

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Лактионова Анна Валерьевна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изучение зависимости тока отраженных электронов от типа
материала при обработке поверхности электронным пучком**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19308

Научный руководитель:

Сеньков Дмитрий Валентинович

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Оценка преподавателя практикума

А.Г.Харламов

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация.

Основной целью моей курсовой работы являлось изучение тока отраженных электронов при сварке различных металлов электронным лучом, по которому можно определить тип материала и изучить рельеф данного образца. Это исследование может позволить более точно находить положение шва при управлении электронным пучком во время сварки, а также поможет в автоматизации данного процесса. В этой работе были взяты образцы, состоящие из трех различных металлов: алюминий, медь и нержавеющая сталь. Линейная развертка проводилась треугольным сигналом с помощью специальной программы. Далее, на цифровом осциллографе наблюдался сигнал, поступающий с датчика отраженных электронов. Для наблюдения сигнала был собран усилитель, который увеличивает амплитуду тока отраженных электронов. В таком случае, шумы меньше искажают наблюдаемую осциллограмму. По окончании данной работы были получены значения плотностей тока отраженных электронов для разных металлов и соответствующие им осциллограммы.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, ток отраженных электронов, усилитель

Оглавление

Введение.	4
Явления при взаимодействии пучком электронов на образец.	4
Принцип работы электронно-лучевой сварки.	6
Приёмник отраженных электронов.	7
Эксперимент.	9
Вывод.	12
Список литературы.	12

Введение.

ЭЛС (электронно-лучевая сварка) является наиболее перспективным способом соединения деталей из тугоплавких металлов и сплавов, когда нежелательна или невозможна термическая обработка. Одним из её достоинств является возможность эффективного производства изделий из конструкционных металлов и сплавов больших толщин (до 300 мм). Наиболее широко в мире освоено промышленное применение ЭЛС в энергетическом машиностроении и производстве электровакуумных приборов. В электронно-лучевых установках важна точность слежения за положением луча относительно свариваемого стыка. В области технологии ЭЛС важнейшими проблемами являются совершенствование способов замыкания кольцевых швов, ремонта дефектных участков швов и др. Так же для электронно-лучевой сварки требуется создания вакуума 10^{-2} - 10^{-4} Па, что тоже может нести за собой некоторые трудности. На данный момент в ИЯФ СО РАН находится в эксплуатации установка ЭЛС, в которой управление может осуществляться изменением положения образца в рабочей камере и отклонением самого пучка.

Явления при взаимодействии пучком электронов на образец.

ЭЛУ(электронно-лучевая установка) условно можно разделить на две части: электронно-лучевая пушка и рабочий объем. В электронной пушке происходит генерация пучка и управление им. В рабочий объём помещается сам образец, на который будет воздействовать данный пучок. При этом в месте встречи пучка с заготовкой помимо передачи энергии электронов образцу на нагрев или плавку образца будут происходить и другие процессы. Такими процессами являются:

- тепловая эмиссия электронов образца
- выделение рентгеновского излучения
- появление потоков тепла во внешнюю среду
- возникновение вторичных электронов
- отражение электронов поверхностью образца

На все эти процессы тратится энергия электронов. Вообще потерями энергии на тепловую эмиссию, а также возникновение вторичных электронов и рентгеновского излучения можно пренебречь, так как их общая доля не превышает 1% от общей энергии пучка. Но нельзя не учитывать потерю энергии от отражения электронов: она может составлять примерно 40% от общей энергии пучка в зависимости от атомного номера вещества, из которого сделан образец (потеря мощности пучка, обусловленной отражением электронов представлена на рис. 1).

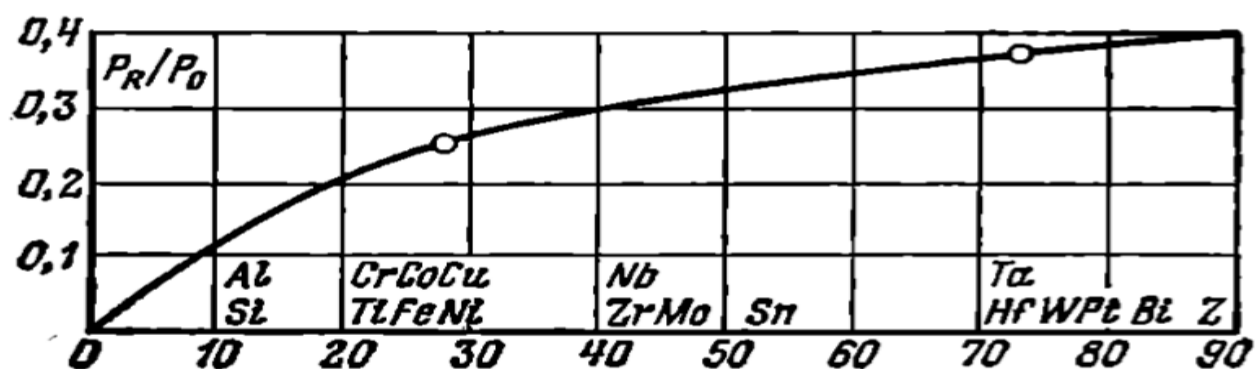


Рис. 1. Соотношение мощности пучка отраженных электронов P_R к мощности свободных электронов P_0 в зависимости от атомного номера вещества

Спектр энергий, количество и распределение в пространстве отраженных электронов в первую очередь зависят от угла падения пучка и атомного номера материала (рис. 2).

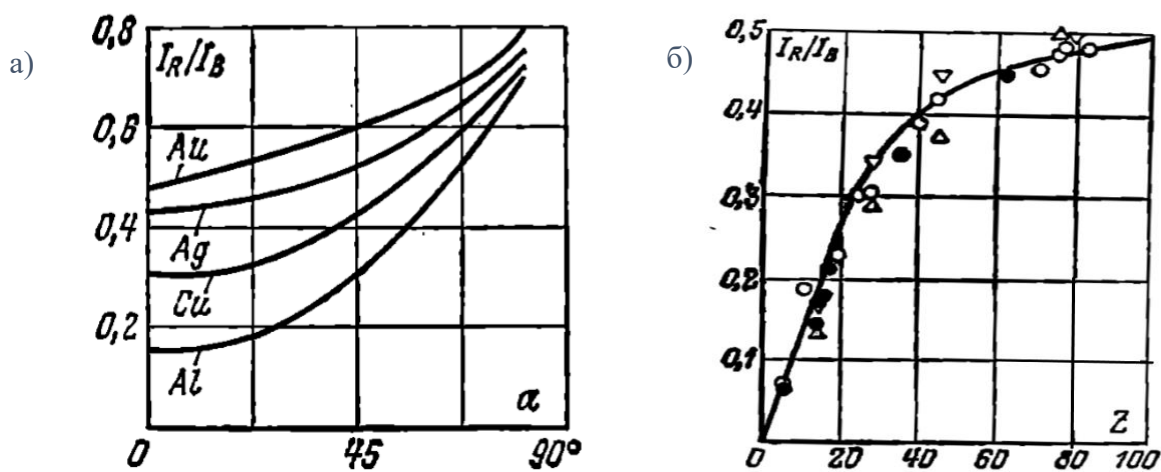


Рис. 2. Зависимость отношения плотности тока отраженных электронов I_R к плотности тока свободных электронов I_B в зависимости от а) угла падения пучка и б) атомного номера вещества

Данные параметры не зависят от температуры и наличия адсорбированных слоёв на поверхности образца, в отличие от термоэлектронной и вторичной эмиссии.

Принцип работы электронно-лучевой сварки.

Принцип получения мощного электронного луча показан на рис.3. Электроны получаются с помощью термоэмиссии с нагретого катода (1). При этом катод находится под высоким потенциалом (на него подано отрицательное напряжение), так что электроны, покинувшие вследствие термоэмиссии катод, начинают отталкиваться от него и двигаться к аноду (3), находящемуся под нулевым потенциалом. В таком режиме работает диодная электронная пушка. Ее ток регулируется потоком термоэлектронов, т.е. накалом катода и потенциалом между катодом и анодом. Электронная пушка может быть по конструкции и триодом – т.е. иметь специальный электрод (2), регулирующий ток электронов. Этот электрод расположен в высоковольтной части пушки, на пути электронов, около катода и с помощью подачи на него отрицательного относительно катода напряжения можно частично или полностью запирает (уменьшает) ток луча. Такая конструкция предоставляет больше возможностей, но она, очевидно, сложнее в связи с тем, что необходимо дополнительное оборудование, расположенное под высоким (50-70кВ) потенциалом. В данной работе эксперименты проводились с триодной пушкой.

Далее после прохождения анода электронный луч, уже имеющий полную энергию, равную в электрон-Вольтах разности потенциалов между катодом и анодом проходит фокусирующую катушку (4) и систему развертки луча (5). Фокусирующая катушка создает фокусирующее магнитное поле, собирающее электроны на некотором расстоянии от среза пушки. Это позволяет сфокусировать луч на образце (6), так что вся энергия электронов выделится на очень маленькой площади. Система развертки создает поперечное магнитное поле, отклоняющее луч от вертикального направления. Тем самым появляется

возможность перемещать точку выделения энергии на образце. Обычно система развертки имеет 2 катушки – тогда возможно движение по двум координатам, или 4 катушки (2 комплекта по 2 катушки, установленные на некотором расстоянии) – такая система называется системой с двойным лучепреломлением и позволяет регулировать еще и наклон, с которым луч падает на образец.

При попадании электронного луча на поверхность металла из последнего выбиваются электроны, летящие в противоположном направлении в камеру. Поставленный на их пути датчик в форме диска, ось которого совпадает с осью пушки, выделяет сигнал, пропорциональный их количеству, и передает его в систему управления положением луча. Число отраженных электронов зависит от состояния и металла, из которого сделан образец. Их число максимально при гладкой поверхности металла, перпендикулярной лучу, и уменьшается, если луч пересекает неровности. При попадании луча в глубокие полости число вторичных электронов уменьшается практически до нуля.

При пересечении лучом стыка происходит скачкообразное изменение сигнала

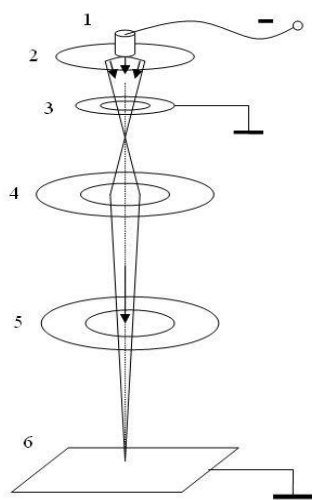


Рис. 3. Электронная пушка:
1 – катод, 2 – электрод, 3 –
анод, 4 – электромагнитная
линза, 5 – отклоняющая
катушка, 6 - образец

вторичных электронов. Положение этого импульса сравнивается с положением луча при отсутствии тока в отклоняющей системе и при необходимости автоматически корректируется в процессе сварки.

Приёмник отраженных электронов.

Для проведения эксперимента по изучению зависимости тока отраженных электронов от атомного номера на установке ЭЛС был дополнительно создан приемник отраженных электронов (рис. 4).

Установка уже была оборудована электродом для приема отраженных электронов. Он установлен на выходе тракта электронной пушки в вакуумную камеру на изоляционных стойках таким образом, что его контакт выведен на разъем. К этому разъему и подключалась созданная схема приемника. Она состоит из входного фильтра,

инструментального усилителя с регулируемым коэффициентом усиления и преобразователя питания, который обеспечивает описываемую схему гальванически изолированным питанием равным $\pm 15\text{В}$. Такое устройство позволяет избежать лишних помех, связанных с наличием разных земляных потенциалов в схеме.

Ток отраженных электронов поступает с электрода на шунт 1кОм . Току 10мкА соответствует напряжение на входе усилителя 10мВ . Емкость 100нФ , установленная параллельно шунту, отфильтровывает высокочастотные помехи, оставляя сигнал полосой около 1кГц . Далее сигнал поступает на специализированную микросхему инструментального усилителя INA118. Она специально предназначена для усиления дифференциальных сигналов и имеет регулируемый внешним резистором дифференциальный коэффициент усиления с ослаблением синфазного сигнала около 100дБ .

Соответственно, её применение позволяет практически полностью подавить входной шум, так как его воздействие одинаково на оба входа микросхемы. Коэффициент усиления во время эксперимента был равен 1000 и, в результате, мы получаем входной сигнал отраженных электронов с коэффициентом преобразования 1В/мкА и низким уровнем шумов, что позволяет провести более точные измерения.

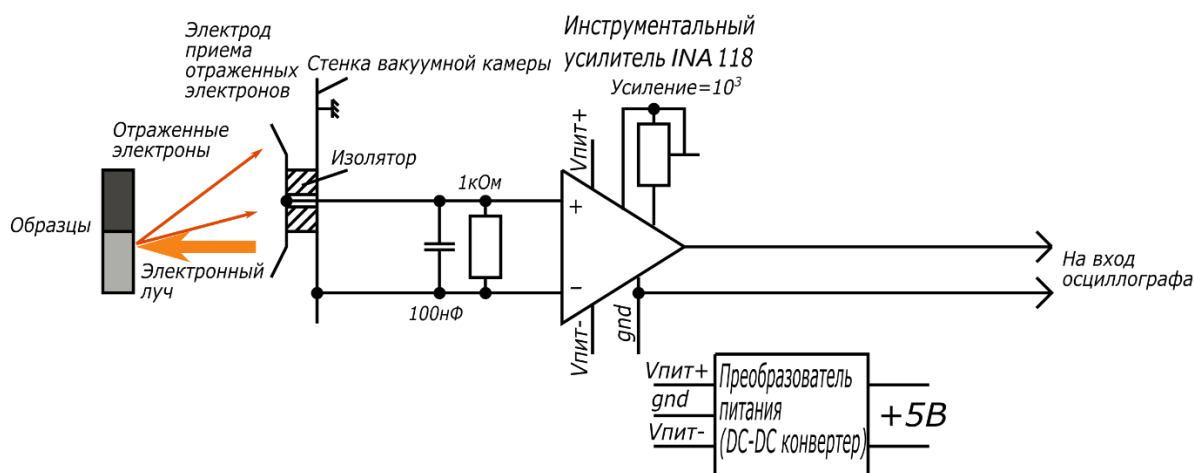


Рис. 4. Схема приёмника отраженных электронов

Эксперимент.

Для проведения эксперимента были взяты три образца металлов с разными атомными номерами: алюминий (Al), медь (Cu) и нержавеющая сталь. Имеющиеся материалы плотно приставлялись друг другу, закреплялись в данном положении и помещались в рабочий объем (рис. 5.). Амплитуда тока, подающегося на систему развёртки, и положение образцов были настроены таким образом, чтобы пучок проходил по поверхностям 2 образцов: на большее не хватало амплитуды развертки. На фотографии можно увидеть освещенное пятно, возникающее из-за нагрева катода. На его фоне справа видна линия развернутого в линию электронного луча. На остальных материалах свечение луча практически не видно. Это связано с тем, что крайний материал, алюминий, при попадании луча переизлучает часть энергии в видимом свете существенно сильнее, чем медь и сталь. Свечение же на них возникнет только при разогреве

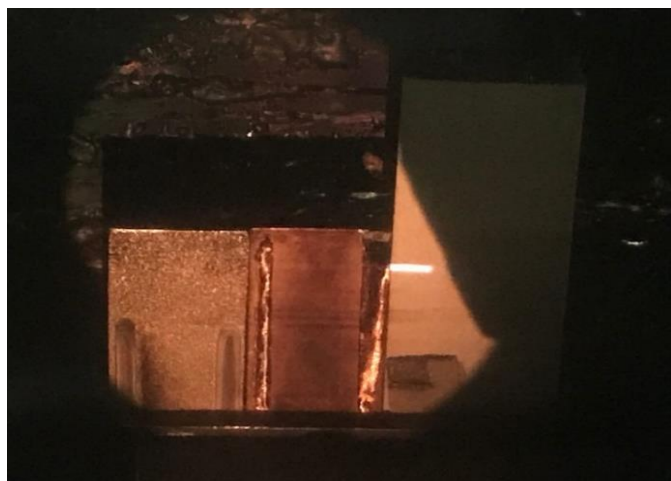


Рис. 5. Образцы, помещенные в рабочий объем, слева-направо: нержавеющая сталь, медь, алюминий

материала. В результате были получены осциллограммы, приведённая ниже на рис. 6. и рис.7. В них зеленый луч – это сигнал развертки луча: максимальное напряжения соответствует максимальному смещению вправо, минимальное - влево. Синий луч - это сигнал с датчика отраженных электронов.



Рис. 6. Полученная осциллограмма для алюминия и меди.

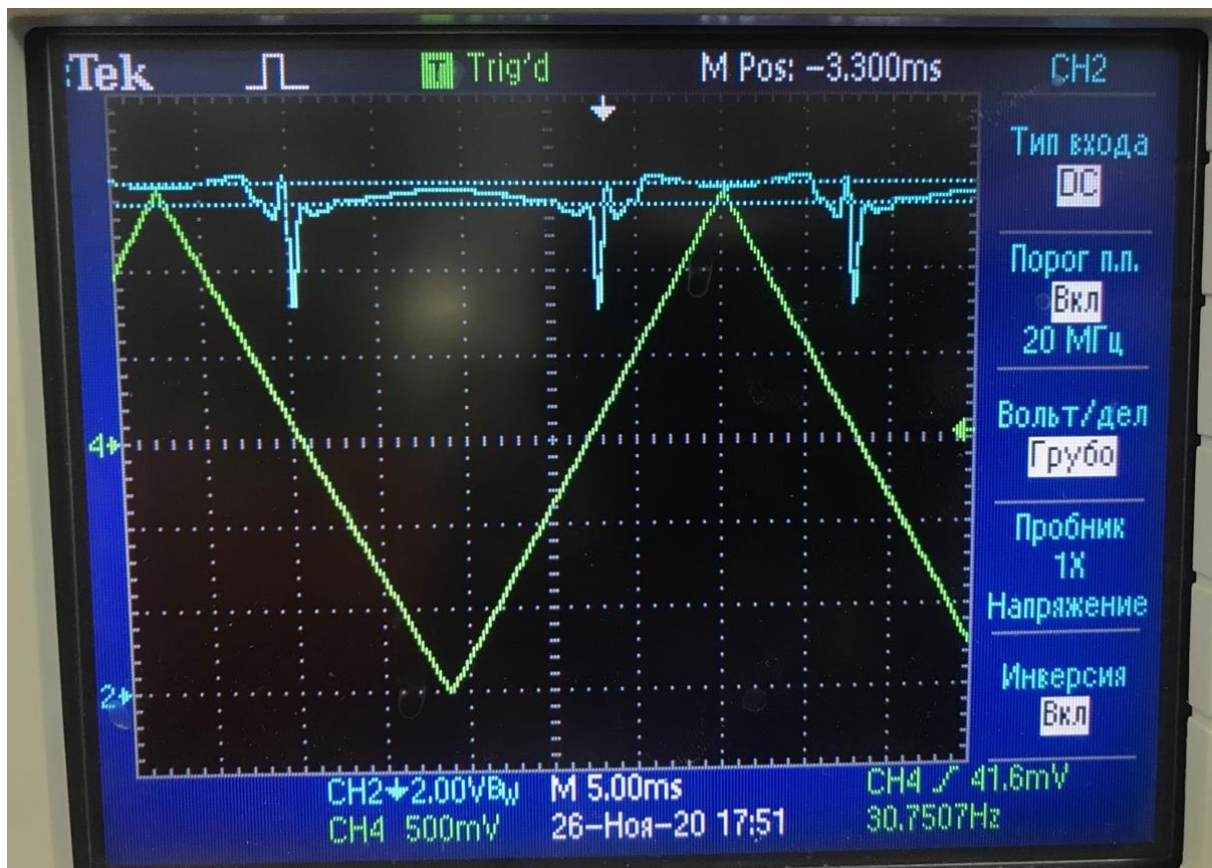


Рис. 7. Полученная осциллограмма для меди и стали.

По этим данным была составлена таблица 1. Для которой с помощью формулы:

$$U_{\text{вых}} = I_{\text{отр}} \cdot R_{\text{шунта}} \cdot K_{\text{усил}}, \quad (1)$$

был определен относительный уровень тока отраженных электронов. Можно заметить, что $U_{\text{вых}}$ пропорционально $I_{\text{отр}}$, поэтому можно рассматривать отношение напряжений. Таким образом, $U_{\text{вых}}/Z$ должно быть постоянным. Расчётные в таблице соотношения несколько не совпадают теорией. Это связано с качеством образцов и с тем, что средняя пластина была установлена неровно, и в результате электронный пучок при попадании на нее составлял некоторый малый угол с нормалью, что повлияло на результаты эксперимента (видна наклонная полочка при прохождении луча по материалу.).

Материал	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	Z	$U_{\text{вых}}/Z, \text{В}$
Алюминий	4	27	0,15
Медь	9,92	63	0,157
Нержавеющая сталь	9	58	0,155

Таблица 1. Вычисление соотношения $U_{\text{вых}}/Z$

Вывод.

В ходе работы была изучена зависимость выходного напряжения пропорционального току отраженных электронов от атомного номера вещества и была сконструирована схема, содержащая усилитель INA118 и служащая для уменьшения влияния помех при измерениях. Также я ознакомилась с основными принципами электронно-лучевой сварки.

Список литературы.

1. Сидоров, В. П. Электронно-лучевая сварка. Технологические особенности и оборудование: учеб. пособие / В. П. Сидоров, А. В. Мельзитдинова. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. – 96 с.: обл.

2. З. Шиллер, У. Гайзинг, З. Панцер. Электронно-лучевая технология: Пер. с нем.: Энергия, 1980.- 528 с.