Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Слепухин Виктор Валерьевич
Должность: Проректор по учебной работе и стратегическому развитию образовательной деятельности
Дата подписания: 03.10.2026 22:19:43
Уникальный программный ключ:
b5849c67ab30ca0d5f34d5421b7a80ccb87b3ac0

РГХПУ им. С.Г. Строганова
1825

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный художественно-промышленный
университет им. С.Г. Строганова»

Кафедра «Реставрации художественного металла»

Методические указания к дисциплине

Б1.В.ДВ.03.01 Исследование археологического металла»

для студентов 1 курса

Рекомендуется для направления подготовки

54.04.04 «Реставрация»

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Москва 2026

Цели и задачи дисциплины:
Исследование археологического металла

Целью освоения дисциплины «Исследования археологического металла» является познакомить студентов с особенностями реставрации археологического металла. Курс лекций освящает разные вопросы археологического металла в реставрации.

В курсе занятий по дисциплине «Исследования археологического металла» студенты приобретают профессиональные навыки и знания в области данной сложной и многогранной науки.

Основной целью курса «Исследования археологического металла» является получение студентами базовых знаний в области реставрации древних памятников. Эти знания необходимы для реставраторов художественного металла, так как археологические памятники представлены большим разнообразие металлов и сплавов, особенностями их обработки, видами разрушений. Во время лекций преподаватель объясняет основные направления исследования археологического металла: вопросы коррозии, основы химии, современные способы исследования предметов, истории использования металлов в различные исторические периоды, учит студентов профессиональному исследованию, свойствам древних металлов, методам их защиты от разрушения.

Задачи курса

Научить студентов профессиональному исследованию археологического металла, определению видов разрушений и методов борьбы с ними. В задачи курса входит научить студентов использованию специального оборудования в стационарных и полевых условиях, что необходимо во время работы с археологическим материалом.

Целевые установки 1 курс.

Лекции построены таким образом, что теоретический курс подкрепляется практическими заданиями в виде опытов и экспериментов. Благодаря этому молодые реставраторы знакомятся с основными методами исследования художественного металла, закрепляя полученные знания практическим путем. Описываются методы определения металлов. Например: «Определение меди в сплаве, определение позолоты» и т.д.

Студент должен обладать следующими компетенциями:

УК-1: Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.

УК-1.1. Знает опыт решения аналогичных задач в истории проектной реставрационной деятельности, принципы построения классификаций, типологий и систем, проводит сравнительный анализ научных и художественных решений.

УК-1.2.Умеет выделять факторы, влияющие на научные и художественные решения и проводить сравнительный анализ и выстраивать системы и классификации вариантов.

УК- 1.3. Владеет навыками анализа явлений в сфере культуры, искусства и реставрации, а также системно-типологическим мышлением.

ПК-1: Способен применять новые методы научных исследований при реставрации и реконструкции исторических памятников из металла, проводить научную работу в архивах, фондах музеев, электронных каталогах, обосновывать новизну собственных концептуальных решений в области организации исследований, выдвигать и обосновывать научную гипотезу.

ПК-1.1.Знает методы научных исследований памятников ювелирного искусства и археологии, приемы поиска и систематизации собранного архивного материала, системный подход к поиску аналогов; и включение их в научно-исследовательскую работу.

ПК-1.2. Умеет работать с разными видами музейной и реставрационной документации, электронными каталогами музеев; составить типологические ряды аналогов при систематизации обширного круга музейных памятников; избирательно собирать информацию необходимую для анализа и оценки

результатов научно-исследовательской работы, выступать на научных конференциях, готовить доклады и тезисы.

ПК-1.3. Владеет навыками архивно-знаточеской работы с музейным предметом; методами экспертно-искусствоведческой оценки научно-исследовательского материала; оформлением критической оценки результатов; грамотного составления историографии, библиографии и написания научной статьи.

ПК-2: Способен применять комплекс знаний ювелирных технологий древности для реставрации и реконструкции исторических памятников из металла, проводить технико-технологические эксперименты для реконструкции утраченных древних ювелирных технологий, предлагать методы организации исследований в научной лаборатории, научно обосновывать новые научно-технологические методики.

ПК-2.1.Знает методы технико-технологических исследований и моделирования, включающих аккумулирование результатов экспериментальной работы, интерпретации результатов экспериментов, описание и оформление итогов экспериментов; и включение их в реставрационные работы.

ПК-2.2. Умеет проводить технико-технологические эксперименты по восстановлению утраченных ювелирных технологий древности, решать поставленные вопросы в ходе собранного научно-исследовательского материала; составлять планы проведения экспериментов; грамотно проводить эксперименты и фиксировать результаты работ.

ПК-2.3. Владеет навыками ювелирных работ в реставрации; приемами организации работ по экспериментальной части исследования и оформления критической оценки результатов, логическим мышлением при оформлении итогов экспериментов и созданию экспериментальных образцов и модели изделия (музейного памятника).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

-основные понятия реставрации;
- особенности работы с музейной документацией;
- теорию реставрации и реставрационной этики;
- современные методики промывки в реставрации;
- химические свойства и особенности коррозии различных металлов;
- особенности реставрации морских находок из меди и медных сплавов.

Уметь:
-определять способы изготовления и особенности декоративной отделки в предметах археологического металла;
-работать с ювелирным современным оборудованием;
-грамотно объяснить основные понятия археологического металла;
-грамотно использовать свои знания в практической деятельности реставратора;
-определять необходимость использования ингибиторов при реставрации;
-производить очистку от продуктов коррозии медных сплавов.

Владеть:
-методикой работы с очисткой загрязнений в археологическом металле;
-методикой очисти от продуктов коррозии;
-классификацией химических свойств и коррозии различных металлов;
-навыками стабилизации медных сплавов;
-методикой тонировок доделок, химическим серебрением диэлектриков;
-методикой хранения экспонатов археологического металла.

Тематика занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема практического занятия	Формируемые компетенции
1	Общие положения об истории открытий и исследованиях археологическо го металла. Реставрация предметов археологическо го металла.	16	Организация археологического дела в России, работа Императорской археологической комиссии. Система государственного контроля за археологическими раскопками и охраной памятников старины в XIX в. Подходы к реставрации памятников археологического металла.	УК-1, УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3; ПК-1, ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3; ПК-2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3
2	Известные клады, находки и захоронения с памятниками археологическо го металла. Современные методы исследования.	18	Исторический опыт изучения археологического металла. Рассмотрение особенностей химического анализа археологических объектов. Методика лазерной абляции в исследовании археологического металла. Использование энергодисперсионного рентгеновского микроанализа в исследованиях.	УК-1, УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3; ПК-1, ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3; ПК-2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3

Самостоятельная работа магистра

Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма СРС	Формируемые компетенции
Методы исследований археологического металла	12	Индивидуальное задание	УК-1, УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3; ПК-1, ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3; ПК-2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3
Типы загрязнений и методы консервационной очистки артефактов из металлов	12	Индивидуальное задание	УК-1, УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3; ПК-1, ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3; ПК-2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3
Подходы к реставрации археологического металла	14	Индивидуальное задание	УК-1, УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3; ПК-1, ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3; ПК-2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3
Итого	**38**		

Основные свойства металлов и способы их определения

К металлам относится железо и алюминий, медь и свинец, титан и вольфрам, и еще множество элементов. Каждый материал обладает только ему присущим качеством, независимо от того, оцениваем ли мы его или нет. С другой стороны, качество можно охарактеризовать множеством свойств, которые нам кажутся наиболее важными в той или иной ситуации. По внешнему виду, например, алюминий выглядит светло-серебристым, а медь - красной. Магний, алюминий и титан по первому ощущению кажутся легкими, свинец и вольфрам тяжелыми.

Поэтому то или иное отдельно взятое свойство еще не может охарактеризовать качество материала. Поэтому, для более или менее полной характеристики качества определяют несколько свойств, наиболее важных для конкретных условий их применения. Все основные свойства материалов условно можно подразделить на следующие группы: химические, физические и механические.

К химическим характеристикам материалов относят:

химический состав, в том числе наличие примесей, легирующих элементов; способность к химическому взаимодействию с кислотами и щелочами; коррозионная стойкость, определяемая в различных условиях химически активной воздействующей на материал среды, и некоторые другие свойства.

К физическим свойствам относят:

плотность (удельный вес) и способность материала изменять ее и размеры изделия при температурном воздействии (тепловое расширение); электропроводность и электросопротивление; комплекс магнитных характеристик, таких, например, как коэрцитивная сила, намагниченность насыщения, магнитная проницаемость и др.; комплекс теплофизических свойств, таких как теплоемкость, теплопроводность, коэффициент теплоизлучения, степень черноты поверхности и др.

К механическим свойствам относят:

твердость, определяемая различными методами, в том числе по Бринеллю, Роквеллу, микротвердость вдавливанием, царапанием и др.; комплекс механических свойств, определяемых при растяжении (сжатии, кручении, изгибе) образцов, включающий (при растяжении) значения временного сопротивления разрыву (или предела прочности), предела пропорциональности, предела упругости, предела текучести, характеристик относительного удлинения и относительного сужения; предел выносливости, как характеристика, определяемая при многократных знакопеременных нагрузках при растяжении-сжатии, кручении и изгибе; ударная вязкость, определяемая при динамическом нагружении изгибом; жаропрочность; износостойкость и др.

Химические свойства

Химический состав материалов определяет их строение, в том числе их фазовый состав, структуру и их свойства. В связи с этим различают сплавы на основе железа: стали и чугуны, сплавы на основе алюминия: силумины, дуралюмины, сплавы на основе меди: латуни и бронзы и т.д.

При дальнейшем изучении курса мы познакомимся с классификацией сталей и сплавов, но уже здесь можно назвать стали углеродистые и легированные, например, хромистые, хромо-никелевые, хромо-никель-молибденовые и др. Наличие примесей в стали или сплаве резко изменяет свойства сплавов, в связи с чем, количество примесей резко ограничивается. В связи с этим, например, различают стали обычного качества, стали качественные и стали повышенного качества. Металлы могут быть химически чистыми, технически чистыми с различной степенью чистоты.

Химический состав металлов и сплавов строго регламентируется требованиями Государственных стандартов, которые являются обязательными для заводов-изготовителей этих материалов. В последнее время, в связи с интеграционными процессами, большое количество материалов у нас в стране изготавливается для поставок на экспорт, что требует оценки их химического состава и свойств согласно требованиям зарубежных стандартов.

Каждому материалу по государственным стандартам присваиваются марки, используя которые можно всегда определить их химический состав. Например, алюминий технический различной степени чистоты обозначается А5; А7; А8; А9; А99; А999, что соответствует содержанию примесей не более (соответственно) 0,05%; 0,3%; 0,2%; 0,1%; 0,01%; 0,001%.

Стали марок 10, 15, 20, 30, 40, 45 и т.д. соответствуют содержанию углерода в сталях 0,1%, 0,15%; 0,2%; 0,3%; 0,4%; 0,45% и т.д. Марки не всегда определяют химический состав стали или сплава, а бывают просто условными обозначениями, например, сталь марки Ст3. Здесь цифра 3 - просто номер. Такие же примеры из области алюминиевых сплавов АЛ5; АЛ4; АЛ9. Здесь цифры - номер сплава по ГОСТ. То же в титановых сплавах: ВТ3; ВТ5; ВТ6; ВТ22; ВТ14.

Определение химического состава сплавов производится чисто химическими методами - аналитической химии, а также методами физико-химического: спектрального, спектрально-флюоресцентного, атомно-абсорбционного и др. Методы микрорентгеноспектрального анализа позволяют определять не только средний химический состав материала, но и содержание компонентов в каждой частице структуры сплава, что очень важно для гетерогенных материалов, в том числе композиционных. Распределение элементов в материале может быть определено радиометрическими методами - так называемым методом "меченых атомов", с применением радиоактивных изотопов.

Способность к взаимодействию с кислотами и щелочами - это еще одно химическое свойство материалов, которое широко используется в технологиях получения микросхем на полупроводниковых приборах, методах электрохимической обработки поверхности, а также для выявления структуры материалов при металлографическом травлении.

Коррозионная стойкость материала - его эксплуатационное свойство. Она характеризует устойчивость материала в условиях эксплуатации при воздействии внешней агрессивной среды: атмосферного воздуха, влаги, морской воды и др.

Высокая коррозионная стойкость обеспечивается определенным химическим составом сплава, его структурой, что, в свою очередь определяется способом и режимами термической обработки. Поэтому коррозионная стойкость является одним из важнейших химических свойств материалов, потому что ее повышение часто становится главной задачей при создании новых сплавов, материалов и покрытий.

Определение коррозионной стойкости чаще всего производят в условиях, близких к условиям эксплуатации реальных изделий. Важнейшими характеристиками коррозионной стойкости являются сопротивление общей коррозии, склонность к межзеренному разрушению (межкристаллитная коррозия), склонность к коррозии под напряжением, жаростойкость, окалиностойкость и др.

Физические свойства

Плотность характеризует массу вещества в единице объема. Она, с одной стороны, зависит от строения и массы атома, а с другой - упаковкой атомов в кристаллической решетке вещества, а кроме того может изменяться при наличии в металле дефектов (микро- и макродефектов). Следовательно, это свойство может быть использовано для определения количества входящих в состав материала компонентов, если известны эти элементы. Кроме того, при известном и постоянном химическом составе материала определение плотности может дать информацию о количестве дефектов в реальном изделии (макро- микропор, точечных дефектов).

Теоретическую плотность материала определяют расчетным путем по количеству входящих в него компонентов и их атомному весу. Реальная плотность материала определяется экспериментально и может быть рассчитана после прямого взвешивания образца и точного измерения его

размеров. Основным наиболее точным методом определения плотности является метод гидростатического взвешивания согласно закону Архимеда, согласно которому "на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости вытесненной телом". Метод реализуется двукратным взвешиванием: на воздухе и жидкости (воде, спирте) с точной известной плотностью при контролируемой температуре с последующим расчетом.

Изменение объема и линейных размеров тела с ростом температуры вызывает изменение плотности и учитывается через характеристику коэффициента линейного и объемного теплового расширения. Этот коэффициент становится самостоятельной характеристикой физических свойств материалов.

Электропроводность и электросопротивление - это структурно-чувствительные свойства материалов. Они зависят не только от типа металла - основы сплава, но и от соотношения компонентов в материале, от размеров частиц рассматриваемого материала, от концентрации компонентов в фазах. Измерения электропроводности и электросопротивления дают информацию о структуре сплавов, о развивающихся при технологических переделах процессах перестройки кристаллической решетки, об изменении количества (соотношения) фаз в сплавах при нагревах и охлаждениях.

Кроме того, электросопротивление и электропроводность для электротехнических материалов являются важнейшими эксплуатационными свойствами, и, следовательно, могут использоваться в качестве контрольных характеристик, оценивающих качество изделий после их получения согласно тем или иным технологическим процессам получения изделий.

Заданные магнитные свойства материалов могут являться конечной целью определения магнитных характеристик для деталей типа постоянных магнитов. Основные магнитные свойства определяются в результате анализа так называемой "петли магнитного гистерезиса".

Основными характеристиками магнитных свойств является намагниченность насыщения, коэрцитивная сила, магнитная проницаемость, магнитная восприимчивость и др.

Кроме того, магнитные свойства часто коррелируют с изменением механических характеристик обрабатываемых материалов, в связи с чем, их используют для создания неразрушающих методов контроля качества стальных изделий и других ферромагнитных материалов.

Теплофизические свойства

Основными теплофизическими свойствами конструкционных материалов, как уже указывалось, являются теплоемкость и теплопроводность веществ. Эти характеристики важны для анализа процессов нагрева и охлаждения в различных условиях получения изделий и в процессах эксплуатации. Их значения определяются прямыми температурными измерениями в условиях выполнения экспериментов с использованием специальных теплообменных устройств и расчетов на основе классических законов термодинамики. Известные результаты измерений теплоемкости и теплопроводности различных материалов концентрируются в специальных справочных изданиях, которые рекомендуется использовать для любых расчетов, включая процессы теплообмена как внутри рассматриваемого изделия, так и при взаимодействии его поверхности с окружающей технологической средой.

Механические свойства

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться деформации и разрушению под действием приложенных нагрузок.

Простейшим механическим свойством является твердость.

Твердость - это способность материала сопротивляться вдавливанию в него более твердого тела под действием внешних сил. Простейший пример: глина, размоченная в воде, и глина, высохшая на солнце. При надавливании на поверхность глины, размоченной в воде остается ямка (отпечаток). Чем мягче глина, тем больше отпечаток. В высохшую глину вдавить палец невозможно. Размер отпечатка равен нулю. Эта глина "твердая".

Для испытания твердости металлических материалов вдавливают пирамиду, конус или шарик, в связи с чем, различают методы испытаний, соответственно, по Виккерсу, Роквеллу и Бринеллю. Кроме того, существуют менее распространенные методы испытания твердости: метод упругого отскока (по Шору), метод сравнительной твердости (Польди) и некоторые другие.

По методу Бринелля вдавливают шарик диаметром 10, 5 или 2,5 мм под действием нагрузок 3000, 1000, 750, 250 или 62,5 кгс (ГОСТ 9012-59). Полученный круглый отпечаток измеряют и по таблицам находят величину твердости по Бринеллю, значение которой до 400 - 450 НВ почти совпадают со значениями твердости по Виккерсу, но при больших значениях отклоняются в следствии деформации стального шарика.

По методу Роквелла (ГОСТ 9013-59) вдавливают алмазный конус с углом при вершине 120 ? (шкалы А и С) или стальной шарик диаметром 1,5875 мм (шкала В). При этом определяют твердость, соответственно HRA, HRC и HRB.

При испытаниях измеряют глубину восстановленного отпечатка. Шкалы А и С между собой совпадают, поскольку испытания проводят одним и тем же индентором - алмазным конусом, но при разных нагрузках: 60 и 150 кгс, соответственно.

Механические свойства металлов при растяжении

Испытание на растяжение проводят в соответствии с ГОСТ 1497-84. Для испытаний применяют специальный образец, вырезанный из детали или специально изготовленный. Размеры образцов регламентированы указанным стандартом. Растяжение образца производят на специальных машинах, позволяющих фиксировать величину прилагаемой нагрузки и изменение длины образца при растяжении. Эти же машины позволяют записывать изменение длины образца при увеличении нагрузки.

Измеряя величину нагрузки в характерных точках диаграммы испытаний на растяжение, определяют следующие характеристики механических свойств:

- предел пропорциональности;

- предел упругости;

- предел текучести;

- временное сопротивление разрыву или предел прочности материала.

Очень важной характеристикой механических свойств является ударная вязкость, характеризующая работу, затрачиваемую на разрушение образца при ударе. Ударная вязкость испытывается на маятниковом копре с постоянным запасом работы маятника (ГОСТ 9454-60 - испытание на удар при комнатной температуре; ГОСТ 9455 - 60 - при низких температурах, ниже нуля градусов Цельсия; ГОСТ 9456-60 - при повышенных температурах).

На разрушение ударом образца затрачивается только часть энергии маятника, в связи с чем, маятник после разрушения образца продолжает двигаться, отклоняясь на определенный угол. Чем больше величина работы, затрачиваемой на разрушение образца, тем на меньший угол он отклоняется от вертикали после разрушения. Величиной этого угла и определяют работу, затраченную на разрушение. Работу разрушения относят к площади поперечного сечения образца в месте излома. Ударная вязкость обозначается KCU и имеет размерность МДж/м2 (МДж/см2) или кгс?м/см2.

Кристаллическая структура металлов

Изучение металлов в соответствии с периодической системой элементов Менделеева показывает, что за исключением Mn и Hg элементы подгруппы А, в том числе переходные металлы и большинство редкоземельных элементов, а также металлы подгрупп IB и IIB и некоторые элементы группы IIIB, в том числе Al образуют одну из следующих типичных металлических структур:

A1 - кубическая гранецентрированная решетка (ГЦК)

А2 - кубическая объемно-центрированная решетка (ОЦК)

А3 - гексагональная плотноупакованная решетка (ГПУ)

Кубической гранецентрированной решеткой обладают следующие металлы: - Fe, Al, Cu, Ni, - Co, Pb, Ag, Au, Pt и др.

В кубической гранецентрированной решетке атомы располагаются по вершинам элементарной ячейки и в центрах ее граней.

Рассматриваемая кристаллическая решетка имеет два вида пустот, (междоузлий, в которых могут располагаться более мелкие атомы других элементов в сплавах) образующих твердые растворы внедрения.

Наибольшие междоузлия или пустоты находятся в центре куба и посередине его ребер. Каждая из этих пустот окружена шестью атомами ГЦК решетки, занимающими места в вершинах правильного октаэдра. В связи с этим, они называются октаэдрическими пустотами. Такие положения различных элементов в гранецентрированной кубической решетке занимают атомы Na и Cl в решетке NaCl. Такие же положения занимает углерод в решетке - Fe.

Углерод в виде алмаза, кремний, германий, - олово (серое) имеют двойную кубическую решетку типа алмаза. Она отличается от ГЦК решетки наличием в четырех из восьми тетраэдрических пустот дополнительно четырех атомов. В результате, структура оказывается более рыхлой.

Каждый атом алмаза окружен лишь четырьмя ближайшими соседями, располагающимися в углах правильного тетраэдра. Координационное число такой структуры равно 4.

Как было показано выше, одни и те же металлы при разных температурах могут иметь разное кристаллическое строение, что вызвано их аллотропией.

Аллотропическим (полиморфным) превращением называют изменение пространственной решетки кристаллического тела.

В качестве примеров аллотропических превращений можно привести превращение низкотемпературной аллотропической формы - Fe с объемно-центрированной кубической решеткой в высокотемпературную форму - Fe с гранецентрированной кубической решеткой, при температуре 910 C и последующее превращение при температуре 1392 C - Fe в - Fe с объемно-центрированной кубической решеткой, аналогичной - Fe. Аналогичные превращения можно наблюдать в титане, цирконии и т.д. В титане и цирконии низкотемпературной аллотропической формой являются - Ti, - Zr с гексагональной плотноупакованной решеткой. При температуре выше 882 C для титана и 862 C для циркония образуются - Ti и - Zr, обладающие объемно-центрированной решеткой.

Аллотропическое превращение заключается в том, что атомное строение кристаллического тела изменяется при нагреве и охлаждении. Сам процесс перестройки кристаллической решетки происходит изотермически при постоянной температуре, кривая охлаждения сплава претерпевающего аллотропические превращения, аналогична кривой, наблюдаемой при затвердевании жидкого металла. Температура перехода называется критической точкой превращения. При температуре (T0) наблюдается фазовое равновесие двух аллотропических разновидностей.

Аналогично процессу кристаллизации аллотропическое превращение идет с поглощением тепла при нагреве и выделением его при охлаждении. Аллотропическое превращение (также по аналогии с процессом кристаллизации) происходит путем образования зародышей и их последующего роста, в связи с чем, оно протекает всегда с наличием переохлаждения (при охлаждении) и перенагрева при нагреве.

Аллотропическое превращение происходит, так же как и процесс кристаллизации, в связи со стремлением системы к уменьшению свободной энергии.

Исторические сведения и свойства отдельных металлов

Некоторые сведения об истории медных сплавов

Древние мастера по металлу не оставили описаний приемов обработки и составов сплавов, применявшихся для изготовления разных предметов. Такая литература появляется только в средневековье, но в ней названия сплавов и терминология не всегда поддаются расшифровке, поэтому источником сведений являются исключительно сами вещи. Существует множество работ, посвящённых результатам исследований древних предметов. Из них мы узнаем, что первое появление изделий из меди археологи относят к VII тыс. до н.э. Это были кованые предметы из самородной меди. Затем появляется металлургическая медь и сплавы меди с другими металлами. На протяжении нескольких тысячелетий в основном из меди и ее сплавов изготавливались различные предметы: орудия труда, оружие, украшения и зеркала, посуда, монеты. Составы древних сплавов весьма разнообразны, в литературе их условно называют бронза. К наиболее ранним относятся мышьяковистые и оловянистые бронзы. Кроме олова и мышьяка в древних сплавах часто присутствует свинец, цинк, сурьма, железо и другие элементы в виде микропримесей, которые попадали в металл с

рудой. Состав сплава подбирался весьма рационально в зависимости от функционального назначения предмета и используемой техники изготовления. Так, для литья художественных изделий был выбран рецепт тройного сплава медь-олово-свинец, применявшийся в античной Греции, в Римской империи, на Ближнем и Среднем Востоке, в Индии; в Китае бронза была одним из самых распространенных сплавов. На литых предметах из такой бронзы со временем образуется красивая патина, которая в некоторых случаях сохраняется и на археологических предметах.

Сплавы получали не только из чистых металлов, но и путем смешивания различных руд, в результате чего получали такие сплавы как латунь и медно-никелевый сплав, за много веков до того как научились добывать металлический цинк и никель. Латунь впервые упоминается в VIII в. до н.э. Известный исследователь древних технологий Форбес считает, что народы Малой Азии первыми стали получать латунь. В новое время металлический цинк и латунь впервые получили в Англии лишь в 1738- г.

Большое значение при изготовлении вещей имел цвет металла, его шлифовки и полировки. В средневековых источниках - называются по цвету: красная медь, латунь - желтая медь; зелёная медь - бронза, белая медь или белая бронза - светлые сплавы. С XVIII века в связи с развитием промышленности и возможностью получать различные металлы в чистом виде возникли новые композиции сплавов. Большое распространение получили сплавы, похожие по цвету на золото. Как правило, они состояли из меди, цинка и олова в разных соотношениях.

В зависимости от состава бронза условно делалась на медальную (монетную), в которой олова - 3-8%, цинка - 1%; пушечную, содержащую 10% олова; колокольную, в которой олова 20%, и зеркальную - 30% олова. В XVIII в. появились разнообразные сплавы на основе меди. Ормолу -

разновидность латуни, в состав которой входят в равных частях медь и олово или только медь и цинк. Ормолу применялась главным образом для украшения французской мебели и мебели, выполненной во французском стиле. Иногда отливки из ормолу обрабатывали гравировкой или золотили. Гравированный рисунок делали более рельефным путем втирания черного пигмента. Латунь шла также для выделки самоваров, кофейников и других предметов домашнего обихода, осветительных приборов, ручек, кухонной утвари; некоторые предметы лудились. Латунь, содержащая до,10% цинка, называлась томпак. Она широко использовалась в XVIII веке для изготовления дешевых ювелирных украшений. Латунь с содержанием до 20% цинка называлась полутомпак, с 30% цинка - адмиралтейская латунь. Сплавы на медной основе мельхиор и нейзильбер - использовались как заменители серебра. В старой литературе нейзильбер иногда называется аргентан, варшавское серебро, иногда этим названием определяется посеребренная латунь. Отсутствие четкого соответствия названия составу привело к тому, что даже в справочной и специальной литературе позднего времени даны разные составы этих сплавов или разные названия одного сплава. Поэтому приводим определение этих двух похожих по внешнему виду сплавов, данное в Энциклопедическом словаре 1985 г. Мельхиор - сплав, изобретенный во Франции, содержит в своем составе медь главным образом с никелем (5-30%). Обладает высокой стойкостью на воздухе и в воде, хорошо обрабатывается.

Нейзильбер (буквально, новое серебро) - немецкий сплав, содержащий медь - основа, никель (5-35%) и цинк (13-45%). Обладает высокой коррозионной стойкостью и прочностью, удовлетворительной пластичностью.

Сплавом XX века является алюминиевая бронза с содержанием 5% алюминия. Этот сплав прекрасно обрабатывается и по цвету похож на

золото. Иногда его называют французским золотом. Французским золотом называют также сплав, состоящий из 58% красной меди, 16% олова и 25% цинка, цветом и блеском действительно похожей на золото. Так называемый британский металл состоит из олова, сурьмы с добавлением меди. Этот сплав обладает прекрасными литейными свойствами, легко обрабатывается инструментами, хорошо принимает полировку и не тускнеет на воздухе. Из него изготовляли в большом количестве предметы домашнего обихода.

Таким образом, видим, что по названию, которое дается в старых руководствах по обработке металлов и справочниках, определить состав и содержание в сплаве легирующих элементов сплава трудно.

Технология изготовления различных предметов из металла также претерпела эволюцию: первые изделия изготовлялись холодной ковкой, затем было освоено литье, сначала в открытую форму, затем в закрытую и, как наиболее развитая техника литья, литье по выплавляемым моделям; восковое литье в Египте было уже в III тыс. до н.э. Холодной ковке на смену пришла горячая ковка и использование термообработки для получения специальных свойств металлов. По-разному конструктивно оформлялись предметы, в определенный период появляется ковочная сварка, пайка, сочетание кованых и литых элементов. Предметы перестают иметь чисто утилитарное значение; украшаются насечкой и инкрустацией ножны и рукояти мечей и кинжалов, становятся нарядными элементы конской упряжи и снаряжения всадников, появляется художественно украшенная посуда. Получают развитие различные технические и ювелирные приемы работы с металлами. Нужно заметить, что все это уходит в глубокую древность. Так, в царских гробницах Ура (29 в. до н.э.) был найден золотой кинжал в ножнах, в декорировке которого применялись зернь и филигрань. С древнейших времен стали использовать украшение предметов из меди и медных сплавов другими металлами. Золотилась или серебрилась вся поверхность или выявлялся

таким способом рисунок. Появляется инкрустация из золота и серебра. Некоторые предметы декоративно-прикладного искусства из металла имели искусственную патину. Первые опыты по патинированию металлов начались, видимо, в Европе с эпохи Возрождения, вдохновленной открытием античного искусства. Искусство барокко почти всегда предпочитало светлый блестящий металл. В предметах прикладного искусства в стиле рококо старались еще более усилить блеск, чистой бронзы обильным применением позолоты и сплавов, имитировавших золото. Золочение; было очень разнообразным. В XVIII в. появляется матовое золочение, позолота различных оттенков. Иногда на одной вещи сочеталось матовое и блестящее золочение. Лишь в конце XVIII - нач. XIX в. искусственная патинировка опять входит в моду. Её вдохновителем явилась античность после раскопок Помпеи и Геркуланума. Своеобразное применение она нашла в стиле ампир. Патинировались отдельные детали бронзовых украшений мебели, часов, подсвечников. Почти всегда патинирование детали сочеталось с золочением. Плотная черно-зеленая патина, нанесённая без учета моделировки, полностью скрывала цвет металла. Массовое патинирование под старину началось с середины XIX века. В это время было создано большее число всех известных ныне способов патинировки. Кроме патинирования химическими веществами, применялись пигменты на связующем, масляное горячее патинирование, покрытие цветным лаком. Способы патинировки были секретом мастера или мастерской.

Свойства меди и продуктов ее коррозии

Медь представляет собой тяжелый металл красного цвета, обладающий очень высокой тягучестью и ковкостью. Атомная масса меди 63,54; плотность 8,9 г/см2, температура плавления 1083°С. С различными элементами медь легко образует сплавы. В ряду напряжений металлов медь стоит правее водорода, нормальный электродный потенциал близок к потенциалу благородных металлов, поэтому химическая активность меди

невелика. В нейтральной воде на поверхности меди образуется защитная пленка, которая приостанавливает дальнейшее окисление. При отсутствии кислорода и других окислителей медь не растворяется при комнатной температуре в серной кислоте при концентрации до 80%, в горячей серной кислоте медь растворяется при концентрации выше 80%. В азотной кислоте медь растворяется. В растворах соляной кислоты без доступа воздуха медь медленно окисляется, в присутствии воздуха медь реагирует с соляной кислотой очень быстро. Наличие в воздухе паров очень летучей СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ вызывает активную коррозию меди. Медь реагирует с растворами аммиака, хлористого аммония. Медь очень устойчива по отношению к щелочам. В растворах, щелочей на ее поверхности образуются пленки гидратированных оксидов меди, плохо растворимых в щелочах и защищающих металл от дальнейшего действия щелочи. Высока стойкость меди в различных органических растворителях. Химические свойства медных сплавов практически такие же, как у меди. Химическая активность основных составляющих продуктов коррозии на меди и медных сплавах следующая: закись меди куприт, красно-коричневого цвета, не растворяется ни в холодной, ни в горячей воде; при продолжительном кипячении медленно переходит в черную окись меди. В щелочах плохо растворяется, реагирует с кислотами. В холодной разбавленной серной кислоте разлагается с образованием металлической меди в виде мелкодисперсных частиц красно-коричневого цвета, в горячих растворах серной кислоты медленно переходит в раствор в виде средних и кислых сернокислых солей. В муравьиной кислоте растворяется плохо. Растворяется в растворах аммиака, углекислого аммония и трилона Б с образованием прочных комплексных соединений. Окись меди нерастворима ни в холодной, ни в горячей воде. Не реагирует с щелочами. Реагирует с кислотами. В растворах аммиака, углекислого аммония и в щелочном растворе сегнетовой соли практически не растворяется. Основная углекислая медь, малахит зеленого цвета, при 200°С разлагается на воду и черную окись меди. В холодной воде нерастворима, в

горячей воде при кипячении разлагается с образованием окиси. В щелочах частично растворяется, частично переходит в синий гидрат окиси, быстро разлагающийся на воду и окись меди. В кислотах растворяется с бурным выделением углекислого газа. Легко растворяется в растворах углекислого аммония, аммиака и щелочном растворе сегнетовой соли.

Основная углекислая медь, азурит, синего цвета. Реакции те же, что и у малахита.

Основная сернокислая медь, синего цвета. Не растворяется ни в холодной, ни в горячей воде. Легко растворяется в кислотах, в растворах углекислого аммония и аммиака. В щелочи переходит в нерастворимый синий гидрат окиси, который разлагается с образованием окиси меди. Растворяется в щелочном растворе сегнетовой СОЛИ.

Хлористая медь бесцветная. Гигроскопична, в химическом отношении неустойчива. В холодной воде практически не растворяется. При нагревании медленно гидролизуется, образуя гидрат закиси, который затем разлагается на закись меди и воду. Растворяется в растворах углекислого аммония и аммиака. Хорошо растворяется В СОЛЯНОЙ кислоте и медленно - в муравьиной. В серной кислоте растворяется частично. В горячих растворах щелочей частично растворяется, остаток переходит в окись меди.

Основная хлорная медь, зеленого цвета» негигроскопична, нерастворима в холодной воде. При кипячении медленно разлагается с образованием черной закиси меди. Легко растворяется в кислотах, в растворах аммиака, углекислого аммония, в щелочном растворе сегнетовой соли. В щелочах частично растворяется, частично переходит в синий гидрат окиси, а затем в черную окись меди.

Некоторые сведения из истории серебра

Серебро является одним из самых древних металлов. Древнейшие серебряные изделия, датированные V тысячелетием до н.э., найдены на территории Ирана и Анатолии. Остатки листового серебра сохранились на одеянии царя и царицы, изображенных на троне Тутанхамона. Позднее серебро широко использовалось для чеканки монет. Мягкий, исключительно ковкий металл употреблялся для изготовления художественных изделий. Обладая прекрасными литейными качествами, серебро легко заполняло тончайшие формы при отливке, а способность его воспринимать мельчайшие штрихи гравировки и чеканки обеспечили ему широкое применение для изготовления высокохудожественных произведений, которые были почитаемы и любимы во все времена и у всех народов. Знаменитый английский исследователь древних ремесел Партингтон отмечает, что в ранние периоды цивилизации серебро ценилось выше золота. Увлечение художественным серебром достигает апогея у римлян в императорское время. В средневековье драгоценные металлы имели и сакральное значение. Состав серебряного сплава монет и изделий определял финансовое положение государства. Так как вес самого металла всегда играл роль денежного отсчета, то еще со времен Римской империи слитки серебра клеймились. В напряженное для государства время предметы из драгоценных металлов переплавлялись на монеты. Качество поделочного серебра выгодно было поддерживать на уровне монетного, поэтому на предметах ставили клеймо, которое удостоверяло пробу, т.е. количество драгоценного металла в сплаве. Клеймение было введено в разных странах в разное время. В Византии клеймение велось с IX века. Из Византии клеймение распространяется по всей Европе; в XIII в. во Франции и Германии, в 1300 г. - в Англии. Самое раннее московское клеймо относится к середине XVII в. До 1927 г. в нашей стране применялась золотниковая проба, выражавшая содержание благородного металла в золотниках, приходившихся на I фунт

сплава (в фунте содержится 96 золотников). С 1927 г. установлена метрическая система проб, в которой содержание благородного металла соответствует количеству граммов в одном килограмме сплава. В 1951-1953 гг. Московский монетный двор ставил на реставрированных старых ювелирных вещах букву "Р" в круглом щитке.

Необыкновенно разнообразны способы декоративного украшения серебряных предметов. Технические приемы, применявшийся для декоративной отделки в различных странах, в основных чертах были сходными. В разные времена отдавали предпочтение этому или иному способу отделки. Благодаря своей мягкости серебро легко воспринимает гравировку. Гравировке часто сопутствовала чернь. Чернь - особый сплав, состоящий из серебра, меди (или олова), свинца и серы в определенных пропорциях. В западноевропейских странах чернь носит название "niello". Особый прием глубокой резьбы называется обороном, при этом фон вокруг изображения или надписи опускается, благодаря чему рисунок подымается и производит впечатление чеканного. Чеканка - один из самых эффективных приемов обработки серебра. Чеканке часто сопутствует канфаренный (зернистый) матовый фон, который получается обработкой поверхности специальным чеканом с острым концом. Для серебра характерно сочетание матовых и полированных поверхностей и многообразие фактур. Иногда серебряные изделия частично или полностью золотились. Выделение отдельных частей рельефа позолотой - распространенный прием в древней торевтике.

Можно выделить группу предметов, изготовленных особой техникой - сканью. Скань (западноевропейское обозначение той же техники - филигрань) - это ажурные напаянные на металлический фон узоры из тонкой скрученной в виде веревочек или гладкой проволоки. Скани часто сопутствует зернь.

Серебро употреблялось для украшения других металлов. С конца XVIII века широко стало использоваться не цельное серебро, а покрытие серебром меди, бронзы и латуни. Серебрение проводилось различными способами. Появляется так называемое накладное серебро, когда двумя серебряными пластинами закатывался медный или латунный лист. Наиболее ранние образцы такой техники относятся к первой половине XVIII века (так называемое "шеффильдское серебро"). В России подобные изделия известны с конца XVIII века, однако расцвет такой техники приходится на 20-40-е годы XIX века. Выколотка и обработка изделия происходит, таким образом, уже на трехслойной заготовке. Изделия накладного серебра отличаются значительной толщиной серебряного слоя. При сусальном серебрений на изделие наклеивают тончайшие листочки серебра. Техника серебрения такая же, как дерева, гипса и пр.

Для серебряных изделий применялась искусственная патинировка. Декоративная искусственная патина подчеркивала рельеф или акцентировала внимание на какой-нибудь детали. Однако такую отделку можно обнаружить только на поздних бытовых вещах, как правило, на накладном серебре или на сплаве-имитаторе.

Старинные серебряные предметы, несмотря на то, что они периодически чистились, всегда покрыты темным слоем сернистого серебра, который быстро образуется на серебряном предмете. Иногда этот слой имеет черную блестящую поверхность. В таком случае серебро становится похожим на вороненую сталь; в других случаях поверхность обезображена темными пятнами или полностью вся покрыта тусклым коричневатым слоем. Цвет сернистой пленки зависит от толщины, длительности образования, состава металла и от техники обработки. При наличии общих закономерностей образования сернистой пленки, существует ряд предметов с

характерным цветом поверхности. Известно образование сине-черного блестящего слоя, связанного, видимо, с большой нагортованностью металла. На некоторых предметах русской работы образуются бархатистые коричневые пленки, никогда не перерастающие в блестящие черные. В некоторых случаях цвет потемневшего серебра настолько красив, что его предпочитают сохранять, несмотря на то, что авторский вид предмета был, несомненно, другим. Сложность отличия авторского замысла от случайного потемнения в результате внешнего воздействия усугубляется недостаточностью наших знаний стилистических особенностей прикладного искусства отдельных исторических периодов и сложностью анализа тонких химических пленок на серебре. Очевидно, что темные пятна на серебре нельзя оставлять, ссылаясь на то, что предмет старинный. Признаком древности могут быть скорее стиль и технические, приемы, чем потемнение, которое может образоваться за короткое время при загрязненности воздуха или неправильном хранении.

Время накладывает свой отпечаток на предмет. От длительного употребления сглаживается гравированный орнамент, под темным слоем сернистого серебра скрывается многообразие авторской фактуры. В задачи реставратора входит не только тщательное и правильное проведение технической стороны реставрации, но в обоснованное восстановление авторского вида предмета. Изложенные рассуждения невозможно применить к археологическому серебру, авторская поверхность которого практически всегда покрыта толстой коркой рогового серебра, а сам металл претерпел существенные изменения кристаллического строения. Раскрытая очисткой поверхность археологического серебряного предмета потемнеет естественным образом в обозримое время при соприкосновении с загрязненным воздухом.

Золото

Атомная масса золота 196,96; плотность 19.3 г/см3 температура плавления 1063°С. Золото очень стойко по отношению к кислотам и щелочам. Растворяется в царской водке (смесь азотной и соляной кислот в отношении 1:3), в растворах цианидов щелочных металлов. В природе золото встречается главным образом в самородном виде, часто с примесями серебра, меди, железа и металлов платиновое группы. В зависимости от примесей золото имеет различные оттенки. Медь придает золоту красноватый оттенок. Присутствие серебра осветляет сплав, при 60%серебра желтая окраска золота исчезает. Природный сплав золота с серебром называется электрум. Процентное содержание золота в этом сплаве колеблется от 50 до 85%, а цвет - между золотистым и серебристым в зависимости от содержания в сплаве золота. Электрум широко применялся египтянами, греками и римлянами для ювелирных изделий и декоративных накладок.

Кроме специально введенных и естественных примесей, окрашивающих золото, применяли различные химические химико-термические способы окрашивания золотой поверхности.

Золото достаточно прочно и очень пластично, благодаря чему из него получают тончайшую фольгу (сусальное золото), которая идет на золочение других металлов и изделий из различных материалов (дерево, гипс, кожа и пр.). Золото легко растворяется в ртути; амальгама с древнейших времен использовалась для золочения других металлов.

После длительного пребывания в земле золотые предметы приобретают более теплый желтый оттенок из-за удаления из поверхностного слоя менее благородных составляющих почвенной влагой с растворенными в ней солями. Иногда поверхность золотых предметов, найденных в почве, покрыта густо-красным рыхлым налетом, Искусственно

получить такой налет не удается, поэтому его надо сохранить, несмотря на то, что он легко удаляется механически.

Длительное пребывание золота в земле приводит к снижению пластичности.

Очищать золотые предметы надо очень осторожно, чтобы не изменить цвета поверхности. Если нет известковых или органических наслоений, то предметы просто промывают водой и высушивают. Нельзя протирать археологическое золото абразивами.

Деформированным золотым предметам можно вернуть первоначальную форму. Перед выправлением золото отжигают до красного каленая и охлаждают в воде.

Музейные золотые предметы очищают от загрязнения горячей водой с мылом.

Обладая ярко выраженным положительным потенциалом, археологическое золото образует с другими, находящимися рядом с ним металлами, гальванические пары, в которых оно является катодом. В результате этого происходит покрытие золота коррозионными продуктами этих металлов, которые следует удалять химической очисткой, в соответствии, с чем выбираются очищающие растворы.

Консервировать золотые предметы нет необходимости.

Свинец

Свинец - мягкий блестящий металл серо-голубого цвета в свежем срезе. Атомная масса 207,2; плотность 11,34; температура плавления 327°С. На воздухе свинец покрывается оксидной защитной пленкой.

Археологические предметы из свинца покрыты наслоениями, состоящими из карбоната свинца, иногда основного карбоната, с примесью окислов свинца и хлорида. Коррозионный слой имеет больший объем, чем здоровый металл, поэтому форма предмета искажается и на предмете появляются микротрещины.

В присутствии воздуха на свинец действует вода. Небольшие концентрации углекислого газа в воде задерживают разрушение металла из-за образования поверхностной пленки углекислого свинца. В жесткой воде растворимость свинца меньше, чем в мягкой.

Примечание: жёсткость воды определяется содержанием в ней солей двухвалентных металлов. Различают временную и постоянную жёсткость. Временная жёсткость устраняется кипячением, постоянная – осаждением солей двухвалентных металлов содой.

Свинец стоек в растворах серной кислоты (до 80%), горячей и холодной фосфорной кислоте, хромовой, плавиковой (до 60%). Однако он корродирует в растворах азотной кислоты (70%) и соляной (выше 10%). В присутствии кислорода свинец довольно хорошо растворяется в уксусной и других органических кислотах, с которыми он образует комплексные соединения, а также в щелочах и растворе каустической соды. Углекислые соли свинца хорошо растворяются в кислотах.

Свинец является, сильным ядом. Он и его соединения опасны не только болезнетворным действием, но и способностью накапливатъся в организме.

Олово

Олово - мягкий белый металл, обладающий высокой пластичностью, ковкостью и легкоплавкостью. Оно может быть прокатано до толщины 0,005 мм. Известны две аллотропные модификации олова: альфа - обычное белое олово, устойчивое выше 13,2°С и бета-серое олово, устойчивое ниже 13,2°С. Атомная масса 118,7; плотность альфа— 5,85; бета- 7,3. Температура плавления 232°С. Выше 161°С олово становится хрупким и может легко измельчаться в порошок (легче при температуре 200°С). Превращение белого олова в серое, называемое оловянной чумой, ничего общего с коррозией металла не имеет. При заболевании предмета «оловянной чумой» на поверхности образуются островки рыхлого крупнокристаллического серого порошка, который при попадании на здоровый вызывает заболевание металла. Чем чище олово и чем большей деформации оно подвергалось при обработке, тем легче и быстрее при низких температурах происходит превращение белого олова в серое. Сильно уменьшают скорость превращения добавки к олову свинца, кадмия, сурьмы, серебра. Теоретически переход белого олова в серое происходит при 13,2°С. На практике такое превращение начинается при температуре ниже 0°С.

Примечание: определить оловянную чуму возможно рентгенофазовым методом.

Прочная тонкая поверхностная пленка оксидов делает олово устойчивым по отношению к воздуху и воде. В почве олово разрушается, превращаясь в гидратированную окись. При образовании продуктов коррозии олова не происходит столь значительных, как у свинца, объемных изменений. Концентрированная соляная и азотная кислоты легко растворяют олово, сильно разбавленная холодная азотная кислота и концентрированная серная кислота - медленно. Олово хорошо растворяется в царской водке. Наиболее агрессивной из органических кислот является щавелевая кислота.

Щелочи медленно растворяют олово даже на холоде и при низких концентрациях. Скорость растворения значительно повышается в присутствии воздуха.

Олово использовали для изготовления бронз, сплавляя с медью. Кроме того, из него делала медали, монеты, предметы культа; широкое распространение получила оловянная посуда и медная, покрытая оловом. Известны многочисленные предметы из луженого железа. Олово более коррозионностойкий металл, чем свинец. Обработка его проще. Крупные корродированные оловянные предметы хорошо переносят электролитическую обработку в растворе каустической соды со стальными электродами. Электрохимическую обработку проводят без подогрева с порошком цинка или алюминия. Электролитом служит 10%-ный раствор каустической соды NaOH. После удаления продуктов коррозии предмет тщательно промывают, сушат и консервируют воском. В тех случаях, когда предмет из свинца, олова или сплава свинца с оловом (пъютер) покрыт лишь тонкой пленкой оксидов, неоднородной по цвету, его можно осторожно протереть тонким абразивом, нанесенным на мягкую ткань.

Оловянная чума редко поражает музейные предметы, но приостановить ее очень трудно. Поэтому очень важно предупредить ее. Недопустимо хранить олово в неотапливаемом помещении. Предметы, на которых имеются сыпучие вещества, надо изолировать, чтобы не допустить попадание частиц серого олова на здоровый металл. К сожалению, нет радикального способа лечения этого вида разрушения. Электролитическая, очистка наиболее полно удаляет все сыпучие вещества.

Железо

Некоторые сведения из истории железа

Освоение железа шло двумя путями: использование природного металлического железа и получение из железных руд. Самородное железо чрезвычайно редко. Доступнее было метеоритное железо. Отличительной особенностью железа метеоритного происхождения является содержание до 10% по весу никеля. Самое древнее железное изделие найдено в Египте относится к IV тысячелетию до н.э. и представляет собой ожерелье из прокованных полосок метеоритного железа. Первые железные клинки, изготовленные из железа рудного происхождения, относятся к 2100 г. до н.э., найдены они на территории Турции. Железо было дорогим металлом; изделия из него находят в храмах и в захоронениях могущественных правителей. В гробнице Тутанхамона (XIV в. до н.э.) обнаружено несколько изделий из железа, в том числе кинжал. Овладение искусством получать и обрабатывать железо на разных территориях произошло в разное время. Первое железо получали сыродутным способом в горнах. Археологические раскопки дали возможность узнать конструкцию первых печей и изучить тот материал, который в них получали - крицу, губчатую массу, которую затем проковывали. Однако железо было слишком мягким материалом, и древние мастера научились насыщать его углеродом и получать сплав, обладающий большей твердостью и способностью воспринимать закалку. Насыщалось железо в печах или тиглях. Орудия труда и оружие изготовляли из сварочной стали путем многократной горячей ковки. Сталь была дорога и часто из высококачественной стали изготовляли только наварные лезвия или другие рабочие части орудий труда и оружия.

В странах Востока делали сталь с исключительными свойствами, сочетающими твердость и упругость - дамасскую сталь и булат. Дамасскую сталь получали кузнечной сваркой стальных полос или проволоки с различным содержанием углерода. Поскольку отдельные полосы были разного состава, на клинке после полировки и травления выявлялись узоры. Варьируя схему ковки, мастера получали различные узоры на поверхности

клинков. Булат литая углеродистая сталь, обладающая столь же высокой твердостью и упругостью. Стоимость булатных клинков и оружия из дамасской стали была необычайно высокой. В западной Европе в XVIII - XIX вв. широко развернулось производство подделок под булат. Рисунок на клинки из ложных булатов наносился различными методами и протравливался. Особым свойством обладают японские клинки. Химический анализ показывает, что их металл содержит небольшие количества легирующих элементов, которые восстанавливались вместе с железом из руды, содержащей эти примеси.

Чугун раньше всего стали получать в Китае. Первые сведения о нем относятся к VI в. до н.э. Интересно, что из руды получали не непосредственно ковкое железо, а выплавляли сразу чугун, из которого путем очистительной переплавки изготовляли сталь. В Китае и на смежных с ним территориях чугун был распространен гораздо шире, чем в других странах и литейная техника из него раньше достигла совершенства. Китайцы умели изготовлять необычайно крупные и сложные отливки из чугуна. Чугун был известен и античным металлургам уже в IV в. до н.э. Производство чугуна в Западной Европе началось в XIV в. с появлением первых доменных печей. В России производство чугуна было освоено в XVI в. В 1747 году создается Каслинский чугунолитейный завод, который стал выпускать предметы прикладного искусства и даже литые украшения из чугуна.

Уникальные предметы прикладного искусства из стали делались в XVIII-XIX вв. тульскими златокузнецами. Таких вещей мало. Всего в музеях Советского Союза учтено пятьсот предметов. Тульские стальные изделия украшались коваными гранеными алмазами, наводкой медью, серебром и золотом, насечкой. В специальных горнах мастера получали различные оттенки воронения на стали - от темно-зеленых и синих до лиловых, голубых и розовых. Широко использовались железные кованые элементы в

архитектуре: оковка дверей, художественные решетки и ограды. В искусстве барокко появляется золочение, на кованых железных архитектурных балконных решетках и воротах. Поверхность художественных изделий из черных металлов всегда декоративно обрабатывалась, ей придавалась различные оттенки химико-термическими способами. Такая декоративная обработка одновременно и защищала поверхность от коррозии.

Сравнительно низкая коррозионная стойкость изделий из черных металлов и сложность декоративной отделки приводят к полной или частичной утрате авторского вида. Поэтому так важно реставратору знать старинные методы отделки предметов, уметь их восстановить и предотвратить дальнейшее разрушение, не исказив авторского вида экспоната.

Свойства железа

Железо - серебристо-белый вязкий и ковкий металл. Атомный вес - 55,85; плотность - 7,87 г/см3, температура плавления 1539°С. Ниже температуры 768°С железо обладает ферромагнитными свойствами, выше этой температуры - теряет их. При плавлении железо увеличивается в объеме на 4,4%..

Сплав железа с углеродом (до 2% углерода) называется сталью. Сталь прочнее и тверже железа, свойства её могут меняться в широких пределах в зависимости от вида обработки, содержания углерода и легирующих элементов.

Сплав железа с углеродом (более 2% углерода) называется чугуном. Кроме углерода, в чугуне содержится до 4% кремния, до 2% марганца, а также фосфор и сера. Чугун отличается высокими литейными свойствами.

Из-за низкой пластичности он не подвергается обработке давлением за исключением чугуна особого вида, который называется ковким. В зависимости от формы выделения углерода чугун подразделяется на белый и серый. Белым называется чугун, в котором при нормальной температуре весь углерод находится в связанном состоянии, в основном в форме цементита. Такой чугун в изломе имеет белый цвет и металлический блеск. Серым называется чугун, в котором весь углерод или большая его часть находятся в виде графита, а в связанном состоянии (в форме цементита) углерода содержится не более 0.8 %. Ввиду большого количества графита, входящего в состав такого чугуна, его излом имеет серый цвет. По коррозионной стойкости чугун можно приравнять к легированным сталям. Это объясняется, в частности, наличием в чугуне графита, который в значительной степени замедляет коррозию.

В разбавленных кислотах железо растворяется. Скорость коррозии железа в серной кислоте возрастает с увеличением концентрации, достигая максимума при 47%-ной концентрации, после чего уменьшается; в 98%-ной кислоте железо не растворяется, в 100%-ной растворимость резко увеличивается. Своеобразно действие азотной кислота в зависимости от ее концентрации. Холодная разбавленная азотная кислота (плотность ниже 1,034) растворяет железо без выделения водорода, восстанавливаясь до аммиака. Кислота с плотностью до 1.115 также растворяет железо, но продуктами реакции являются азот и закись азота. В концентрированной кислоте (плотность выше 1,41) растворение уменьшается вследствие пассивирования железа. Пассивность обусловлена тончайшей оксидной пленкой, которая легко разрушается при механическом воздействии. в серной кислоте чугун корродирует медленнее, чем в соляной. Азотная кислота активно действует на серый чугун. Фосфорная кислота менее агрессивна, чем соляная и серная. В органических кислотах, свободных от растворенного кислорода, железо устойчиво, уксусная кислота воздействует

на чугун. Углеродистая сталь устойчива в плавиковой кислоте при концентрации 65-70%. При концентрации шгае 65% и комнатной температуре наступает активное взаимодействие кислоты с углеродистой сталью. Чугун разъедается плавиковой кислотой любой концентрации. Железо, углеродистые стали и чугун стойки в разбавленных растворах щелочей. Аэрация, повышенная температура, высокая концентрация и присутствие хлоридов увеличивают скорость коррозии. Значительно разъедают сталь кипящие растворы гидроокиси натрия при концентрации выше 10%, но в. 30%-ном растворе процесс замедляется вследствие образования защитной пленки. В воде, не содержащей растворенный кислород, железо практически не корродирует[1].

[1] РЕСТАВРАЦИЯ МЕТАЛЛА. Методические рекомендации. ВНИИР. сост. М.С.Шемаханская М., 1989.

При изучении указанной дисциплины «Исследования археологического металла» предусмотрены контрольная работа, доклад, зачет.

Методические задачи по лекциям.

Обучение по курсу «Исследование археологического металла» рассчитано на один год 1 семестр. Лекции построены таким образом, что теоретический курс подкрепляется практическими заданиями в виде опытов и экспериментов. Благодаря этому молодые реставраторы знакомятся с основными методами исследования художественного металла, закрепляя полученные знания практическим путём. Курс лекций разделён на два раздела. В первом разделе описываются методы определения металлов. Например: «Определение меди в сплаве, определение позолоты» и т.д. Второй раздел посвящён коррозии металлов. В лекциях выделяются основные виды коррозии, методы её определения и предотвращения.

Методика обучения по курсу «Исследование археологического металла» предполагает тесную связь с работой студентов в реставрационных мастерских ведущих музеев Москвы, где знания, полученные молодыми реставраторами во время лекций совершенствуются опытными специалистами. Одновременно с этим они должны вести самостоятельную работу посещая библиотеки для изучения специальной литературы, консультироваться с опытными реставраторами.

Литература

Основная литература

При изучении дисциплины «Исследования археологического металла» в качестве основных источников информации, рекомендуется использовать следующую литературу:

1. Третьякова, А. Е. Принципы реставрации : учебное пособие / А. Е. Третьякова, В. В. Сафонов. — Москва : РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. — 109 с. — ISBN 978-5-87055-872-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167001— Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Бардин, И. В. Методы коррозионных исследований и испытаний : коррозионный мониторинг оборудования в процессе эксплуатации : учебное пособие / И. В. Бардин. — Москва : МИСИС, 2015. — 44 с. — ISBN 978-5-87623-958-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/117078 — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Шемаханская М. С. Металлы и вещи. М., 2015.

Дополнительная литература

В качестве дополнительных источников информации, рекомендуется использовать следующую литературу:

1. Буслаев, Ф. И. Сочинения по археологии и истории искусства / Ф. И. Буслаев. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 1 — 2014. — 558 с. — ISBN 978-5-507-37956-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/46406— Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Буслаев, Ф. И. Сочинения по археологии и истории искусства / Ф. И. Буслаев. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 2 — 2014. — 457 с. — ISBN 978-5-507-37957-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/46407 — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Калиш М. К. Естественные защитные пленки на медных сплавах. М.: Металлургия, 1971.

4. Калиш М.К. Изменение древних бронз вследствие почвенной коррозии. Сообщение ВЦНИЛКР, 1969 №24-25.

5. Кулемзин, А. М. Историко-культурное наследие и общество: теория и методика охраны памятников : учебное пособие / А. М. Кулемзин. — Кемерово : КемГИК, 2018. — 147 с. — ISBN 978-5-8154-0417-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/111867 — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Мурашов, А. А. Изучение процессов усталостного и коррозионно-усталостного разрушения мелкозернистых металлов и сплавов: практикум : учебное пособие / А. А. Мурашов. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2022. — 53 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/283253. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Пиляева, О. В. Литейное производство : методические указания / О. В. Пиляева. — Красноярск : КрасГАУ, 2020. — 46 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/225107 — Режим доступа: для авториз. пользователей.

8. Полетаева М. Н., Персианцева В. П. Ингибиторы атмосферной коррозии для защиты металлов при хранении и транспортировке / Сообщения ВЦНИЛКР, прилож. V, 1969.

9. Скотт А. Очистка и реставрация музейных экспонатов. М., 1935.

10. Флёров А.В. Технология художественной обработки металлов. М.: Всесоюзное кооперативное издательство, 1968.

Приложение 1

Дополнительные материалы для лекций

Сплавы

Сплавы, материалы, имеющие металлические свойства и состоящие из двух или большего числа химических элементов, из которых хотя бы один является металлом. Многие металлические сплавы имеют один металл в качестве основы с малыми добавками других элементов. Самый распространенный способ получения сплавов – затвердевание однородной смеси их расплавленных компонентов. Существуют и другие методы производства – например, порошковая металлургия. В принципе, четкую границу между металлами и сплавами трудно провести, так как даже в самых чистых металлах имеются «следовые» примеси других элементов. Однако обычно под металлическими сплавами понимают материалы, получаемые целенаправленно добавлением к основному металлу других компонентов.

Почти все металлы, имеющие промышленное значение, используются в виде сплавов (см. табл. 1, 2).

Таблица 1. НЕКОТОРЫЕ ВАЖНЫЕ СПЛАВЫ (состав и механические свойства)

		Типичные механические свойства			
Сплавы	**Состав (основные элементы, %)**	**Состояние**	**Предел текучести (деформация 0,2%), МПа**	**Предел прочности на растяжение, МПа**	**Удлинение (на длине 5 см), %**
Алюминиевые					
3003	**1,2 Mn, 98,8 Al**	**Отожженный**	**40**	**110**	**30**
		Холоднокатаный[1]	**186**	**200**	**4**
2017	**4,0 Cu, 0,5 Mn, 0,5 Mg, 95 Al**	**Отожженный**	**69**	**179**	**22**
		Термообработанный[2]	**275**	**427**	**22**
5052	**2,5 Mg, 0,25 Cr, 97,25 Al**	**Отожженный**	**90**	**193**	**25**
		Холоднокатаный[1]	**255**	**290**	**7**
6053	**1,3 Mg, 0,7 Si, 0,25 Cr, 97,75 Al**	**Отожженный**	**55**	**110**	**35**
		Термообработанный[3]	**220**	**255**	**15**
Альклед 2024	**Сердцевина: 2024 (4,5 Cu, 0,60 Mn, 1,5 Mg, 94,4 Al). Покрытие: 99,75 Al**	**Отожженный**	**76**	**179**	**20**
		Термообработанный[3]	**310**	**448**	**18**
		Термообработанный[4]	**365**	**462**	**11**
7075	**5,6 Zn, 2,1 Cu, 3,0 Mg, 0,3 Cr, 89,0 Al**	**Отожженный**	**100**	**228**	**17**
		Термообработанный[3]	**517**	**572**	**11**

13	**12–13 Si, 87–88 Al**	**Литой под давлением**	**145**	**296**	**2,5**
43	**5,3 Si, 94,7 Al**	**Литой в песч. форму**	**55**	**130**	**8**
		Литой под давлением	**110**	**228**	**9**
214	**4 Mg, 96 Al**	**Литой в песч. форму**	**82**	**170**	**9**
Медные					
Красная латунь	**85 Cu, 15 Zn**	**Отожженный**	**100**	**310**	**43**
		Холоднокатаный[1]	**450**	**550**	**4**
Патронная латунь	**69 Cu, 31 Zn**	**Отожженный**	**100**	**317**	**58**
		Холоднокатаный[1]	**450**	**586**	**10**
Желтая латунь (выс.)	**65 Cu, 35 Zn**	**Отожженный**	**100**	**310**	**60**
		Холоднокатаный[1]	**480**	**620**	**5**
Адмиралтейская латунь	**70 Cu, 29 Zn, 1 Sn**	**Отожженный**	**124**	**365**	**60**
		Холоднокатаный[1]	**676**	**689**	**3**
Судостроительная латунь	**60 Cu, 39 Zn, 0,75 Sn, 0,25 Pb**	**Отожженный**	**100**	**372**	**40**
		Холоднокатаный[1]	**270**	**427**	**30**
Мунца металл	**60 Cu, 40 Zn**	**Отожженный**	**100**	**393**	**48**
		Холоднокатаный[1]	**410**	**552**	**9**
Алюминиевая бронза	**92 Cu, 8 Al**	**Отожженный**	**206**	**524**	**55**
		Холоднокатаный[1]	**689**	**924**	**13**
Марганцовистая бронза	**68 Cu, 29 Zn, 1 Fe, 1 Mn, 1 Al**	**Отожженный**	**172**	**414**	**45**

		Холоднокатаный[1]	**344**	**586**	**20**
Фосфористая бронза	**95 Cu, 5 Sn, следы P**	**Отожженный**	**124**	**310**	**50**
		Холоднокатаный[1]	**517**	**620**	**4**
Кремнистая бронза	**96 Cu, 3 Si, остальное Mn, Sn, Ni или Zn**	**Отожженный**	**150**	**379**	**35**
		Холоднокатаный[1]	**620**	**758**	**5**
Бериллиевая бронза	**97,6 Cu, 2,05 Be, 0,35 Ni или 0,25 Co**	**Отожженный**	**210**	**483**	**42**
		Холоднокатаный[5]	**1100**	**1310**	**2**
Нейзильбер	**60 Cu, 20 Zn, 20 Ni**	**Отожженный**	**138**	**310**	**35**
		Холоднокатаный[1]	**517**	**620**	**3**
Купроникель	**70 Cu, 30 Ni**	**Отожженный**	**228**	**440**	**35**
		Холоднокатаный	**503**	**552**	**5**
Магниевые					
AZ 92 (дауметалл C)	**9 Al, 2 Zn, 0,1 Mn, 88,9 Mg**	**Литой в песч. форму[3]**	**150**	**275**	**3**
AZ 90 (дауметалл R)	**9 Al, 0,6 Zn, 0,2 Mn, 90,2 Mg**	**Литой под давлением**	**150**	**228**	**3**
AZ 80X (дауметалл 01)	**8,5 Al, 0,5 Zn, 0,2 Mn, 90,8 Mg**	**Экструдированный**	**228**	**338**	**11**
Никелевые					
Монель-металл	**67 Ni, 30 Cu, 1,4 Fe, 1 Mn**	**Отожженный**	**240**	**517**	**40**
		Холоднокатаный[1]	**689**	**758**	**5**
Инконель	**77,1 Ni, 15 Cr, 7 Fe**	**Отожженный**	**241**	**586**	**45**

		Холоднокатаный[1]	**758**	**930**	**5**
Железные					
Кованое железо	**2,5 шлак, остальное в осн. Fe**	**Горячекатаный**	**206**	**330**	**30**
Технически чистое железо	**99,9 Fe**	**Отожженный**	**130**	**260**	**45**
Углеродистая сталь SAE 1020	**0,2 C, 0,25 Si, 0,45 Mn, 99,1 Fe**	**Отожженный**	**276**	**414**	**35**
Литая углеродистая сталь	**0,3 C, 0,4 Si, 0,7 Mn, 98,6 Fe**	**Литой[6]**	**276**	**496**	**26**
		Литой[7]	**414**	**620**	**25**
Нержавеющая сталь типа 302	**18 Cr, 8 Ni, 0,1 C, 73,9 Fe**	**Отожженный**	**207**	**620**	**55**
Нержавеющая сталь типа 420	**13 Cr, 0,35 C, 86,65 Fe**	**Отожженный**	**414**	**676**	**28**
		Термообработанный	**1380**	**1724**	**8**
Чугун	**3,4 C, 1,8 Si, 0,5 Mn, 94,3 Fe**	**Литой**	**—**	**174**	**0,5**
Нитенсил	**2,7 C, 1,8 Si, 0,8 Mn, 2,3 Ni, 0,3 Cr, 92,1 Fe**	**Литой[8]**	**278**	**552**	**—**
Нирезист типа 2	**2,8 C, 1,8 Si, 1,3 Mn, 20 Ni, 2,5 Cr, 71,6 Fe**	**Литой**	**—**	**207**	**2**
Нихард	**2,7 C, 0,6 Si, 0,5 Mn,4,5 Ni, 1,5 Cr, 90,2 Fe**	**Литой в песч. форму**	**—**	**379**	**—**
		Литой в кокиль	**—**	**517**	**—**

[1]Отпуск на макс. твердость. [2]Термообработка на твердый раствор. [3]Термообработка на твердый раствор и

старение. [4]Термообработка на твердый раствор, старение и наклеп. [5]Отпуск на макс. твердость и старение. [6]Литье и отжиг. [7]Литье, закалка в воду, отпуск с 677° С. [8]Литье и термообработка.

Таблица 2. НЕКОТОРЫЕ ВАЖНЫЕ СПЛАВЫ (физические свойства, характеристика и применение)

	Физические свойства						
Сплавы	**Плотность**	**Точка (диапазон) плавления, °С**	**Коэфф. теплового расширения (0–100° С), 10^{-6}/К**	**Теплопроводность (0–100° С), 10^{6}Вт/(м·⊇)**	**Удельное электросопротивление (0° С), 10^{-9} Ом·⌠**	**Модуль упругости при растяжении, 10^{3} МПа**	**Характеристика и применение**
Алюминиевые							
3003	**2,73**	**645–655**	**22,9**	**8,32 6,70**	**98,9 125**	**68,9**	**Пластичный и легкий материал. Баки, трубы, заклепки и т.п.**
2017	**2,79**	**535–640**	**23,2**	**7,41 5,23**	**111 169**	**71,7**	**Самолетостроение и др. отрасли техники, где требуется высокая удельная прочность**
5052	**2,67**	**590–650**	**23,6**	**6,00**	**144**	**70,3**	**Хорошая прочность, легкий, коррозионностойкий материал**
6053	**2,69**	**580–650**	**23,2**	**7,41 6,70**	**111 125**	**69,0**	**То же**
2024	**—**	**500–640**	**23,0**	**—**	**—**	**—**	**По прочности превосходит 2017**
7075	**2,80**	**480–640**	**23,2**	**5,23**	**169**	**71,7**	**По прочности превосходит 2024. Самолетостроение**

13	**2,66**	**576–620**	**19,8**	**6,14**	**140**	**71,0**	**Хорошие литейные свойства. Превосходный материал для сложных отливок**
43	**2,66**	**576–630**	**22,0**	**6,32** **6,32**	**136** **122**	**71,0** **71,0**	**Хорошие литейные свойства, газоплотный материал.Литейный сплав общего назначения**
214	**2,63**	**580–640**	**23,8**	**5,98**	**144**	**71,0**	**Хорошие механические свойства. Превосходная коррозионная стойкость.**
Медные							
Красная латунь	**8,75**	**1023**	**17,6**	**6,85**	**143**	**103**	**Коррозионностойкий. Водопроводные трубы, арматура**
Патронная латунь	**8,50**	**938**	**20,0**	**5,17**	**204**	**97**	**Патронные гильзы и др. изделия глубокой вытяжки**
Желтая латунь (выс.)	**8,47**	**932**	**18,9**	**5,17**	**204**	**97**	**Латунь широкого назначения. Хорошие механические характеристики.**
Адмиралтейская латунь	**8,54**	**934**	**18,4**	**4,73**	**214**	**103**	**Коррозионностойкий.**

Судостроительная латунь	**8,42**	**885**	**20,1**	**5,00**	**214**	**103**	**Стойкий к соленой воде. Судостроение**
Мунца металл	**8,40**	**904**	**19,4**	**5,42**	**184**	**90**	**Хорошие высокотемпературные свойства и коррозионная стойкость**
Алюминиевая бронза	**7,78**	**1040**	**16,6**	**3,00**	**357**	**103**	**Сплав повышенной прочности, коррозионностойкий. Гребные винты, зубчатые колеса**
Марганцовистая бронза	**8,36**	**896**	**20,1**	**4,36**	**214**	**103**	**Повышенная прочность. Арматура трубопроводов**
Фосфористая бронза	**8,86**	**1050**	**16,9**	**3,52**	**290**	**103**	**Высокая усталостная прочность. Пружины, мембраны**
Кремнистая бронза	**8,54**	**1018**	**17,1**	**1,40**	**816**	**103**	**Высокие прочность и сопротивление усталости, коррозионная стойкость**
Бериллиевая бронза	**8,23**	**954**	**16,6**	**4,00**	**—**	**—**	**Исключительно высокая усталостная прочность. Пружины, мембраны**
Нейзильбер	**8,75**	**1110**	**16,2**	**1,45**	**893**	**128**	**Коррозионностойкий белый металл. Основной материал**

							для посеребренной посуды
Купроникель	**8,94**	**1227**	**15,3**	**1,25**	**1122**	**139**	**Коррозионная стойкость. Конденсаторные трубы, трубопроводы для соленой воды**
Магниевые							
AZ 92 (дауметалл C)	**1,82**	**599**	**25,2**	**2,89**	**490**	**44,8**	**Легкий сплав для литья в песчаные и многократные формы**
AZ 90 (дауметалл R)	**1,81**	**604**	**25,2**	**2,98**	**520**	**44,8**	**Легкий сплав для литья под давлением**
AZ 80X (дауметалл 01)	**1,80**	**610**	**25,2**	**3,30**	**444**	**44,8**	**Легкий сплав для экструдирования**
Никелевые							
Монель-металл	**8,84**	**1299–1349**	**14,0**	**1,12**	**1480**	**179**	**Коррозионностойкий. Кухонное и больничное оборудование**
Инконель	**8,51**	**1393–1427**	**11,5**	**0,64**	**3000**	**214**	**Термо- и коррозионностойкий сплав**

Так, например, все выплавляемое железо почти целиком идет на изготовление обычных и легированных сталей, а также чугунов. Дело в том, что сплавлением с некоторыми компонентами можно существенно улучшить свойства многих металлов. Если для чистого алюминия предел текучести составляет всего лишь 35 МПа, то для алюминия, содержащего 1,6% меди, 2,5% магния и 5,6% цинка, он может превышать 500 МПа. Аналогичным образом могут быть улучшены электрические, магнитные и термические свойства. Эти улучшения определяются структурой сплава – распределением и структурой его кристаллов и типом связей между атомами в кристаллах.

Многие металлы, скажем магний, выпускают высокочистыми, чтобы можно было точно знать состав изготавливаемых из него сплавов. Число металлических сплавов, применяемых в наши дни, очень велико и непрерывно растет. Их принято разделять на две большие категории: сплавы на основе железа и сплавы цветных металлов. Ниже перечисляются наиболее важные сплавы промышленного значения и указываются основные области их применения.

Сталь.

Сплавы железа с углеродом, содержащие его до 2%, называются сталями. В состав легированных сталей входят и другие элементы – хром, ванадий, никель. Сталей производится гораздо больше, чем каких-либо других металлов и сплавов, и все виды их возможных применений трудно было бы перечислить. Малоуглеродистая сталь (менее 0,25% углерода) в больших количествах потребляется в качестве конструкционного материала, а сталь с более высоким содержанием углерода (более 0,55%) идет на изготовление таких низкоскоростных режущих инструментов как сверла. Легированные стали находят применение в машиностроении всех видов и в производстве быстрорежущих инструментов.

Чугун.

Чугуном называется сплав железа с 2–4% углерода. Важным компонентом чугуна является также кремний. Из чугуна можно отливать самые разнообразные и очень полезные художественные и утилитарные изделия. В правильно выполненных отливках достигаются хорошие механические свойства материала.

Сплавы на основе меди.

В основном это латуни, т.е. медные сплавы, содержащие от 5 до 45% цинка. Латунь с содержанием от 5 до 20% цинка называется красной (томпаком), а с содержанием 20–36% Zn – желтой (альфа-латунью). Латуни применяются в производстве различных мелких деталей, где требуются хорошая обрабатываемость и формуемость. Сплавы меди с оловом, кремнием, алюминием или бериллием называются бронзами. Например, сплав меди с кремнием носит название кремнистой бронзы. Фосфористая бронза (медь с 5% олова и следовыми количествами фосфора) обладает высокой прочностью и применяется для изготовления пружин и мембран.

Свинцовые сплавы.

Обычный припой (третник) представляет собой сплав примерно одной части свинца с двумя частями олова. Он широко применяется для соединения (пайки) трубопроводов и электропроводов. Из сурьмяно-свинцовых сплавов делают оболочки телефонных кабелей и пластины аккумуляторов. Сплавы свинца с кадмием, оловом и висмутом могут иметь точку плавления, лежащую значительно ниже точки кипения воды (~70° С). Пьютер, из которого ранее отливали столовые приборы (вилки, ножи, тарелки),

содержит 85–90% олова (остальное – свинец). Подшипниковые сплавы на основе свинца, называемые баббитами, обычно содержат олово, сурьму и мышьяк.

Легкие сплавы.

Современная промышленность нуждается в легких сплавах высокой прочности, обладающих хорошими высокотемпературными механическими свойствами. Основными металлами легких сплавов служат алюминий, магний, титан и бериллий. Однако сплавы на основе алюминия и магния не могут применяться в условиях высокой температуры и в агрессивных средах.

Алюминиевые сплавы.

К ним относятся литейные сплавы (Al – Si), сплавы для литья под давлением (Al – Mg) и самозакаливающиеся сплавы повышенной прочности (Al – Cu). Алюминиевые сплавы экономичны, легкодоступны, прочны при низких температурах и легко обрабатываемы (они легко куются, штампуются, пригодны для глубокой вытяжки, волочения, экструдирования, литья, хорошо свариваются и обрабатываются на металлорежущих станках). К сожалению, механические свойства всех алюминиевых сплавов начинают заметно ухудшаться при температурах выше приблизительно 175° С. Но благодаря образованию защитной оксидной пленки они проявляют хорошую коррозионную стойкость в большинстве обычных агрессивных сред. Эти сплавы хорошо проводят электричество и тепло, обладают высокой отражательной способностью, немагнитны, безвредны в контакте с пищевыми продуктами (поскольку продукты коррозии бесцветны, не имеют вкуса и нетоксичны), взрывобезопасны (поскольку не дают искр) и хорошо поглощают ударные нагрузки. Благодаря такому сочетанию свойств алюминиевые сплавы служат хорошими материалами для легких поршней,

применяются в вагоно-, автомобиле- и самолетостроении, в пищевой промышленности, в качестве архитектурно-отделочных материалов, в производстве осветительных отражателей, технологических и бытовых кабелепроводов, при прокладке высоковольтных линий электропередачи.

Примесь железа, от которой трудно избавиться, повышает прочность алюминия при высоких температурах, но снижает коррозионную стойкость и пластичность при комнатной температуре. Кобальт, хром и марганец ослабляют охрупчивающее действие железа и повышают коррозионную стойкость. При добавлении лития к алюминию повышаются модуль упругости и прочность, что делает такой сплав весьма привлекательным для авиакосмической промышленности. К сожалению, при своем превосходном отношении предела прочности к массе (удельной прочности) сплавы алюминия с литием обладают низкой пластичностью.

Магниевые сплавы.

Магниевые сплавы легки, характеризуются высокой удельной прочностью, а также хорошими литейными свойствами и превосходно обрабатываются резанием. Поэтому они применяются для изготовления деталей ракет и авиационных двигателей, корпусов для автомобильной оснастки, колес, бензобаков, портативных столов и т.п. Некоторые магниевые сплавы, обладающие высоким коэффициентом вязкостного демпфирования, идут на изготовление движущихся частей машин и элементов конструкции, работающих в условиях нежелательных вибраций.

Магниевые сплавы довольно мягки, плохо сопротивляются износу и не очень пластичны. Они легко формуются при повышенных температурах, пригодны для электродуговой, газовой и контактной сварки, а также могут соединяться пайкой (твердым), болтами, заклепками и клеями. Такие сплавы не отличаются особой коррозионной стойкостью по отношению к

большинству кислот, пресной и соленой воде, но стабильны на воздухе. От коррозии их обычно защищают поверхностным покрытием – хромовым травлением, дихроматной обработкой, анодированием. Магниевым сплавам можно также придать блестящую поверхность либо плакировать медью, никелем и хромом, нанеся предварительно покрытие погружением в расплавленный цинк. Анодирование магниевых сплавов повышает их поверхностную твердость и стойкость к истиранию. Магний – металл химически активный, а потому необходимо принимать меры, предотвращающие возгорание стружки и свариваемых деталей из магниевых сплавов.

Титановые сплавы.

Титановые сплавы превосходят как алюминиевые, так и магниевые в отношении предела прочности и модуля упругости. Их плотность больше, чем всех других легких сплавов, но по удельной прочности они уступают только бериллиевым. При достаточно низком содержании углерода, кислорода и азота они довольно пластичны. Электрическая проводимость и коэффициент теплопроводности титановых сплавов малы, они стойки к износу и истиранию, а их усталостная прочность гораздо выше, чем у магниевых сплавов. Предел ползучести некоторых титановых сплавов при умеренных напряжениях (порядка 90 МПа) остается удовлетворительным примерно до 600° С, что значительно выше температуры, допустимой как для алюминиевых, так и для магниевых сплавов. Титановые сплавы достаточно стойки к действию гидроксидов, растворов солей, азотной и некоторых других активных кислот, но не очень стойки к действию галогеноводородных, серной и ортофосфорной кислот.

Титановые сплавы ковки до температур около 1150° С. Они допускают электродуговую сварку в атмосфере инертного газа (аргона или гелия), точечную и роликовую (шовную) сварку. Обработке резанием они не очень поддаются (схватывание режущего инструмента). Плавка титановых сплавов

должна производиться в вакууме или контролируемой атмосфере во избежание загрязнения примесями кислорода или азота, вызывающими их охрупчивание. Титановые сплавы применяются в авиационной и космической промышленности для изготовления деталей, работающих при повышенных температурах (150–430° С), а также в некоторых химических аппаратах специального назначения. Из титанованадиевых сплавов изготавливается легкая броня для кабин боевых самолетов. Титаналюминиевованадиевый сплав – основной титановый сплав для реактивных двигателей и корпусов летательных аппаратов.

Бериллиевые сплавы.

Пластичный бериллиевый сплав можно получить, например, вкрапляя хрупкие зерна бериллия в мягкую пластичную матрицу, такую, как серебро. Сплав этого состава удалось холодной прокаткой довести до толщины, составляющей 17% первоначальной. Бериллий превосходит все известные металлы по удельной прочности. В сочетании с низкой плотностью это делает бериллий пригодным для устройств систем наведения ракет. Модуль упругости бериллия больше, чем у стали, и бериллиевые бронзы применяются для изготовления пружин и электрических контактов. Чистый бериллий используется как замедлитель и отражатель нейтронов в ядерных реакторах. Благодаря образованию защитных оксидных слоев он устойчив на воздухе при высоких температурах. Главная трудность, связанная с бериллием, – его токсичность. Он может вызывать серьезные заболевания органов дыхания и дерматит.

Разработчики:

РГХПУ им. С.Г. Строганова доцент каф. РХМ С.А. Тюрина

(место работы) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)