

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА

ГНУ «ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В.И. НИКИТИНА»

На правах рукописи

МИРШАРИФ МАДЖИДИ

**ВЛИЯНИЕ МИКРОСЕЙСМ НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЯ
МАРКИ А99 И СПЛАВА Pb+0.03Ag**

2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Душанбе – 2024

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана»

Научный руководитель: Эшов Бахтиёр Бадалович - доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина Национальной Академии наук Таджикистана»

Официальные оппоненты: Амонзода Илхом Темур - доктор технических наук, и.о. профессор кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и оборудования» Таджикский технический университет им. М. Осими.

Ведущая организация: Курбонова Мукаддас Завайдовна – кандидат химических наук, доцент, заведующая кафедрой «Методики преподавания химии», химического факультета Таджикского национального университета. Горно-металлургический институт Таджикистана, Кафедра «Металлургия»

Защита состоится «9» 12. 2024 г. в 10³⁰ часов на заседании диссертационного совета при Институте химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: dissovet@ikai.tj

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ГНУ «Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана» www.chemistry.tj

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук

Холикова Л. Р.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Решение проблем разработки новых материалов, изделий и конструкций, в частности на основе металлов, играют доминирующую роль в обеспечении новой техникой и технологиями различных отраслей промышленности и сельского хозяйства. В последние годы вопросы формирования физико-механических металлических свойств материалов при воздействии на них внешних природных и техногенных факторов на стадии получения отливок стали весьма актуальными. Такие внешние факторы, как температура, давление, вибрации, имеют особое значение для формирования физико-механических свойств металлов с заданными характеристиками.

Вибрационные методы находят все большее применение в совершенствовании технологических процессов промышленного производства металлических изделий с заданными физико-механическими свойствами. Вибрации могут в значительной степени влиять на твёрдость, прочность, упругость, пластичность, электропроводность, коррозионную стойкость, теплоёмкость, оптическую отражательную способность и др. В частности, вибрации, действующие на стадии затвердения расплавов металлов, при определённых условиях приводят к измельчению структуры металлов, облегчению дегазации слитков, изменению характера ликвации и, тем самым, к улучшению механических характеристик. Но при очень интенсивных внешних воздействиях вибрации приводят к обратному эффекту – к разуплотнению и разупрочнению отливок.

За исключением единичных работ все многочисленные исследования, посвящённые изучению процессов формирования физико-механических свойств отливок под действием искусственных вибраций на стадии кристаллизации их расплавов, выполнены без учёта естественных микросейсм Земли. Настоящая диссертационная работа посвящена изучению влияния именно микросейсм Земли на формирование физико-механических свойств металлов на стадии кристаллизации отливок из расплавов. Был изучен ряд свойств отливок материалов, полученных из расплавов при действии и при изоляции от микросейсм.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с положениями государственного акта «Стратегия развития промышленности в Республике Таджикистан на период до 2030 гг.».

Целью настоящей работы является разработка новых технологий получения металлических материалов на основе сплава Pb+0.03Ag и алюминия марки А99 с улучшенными физико-механическими свойствами в условиях воздействия микросейсм Земли на стадии кристаллизации.

Научная новизна работы:

- Установлены параметры кристаллической структуры сплава Pb+0.03%Ag в условиях влияния микросейсм Земли и изоляции от них в процессе затвердевания его расплава. Обнаружено совпадения всех параметров кристаллической структуры в условиях изоляции от микросейсм с международной базой данных, чего не обнаружено при воздействия микросейсм.

•Изучением влияний микросейсм Земли и изоляции от них выявлены основные характеристики поверхностной структуры алюминия марки А99 и сплава Pb+03%Ag. Выявлено, что толщина оксидной пленки в случае изоляции от микросейсм в 2 раза меньше, чем при воздействии микросейсм. Обнаружено снижение удельного электрического сопротивления оксидной плёнки образцов с меньшей окислённостью по сравнению с образцами с большей окислённостью.

•Установлены закономерности изменения теплофизических характеристик алюминия марки А99 и сплава Pb+03%Ag в процессе кристаллизации их расплава в условиях воздействия микросейсм Земли и при изоляции от них, заключающийся в том, что для алюминия марки А99 при воздействии микросейсм коэффициент конвективного теплообмена уменьшается, а теплового излучения – растет. Для сплава Pb+0.03%Ag под воздействием микросейсм наблюдается увеличение коэффициента теплоотдачи.

•Определением влияния микросейсм Земли на изменения твердости, прочности на растяжения алюминия марки А99 и сплава Pb+0.03%Ag при кристаллизации их расплавов выявлено, что твердость образцов уменьшается от 3 до 30% , а прочность на растяжение – на 15%.

•Разработан способ получения отливок путём изоляции от микросейсм.

•Создана установка для изоляции от микросейсм.

Для достижения цели были решены следующие научные задачи:

– проведен рентгенофазовый анализ кристаллической структуры сплава Pb+0.03Ag, полученного в условиях действия микросейсм и изоляции от них;

– определена твердость сплава Pb+0.03Ag и алюминия марки А99;

– исследована прочность на растяжение образцов сплава Pb+0.03Ag;

– измерена электропроводность оксидного слоя сплава Pb+0.03Ag;

– определена температурная зависимость теплоёмкости и изменения термодинамических функций алюминия марки 99 и сплава Pb+0.03Ag;

– выявлены различия в оптической отражательной способности образцов, полученных условиях действия микросейсм и изоляции от них;

Практическая значимость работы:

• Определена твёрдость сплава Pb+0,03%Ag и алюминия марки А99, в результате которой во всех образцах, полученных в условиях изоляция от микросейсм, выявлено повышение твердости в пределах 3-30%. Исследованием прочности образцов на растяжение установлено, что при изоляции от микросейсм в среднем, примерно на 15% увеличивается прочность.

• Установлено влияние микросейсмического воздействия на теплофизические свойства сплава Pb+0.03%Ag, а также и на кинетические и теплофизические параметры отливок алюминия марки А99.

• С помощью фотоснимков поляризационного микроскопа МРО-401 и Imager m2M установлен рост оптической отражательной способности образцов, полученных в условиях изоляции от микросейсм.

- Полученные результаты дают возможность разрабатывать новые сплавы с высокими эксплуатационными характеристиками.
- Налажено производство опытных образцов аккумуляторных клемм из разработанного сплава Pb+0.03%Ag.
- Получен малый патент Республики Таджикистан №ТJ 935 от 10.01.2018 г. (способ получения отливок путём изоляции от микросейсм).
- Опытные промышленные испытания образцов проведены в ГУП «Коргохи машинасози».

Теоретическая значимость работы:

Обнаружено, что ряд физико-механических свойств материалов из металлических отливок в существенной степени зависят от влияния микросейсм Земли, действующих на стадии кристаллизации их отливок. Относительно малое отклонение от показателей международного стандарта параметров кристаллической структуры металлических отливок, полученных в условиях действия микросейсм Земли на стадии кристаллизации расплава, приводит к существенным изменениям ряда физико-механических свойств отливок.

Методы исследования.

Для проведения экспериментов использованы: метод рентгенофазового анализа (ДРОН-3 с программным управлением), метод «охлаждения» для определения теплоемкости, стандартные методы определения твердости (ТШ-2М) и прочности на растяжение (ZDM-50t, Германия). Измерение толщин оксидной пленки сплава Pb+0.03%Ag проведено на приборе Imager m2M, MPO – 401. Также создана установка для изоляции от микросейсм (на основе сейсмического датчика марки Mark-L4-C-3D, Германия).

Основные положения, выносимые на защиту:

- Результаты исследования влияния микросейсм Земли на процесс кристаллизации и формирование структуры алюминия марки А99 и сплава Pb+0.03%Ag.

- Закономерности изменения теплофизических свойств алюминия марки А99 и сплава Pb+0.03%Ag под влияния микросейсм Земли и при изоляции от них.

- Рентгенофазовый анализ кристаллической структуры сплава Pb+0.03%Ag в условиях влияния микросейсм Земли и изоляции от них в процессе кристаллизации их расплава.

- Результаты исследования влияния микросейсм Земли на изменения твердости, прочности на растяжение образцов алюминия марки А99 и сплава Pb+0.03%Ag.

Личный вклад автора заключается в анализе литературных источников, организации условий и решении задач исследований, подготовке и проведении экспериментальных исследований, анализе полученных результатов в контексте основных положений, а также формулировке основных научных положений и выводов диссертации.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Основные положения диссертации обсуждались: на межд. науч.-практ. конф. «Сейсмическая безопасность стран Центральной Азии» -

Институт геологии сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан, Душанбе, 2016; межд. науч. конф. «Роль молодых ученых в развитии науки, инноваций и технологий» - ТНУ (Душанбе, 2016); респ. конф. «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых» - Горно-металлургический институт Таджикистана, Бустон, 2017; респ. научно-практ. конф. «Вклад молодых ученых в инновационное развитие Республики Таджикистан» - Технологический университет Таджикистана, Душанбе, 2017; респ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы разработки горно-металлургической и энергетической отрасли Республики Таджикистан» - Горно-металлургический институт Таджикистана, Бустон, 2018; межд. науч.-практ. конф. «Перспективы использования материалов, устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан» - Институт химии им. В.И. Никитина, Душанбе, 2018; респ. науч.-практ. конф. с межд. участием «Современные проблемы геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Таджикистана», Душанбе, 2019; межд. науч.-практ. конф. «Инновация-2021», г. Ташкент, Узбекистан 2021; межд. науч.-практ. конф. «Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии и разработки месторождений полезных ископаемых Республики Таджикистан и сопредельных территорий» (ТНУ), Душанбе 2021; межд. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы геологии, инновационные методы прогнозирования, добычи и технологии обогащения полезных ископаемых», ГУ «ИМР» Ташкент, 2022; Журналы, Наука и инновация. Серия геологических и технических наук (ТНУ), Душанбе, 2023; межд. науч.-практ. конф. «Наука и образование: тенденции развития в условиях информационного общества», (ТНУ), Душанбе, 2023.

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 2 статьи в научных журналах, включенных в базу данных РИНЦ, 11 статей в материалах международных и республиканских конференций. Получен малый патент Республики Таджикистан (№ ТЈ 935 от 10.01.2018 г.).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и приложения. Диссертация изложена на 119 страницах компьютерного набора, включает 48 рисунков, 20 таблиц, 137 библиографических наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, сформулированы основные защищаемые положения, представлены научная новизна и прикладное значение полученных результатов, приводятся общая характеристика и описание структуры диссертации, а также сведения об её апробации, указан личный вклад автора.

В первой главе дан «Обзор исследований по изучению влияния внешних факторов на формирование физико-механических свойств металлов» - состоящий из четырёх разделов, где рассмотрены результаты

изучения воздействий параметров окружающей среды на технологические процессы с целью получения новых материалов и образцов на их основе. Заметная роль уделяется показателям этих воздействий. К внешним воздействиям отнесены температура, давление, шум, вибрации, микросейсм, которые играют основополагающую роль на стадии формирования физико-механических свойств и структур металлов в процессе кристаллизации.

Для получения материалов с улучшенными качествами применяют различные методы, в т.ч. вибрационные методы интенсификации технологических процессов, которые в последнее время применяют все больше в производственном процессе. Вибрационные воздействия в процессе затвердевания расплавов приводят к измельчению структуры исследованных металлов, облегчению дегазации, изменению характера ликвации, изменениям скорости кристаллизации, что оказывает непосредственное влияние на кристаллическую структуру получающихся отливок и, соответственно, на их физико-механические свойства.

Влияние искусственных вибраций в широком диапазоне частот и с разными амплитудами на процесс формирования материалов путём кристаллизации их из расплавов оказывается весьма разнообразным и приводящим к большому разнообразию получающихся материалов, чем можно объяснить широкое применение вибраций в этих технологических направлениях. Обширный опыт исследования воздействия вибраций, как на структуру, так и на характеристики разработанных материалов, имеющихся к настоящему времени в научной литературе, убедительно указывает на то, что вибрационные нагрузки заметным образом воздействуют на такие свойства как твёрдость, прочность, упругость, пластичность, электропроводность, коррозионная стойкость, теплоёмкость и многие другие.

Во второй главе приведена методика исследований, сведения об аппаратуре и оборудовании, применённых в работе. Измерения колебаний поверхности грунта, на котором располагались гипсовые литейные формы, производилось одиночной переносной широкополосной сейсмической станцией 45 EDL с 24-битной системой записи информации и короткопериодным (1 Гц) сейсмическим датчиком Mark-L4-C-3D. Калибровочный коэффициент измерения станции $K = 1$ вольт/сантиметр.

По результатам измерений определялась максимальная скорость колебаний грунта от работающего оборудования, для зарегистрированных записей с применением программного комплекса SeisCom-3 строились спектры Фурье, для точек стоянки буровой установки вычислялось также соотношение горизонтальных колебаний к вертикальным H/V.

По отношению горизонтальных колебаний к вертикальным (H/V ratio), известному как метод Накамура (Nakamura's technique, 1989), определялись уровни микросейсм поверхности Земли.

Для изоляции от микросейсм применялось приспособление для изоляции кокилей от микросейсм Земли.

Для применения способа получения отливок была изготовлена плотная демпфирующая прокладка толщиной 28 см и площадью 40 см x 80 см, прижимаемая сверху металлической тяжёлой плитой толщиной 2 см и такой

же площади. Данное устройство дает возможность снизить уровень микросейсм в несколько раз по сравнению с микросейсм на бетонном полу без использования демпфирующей прокладки и тяжелой плиты. На верхнюю поверхность прокладки устанавливались кокили для плавления образца.

Сплав Pb+0,03%Ag расплавляли в муфельной печи при температуре 350°C. Расплав заливается в кокиль и охлаждается при комнатной температуре. В случае изоляции от микросейсм одновременно определялась частота и амплитуда микросейсм с помощью переносной стандартной широкополосной сейсмической станции 45 EDL с 24-битной системой записи информации, снабжённой короткопериодным (1 Гц) сейсмическим датчиком Mark-L4-C-3D. В результате получают образцы отливок Pb+0,03%Ag и алюминия А99 для дальнейшего их испытания и определения их физико-механических свойств.

Экспериментальная установка включает следующие элементы: специальную литейную гипсовую форму, кокиль для расплава и отливки материала, постамент, демпфирующую прокладку, тяжелую плиту, сейсмический датчик Mark-L4-C-3D (рисунок 1).

Применялась следующая технология плавки и заливки опытных образцов из алюминия марки А99 и сплава Pb+0,03%Ag.

Чтобы определить изменения в физико-механических свойства алюминия и свинцовых сплавов в случае микросейсмического воздействия выбран алюминий марки А99 и сплав Pb + Ag 0,03%. Определялось состояние кристаллизации расплава, который заливался в формы. Все выполненные операции были рассчитаны при нормальных физических условиях.

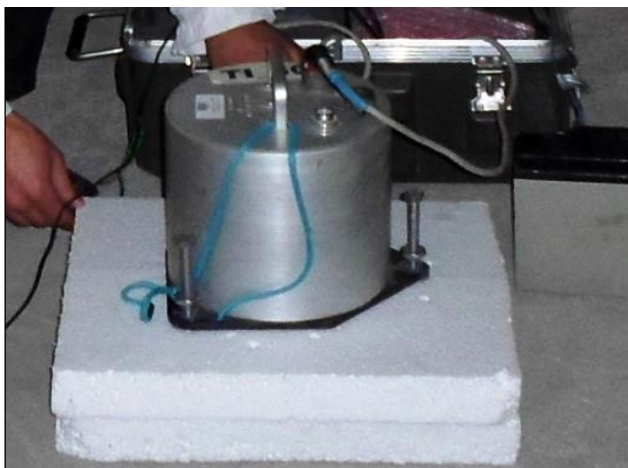


Рисунок 1. Аппарата сейсмического датчика Mark-L4-C-3D.

Аппаратура для определения теплофизических свойств металлов

Принципиальные подходы к измерению теплоемкости исследуемых материалов и конструкций на их основе включают в себя процесс, в котором указывается, что тепловой поток, который проходит через средние сечения тепломеров, расходуется на процесс разогрева исследуемых образцов, а также и ампул. Значение величины теплового потока, который проходит сквозь тепломер, может быть оценено по значению величины перепада

температур на самом тепломере, а также и теплопроводности тепломера, которые будут определены из независимых проводимых экспериментов с образцом из меди. В этом случае значение величины погрешности методики составляет не менее 6%. К недостаткам данной методики, а также и установки, можно отнести тот факт, что шаг температуры имеет значение 25°C , т.е. каждые 25°C (т.е. через каждые 5 - 10 минут) можно получить результаты определения теплоемкости испытуемых твердых тел с ограничением верхнего предела температуры до 400°C .

Методы измерения теплоемкости образцов, основанные на процессе нагревания, являются весьма трудоемкими. Точность измерения теплоемкости при этом может зависеть от таких факторов, как правильное поддержание заданных рабочих режимов самого прибора, скорости нагрева, а также минимальной разности температур в случае, когда устанавливаются адиабатические условия нагрева исследуемого образца в виде стакана и т.д.

Третья глава посвящена влиянию микросейсм Земли на формирование структуры и физико-механические свойства алюминия марки А99 и сплава $\text{Pb}+0,03\%\text{Ag}$, экспериментальным результатам по изучению влияния микросейсм Земли на формирование структуры и физико-механических свойств алюминия марки А99 и сплава $\text{Pb}+0,03\%\text{Ag}$ на стадии кристаллизации отливок и дана их интерпретация.

С целью определения закономерностей влияния слоя оксидной плёнки сплава $\text{Pb}+0,03\%\text{Ag}$ на её электропроводность в зависимости от действия микросейсм использованы как теоретические, так и прикладные характеристики фундаментальных подходов к решению поставленной проблемы.

Для определения удельной электропроводности были испытаны 4 образца из свинца: 2 – в условиях изоляции микросейсм и 2 – без изоляции.

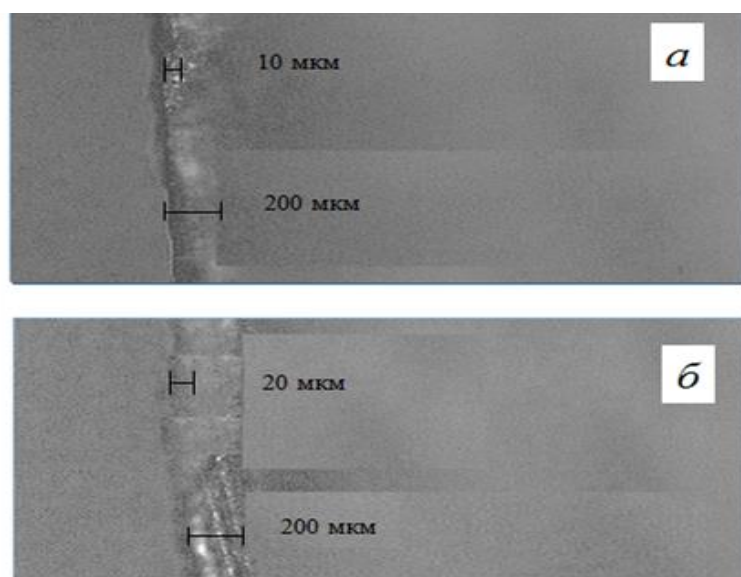


Рисунок 2. Фотоснимки поперечного сечения срезов свинцовых образцов в условиях действия микросейсм (а) и изоляции от микросейсм (б).

Для выявления микроструктуры испытываемых образцов сделаны снимки поперечных срезов торцов брусков с помощью микроскопа Imager m2M с увеличением в $\times 16$ раз. Значения абсолютных погрешностей измерений находятся в пределах ± 0.1 мкм в диапазоне от 1 до 10 мкм по

порядку величины. На рисунке 2 приведены фотоснимки срезов 2-х образцов, полученных в условиях изоляции от микросейсм (рисунок 2а) и без неё (рисунок 2б). Видны явные различия в строении и геометрических размерах неоднородностей на поверхностях образцов. В образце, полученном в условиях изоляции от микросейсм (а), толщина оксидной плёнки почти в 2 раза меньше, чем в образце (б).

Соответственно степень зернистости оксидного слоя во 2-ом случае больше. Оценки удельного электрического сопротивления (УЭС) оксидной плёнки образца, полученного в условиях изоляции от микросейсм для средней толщины 20 мкм по стандартной методике, составила 35,7 Ом·м, а в условиях без изоляции – 18,1 Ом·м (для сравнения – удельное электрическое сопротивление чистого свинца равно $20,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м).

Снижение удельного сопротивления более образцов, полученных в условиях изоляции от микросейсм (а), на наш взгляд, свидетельствует о меньшей зернистости поверхности, что подтверждают оптические наблюдения за отражательной способностью образцов, а также – о меньшей её окисленности. Соответственно, в случае влияния микросейсм (б) зернистость и степень окисленности, а также УЭС оказались большими.

Для рассмотрения действия микросейсм на формирование УЭС свинцового сплава были изготовлены 6 образцов в виде проволоки длиной 1 м и диаметром порядка 1 мм. Проволока из исходного материала укладывалась в зигзагообразные бороздки в готовую гипсовую форму толщиной 1 см, расположенную поверх керамической основы толщиной 2,5 см. В эту устанавливалась спираль электропечи. Образцы доводились до расплавленного состояния при температуре около 350°C , на что требовалось 30 мин. После выключения печи 3 первых образца остывали на бетонном основании, в условиях влияния микросейсм, а 3 другие – на толстом металлическом постаменте, изолированном от пола с помощью прокладок из плотной резины толщиной 5 мм и пенопласта толщиной 2 см. Таким образом, в первом случае обеспечивалось наиболее полное действие микросейсм а во втором – достигалась относительная изоляция от них. Уровень микросейсм контролировался с помощью виброметра. При изоляции ускорения микросейсм составили $0,26 \text{ м/с}^2$, а без изоляции почти в три раза больше – $0,77 \text{ м/с}^2$.

Далее с помощью тестера производилось измерение электрического сопротивления (R) каждого образца и с помощью цифрового штангенциркуля – диаметры полученных проволок d , которые имели некоторый разброс от 1,5 мм до 1,7 мм, в среднем составили 1,6 мм УЭС образцов определялись по известной формуле;

$$\rho = R \frac{\pi d^2}{4l}, \quad (1)$$

где длина образцов $l = 0,9 \text{ м}$.

Таблица 1. Результаты измерений удельного электрического сопротивления

№	ρ при изоляции от микросейсм, $\times 10^6$ Ом·м	ρ без изоляции от микросейсм, $\times 10^6$ Ом·м	Различия ρ , %
1.	1.80	1.90	10
2.	1.75	1.90	15
3.	1.80	1.95	15

Как показывают данные таблицы 1, действие микросейсм приводит к увеличению УЭС на 10% - 20%. Действия микросейсм, несмотря на малые их амплитуды, определяемые с помощью высокочувствительных виброметров, приводят к существенному росту УЭС. Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. Микросейсмы несколько искажают кристаллическую решётку и этого достаточно, чтобы электроны проводимости испытывали от столкновений с ней большее сопротивление своему движению, чем при движении при изоляции от микросейсм. Из-за некоторого нарушения кристаллической структуры образцов и из-за более толстой оксидной плёнки образцов, подвергнувшихся действию микросейсм, УЭС таких образцов имеют наибольшее значение.

Для оценки роли оксидной плёнки в УЭС рассмотрим коаксиальную трубку диаметром d , в которой внутренний диаметр плёнки равен d_0 (рис. 3). УЭС плёнки – ρ_0 , внутреннего проводника – ρ .

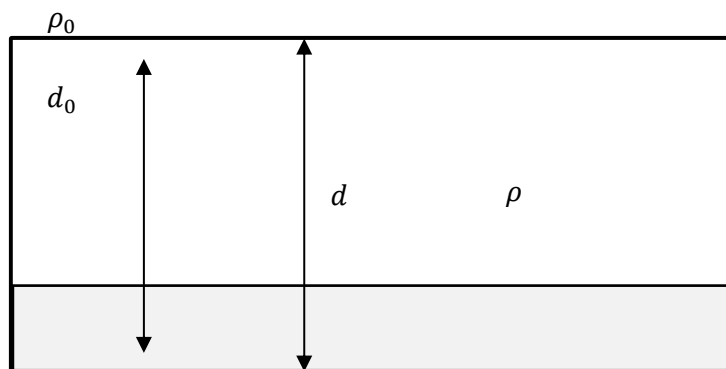


Рисунок 3. Схема коаксиальной трубки.

В соответствии с законами электрических явлений, на основании определения УЭС, приняв во внимание параллельность подключения электрических проводников внутренней части образцов и плёнки можно получить следующее выражение для эффективного УЭС:

$$\rho_{\text{эфф}} = \frac{4l\rho\rho_0}{\pi d^2 \left[\rho \left(1 - \frac{d_0^2}{d^2} \right) + \rho_0 \frac{d_0^2}{d^2} \right]} \quad (2)$$

Сравнение этого выражения с выражением для УЭС сплошной проволоки диаметром d и УЭС, равным ρ , – аналогом образца, полученного при изоляции от микросейсм, показывает, что

$$\rho_{\text{эфф}} > \rho.$$

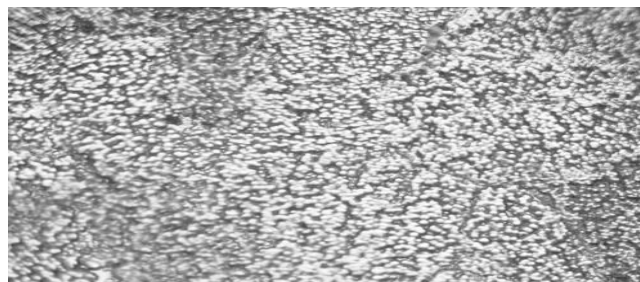
т.е. действие микросейсм на расплав во время затвердевания образцов действительно должно приводить к росту их УЭС.

По итогам исследования можно подчеркнуть что, действие микросейсм с ускорениями $0,77 \text{ м/с}^2$ на стадии кристаллизации расплава проволоки сплава $\text{Pb}+0,03\%\text{Ag}$ приводит к росту УЭС образцов до 10-20% по сравнению с затвердеванием при изоляции от микросейсм с фоновым ускорением $0,26 \text{ м/с}^2$.

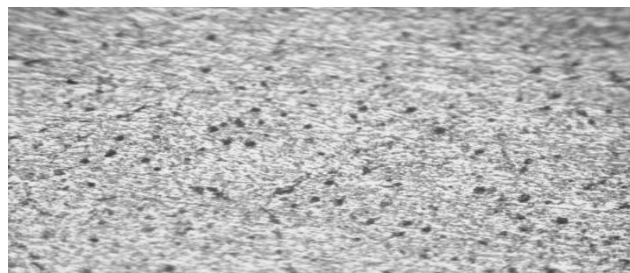
Два механизма увеличения УЭС при действии микросейсм дают основания для интерпретации наблюдаемого увеличения УЭС: некоторое искажение кристаллической решётки и повышенные значения УЭС оксидной плёнки.

Воздействие микросейсм на процесс формирования отражательной способности поверхностного слоя образца сплава $\text{Pb}+0,03\%\text{Ag}$

На рисунке 4 приведены фотоснимки поверхностей свинцовых образцов, полученных в условиях действия микросейсм (а) и изоляции от микросейсм (б).



а)



б)

Рисунок 4. Фотоснимки (x16) поверхностей свинцового образца в условиях действия микросейсм (а) и изоляции от микросейсм (б).

Как следует из рисунка 4, в первом случае (а) снимки более тёмные, строение поверхности оказалось в большей степени зернистое, чешуйчатое, чем в случае (б).

Это свидетельствует о том, что на уровне поверхности под действием микросейсм процесс нарушения кристаллической структуры происходит более интенсивно.

Теплофизические свойства и их влияние на процесс структурообразования опытных образцов металлов

Теплоемкость системы тесно связана с передачей энергии между частицами тел и отражает характер теплового движения и их взаимодействия. Изучение теплоемкости является одним из основных методов исследования структурных и фазовых превращений в сплавах. Методом охлаждения исследовано влияние микросейсм на кинетику кристаллизации при охлаждении отливок и теплофизические характеристики полученных образцов алюминия марки А99. Экспериментально получены зависимости температуры образцов от времени T , которые выражаются с помощью уравнения следующего вида:

$$T = T_0 + \Delta T_{01} \exp(-T/\tau_1) + \Delta T_{02} \exp(-T/\tau_2), \quad (3)$$

где T_0 – температура окружающей среды, τ_1 и τ_2 – времена релаксации для процессов конвективного теплообмена и теплового излучения.

Дифференцируя выражения (3) по T , получим выражение для временной зависимости скорости охлаждения:

$$\frac{dT}{dT} = - \left(\frac{\Delta T_{01}}{\tau_1} \exp(-\tau/\tau_1) + \frac{\Delta T_{02}}{\tau_2} \exp(-\tau/\tau_2) \right), \quad (4)$$

где $\frac{\Delta T_{01}}{\tau_1}$ и $\frac{\Delta T_{02}}{\tau_2}$ – соответственно амплитуды скоростей охлаждения в процессах конвективного охлаждения и теплового излучения. В таблице 2 приведены параметры, входящие в уравнениях (3) и (4) для алюминия.

Таблица 2. Параметры, входящие в уравнения (3) и (4) для алюминия

Марка	$T_1 - T_0, K$	τ_1, c	$T_2 - T_0, K$	τ_2, c	$\frac{\Delta T_{01}}{\tau_1}, K/c$	$\frac{\Delta T_{02}}{\tau_2}, K/c$	T_0, K
A99(1)	322,8611	666,667	298,7689	243,90	0,4843	1,2249	298,83
A99(2)	333,9530	666,667	279,5347	227,27	0,5009	1,229	299,02

Как видно из таблицы 2, под действием микросейсм для процесса охлаждения, связанного с тепловым излучением, время релаксации увеличивается, а скорости охлаждения несколько уменьшаются.

На рисунке 5 приведена зависимость от времени охлаждения температуры образцов из алюминия марки А99, полученных в условиях действия микросейсм (1) и при изоляции от них (2). В пределах точности эксперимента они совпадают.

На рисунках 6 и 7 приведена зависимость кинетики охлаждения образцов из алюминия марки А99, полученных в условиях действия микросейсм (1) и при изоляции от них (2) для процессов конвективного теплообмена ΔT_1 и теплового излучения ΔT_2 . Как видно из рисунков, кинетики охлаждения для процесса теплового излучения различаются.

Далее были вычислены коэффициенты теплоотдачи при конвективном теплообмене (α_1) и излучении (α_2) в зависимости от температуры образцов из алюминия марки А99, полученных в условиях действия микросейсм и при изоляции от них.

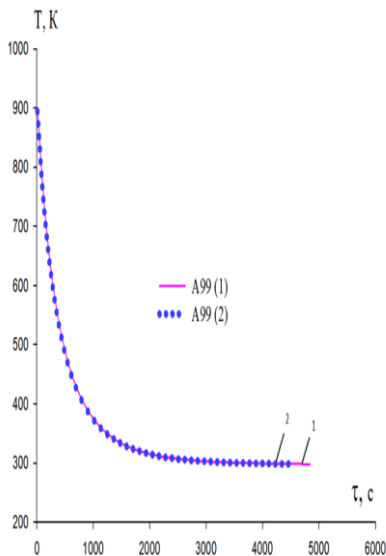


Рисунок 5. Временные зависимости температур образцов из алюминия марки А99, полученных в условиях действия микросейсм (1) и при изоляции от них (2).

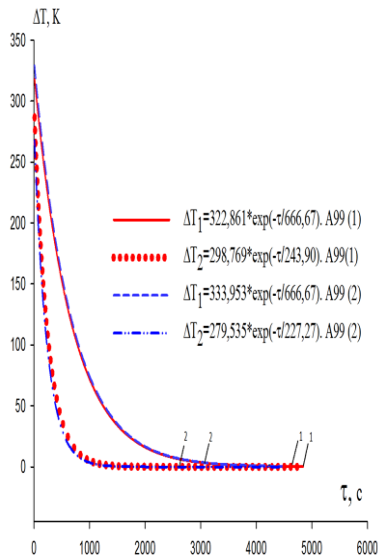


Рисунок 6. Кинетика охлаждения образцов из алюминия марки А99, полученных в условиях действия микросейсм (1) и при изоляции от них (2) для процессов конвективного теплообмена и теплового излучения.

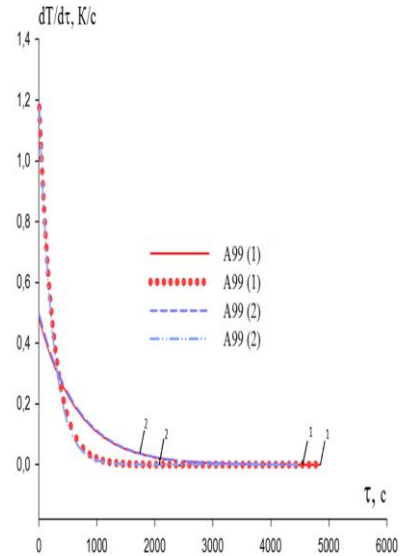


Рисунок 7. Зависимость скорости охлаждения от времени для образцов из алюминия марки А99, под действием микросейсм (1) и изоляции от них (2) для конвективного теплообмена и теплового излучения.

На рисунке 8 приведены зависимости этих коэффициентов от температуры под действием микросейсм (1) и при изоляции от них (2).

Кривые показывают, что при действии микросейсм коэффициент конвективного теплообмена полученных образцов из алюминия марки А99, уменьшается, а коэффициент теплового излучения увеличивается.

Используя экспериментально найденные значения скоростей охлаждения, можно определить только отношение коэффициента теплоотдачи к теплоемкости образца:

$$\alpha(T)/C(T) = \frac{m \left(\frac{dT}{d\tau} \right)}{S(T - T_n)}, \quad (5)$$

где m и S – соответственно масса и площадь образца.

Приведённые на рисунке 7 зависимости показывают, что микросейсмсы приводят к увеличению отношения коэффициента теплоотдачи к удельной теплоемкости. Особенно эти изменения заметны при высоких температурах.

На рисунке 9 приведена температурная зависимость соотношения (3) для образцов из алюминия марки А99, полученных в условиях действия микросейсм (1) и при изоляции от них (2).

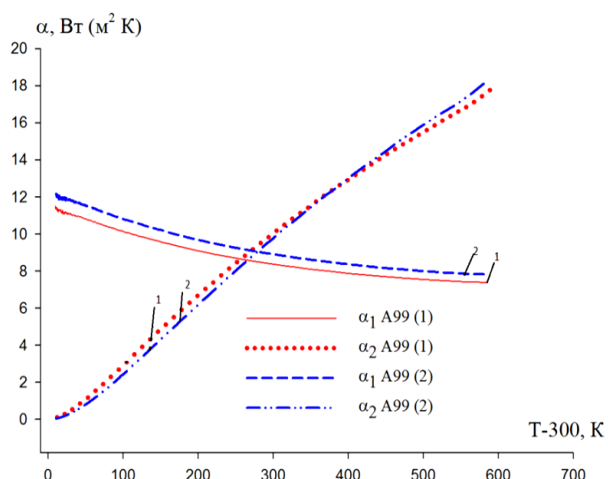


Рисунок 8. Зависимость коэффициента теплоотдачи при конвективном теплообмене (α_1) и коэффициента излучения (α_2) от температуры для образцов из алюминия марки А99, полученных в условиях действия микросейсм (1) и при изоляции от них (2).

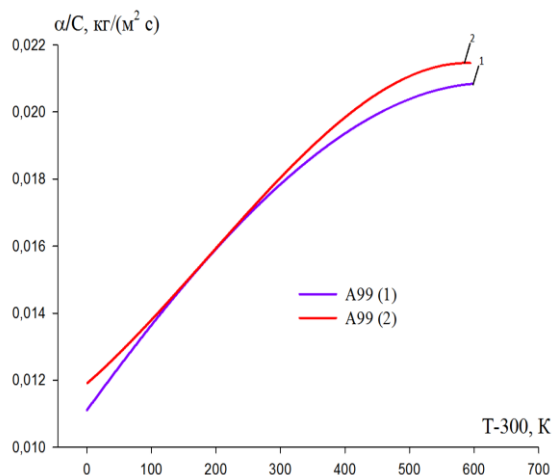


Рисунок 9. Температурная зависимость $\frac{a(T)}{c(T)}$ для образцов из алюминия марки А99, полученных в условиях действия микросейсм (1) и при изоляции от них (2).

Влияние теплофизических свойств на процесс кристаллизации сплава $Pb+0,03\%Ag$.

Задача данной работы заключается в выяснении действия микросейсм на теплофизические свойства сплава $Pb+0,03\%Ag$ в широком интервале температур методом охлаждения. Измерены зависимости температуры сплава $Pb+0,03\%Ag$ от времени охлаждения в интервале 300-580 К. Точность измерения температуры составила 1% в исследованном интервале температур.

Экспериментально полученные временные зависимости температуры образцов с достаточно хорошей точностью (с коэффициентом регрессии не менее 0,999) описываются уравнением (1).

На рисунке 10 приведена зависимость температуры образцов из сплава $Pb+0,03\%Ag$ при изоляции от микросейсм (1) и под действием микросейсм (2) от времени охлаждения. Как видно из рисунка 10, кинетика охлаждения в условиях действия микросейсм и изоляции от них не отличаются. Процесс охлаждения протекает с участием как конвективного теплообмена, так и теплового излучения.

На рисунке 11 приведена кинетика охлаждения образцов из сплава $Pb+0,03\%Ag$ при изоляции от микросейсм (1) и при действии микросейсм (2) для конвективного теплообмена ΔT_1 и теплового излучения ΔT_2 .

На рисунке 12 приведена зависимость скорости охлаждения от времени для образцов из сплава $Pb+0,03\%Ag$ при изоляции от микросейсм (1) и при действии микросейсм (2) от времени для конвективного теплообмена и теплового излучения.

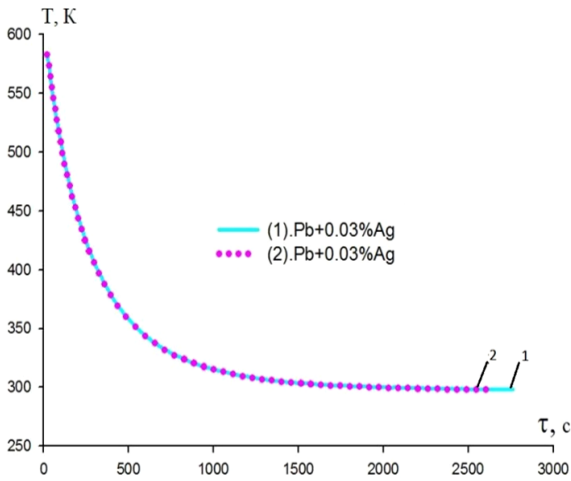


Рисунок 10. Зависимость температуры образцов из сплава Pb+0.03%Ag при изоляции от микросейсм (1) и действия микросейсм (2) от времени охлаждения.

На рисунке 13 приведена зависимость коэффициента теплоотдачи при конвективном теплообмене (α_1) и коэффициента излучения (α_2) от температуры для сплава Pb+0.03%Ag.

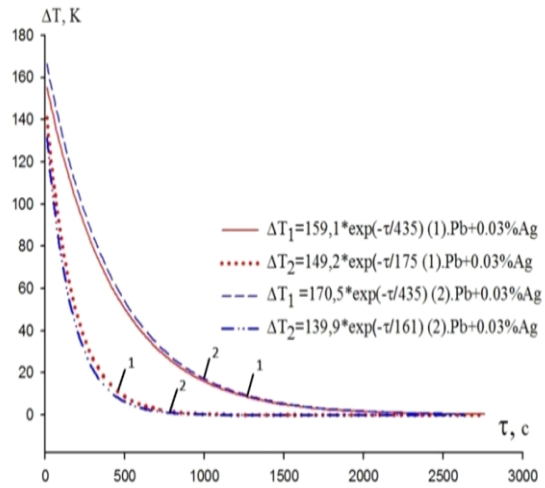


Рисунок 11. Кинетика охлаждения сплава Pb+0.03%Ag при изоляции от микросейсм (1), и действии микросейсм (2) для конвективного теплообмена ΔT_1 и теплового излучения ΔT_2 .

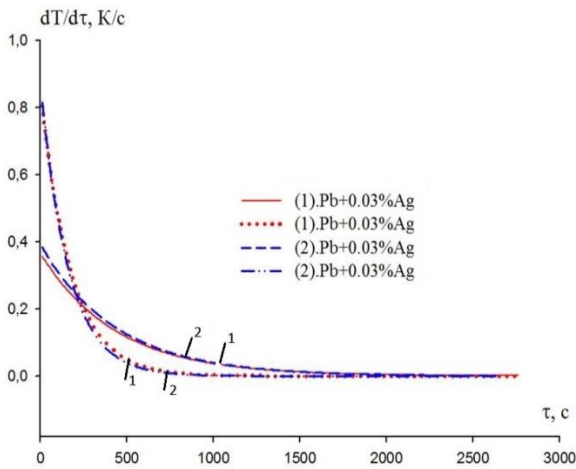


Рисунок 12. Зависимость скорости охлаждения от времени для образцов из сплава Pb+0.03%Ag при изоляции от микросейсм (1) и действия микросейсм (2) от времени для конвективного теплообмена и теплового излучения.

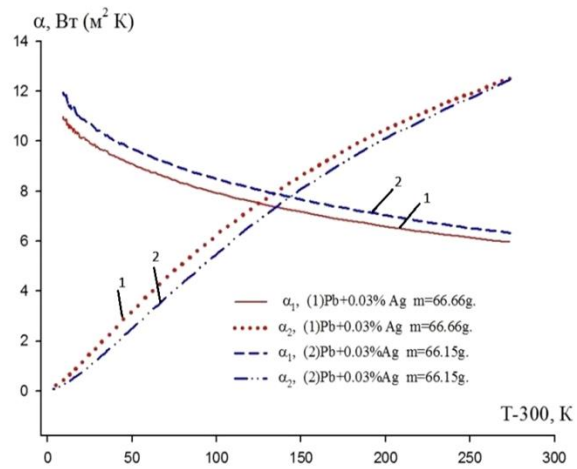


Рисунок 13. Зависимость коэффициента теплоотдачи при конвективном теплообмене (α_1) и коэффициента излучения (α_2) от температуры для сплава Pb+0,03%Ag при изоляции от микросейсм (1), и при действии микросейсм (2)

Как видно, микросейсмсы не влияют на скорость охлаждения. Процесс, связанный с конвективным теплообменом, протекает медленнее, чем тепловое излучение.

Из рисунка видно также, что под действием микросейсм коэффициент теплоотдачи конвективного теплообмена и коэффициент теплового излучения уменьшаются.

Параметры, входящие в уравнениях (3) и (4) для сплава свинца приведены в таблице 3.

Таблица 3. Значения коэффициентов в уравнениях (3) и (4) для сплава свинца

Сплав	$T_1 - T_0, K$	τ_1, c	$T_2 - T_0, K$	τ_2, c	$(T_1 - T_0)/\tau_1, K/c$	$(T_2 - T_0)/\tau_2, K/c$	T_0, K
Pb+0,03%Ag(1)	159	35	149	75	0.36	0.85	98
Pb+0,03%Ag(2)	170	35	140	61	0.39	0.87	98

На рисунке 14 приведена зависимость $\frac{a(T)}{c(T)}$ для сплава Pb+0,03%Ag. Как видно, отношение коэффициента теплоотдачи к теплоемкости при действии микросейсм меньше, чем при изоляции сплава от действия микросейсм. Оно показывает, что под действием микросейсм коэффициент теплоотдачи увеличивается.

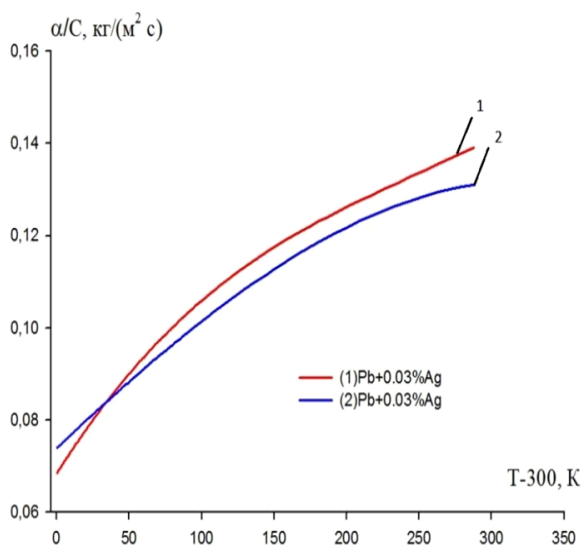


Рисунок 14. Зависимость $\frac{a(T)}{c(T)}$, кг/(м²с) для сплава Pb+0.03%Ag при изоляции от микросейсм (1) Pb+0.03%Ag при действия микросейсм (2) от температуры.

Таким образом, результаты исследования роли микросейсм в формировании ряда теплофизических свойств металлических расплавов показывают, что под действием микросейсм коэффициенты конвективного теплообмена и теплового излучения увеличиваются.

Данные рентгенофазового анализа образцов сплава Pb+0.03%Ag

Известны различные способы получения отливок с улучшенными свойствами, основанные на применении искусственных воздействий от источников вибраций или химических добавок.

Изучены образцы свинцового сплава с помощью рентгенофазового анализа на дифрактометре “ДРОН-3” при действии микросейсм (Pb2) и изоляция от них (Pb1). Диагностика вещественного состава осуществлялась методами рентгеновской дифрактометрии (Cu_α-анод. Ni-фильтр). Образец

Pb1 (рисунок 14) показал совпадения характеристик с международной базой данных (Pdf 2).

Рентгенофазовый анализ показал, что характеристики образца при изоляции от действия микросейсм совпали с параметрами международной базы данных. Однако образцы, полученные при действии микросейсм имеют некоторые отличия в пределах допустимой ошибки (рисунок 15, таблицы 4-6).

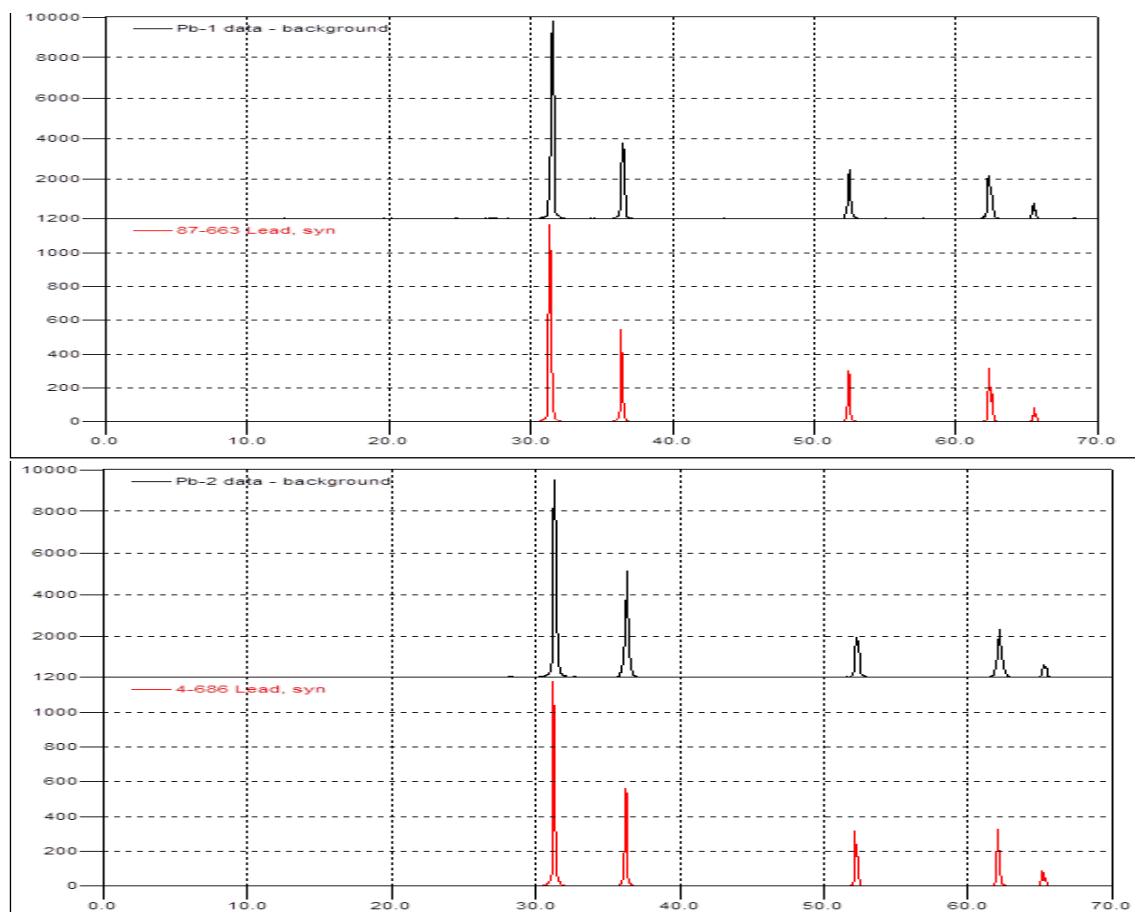


Рисунок 15. Дифрактограммы рентгенофазового анализа сплава Pb1 для случая изоляции от микросейсм и Pb2 при воздействии микросейсм при сравнении со стандартными базовыми данными (Pdf 2).

Таблица 4. Данные рентгенофазового анализа сплава Pb+0.03%Ag для случая изоляции от микросейсм.

№ сигнала	Угол отражения, 10-30°	Межплоскостное расстояние, нм	Интенсивность, %	Доверительность результата	Степень совпадения
1	31,397	2,8468	6287	100%	A
2	36,374	2,4679	3099	100%	A
3	52,336	1,7466	1187	100%	A
4	62,222	1,4908	1309	100%	A
5	65,321	1,4275	516	100%	A

Данные таблицы 6 показывают, что по всем параметрам наблюдается совпадение по знаку и порядку величины за исключением интенсивности и ширины линии сигналов 1 и 2, что, по-видимому, вызвано погрешностью определения степени совпадения А (таблицы 4- 6).

Таблица 5. Данные рентгенофазового анализа для случаев действия микросейсм.

№	Угол отражения, 10-30°	Межплоскостное расстояние, нм	Интенсивность, %	Доверительность результата	Степень совпадения
1	31,578	2,8310	6416	100%	-
2	36,562	2,4557	2447	100%	-
3	52,497	1,7417	1646	100%	А
4	62,397	1,4871	1576	100%	А
5	65,499	1,4241	673	100%	А

Количественные оценки влияния микросейсм на кристаллическую структуру сплава Pb+0.03% Ag приведены в таблице 6.

Таблица 6. Оценки влияния микросейсм на кристаллическую структуру, %.

№	Угол отражения, 10-30°	Межплоскостное расстояние, нм	Интенсивность, %	Ширина линии
1	0,58	-0,56	2,03	-4,73
2	0,56	-0,50	-23,51	-5,08
3	0,30	-0,28	32,41	-9,52
4	0,28	-0,24	18,50	-8,76
5	0,13	-0,79	26,40	-1,76

Отличия параметров зарегистрированных сигналов рентгенофазового анализа составляют в среднем около 1%, что на порядок меньше, чем изменения в физико-механических характеристиках сплавов, полученных из расплавов в условиях изоляции и при действии микросейсм. Т.е. малые изменения кристаллической структуры сплава приводят к резким изменениям ряда его физико-механических характеристик.

Для образца Pb2 обнаружено частичное фазовое смещение пиков рентгенофазового анализа (рисунок 15) и неполное совпадение со стандартной международной базой данных (Pdf 2) – результат влияния микросейсм на структуру образца.

В четвёртом главе -«Влияние микросейсм Земли на формирование механических свойств алюминия марки А99 и сплава Pb+0,03% Ag» рассмотрено и проанализировано влияние микросейсм Земли на формирование механических свойств алюминия марки А99 и сплава Pb+0,03% Ag. Для изучения изменений микроструктуры алюминия марки А99 были подготовлены по три пары образцов для условий воздействия микросейсм и изоляция от них, а также определена

твёрдость по Бринеллю на приборе ТШ-2. Результаты исследования твёрдости представлены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты эксперимента по измерения твёрдости алюминия марки А99.

Образцы	Диаметр отпечатка, мм		Твёрдость, НВ, МПа
Без изоляции от микросейсм			
1	Измерение 1	14,47	20,29
	2	26,50	
	3	19,90	
При изоляции от микросейсм			
2	1	31,84	28,29
	2	26,53	
	3	26,50	

Таблица 8. Твёрдость сплава Pb+0,03%Ag.

№ образцов	Диаметр отпечатка, мм		Средняя твёрдость, НВ, кг/мм ²	
Без изоляции от микросейсм				
1	Измерение 1	4,48	4,67	5,25
	2	5,03		
	3	4,50		
2	1	5,37	5,12	
	2	4,86		
	3	5,13		
3	1	6,31	5,96	
	2	5,68		
	3	5,88		
При изоляции от микросейсм				
1	1	5,57	6,36	
	2	7,12		
	3	6,40		
2	1	6,18	6,16	
	2	7,28		
	3	5,03		
3	1	7,28	6,94	
	2	6,53		
	3	7,02		

Для определения твёрдости сплава Pb+0,03%Ag были подготовлены 3 образца. Твёрдость одного и того же образца измеряли три раза и рассчитывали среднее. Результаты эксперимента по определению твёрдости сплава Pb+0,03%Ag приведены в таблице 8. Анализ результатов указывает на то, что во всех образцах, полученных в условиях повышенных уровней микросейсм, обнаружено снижение твёрдости в пределах от 3 до 30%.

Влияние микросейсм на разрывную прочность образцов отливок сплава Pb+0,03%Ag

В данном разделе представлены результаты исследования прочности на растяжение образца сплава Pb+0,03%Ag. Исследование проведено на разрывной машине ZDM-50t. Испытанию подвергались образцы со следующими размерами: длиной 300 мм, сечением - a = 6 мм, b = 12 мм. Результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9. Результаты исследований прочности на растяжение образца сплава Pb+0,03%Ag.

№ пп. Образцов	Вес, груза, г.	F=a x b, (мм)	Площадь сечение, (мм ²)	Тензомер, (мм)	Разрывная сила P _{max} , (кг)	Длина L ₀ , (мм)	Длина после разрыва L _k , (мм)	Временное сопротивление Бв, кг/мм ²	Среднее временное сопротивление Бв ср, кг/мм ²	Равномерное удлинение δ%
Без изоляции от микросейсм										
1	150	6x12	72	20÷65	240	300	330	3,3	2,7	10
	150	6x12	72	10÷55	200	300	330	2,7		
	150	6x12	72	10÷40	160	300	330	2,2		
При изоляции от микросейсм										
2	200	6x 12	72	20÷70	240	300	330	3,3	3,2	10
	200	6x 12	72	20÷60	240	300	330	3,3		
	150	6x12	72	20÷50	220	300	330	3,0		

Результаты испытаний показывают, что действие микросейсм в среднем примерно на 15% снижает прочность отливок.

Влияние микросейсм на физико-механические свойства сплава Pb+0,03%Ag.

Одним из основных недостатков свинцовых сплавов независимо от способа получения являются их низкие механические свойства. В рамках данной работы проведены исследования с целью некоторого повышения механических свойств сплава Pb+0,03%Ag путем изоляции от микросейсм. Результаты проведенных исследований приведены в таблице 10.

Таблица 10. Механические характеристики сплава Pb+0,03%Ag в условиях микросейсмического воздействия и изоляции от микросейсм.

№	Свойство	Влияние микросейсм	Изоляция от микросейсм	Единицы измерения
1	Твердость	5.25	6.48	НВ, кг/мм ²
2	Прочность на растяжение	2.7	3.2	Бв ср, кг/мм ²
3	Электропроводность	18.1	35.7	См

Как видно из таблицы 10 характеристики для сплава Pb+ 0,03%Ag независимо от внешних воздействий более высокие по сравнению с металлическим свинцом. Если анализировать действия микросейсм на свойства сплава Pb+0,03%Ag и при изоляции от них, то наблюдается значительное повышение показателей сплава по механическим свойствам в случае изоляции от микросейсм, что, по-видимому, связано с изменением микроструктуры.

Из разработанного сплава были отлиты опытные образцы аккумуляторной клеммы, которые представлены на рисунке 16.



Рисунок 16. Аккумуляторные клеммы, полученные в условиях защиты от микросейсм.

Обобщая вышеизложенное, можно прийти к заключению, что незначительные повышения содержания серебра к свинцу и одновременное изменение условий получения, т.е. защита от микросейсма при кристаллизации расплава может значительно улучшить механические свойства сплава.

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследования твердости по Бринеллю сплава Pb+0,03%Ag, проведенного на образцах толщиной от 8 до 10 мм, диаметром от 10-25 мм, показали, что во всех образцах, полученных в условиях повышенных уровней микросейсм, обнаружено уменьшение твердости в пределах от 3 до 30%.

2. Результаты испытаний показывают, что изоляция от микросейсм в среднем примерно на 15% повышает прочность отливок на растяжение.

3. Измерена зависимость температуры сплава Pb+0,03%Ag от времени охлаждения в интервале 300-580 К и показано, что под действием микросейсм время релаксации процесса охлаждения расплава Pb+0,03%Ag,

связанного с тепловым излучением, уменьшается, а время охлаждения несколько увеличивается.

4. Установлены температурные зависимости теплоемкости и изменение термодинамических сплава алюминия марки А99 и сплава Pb+0,03%Ag, полученных в условиях воздействия микросейсм и изоляции от них.

5. Установлено, что при микросейсмическом воздействии на расплав Pb+0,03%Ag в процессе его затвердевания отношение коэффициента теплоотдачи к теплоемкости твердых отливок меньше, чем при изоляции расплава от микросейсм.

6. При действии микросейсм коэффициент конвективного теплообмена образцов алюминия марки А99 уменьшается, а коэффициент теплового излучения увеличивается. Микросейсмсы приводят к увеличению отношения коэффициента теплоотдачи к удельной теплоемкости, особенно заметному при высоких температурах.

7. Установлено, что уменьшение удельного сопротивления в образцах при изоляции от влияния микросейсм свидетельствует о большей степени зернистого и окисленности поверхностного слоя в случае, когда действуют микросейсмсы.

8. Показано, что микросейсмсы, действующие на стадии кристаллизации расплава приводят к формированию более зернистой, чешуйчатой текстуры отливок с меньшей отражательной способностью.

9. Рентгенофазовый анализ кристаллической структуры сплава Pb+0,03%Ag, полученного при действии микросейсм на стадии кристаллизации расплава, показал малое отклонение параметров структуры от данных международного стандарта, которое, однако, приводит к существенным изменениям ряда физико-механических параметров отливок.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и другие изданиях

1. **Маджиди, М.** К исследованиям физико-химических свойств отливок свинца, полученных в условиях микросейсмического воздействия / М. Маджиди // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2018. – Т. 61. - №1. - С. 65-70.

2. **Маджиди, М.** Влияние микросейсмического воздействия на теплофизические свойства сплава Pb+0.03%Ag / М. Маджиди, Б.Н. Гулов, З. Низомов, Р.А. Исмоилов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2018. – Т. 61. - №7-8. - С. 639-644.

3. **Маджиди, М.** Влияние микросейсм на кинетические и теплофизические параметры отливок алюминия А99. / М. Маджиди, Б.Н. Гулов, З. Низомов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2018. - №4. - С. 123-129.

4. **Маджиди, М.** Влияние микросейсм на формирование сплава Pb+0.03%Ag на стадии затвердевания: данные рентгенофазового анализа /

М. Маджиди, Ф.Х. Каримов, Б.Б. Эшов, Н.Г. Саломов, М.А. Шодибеков // Вестник Таджикского технического университета. - 2020. - №2. - С. 58-62.

5. Наджибуллохи, Р. Оценка возможности применения неметаллической композитной арматуры в конструкции предварительно напряженного анкера / Р. Наджибуллохи, **М. Маджиди** (М. Миршариф) // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук.- 2018. - №2. - С. 107-114.

6. Наджибуллохи, Р. Экономические показатели использования неметаллической композитной арматуры в расчетах фундаментной железобетонной плиты / Р. Наджибуллохи, **М. Маджиди** (М. Миршариф) // Вестник Курган-Тюбинского государственного университета. - 2018. - №1/1 (51). - С. 204-208.

7. **Маджиди, М.** Триггерные эффекты в динамике сред с предельно-активированными межатомными связями / Ф.Х. Каримов, Н.Г. Саломов, М. Маджиди // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук (ТНУ). - 2020. - №4. - С. 9-13.

8. **Маджиди, М.** Микросейсмические воздействия на процесс кристаллизации сплава алюминия с редкоземельными металлами / М. Маджиди, Ф.Х. Каримов, Р.А. Исмоилов, Н.Г. Саломов, // Наука и инновация Таджикский национальный университет. - 2023. - №1. - С. 40-46.

Изобретения по теме диссертации

9. Малый патент Республики Таджикистан № ТЖ 935. Способ улучшения качества отливок путём изоляция от микросейсм / **М. Маджиди**, Ф.Х. Каримов, Н.Г. Саломов // № 1801179; заявл. 10.01.18; опубл. 26.09.18.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

10. **Маджиди, М.** Об изменении механических свойств отливок свинца, полученных из расплавов в условиях действия микросейсм / М. Маджиди, Н. Саломов // Республиканская научно-практическая конференция. Душанбе. – 2018. - С. 65-68.

11. **Маджиди, М.** Геофизический способ повышения степени твёрдости отливок металлов / М. Маджиди, Н. Саломов // Республиканская научно-практическая конференция с международным участием. Душанбе. – 2019. - С. 69-73.

12. **Маджиди, М.** Изменение теплофизические и кинетические параметры отливок алюминия А99, при воздействии микросейсм / М. Маджиди, Х.Х. Азимов, И.Т. Турахасанов // Сб. науч. матер. Технического колледжа ТТУ им. акад. М.С. Осими. Душанбе. – 2019. - С. 156-159.

13. **Маджиди, М.** Исследование физико-технических свойств композитной арматуры в зависимости от способа изготовления / М. Маджиди, Р. Наджибуллохи // Республиканская научно-практическая конференция «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых». Бустон. – 2020. - С. 72-75.

14. **Маджиди, М.** Исследование хрупкого коррозионного разрушения под напряжением с разными видами композитной арматуры / М. Маджиди, Р.

Наджибуллохи, // Республиканская научно-практическая конференция, посвящённая изучению и развитию естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040гг). Бустон. – 2020. - С. 83-85.

15. **Маджиди, М.** Оценки влияния микросейсм на вязкопластическое состояние расплава алюминия / М. Маджиди, Ф.Х. Каримов, Н.Г. Саломов // Международной научно – практической конференций “Инновация”. Ташкент – 2021. - С. 203-2012.

16. **Маджиди, М.** Оценка влияния микросейсм на вязкопластические характеристики металлических расплавов / М. Маджиди, Ф.Х. Каримов, Н.Г. Саломов // Международной научно – практической конференций “Проблеммы инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии и разработки месторождений полезных ископаемых Республики Таджикистан и сопредельных территорий”. Душанбе – 2022. - С. 186-190.

17. **Маджиди, М.** Микросейсмические воздействия на процесс кристаллизации сплава алюминия с редкоземельными металлами / М. Маджиди, Ф.Х. Каримов, Р.А. Исмоилов, Н.Г. Саломов // Международной научно – практической конференций “Актуальные вопросы геологии, инновационные методы прогнозирования, добычи и технологии обогащения полезных ископаемых”. Ташкент – 2022. - С. 314-316.

18. **Маджиди, М.** Влияние микросейсм на формирование удельного электрического сопротивления оловянно-свинцового сплава на стадии затвердевания расплава / М.Маджиди., Ф.Х. Каримов., Ш Даминов // Международной научно-практической конференции «Наука и образование: тенденции развития в условиях информационного общества», посвященной «75-ой годовщине со дня образования Таджикского национального университета». Душанбе – 2023. - С. 141.

