

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕ-
ЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИС-
СЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет
Кафедра общей физики
Гурагат Александр Евгеньевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Исследование рассеивания отражённых электронов при сварке элек-
тронным лучом**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18352

Научный руководитель:

Сеньков Дмитрий Валентинович
Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума:

Костюрина Александра Георгиевна
Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин Виталий Тимофеевич
Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2019г

Аннотация

Основной целью данной работы являлось изучение рассеяния электронов при сварке электронным лучом, по которому можно определить плотность тока отраженных электронов, а также все неровности рельефа образца. Это может существенно упростить навигацию по образцу при управлении электронным пучком, а также такие эффекты, как отражение электронов, могут стать основой автоматизированной системы сварки электронным лучом.

В данной работе в качестве образцов были взяты медь, алюминий и нержавеющая сталь. Линейная развертка луча производилась треугольным сигналом, который генерировался микросхемой программируемой логики, для которой была разработана микропрограмма. Сигнал с датчика отраженных электронов наблюдался на цифровом осциллографе. Для увеличения соотношения сигнал-шум использовался метод накопления. В итоге выполнения данной работы, были получены токи отраженных разными материалами электронов, фиксируемые на электроде, и различные осциллограммы для образцов с разным рельефом.

Ключевые слова: электронный пучок, электронно-лучевая пушка.

Оглавление

Введение.....	4
Явления при воздействии пучком электронов на образец.....	4
Устройство и принцип работы электронно-лучевой пушки.....	6
Описание методики эксперимента	7
Эксперимент и обработка данных	8
Заключение	11
Список используемой литературы	12

Введение

Электронно-лучевая установка (ЭЛУ) при сварке позволяет получать более качественные и глубокие швы, чем те, которые возникают при обычной дуговой сварке. При этом затрачивается меньше энергии и расплавленный металл не насыщается газами, благодаря чему повышается его качество. Но данная технология подразумевает наличие рабочего объёма, в котором необходимо создавать вакуум с давлением около 10^{-2} Па. Также необходимо создавать вакуум 10^{-2} - 10^{-4} Па в камере электронной пушки. Создание данных условий может нести за собой некоторые трудности, что является отрицательной стороной данной технологии.

Также при нагреве с помощью электронного пучка значительная часть энергии может теряться при отражении электронов, что в общем случае является отрицательным эффектом, но данный эффект позволяет найти стыки между различными материалами и получить изображение рельефа. На данный момент в ИЯФ СО РАН находится в эксплуатации ЭЛУ, в которой управление положением электронного пучка относительно образца может осуществляться непосредственным управлением положения самого образца в рабочей камере или отклонением самого пучка электронов. Но для этого необходимо участие оператора. Однако, если удастся получить сигнал, зависящий от материала и неровностей на нём, можно будет написать программу, по которой будет осуществляться сварка или плавка металлов. Такой сигнал получается с помощью отражённых металлом электронов пучка, которые создают ток на электроде. Этот ток создаёт на подключённом резисторе напряжение, фиксируемое осциллографом. Таким образом полученная осциллограмма даёт достаточно полное представление о рельефе образца и материале, из которого он создан.

Явления при воздействии пучком электронов на образец

Как можно было заметить из текста выше, ЭЛУ условно можно разделить на две части: электронно-лучевую пушку и рабочий объем. В электронной пушке происходит генерация пучка и управление им. В рабочий объем поме-

щается сам образец, на который будет воздействовать данный пучок. При этом в месте встречи пучка с заготовкой (зоне действия пучка) помимо передачи энергии электронов 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. При этом также не учитывать потерю энергии от отражения электронов нельзя: 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).

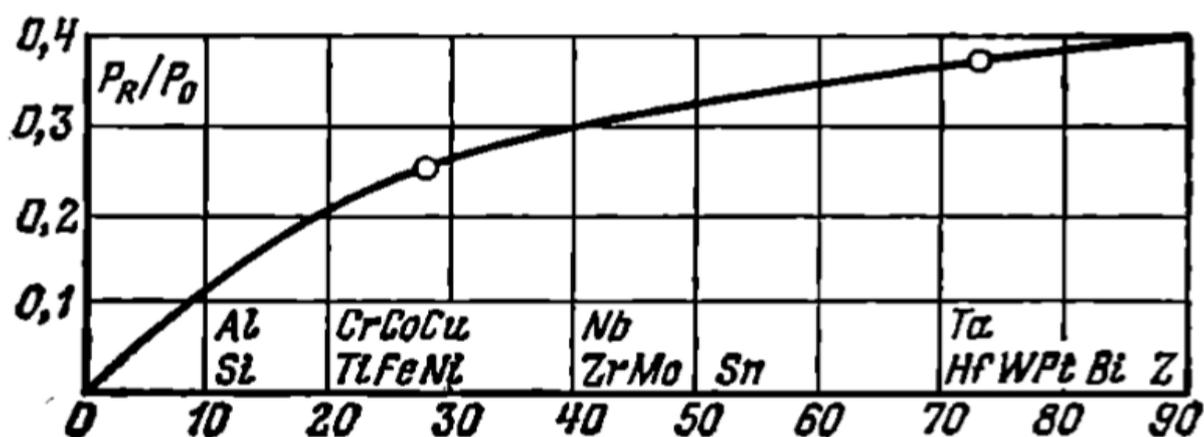
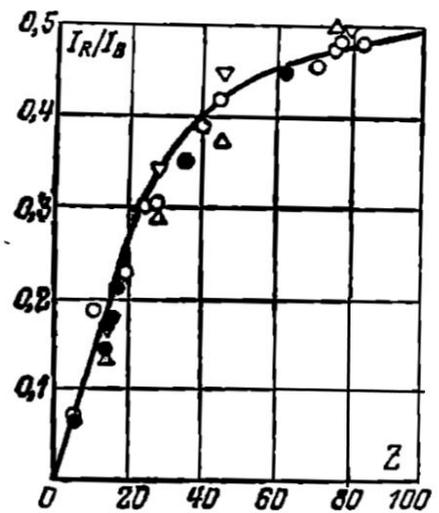
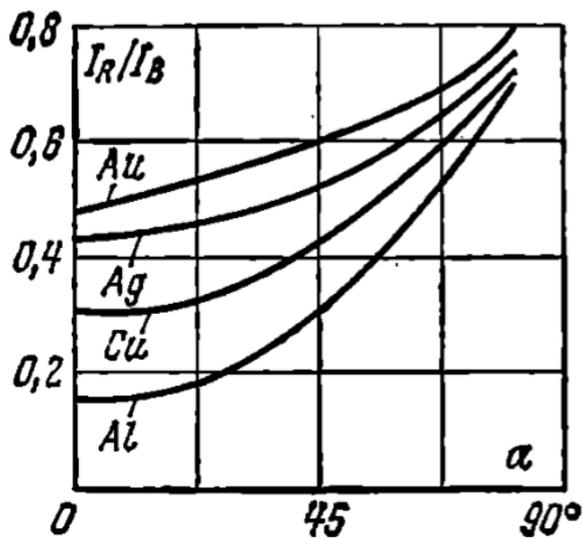


Рис. 1. Отношение мощности пучка отраженных электронов P_R к мощности свободных электронов P_0 в зависимости от атомного номера вещества

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 угла падения пучка и атомного номера вещества



Максимум интенсивности пучка

располагается в направлении, примерно подчиняющемся закону оптического отражения.

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

Устройство и принцип работы электронно-лучевой пушки

Электронно-лучевая пушка – это устройство, предназначенное для получения, ускорения и формирования в пучок свободных электронов. Составляющие электронно-лучевой пушки могут отличаться друг от друга по форме, но принцип работы остаётся неизменным (рис. 3). Так во всех пушках свободные электроны, как правило, образуются вследствие тепловой эмиссии на катоде (1), после чего ускоряются электрическим полем между катодом и анодом (2). При ускорении они набирают энергию, после чего под действием электростатических и (в редких случаях) магнитных полей собираются в пучок (5) генератором пучка (3). Управление этим пучком производится посредством двух магнитных полей, создаваемых системой развертки (4). Там пучок может отклоняться по вертикали и горизонтали, в зависимости от уровня тока, поданного на систему развёртки. При этом по значению тока можно определить местонахождение (зону действия пучка) в определённый момент времени.

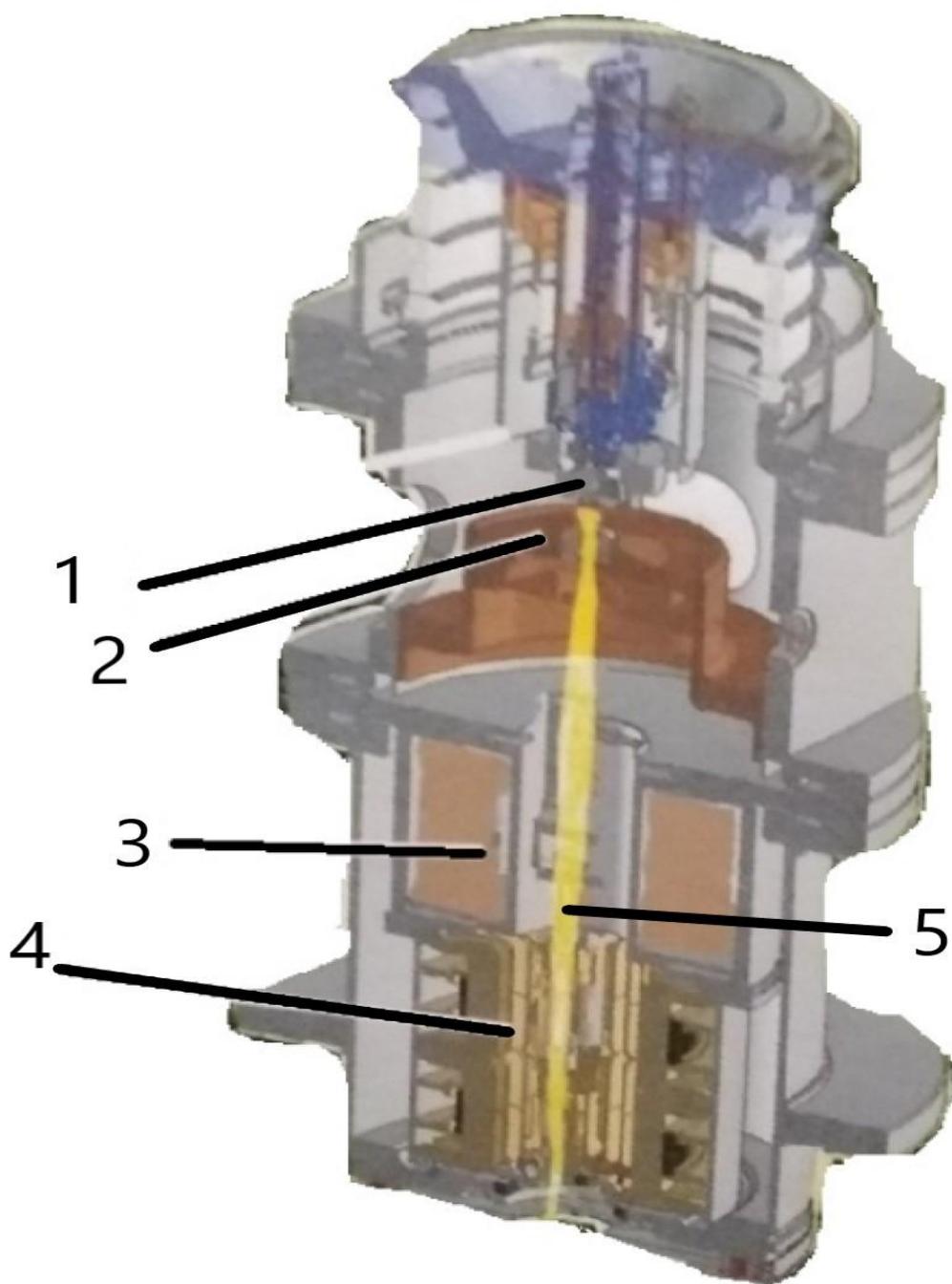


Рис. 3. Электронно-лучевая пушка в разрезе, где 1 - катод; 2 - анод; 3 – генератор пучка; 4 – система развертки; 5 – электронный пучок

Описание методики эксперимента

Отклонение пучка электронов может происходить с помощью непосредственной подачи тока на систему управления. В зависимости от силы поданного тока будет меняться расстояние, на который отклонится пучок. При этом между этими параметрами будет прямо пропорциональная зависимость. Таким обра-

зом, зная силу поданного тока, можно рассчитать это расстояние, а, измерив максимальное отклонение пучка и максимальный ток, поданный на систему развёртки, несложно посчитать коэффициент пропорциональности.

Ток отраженных от образца электронов принимается электродом в форме диска, ось которого совпадает с осью пушки. При отсутствии неровностей в зоне действия пучка максимальная интенсивность также будет совпадать с этой осью. Когда пучок будет направлен на неровность образца, угол падения пучка, а также, согласно законам оптического отражения, положение максимальной интенсивности пучка отраженных электронов будут меняться. Причём при попадании пучка на выпуклость или вогнутость образца этот ток сначала будет резко уменьшаться (угол падения пучка становится близким к 90° , из-за чего максимальная интенсивность пучка будет образовываться с нормалью достаточно большой угол, и на электрод будет попадать значительно меньше электронов, чем при отражении поверхностью без рельефа), а по приближении к центру данных неровностей ток будет увеличиваться. Таким образом, по характерному сигналу на осциллограмме может быть найдена неровность. Также по различному уровню токов отраженных электронов можно определять границы между разными материалами. При проведении эксперимента ток, принимаемый электродом, течет через присоединённый резистор, напряжение на котором измеряется осциллографом. Этим же осциллографом фиксируется ток, который подаётся на систему управления. Таким образом сопоставляется положение зоны действия пучка и попавший на электрод ток отраженных электронов.

Эксперимент и обработка данных

В качестве образцов на которых проводилось исследование были взяты медь (Cu), алюминий (Al) и нержавейка. Эти образцы плотно приставлялись друг к другу и закреплялись зажимами (рис.4) после чего помещались в рабочий объём.

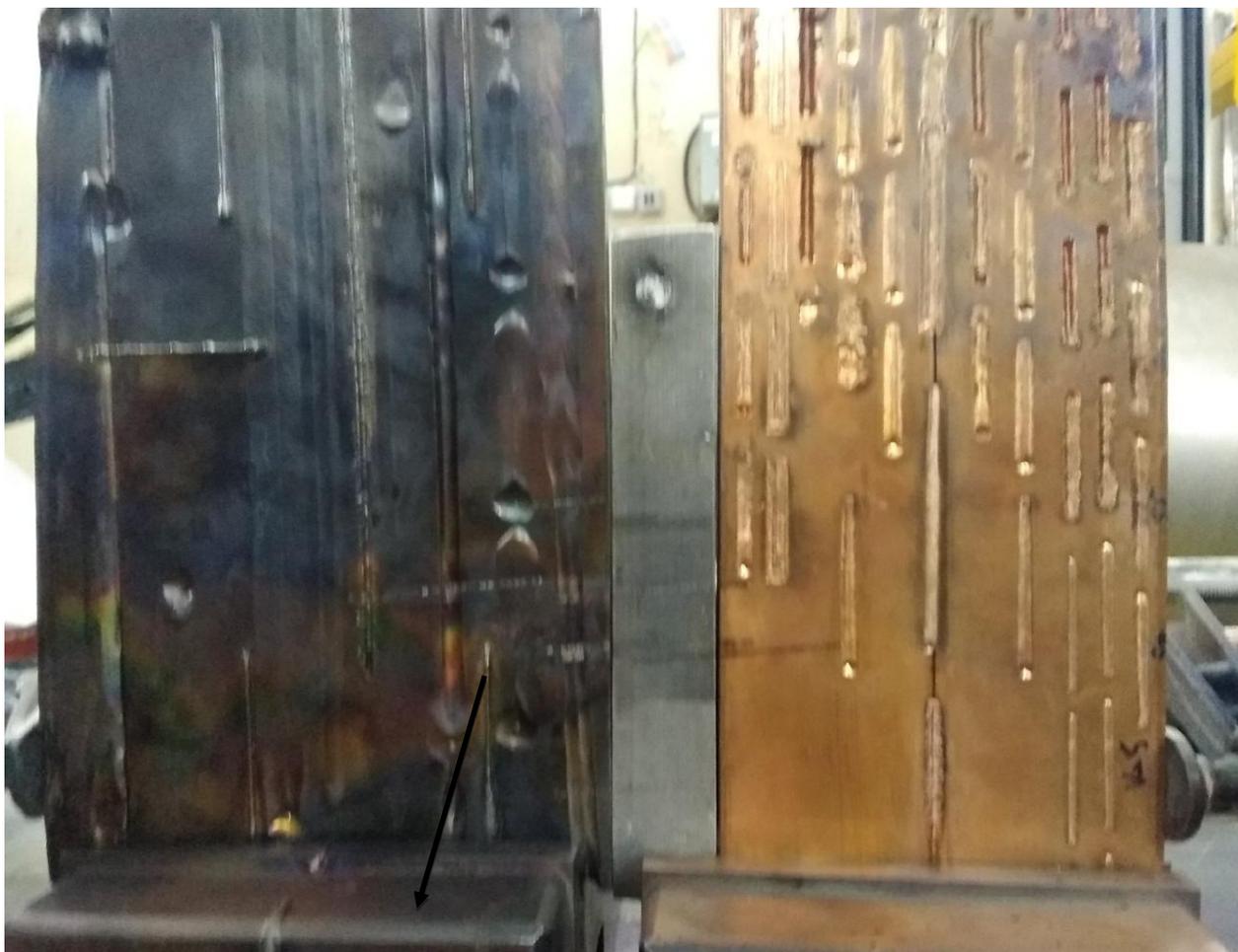


Рис. 4. Образцы слева-направо: нержавейка, алюминий, медь

Амплитуда тока, подающегося на систему развёртки, и положение самих материалов были настроены таким образом, чтобы пучок за период треугольного сигнала проходил по поверхностям всех образцов. Ток пучка при этом составлял 4 мА. Так была получена осциллограмма, по которой можно определить уровень тока отражённых электронов для каждого материала (рис. 5). Для увеличения соотношения сигнал/шум при снятии осциллограмм использовался метод накопления, в котором усреднялись 64 последовательно снятых осциллограммы.

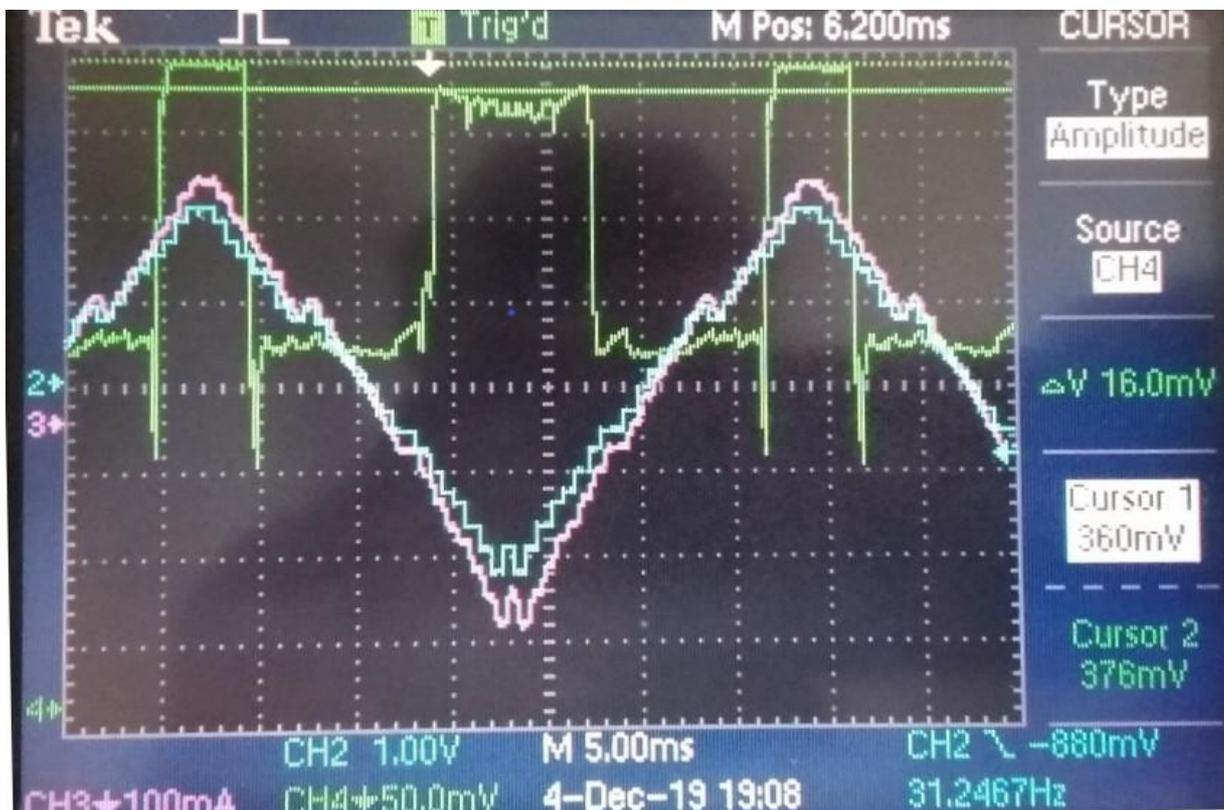


Рис. 5. Напряжение на электроде, возникшее вследствие попадания на него отражённых электронов

По ней была составлена таблица для вычисления отношения I_R/I_B . Следует отметить, что полученные в таблице соотношения не совпадают с данными, представленными на рис. 2. Это связано с тем, что в данной работе рассматривается лишь ток, проходящий через электрод в то время, как на рис. 2 представлено отношение полного тока отражённых электронов, рассеивающихся по всей передней полусфере, к току свободных электронов

Таблица. Расчёт отношения I_R/I_B

Материал	I_B , А	I_R , А	I_R/I_B	Z(атомный номер вещества)	R(на электроде), Ом	U(на электроде), В
Медь (Cu)	0,004	0,0000188	0,0047	63	20000	0,376
Нержавеющая сталь	0,004	0,000018	0,0045	56	20000	0,36
Алюминий(Al)	0,004	0,0000105	0,00263	27	20000	0,21

Чтобы показать зависимость сигнала от неровностей образца использовалась поверхность нержавейки. Было зафиксировано амплитудное отклонение

электронного пучка. Таким образом был найден коэффициент пропорциональности между током, подающимся на систему развёртки, и отклонением пучка $k = 7 \text{ см/А}$. Также было изменено положение образца так, чтобы положение не отклонённого пучка совпадало с положением средней вогнутости (показана на рис.4 стрелкой). Таким образом была получена осциллограмма следующей формы (рис.6). Неровности на осциллограмме показаны стрелками.

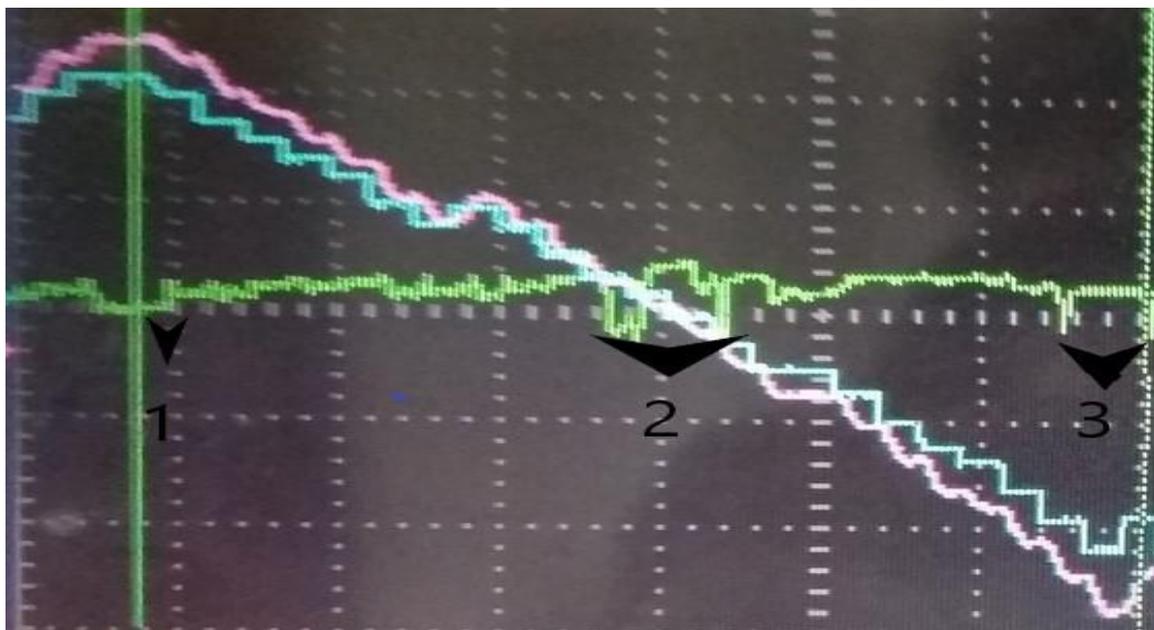


Рис. 6. Изображение неровностей рельефа, полученное с помощью отражённых электронов

Как уже отмечалось выше уровень тока отражённого пучка на неровностях сначала резко падает потом, приближаясь к центру неровности, увеличивается, после чего снова можно наблюдать резкое падение. По такой форме кривой на осциллографе и коэффициенту k нетрудно определить положение неровностей.

Заключение

В данной работе было получено отношение тока отраженных электронов, фиксируемых на электроде, к току свободных электронов, эмитируемых ЭЛП для некоторых образцов (медь, алюминий, нержавеющая сталь). Это отношение составило $I_R/I_B(\text{Cu}) = 0,0047$; $I_R/I_B(\text{Al}) = 0,00263$; $I_R/I_B = 0,0045$ - для нержавеющей стали. Также был описан способ определения положения некоторых неровностей с помощью эффекта отражения электронов.

Список используемой литературы

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