

А.Р. ЖЕЛАННАЯ*, Д.А. БАЛАЕВА-ТИХОМИРОВА**

Научный руководитель – О.М. Балаева-Тихомирова

*Республика Беларусь, Витебск, Лицей ВГУ имени П.М. Машерова

**Республика Беларусь, Витебск, Гимназия № 3 г. Витебска имени А.С. Пушкина

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕТАЛЛОВ И УСТОЙЧИВОСТИ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ ЛАБОРАТОРНЫМИ МЕТОДАМИ

Введение. Работа касается изучения актуальной задачи определения химического состава металлов и сплавов и установления устойчивости оцинкованных железных деталей при воздействии различных факторов. Работа соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных исследований в научной, научно-технической и инновационной деятельности Республике Беларусь на 2021-2025 годы: биологические, медицинские, фармацевтические и химические технологии и производства (Указ Президента Республики Беларусь от 07. 05. 2020г. №156), а также перечню приоритетных государственных программ научных исследований – «Природные ресурсы и окружающая среда» (Постановление Совета министров РБ от 27.07.2020 г. № 438).

Коррозия металлов наносит большой экономический вред. Коррозия приводит к простоям производства из-за замены вышедшего из строя оборудования, к потерям сырья и продукции. Коррозия также приводит к загрязнению продукции, а значит, и к снижению ее качества. Коррозия приводит ежегодно к миллиардным убыткам, и решение этой проблемы является важной задачей. Основной ущерб, причиняемый коррозией, заключается не в потере металла как такового, а в огромной стоимости изделий, разрушаемых коррозией. Вот почему ежегодные потери от неё в промышленно развитых странах столь велики.

Защита от коррозии на 80 % обеспечивается правильной подготовкой поверхности, и только на 20 % качеством используемых лакокрасочных материалов и способом их нанесения. Одним из наиболее производительных и эффективных методов подготовки поверхности перед дальнейшей защитой субстрата является пескоструйная обработка. Для предотвращения коррозии в качестве конструкционных материалов применяют нержавеющие стали, цветные металлы. При добавлении небольшого количества хрома в сталь на поверхности металла образуется оксидная плёнка. Содержание хрома в нержавеющей стали – более 12 процентов. При проектировании конструкции стараются максимально изолировать от попадания коррозионной среды, применяя клеи, герметики, резиновые прокладки. Активные методы борьбы с коррозией направлены на изменение структуры двойного электрического слоя. Применяется наложение постоянного электрического поля с помощью источника постоянного тока, напряже-

ние выбирается с целью повышения электродного потенциала защищаемого металла. Другой метод – использование жертвенного анода, более активного материала, который будет разрушаться, предохраняя защищаемое изделие (например, цинка). Определение химического состава металла, процентное содержание элементов в техническом образце, а также качественное и количественное определение примесей является важной задачей современного общества, так как применение качественного металла позволяет эффективно использовать детали, производимые из него и повышают срок их эксплуатации [1]. Определение химического состава образца металла имеет большое практическое значение и применение в производстве для: подборки качественных материалов для изготовления деталей; выбора соответствующих этапов и технологий производства изделия исходя из состава металла; контроля качества производимой продукции; расчета времени эксплуатации и износостойкости детали исходя из совершенной работы; прогнозирования развития коррозии и способов ее устранения и замедления. Коррозия в свою очередь приводит к уменьшению надежности работы оборудования: аппаратов высокого давления, паровых котлов, металлических контейнеров, деталей для машин. Несвоевременное разрушение деталей является причиной простаивания производства, приводит к необходимости замены вышедшего из строя оборудования, к потерям сырья и продукции. Все перечисленное приводит ежегодно к миллиардным убыткам, и решение этой проблемы является важной задачей [2].

Анализ химического состава широко применяется во многих отраслях народного хозяйства. Качество, надежность, долговечность изделия в большой степени зависят от состава использованного сплава.

Одним из приборов, позволяющих получить необходимую информацию о химическом составе сплава, является оптико-эмиссионный спектрометр, который используется для измерения массовой доли химических элементов в металлах и сплавах и применяется в аналитических лабораториях промышленных предприятий, в цехах для быстрой сортировки и идентификации металлов и сплавов, а также для анализа больших конструкций без нарушения их целостности. Принцип действия оптико-эмиссионного анализатора Принцип действия спектрометра основан на измерении интенсивности излучения на определенной длине волны спектра эмиссионного излучения атомов анализируемых элементов. Излучение возбуждается искровым разрядом между вспомогательным электродом и анализируемым металлическим образцом. В процессе анализа аргон обтекает исследуемый объект, делая его более заметным для изучения. Эмиссионный спектрометр фиксирует интенсивность излучения и на основе получаемых данных анализирует состав металла. Содержание элементов в образце определяется по градуировочным зависимостям между интенсивностью эмиссионного излучения и содержанием элемента в образце [3].

Цель работы – установить химический состав материала и устойчивость цинкового покрытия образцов деталей.

Основная часть. *Модель экспериментальных исследований.* Оценка железных деталей проводилась в 2 этапа: 1 этап – исследование устойчивости цинкового покрытия железных деталей в условиях лаборатории ВГУ имени П.М. Машерова. Проводился в апреле-мае 2025 года, в эксперименте участвовало 4 вида деталей (по 5 штук каждой). 2 этап – исследование химического состава материала, из которого изготовлены детали методом оптико-эмиссионной спектроскопии. В эксперименте использовались 4 вида деталей, прожиг которых осуществлялся в 3-х кратном количестве. Эксперимент проводился в ВГУ имени П.М. Машерова мае-июне 2025.

Методика нанесения покрытия на железные детали. После прохождения ряда подготовительных процедур изделия или конструкция подвергаются нанесению расплавленным цинком. Данный процесс осуществляется путем окунания заготовки в жидкую массу таким образом, чтобы заполнялись все поры металлической структуры. Технология предполагает, что высокая анодность цинка по отношению к основному металлу будет способствовать самостоятельному проникновению цинка в структуру материала уже в процессе эксплуатации изделия. Покрытие металлических деталей цинком включает этапы: 1) подготовка изделия к покрытию; 2) травление металлической заготовки; 3) флюсование; 4) промывка; 5) тщательная просушка; 6) контроль качества горячего цинкования. В лаборатории производится контроль толщины покрытия каждой детали: 3 штуки от первой загрузки из каждой ванны цинкования. На покрытие наносят из капельницы 1 каплю раствора, время выдержки 1 капли 60 с. Затем раствор насухо удаляют фильтровальной бумагой, после чего на то же место наносят вторую каплю и так до полного растворения покрытия до появления розового пятна. Количество капель перемножается на коэффициент получается толщина покрытия. При обнаружении дефекта цинкового покрытия детали переделываются.

В эксперименте исследовались детали двух производителей: ОАО «Витебский завод электро-измерительный приборов» и используются для приборов специального назначения и автотракторных приборов и Частным производственным унитарным предприятием «ПроМеханика».

Оценка толщины покрытия в лаборатории. Струйно-периодический метод. Толщина покрытия струйным методом определяется по продолжительности действия растворителя (таблица 1), подаваемого с определенной скоростью на поверхность контролируемой детали. Сущность струйно-периодического метода заключается в определении времени растворения покрытия под действием струи раствора, вытекающего из бюретки с определенной скоростью и падающего на поверхность детали. Прибор укрепляют с помощью штатива так, чтобы кончик бюретки был расположен на расстоянии 4-5 мм от испытуемой поверхности детали. Перед началом

испытания отмечается температура раствора, а в момент открывания крана включается секундомер. Продолжительность действия струи секундомером отмечается до тех пор, пока окраска поверхности не изменится. После изменения окраски закрывается кран и фиксируется затраченное время. Толщину покрытия определяют по формуле: $h = h_t \cdot t$ (мкм), где h_t – толщина покрытия, растворяемая за 1 секунду, в мкм (определяется по таблице 2); t – время, затраченное на растворение покрытия, в секунду.

Таблица 1 – Компоненты раствора

| Компоненты раствора | Концентрация в г/100мл |
|--|------------------------|
| Аммоний азотнокислый (NH_4NO_3) | 7 |
| Медь сернокислая ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) | 0,7 |
| Кислота соляная (HCl) | 7 |

Капельный метод. Определение толщины покрытия капельным методом заключается в том, что покрытие растворяется последовательно наносимыми каплями раствора. Операцию повторяют до тех пор, пока не обнажится сплошной участок основного металла. Далее кран закрывается и записывается количество капель. Состав раствора идентичен струйно-периодическому методу, температура раствора также замеряется термометром. Толщину покрытия рассчитывают по формуле: $h = (n - 0,5) \cdot h_k$ (мкм), где n – число капель раствора, которое требуется для обнаружения сплошного участка основного металла; h_k – толщина покрытия, снимаемая одной каплей в течении заданного времени, в мкм. Значение h_k для различных температур раствора находятся по таблице 3. Точность данного метода для покрытий толщиной 2 мкм и более колеблется в пределах +/- 20%.

Таблица 2 – Толщина покрытия, растворяемая за 1 секунду

| Толщина слоя покрытия h_t в мкм, растворяемая за 1 сек. | | | |
|---|--------------------|---------------------------|--------------------|
| Температура раствора в °С | Цинкового покрытия | Температура раствора в °С | Цинкового покрытия |
| 10 | 0,493 | 18 | 0,610 |
| 11 | 0,500 | 19 | 0,630 |
| 12 | 0,515 | 20 | 0,645 |
| 13 | 0,530 | 21 | 0,670 |
| 14 | 0,542 | 22 | 0,690 |
| 15 | 0,560 | 23 | 0,715 |
| 16 | 0,571 | 24 | 0,740 |
| 17 | 0,589 | 25 | 0,752 |

Таблица 3 – Значение h_k для различных температур раствора

| Толщина слоя покрытия в мкм, растворяемая одной каплей | | | |
|--|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Температура раствора в °С | Цинковое покрытие, выдержка 60 секунд | Температура раствора в °С | Цинковое покрытие, выдержка 60 секунд |
| 15 | 1,01 | 23 | 1,36 |
| 16 | 1,05 | 24 | 1,40 |

| | | | |
|----|------|----|------|
| 17 | 1,09 | 25 | 1,45 |
| 18 | 1,14 | 26 | 1,52 |
| 19 | 1,18 | 27 | 1,59 |
| 20 | 1,24 | 28 | 1,66 |
| 21 | 1,27 | 29 | 1,79 |
| 22 | 1,32 | 30 | 1,80 |

Методика оценки качества используемого сырья опико-эмиссионным анализом. Оптический эмиссионный спектрометр используется для измерения массовой доли химических элементов в металлах. Принцип действия спектрометра основан на измерении интенсивности излучения на определенной длине волны спектра эмиссионного излучения атомов анализируемых элементов. Излучение возбуждается искровым разрядом между вспомогательным электродом и анализируемым металлическим образцом. В процессе анализа аргон обтекает исследуемый объект, делая его более заметным для изучения. Эмиссионный спектрометр фиксирует интенсивность излучения и на основе получаемых данных анализирует состав металла. Содержание элементов в образце определяется по градуировочным зависимостям между интенсивностью эмиссионного излучения и содержанием элемента в образце. Спектрометр состоит из источника возбуждения спектра, оптической системы и автоматизированной системы управления и регистрации на базе IBM-совместимого компьютера. Искровой источник возбуждения спектра предназначен для возбуждения эмиссионного светового потока от искры между образцом и электродом. Спектральный состав света определяется химическим составом исследуемой пробы. Когда возбужденные с помощью тлеющего разряда атомы переходят на более низкую орбиту, они излучают свет. Каждая излученная длина волны является характерной для каждого атома испустившего ее. Свет фокусируется на входной щели спектрометра и расщепляется на вогнутой голографической решетке в соответствии с длинами волн. После этого через точно установленные выходные щели свет попадает на соответствующий элементу фотумножитель. Для обеспечения хорошей прозрачности оптическая камера должна быть вакуумирована. Управление процессом измерения и обработки выходной информации осуществляется от встроенного IBM-совместимого компьютера с помощью специального программного комплекса. По программе осуществляется настройка прибора, построение градуировочных зависимостей на основе анализа стандартных образцов, оптимизация его параметров, управление режимами спектрометра, обработка, сохранение и печать результатов измерения.

Принцип метода измерений. Измерения процентного содержания химических элементов в сталях и сплавах выполняют методом возбуждения атомов элементов материала пробы электрическим разрядом, разложении излучения атомов элементов на спектр, измерения аналитических сигналов, пропорциональных интенсивности или логарифму интенсивности

спектральных линий, и последующем определении массовых долей элементов с помощью градуированных характеристик. *Вид определения:* 1) установление химического состава (определение массы доли химических элементов в сталях и сплавах); 2) определение примесей в широком диапазоне процентном содержания (углерод, серу, фосфор, кремний, марганец, хром, никель, кобальт, медь, алюминий (алюминий кислоторастворимый), мышьяк, молибден, вольфрам, ванадий, титан, необий, цирконий, свинец, олово, цинк, сурьма, бор, висмут, кальций, азот, магний, церий); 3) специализированная пробоподготовка образца (согласно ГОСТ7565); 4) подбор марки образца; 5) статистическая обработка результатов; 6) выдача сертификата по итогу анализа. Характеристика образца: размер не менее 25 на 25 мм, толщина не менее 10 мм. Весь цифровой материал вводился для хранения и обработки в таблицы Microsoft Excel. Для проверки гипотез о различии средних значений изучаемого признака в исследуемых группах применялся t-критерий Стьюдента.

Оценка толщины покрытия на предприятиях происходит с помощью магнитного, металлографического, гравиметрического методов, также осуществляется контроль качества сцепления покрытия с основой (таблица 4, 5).

Определение толщины покрытия струйно-периодическим методом. Раствор наносился на поверхность детали до тех пор, пока окраска поверхности не изменится. После изменения окраски фиксируется затраченное время, на каждую из 10 деталей ушло в среднем 23,80 с. Далее толщина покрытия рассчитывается по формуле: $h = h_t \cdot t$ мкм, где h_t – толщина покрытия, растворяемая за 1 секунду, в мкм (определяется по таблице 2); t – время, затраченное на растворение покрытия, в секунду. Подставляем в формулу полученные данные: $h = 0,645 \times 23,80 = 15,351$ мкм. Исходя из данных детали толщина покрытия деталей в среднем составляет 6-15 мкм, следовательно, толщина покрытия в лабораторных условиях рассчитана верно, с относительной погрешностью от 2,34 до 8,60%.

Таблица 4 – Характеристика данных деталей

| Детали(n=5) | Толщина детали (мм) | Толщина покрытия (мкм) | Вид пассивации |
|-------------|---------------------|------------------------|---|
| Деталь №1 | 1,02 ± 0,0001 | 15 ± 0,015 | Ирида хром три Б. Состав: вода – 57%, нитрат хрома (III) – 17%, щавелевая кислота – 9%. |
| Деталь №2 | 1,01 ± 0,0001 | 6 ± 0,003 | |
| Деталь №3 | 1,27 ± 0,0001 | 14 ± 0,009 | |
| Деталь №4 | 1,42 ± 0,0001 | 12 ± 0,002 | |

Таблица 5 – Характеристика данных деталей ($M \pm m$)

| Детали (n=5) | Толщина детали (мм) | Толщина покрытия (мкм) | Время, затраченное на растворение покрытия (сек) | Толщина покрытия, в условиях лаборатории (мкм) | Погрешность (%) |
|--------------|----------------------|------------------------|--|--|---------------------|
| Деталь №1 | 1,02 $\pm 0,0001$ | 15,00 $\pm 0,015$ | 23,80 $\pm 0,005$ | 15,351 $\pm 0,002$ | 2,34 $\pm 0,002$ |
| Деталь №2 | 1,01 $\pm 0,0001$ | 6,00 $\pm 0,003$ | 10,11 $\pm 0,002$ | 6,52 $\pm 0,001$ | 8,60 $\pm 0,003$ |
| Деталь №3 | 1,27 $\pm 0,0001$ | 14,00 $\pm 0,009$ | 22,50 $\pm 0,003$ | 14,548 $\pm 0,002$ | 3,77 $\pm 0,001$ |
| Деталь №4 | 1,42 $\pm 0,0001$ | 12,00 $\pm 0,002$ | 20,10 $\pm 0,002$ | 12,643 $\pm 0,001$ | 5,09 $\pm 0,002$ |

Определение толщина покрытия капельным методом. Раствор был нанесен на детали. Температура раствора также составила 20 °С. Покрытие растворялось последовательно наносимыми каплями раствора (таблица 6).

Таблица 6 – Характеристика данных деталей ($M \pm m$)

| Детали (n=5) | Толщина детали (мм) | Толщина покрытия (мкм) | Толщина покрытия, в условиях лаборатории (мкм) | Погрешность (%) |
|--------------|---------------------|------------------------|--|-------------------|
| Деталь №1 | 1,02 $\pm 0,0001$ | 15,00 $\pm 0,015$ | 15,248 $\pm 0,003$ | 1,65 $\pm 0,002$ |
| Деталь №2 | 1,01 $\pm 0,0001$ | 6,00 $\pm 0,003$ | 6,82 $\pm 0,001$ | 13,67 $\pm 0,002$ |
| Деталь №3 | 1,27 $\pm 0,0001$ | 14,00 $\pm 0,009$ | 14,343 $\pm 0,002$ | 2,39 $\pm 0,002$ |
| Деталь №4 | 1,42 $\pm 0,0001$ | 12,00 $\pm 0,002$ | 12,522 $\pm 0,001$ | 4,17 $\pm 0,002$ |

Операция повторялась до тех пор, пока не обнажится сплошной участок основного металла. Потребовалось 6 капель ($0,3 \text{ см}^3$) раствора для обнаружения участка основного металла. Толщину покрытия рассчитывают по формуле: $h = (n-0,5) \cdot h_K$ (мкм), где n – число капель раствора, которое требуется для обнаружения сплошного участка основного металла; h_K – толщина покрытия, снимаемая одной каплей в течении заданного времени, в мкм. Значение h_K для различных температур раствора находятся по таблице 2.4. Подставляем полученные данные в формулу: $h = (6-0,5)1,776 = 6,82$ мкм. Исходя из характеристики деталей толщина покрытия 6 мкм, следовательно, толщина покрытия в лабораторных условиях рассчитана верно, с относительной погрешностью от 1,65 до 13,67%.

Химический состав деталей. Анализ исследуемых образцов деталей выявил, что основным элементом является железо (рисунок 3.1). Процентное содержание железа в образцах различное и составляет от 98,785 % до 70,160 %. Детали 1 и 2, характеризуется высоким содержанием железа по сравнению с деталями 3 и 4 на 28,625%. Содержание примесей других

химических элементов в деталях различных производителей отличалась (рисунок 3.2-3.5). В деталях 1 и 2 в качестве примесей были обнаружены углерод, кремний, марганец, фосфор, хром, молибден, никель, алюминий, медь, вольфрам, ниобий, олово, висмут, лантан и кальций (таблица 7,8).

Таблица 7 – Химический состав деталей методом оптико-эмиссионной спектроскопии ($M \pm m$)

| Детали (n=5) | Железо | Марганец | Хром | Медь | Алюминий |
|--------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Деталь №1 | 98,718 ±0,006 | 0,327 ±0,006 | 0,093 ±0,001 | 0,204 ±0,004 | 0,049 ±0,002 |
| Деталь №2 | 98,718 ±0,007 | 0,291 ±0,001 | 0,085 ±0,001 | 0,208 ±0,001 | 0,052 ±0,001 |
| Деталь №3 | 70,273 ±0,002 | 1,046 ±0,005 | 17,567 ±0,100 | 0,220 ±0,010 | 0,127 ±0,002 |
| Деталь №4 | 70,160 ±0,001 | 1,048 ±0,001 | 17,600 ±0,110 | 0,209 ±0,001 | 0,128 ±0,001 |

В деталях 1–4 было установлено содержание кремния, марганца, фосфора, серы, хрома, молибдена, никеля, алюминия, меди, кобальта, титана, ванадия, вольфрама, ниобий, олово, мышьяка, висмут, сурьмы, цинка и циркония. В деталях 2 и 3 примесей меньше по сравнению с деталями 3 и 4. В деталях 2 и 3, наибольшее содержание из установленных элементов имеют марганец (0,227-0,327 %), медь (0,204-0,208%), хром (0,083-0,093 %), алюминий (0,052-0,049 %). Остальных элементов процентное содержание незначительное.

Таблица 8 – Химический состав деталей методом оптико-эмиссионной спектроскопии ($M \pm m$)

| Детали (n=5) | Кремний | Молибден | Никель | Титан | Кобальт |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Деталь №3 | 0,427 ±0,001 | 0,174 ±0,001 | 0,936 ±0,001 | 0,352 ±0,001 | 0,135 ±0,002 |
| Деталь №4 | 0,432 ±0,001 | 0,173 ±0,001 | 0,953 ±0,001 | 0,364 ±0,001 | 0,133 ±0,001 |

В деталях 3 и 4 выявлено большее количество примесей (таблица 7,8). Установлено, что наибольшее содержание в образцах технических металлов 3 и 4 из установленных элементов имеют хром (17,7-17,6 %), марганец (1,047-1,042 %), никель (0,936-0,953 %), медь (0,210-0,209 %), титан (0,364-0,353 %), кремний (0,432-0,427 %), молибден (0,174-0,173 %), алюминий (0,127 %) кобальт (0,135-0,133 %). Остальных элементов процентное содержание незначительное. При сравнении деталей двух производителей, ОАО «Витебский завод электро-измерительный приборов» и ЧУП «ПроМеханика», выявлено разное содержание основного элемента железа и как следствие отличие качественного

и количественного составов примесей. В образцах металла деталей 1 и 2 отмечается меньшее количество примесей, а также, в отличие от деталей 2 и 4 – содержатся углерод, лантан и кальций.

В металле из образцов 3 и 4 большое содержание примесей (около 30 %), в отличие от деталей 1 и 2 содержатся элементы – сера, кобальт, титан, вольфрам, мышьяк, сурьма, цинк (таблица 9).

Таблица 9 – Пример таблицы процентного содержания химических элементов материала использованного для изготовления деталей ($M \pm m$)

| | | | | | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | (+) C% | (-) Si% | (+) Mn% | (+) P% | (+) S% | (+) Cr% | (+) Mo | (+) Ni% | (+) Al% |
| 2 | 0,004 | 0,051 | 0,297 | 0,017 | 0,015 | 0,087 | 0,014 | 0,015 | 0,047 |
| 3 | 5 | 0,049 | 0,284 | 0,014 | 0,013 | 0,105 | 0,012 | 0,015 | 0,048 |
| Сред. | 0,042 | 0,054 | 0,401 | 0,013 | 0,011 | 0,093 | 0,013 | 0,016 | 0,049 |
| О.СК | 0,032 | 0,051 | 0,327 | 0,015 | 0,0113 | 10,9 | 0,013 | 1,5 | 5,4 |
| О% | 0,040 | 4,9 | 19,6 | 14,1 | 15,4 | | 7,5 | | |
| | 17,1 | | | | | | | | |
| 1 | (+) Cu | (-) В | (+) Ti | (-) V% | (+) W | (-) Mg% | (+) Nb | (+) Sn% | (-) Pb% |
| 2 | % | % | % | 0,000 | % | 0,001 | % | 0,011 | 0,000 |
| 3 | 0,205 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,028 | 0,001 | 0,020 | 0,009 | 0,000 |
| Сред. | 0,200 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,026 | 0,001 | 0,020 | 0,009 | 0,000 |
| О.СК | 0,208 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,027 | 0,001 | 0,020 | 0,010 | 0,000 |
| О% | 0,204 | 0,000 | 0,004 | 0,0 | 0,027 | 0,0 | 0,021 | 11,9 | 0,0 |
| | 2,0 | 0,0 | 0,0 | | 3,7 | | 5,6 | | |
| 1 | (+) As% | (+) Bi% | (-) Ce | (+) La | Ca % | Sb % | (+) Zn% | (-) Zr% | Fe% |
| 2 | 0,006 | 0,001 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,000 | >0,05 | 0,000 | 98,664 |
| 3 | 0,006 | 0,003 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 0,021 | 0 | 0,000 | 98,891 |
| Сред. | 0,006 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | >0,05 | 0,000 | 98,718 |
| О.СК | 0,006 | 0,002 | 0,000 | 0,003 | 62,1 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0,2 |
| О% | 0,0 | 101,2 | 0,0 | 64,1 | | | 0,005 | | |
| | | | | | | | >0,05 | | |
| | | | | | | | 0 | | |
| | | | | | | | --- | | |

Закключение. Цинковое покрытие имеет высокую коррозионную стойкость, как в атмосферных, так и в водных средах. В водных средах коррозию цинка усиливает углекислота. Она разрушает образующуюся на поверхности цинка оксидно-карбонатную пленку и тем самым усиливает коррозию цинка. Полученные результаты расширяют теоретические данные о механизмах разрушения металлов при различных условиях, этапах процесса оцинковки и коррозионной стойкости цинкового покрытия, позволяют моделировать процессы, протекающие при коррозии и оценивать методы защиты металлов. Также оценка коррозионной стойкости оцинкованных железных деталей и снижения экологических и экономических негативных воздействий на окружающую среду.

Методом оптико-эмиссионной спектроскопии был установлен химический состав материалов, использованных для производства железных деталей. Основным элементом во всех исследуемых образцах является железо, содержание которого колеблется от 98,785 % до 70,160 %. В качестве примесей, имеющих больший процент содержания, были обнаружены углерод, кремний, марганец, фосфор, хром, молибден, никель, алюминий, медь, кобальт, вольфрам, магний и ниобий. Процентное содержание примесей изменилась в зависимости от исследуемого образца и производителя, что оказывает влияние на качество продукции и срок ее эксплуатации. Выявлены отличия в производственных деталях, представленных для анализа различными производителями. Наибольшее содержание железа отмечено в образцах № 1 и № 2, предоставленных ОАО «Витебский завод электро-измерительный приборов» (99 %), наименьшее – в образцах № 3 и № 4 производитель ЧУП «ПроМеханика». Соответственно наибольшее процентное содержание примесей выявлено в образцах с меньшим содержанием железа. В процентном соотношении к наибольшему количеству элементов примесей в образцах относятся хром (17,7%), марганец (1,05%), никель (0,95%). Увеличение количества примесей приводит к снижению качества материала и повышает риск быстрого разрушения деталей.

Проанализировав химический состав образцов, можно сделать вывод, что наиболее качественный материал используется при изготовлении деталей № 1, 2 и низкого качества - № 3, 4, что отражается на технических характеристиках исследуемых составных деталей станков и оборудования, используемых в производстве и степени их износа со временем. Таким образом, для изготовления образцов необходимо использовать металл, который соответствует требованиям ГОСТа (процент содержания железа не ниже 98%) и химическому содержанию элементов в составе образца, т.к. данные характеристики влияют на качество производимой продукции, сохранения и устойчивости детали к коррозии.

Список использованных источников:

1. Хохлачева, Н. М. Коррозия металлов и средства защиты от коррозии: учебное пособие / Н.М. Хохлачева, Е. В. Ряховская, Т. Г. Романова. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 118 с.
2. Яхяев, Н. Ш. Лабораторные методы измерения и приборы контроля коррозии / Н. Ш. Яхяев, А. К. Камолов // Молодой ученый. – 2016. – № 12 (116). – С. 455– 458.
3. Оптико-электронные приборы для научных исследований: учеб. пособие / под ред. д.т.н. проф. Л.А. Новицкого. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.