкиваться от этой границы. То есть, на границе раздела двух полупроводников образуется энергетический барьер. Чтобы его преодолеть электрон из области n, и дырка из области p должны обладать энергией больше, чем энергия барьера. Наряду с движением основных носителей зарядов в таком переходе существует и движение неосновных носителей зарядов. Они также двигаются в противоположную область через переход. Этому способствует образовавшееся поле, однако ток получается мал, так как количество неосновных носителей зарядов очень мало.

Если к р-n переходу подключить внешнюю разность потенциалов в прямом направлении, то внешнее поле приведет к уменьшению внутреннего. Таким образом, уменьшится энергия барьера, и основные носители заряда смогут легко перемещаться по полупроводникам. Иначе говоря, и дырки из области р и электроны из области n будут двигаться к границе раздела. Усилится процесс рекомбинации и увеличится ток основных носителей заряда.

Если разность потенциалов приложить в обратном направлении, то внешнее электрическое поле сложится с внутренним. Соответственно увеличится энергия барьера не дающего перемещаться основным носителям зарядов через переход. Другими словами электроны из области n и дырки из области р будут двигаться от перехода к внешним сторонам полупроводников. И в зоне р-n перехода попросту не останется основных носителей заряда, обеспечивающих ток.[4]

2.3 Воздействие радиации

Взаимодействие радиационного излучения с веществом — сложное явление. Условно принято рассматривать две стадии этого процесса: первичную и вторичную. Первичные или прямые эффекты состоят в смещении электронов (ионизации), смещении атомов из узлов решётки, в возбуждении атомов или электронов без смещения и в ядерных превращениях вследствие непосредственного взаимодействия атомов вещества (мишени) с потоком частиц. Вторичные эффекты состоят в дальнейшем возбуждении и нарушении структуры выбитыми электронами и атомами. [2] Именно эти эффекты и будут важны в этих экспериментах. Если электронно-дырочные пары образуются в области пространственного заряда, это приводит к возникновению тока, на противоположных контактах полупроводниковой структуры. То есть, при воздействии излучения фотонов в рентгеновском диапазоне порождает неосновные носители заряда в р-n переходе, которые, в свою очередь, порождают ток в обратном направлении. Регистрация этого тока и позволит сделать оценку о качестве проплавления металла.

3 Перебор различных вариантов измерительного прибора и экспериментальная установка.

А) Попытка измерения рентгеновского излучения полупроводниковым диодом.

Для этого измерения была собрана установка: Диод КД213Б в обратном направлении подключен к источнику напряжения ТЕС 23, который создает падение напряжения на диоде. К источнику последовательно подключен мультиметр mastech MY68 в режиме работы миллиамперметра.

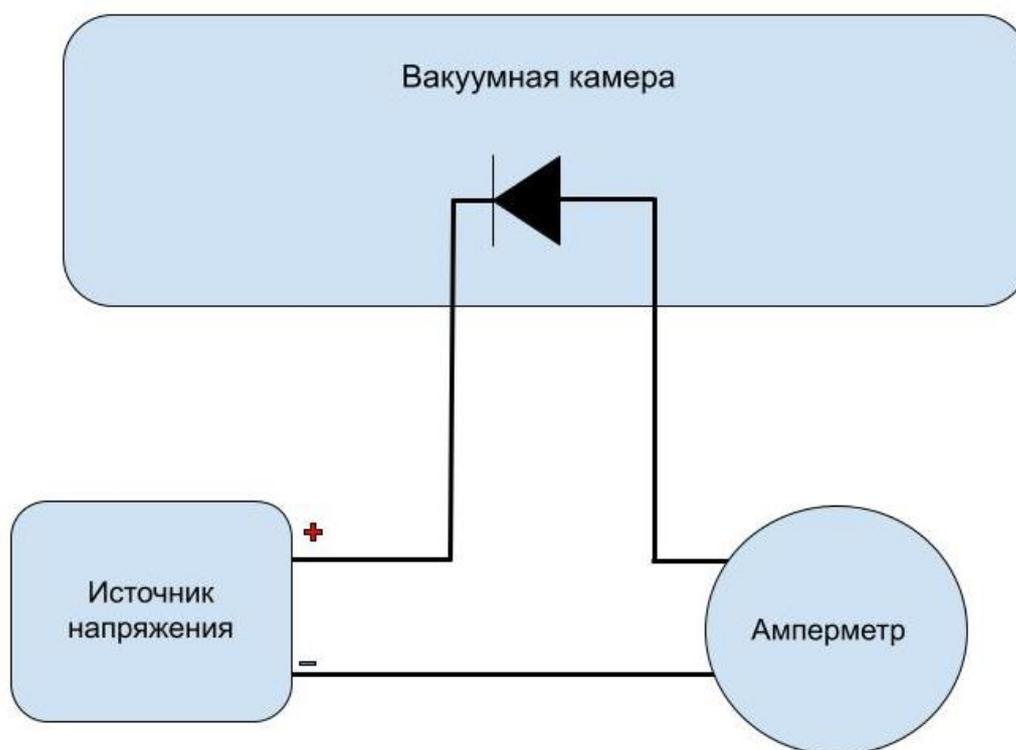


Рисунок 1: Экспериментальная установка для первого эксперимента.

В эксперименте на установке выставлялись следующие параметры:

Образец: медь 5мм;

Напряжение на источнике: 10-17В;

Ток пучка на пушке: 10-30мА.

Б) Попытка измерения рентгеновского излучения фототранзистором

Во втором эксперименте диод был заменен фототранзистором SFH690AT. Схема включения транзистора в цепь представлена ниже.

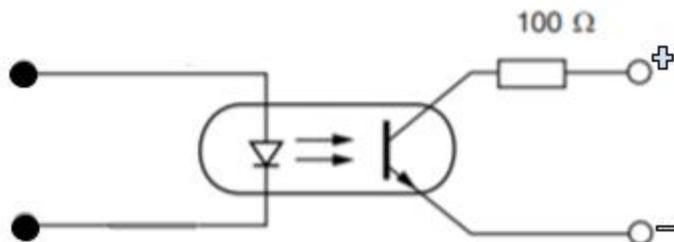


Рисунок 2: включение фототранзистора в установку

К Эмиттеру последовательно подсоединен резистор сопротивлением 100 Ом для того, чтобы при табличном напряжении на источнике 5-7В, ток через эмиттер протекал в районе 50 мА, что соответствует табличному значению для нормальной работы. В эксперименте использовался медный образец толщиной 3 мм, ток пучка на пушке - 30-50 мА.

В) Попытка измерения диодом в измененной схеме

В третьем эксперименте было выдвинуто мнение, что ток в системе протекает достаточно малый, чтобы его можно было таким образом измерить. Поэтому было принято решение немного изменить схему, а именно подсоединить последовательно к источнику напряжения резистор сопротивлением 100 Ом, и параллельно к нему подсоединить мультиметр в режиме измерения напряжения: в этом случае прибор должен стать более чувствительным. В качестве измерительного компонента использовался тот же компонент, что и в первом эксперименте: диод КД213Б. В эксперименте использовался образец из меди 3 мм, ток пучка на пушке изменялся в пределах 10-30 мА.

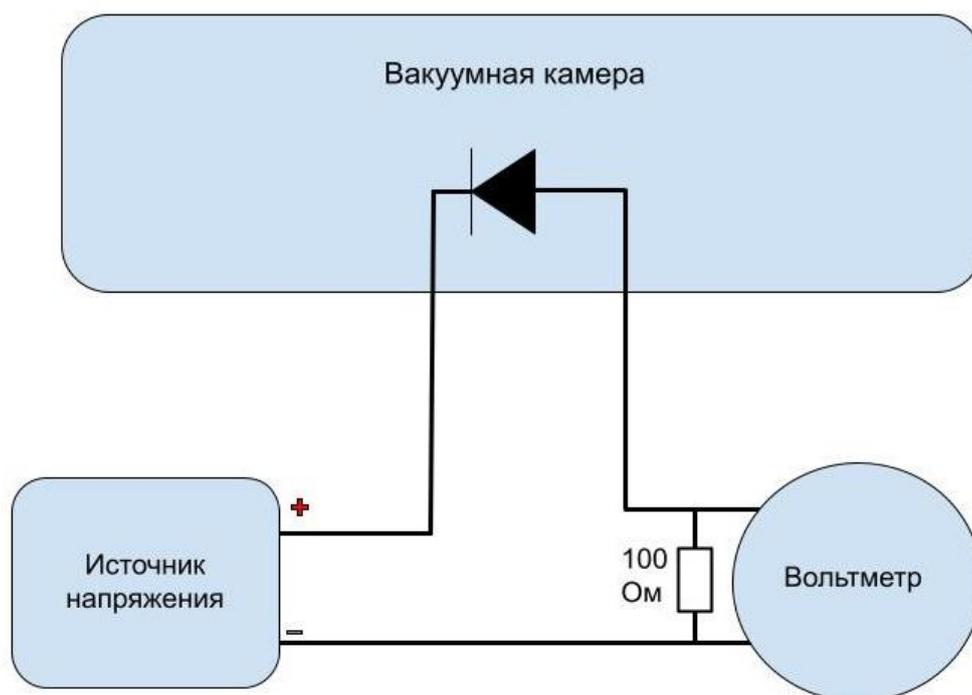


Рисунок 3: экспериментальная установка для третьего эксперимента.

Г) Регистрация рентгеновского излучения фотодиодом

В следующем эксперименте обычный диод был заменен на фотодиод BPW34. Как и предыдущий, он был подключен в схему в обратном направлении, с различием в том, что дополнительно был экранирован фольгой для того, чтобы избежать воздействие на него эмитируемых электронов и фотонов в видимой части спектра, излучаемые катодом при нагреве. Также, из-за того, что ток через фотодиод бежит достаточно малый, в диапазоне $10^{-9} - 10^{-8}$ А (паспортное значение), резистор был заменен на другой, с большим сопротивлением, которое составляло 100кОм, а после было заменено на 10МОм. Ток пучка на пушке менялся от 2 до 40мА, напряжение на источнике 5В.

Первые 3 эксперимента не дали никаких результатов. Что-то удалось записать, начиная с 4 эксперимента. В конечном варианте именно фотодиод был выбран в качестве измерительного компонента. Однако установку нужно было доработать: на рисунке 4 представлен конечный вариант установки. Фильтр низких частот нужен для уменьшения количества регистрируемых шумов на

осциллографе. Делитель напряжения использовался как предохранитель для предотвращения повреждения осциллографа.

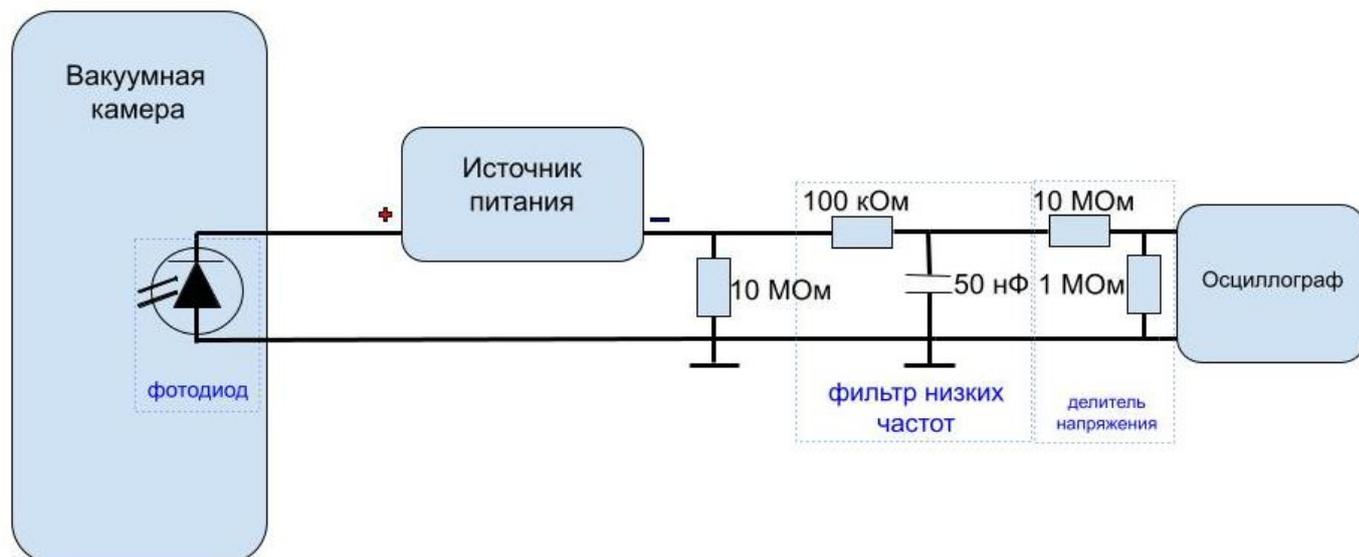


Рисунок 4: Схема итоговой установки

4 Обработка экспериментальных данных

На рисунке 5 представлена зависимость напряжения U_B , снимаемого с вольтметра, от подаваемого на катод тока накала I_H . Эта зависимость снималась для проверки работоспособности установки с применением фотодиода. Из-за неустойчивого значения напряжения при каждом фиксированном I_H было снято несколько значений напряжений, после чего выбрано среднее, и посчитано среднеквадратичное отклонение от каждого значения. В эксперименте использовалась 5 мм медь.

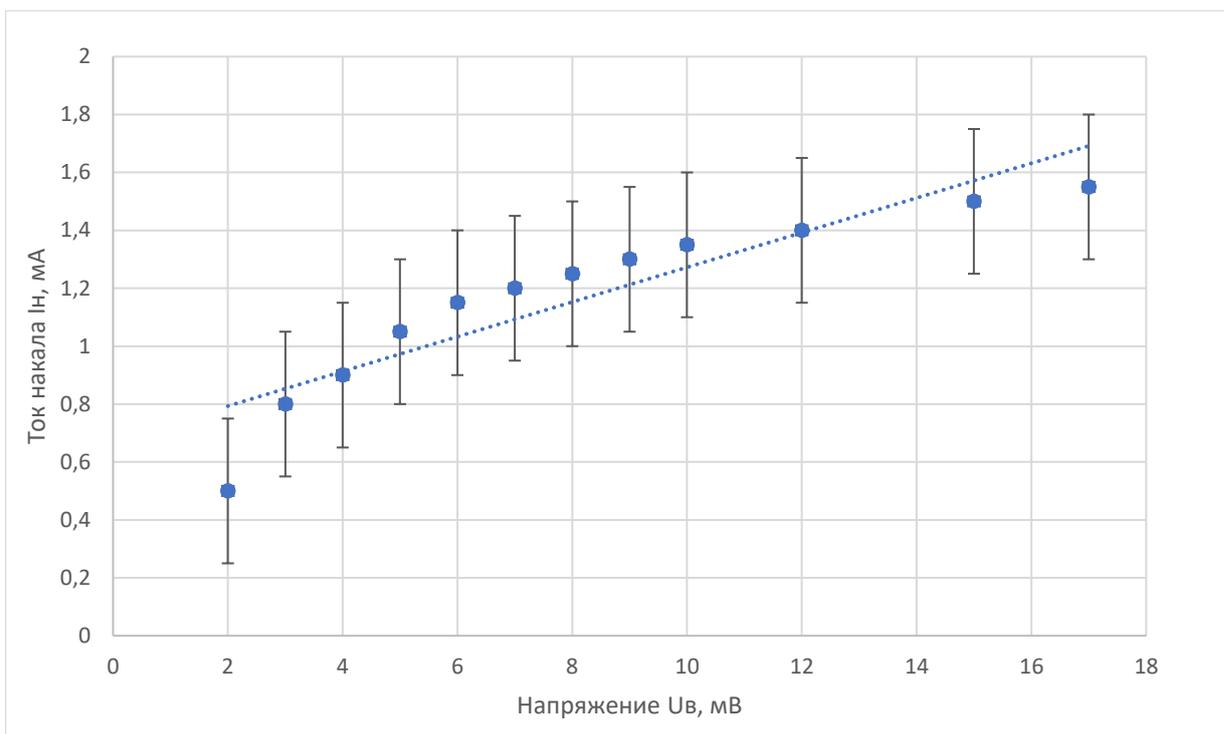


Рисунок 5: Зависимость напряжения, снимаемого с вольтметра, от тока накала

Можно предположить, что при увеличении тока накала увеличивается количество эмитируемых электронов, и, соответственно, увеличивается количество рентгеновских волн.

После проверки работоспособности установки, датчик был помещен под пластину 12мм нержавеющей стали, обмотанный фольгой для теплоизоляции, так как нагревание влияет на работу диода. Дополнительно датчик был помещен в круглую стальную деталь толщиной 15мм во избежание регистрации отраженных рентгеновских лучей. Была зарегистрирована зависимость напряжения от времени при проплавлении материала, и за материалом, для сравнения количества зарегистрированных рентгеновских лучей. Ток пучка на пушке составлял 15мА.

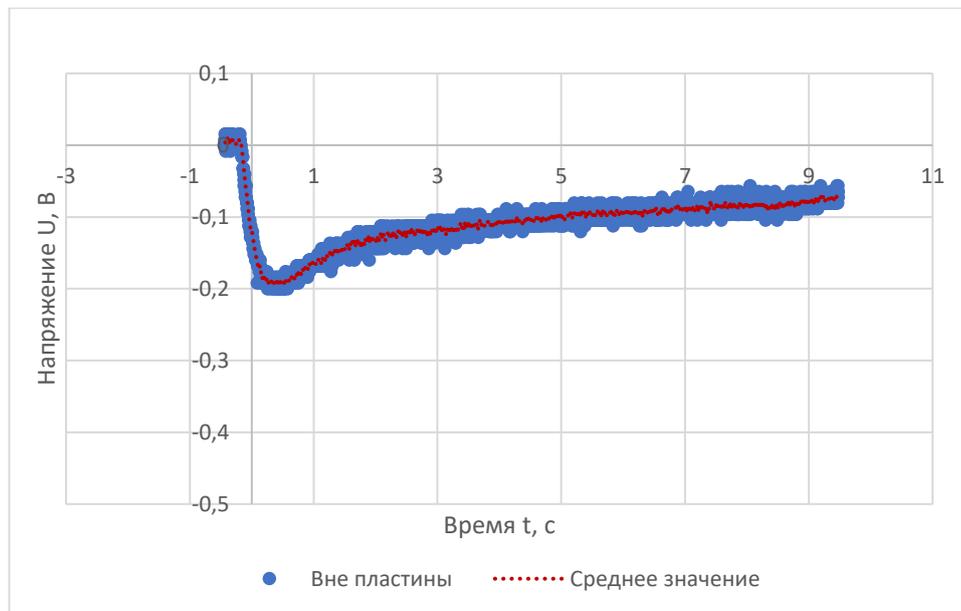


Рисунок 6: Зависимость регистрируемого напряжения от времени вне пластины

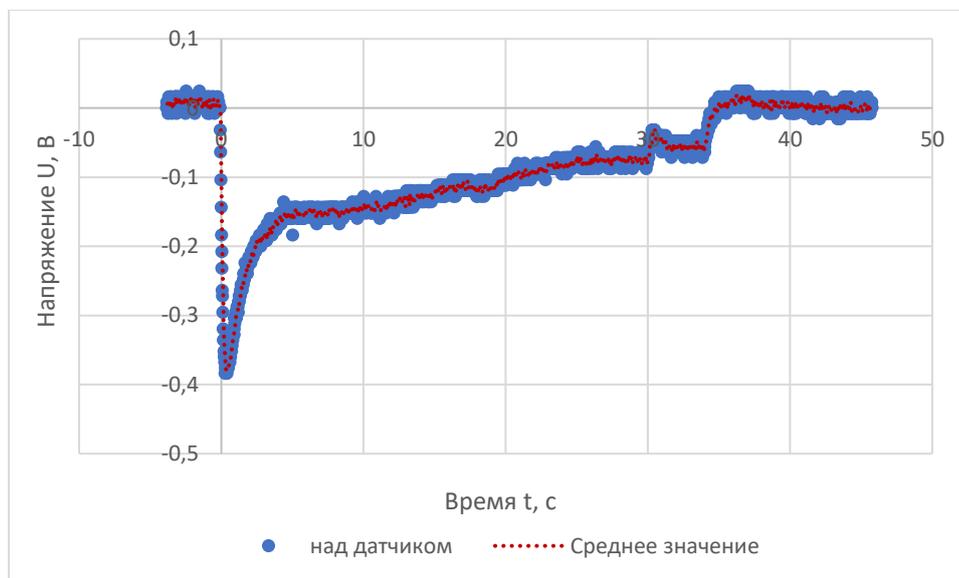


Рисунок 7: Зависимость регистрируемого напряжения от времени над пластиной

Видно, что положение датчика влияет на количество зарегистрированных рентгеновских волн. Также, когда датчик загорожен образцом, график меняется более резко.

5 Основные результаты

На рисунке 8 представлена зависимость снимаемого напряжения от времени проплава. Использовалась нержавеющая сталь 12мм. Ток пучка

составлял 30мА, Напряжение на источнике 30В. Можно заметить резкий скачок, который и соответствует полному проплавлению.

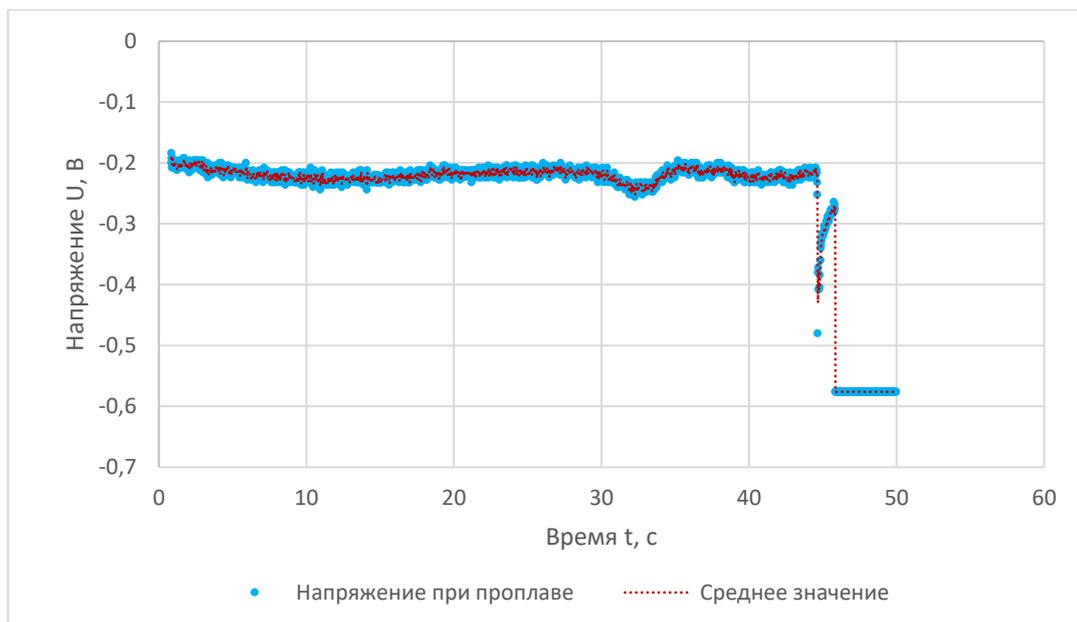


Рисунок 8: Зависимость снимаемого напряжения от времени при проплавлении металла

Удалось зарегистрировать рентгеновское излучение при соударении проплавления материала с электронами. В дальнейшем можно будет создать систему обратного отклика, которая будет реагировать на изменение сигнала с датчика.

6 Благодарности

В первую очередь, выражаю благодарность Попову Александру Сергеевичу за помощь в создании рабочей установки. Также выражаю благодарность Блохиной Ксении и Медведеву Алексею за помощь в работе с электронно-лучевой пушкой.

7 Список литературы

[1] В. П. Сидоров, А.В. Мельзитдинова Электронно – лучевая сварка. Технологические особенности и оборудование. Тольятти: издательство ТГУ 2013.

[2] p-n переход [электронный ресурс]. Режим доступа:
URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/P-n-переход> Доступ 19.12.21

[3] В. Я. Браверман, В.С. Белозерцев, А.Н. Успенский Экспериментальные исследования рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке// Технологические процессы и материалы С. 196 -200.

[4] p-n переход. Основные и неосновные носители зарядов [электронный ресурс]. Режим доступа: URL:<https://electrophysic.ru/elektricheskie-materialyi-i-komponentyi/pn-perehod-printsip-raboty.-osnovnyie-i-neosnovnyie-nositeli-zaryadov.html> Доступ 19.12.21