



Оглавление

Глава 5. ЧУГУН И СТАЛЬ	2
5.1. Чугун	2
5.2. Сталь	10
Глава 6. ЛЕГКИЕ СПЛАВЫ	39
6.1 Алюминий	39
6.2 Магний и его сплавы	44
6.3 Титан и его сплавы	49
Глава 7. ЛЕГКОПЛАВКИЕ ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ ..	56
7.1 Цинк	56
7.2 Свинец	57
7.3 Висмут	60
7.4 Олово	60
7.5 Ртуть	63



ГЛАВА 5. ЧУГУН И СТАЛЬ

5.1. Чугун

Чугун – это сплав железа с углеродом, содержание которого превышает 2%, причем углерод может находиться в структуре чугуна как в связанном состоянии в виде карбида Fe_3C , так и в свободном состоянии в виде графита, форма графитовых включений может быть пластинчатой в сером чугуне, шаровидной – в высокопрочном и хлопьевидной – в ковком. Наибольшее распространение получил чугун с пластинчатой формой графита, в том числе и в художественном производстве [30].

Чугун как литейный материал был изобретен в Китае в VI веке до н.э., о чем свидетельствует четырехзарядная чугунная пушка, отлитая в V веке, и другие многочисленные изделия [41].

В Древнем Китае чугун выплавляли в поворотных печах, рис.46.

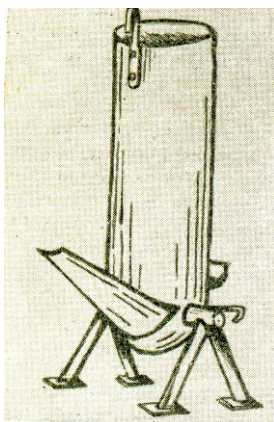


Рис.46. Поворотная китайская печь для плавки чугуна

Древняя Русь познакомилась с технологией выплавки чугуна в гг. Великие Булгары и Сарай Берке во времена Золотой Орды.

Расцвет русской архитектуры XVII-XVIII вв., строительство административных, культовых и бытовых сооружений потребовали новых материалов. Таким материалом для архитекторов и строителей явился чугун – дешевый, с хорошими механическими, эстетическими и антикоррозионными свойствами.

Исаакиевский собор, построенный в 1818-1858 гг. по проекту А.А.Монферрана, украшен скульптурами работы



История художественного металла

И.П.Витали, А.В.Логановского, его завершает чугунный купол диаметром 21,83 м, рис.47 (рис.1, цв. вклейка).



Рис. 47. Свет проникает через 12 окон, опоясывающих барабан, на котором покоится чугунный купол величественного Исаакиевского собора, XIX век, Санкт-Петербург

Расцвет статуарного литья из чугуна относится к началу 20-х годов XIX века. В это время возникает дискуссия о возможности применения чугуна для художественных отливок. В 1830 году выходит брошюра под язвительным псевдонимом Противочугунов, в которой критикуется мнение скульптора П.П.Соколова, выступившего с восхвалением превосходных литейных и статуарных качеств чугуна. П.П.Соколовым было оформлено три Петербургских моста: Львиный, Бакшевский и Египетский. Декоративная скульптура мостов была отлита из чугуна, за исключением крыльев грифонов Банковского моста, которые выполнены из листовой меди, рис.48-50 и (рис.2, цв. вклейка).

Неизвестный противник чугуна писал: «Мода иногда заставляет слишком увлекаться новостью и забывать и отстранять бронзу, то есть то, что веками и опытом, и вкусом признано истинно полезным. Чугун не способен передавать ваятельные и скульптурные произведения».



История художественного металла



Рис.48. Львиный мост. Санкт-Петербург

«Львы держат мост» - не правда ли, это звучит несколько странно? И все же в Санкт-Петербурге есть такой мост. Он расположен на красивом изгибе канала Грибоедова, неподалеку от Театральной площади, и так называется – Львиный. На его устоях – четыре чугунных льва.



Рис.49. Грифоны Банковского моста. Санкт-Петербург

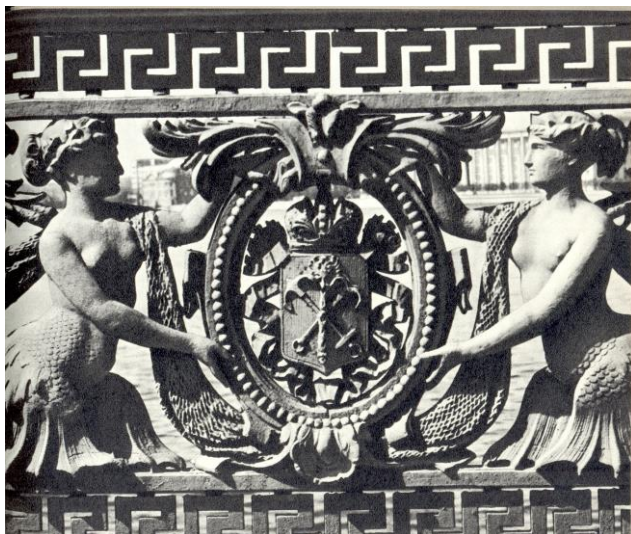


Рис.50. Скульптурные украшения Литейного моста. Санкт-Петербург

Дружно опираясь лапами, откинув головы на мускулистых шеях, они держат в своих пастях тонкие железные цепи, к которым подвешен настил моста. Красивый, сильный зверь не только украшение, внутри него помещена конструкция из металлических стержней, удерживающих цепи. Композиция моста – интереснейший пример синтеза инженерной конструкции и монументальной скульптуры. Львиный мост построен по проекту инженера Г.Третера в 1825-1826 гг.

Из чугуна в большом количестве отливали художественные решетки и ограды.

В работе [39] приводится следующая легенда о Санкт-Петербургских оградах: «Когда-то в Санкт-Петербург приехал пожилой знатный англичанин. Усевшись на раскладном стульчике против решетки Летнего сада (рис.40), он целую ночь любовался этим творением, обогащенным отсветами белой ночи. Утром англичанин отправился обратно в Лондон, при этом заявил: «Теперь я могу спокойно умереть. Я видел совершенство красоты и гармонии». «Оград узор чугунный ...» показан на рис.51.



История художественного металла



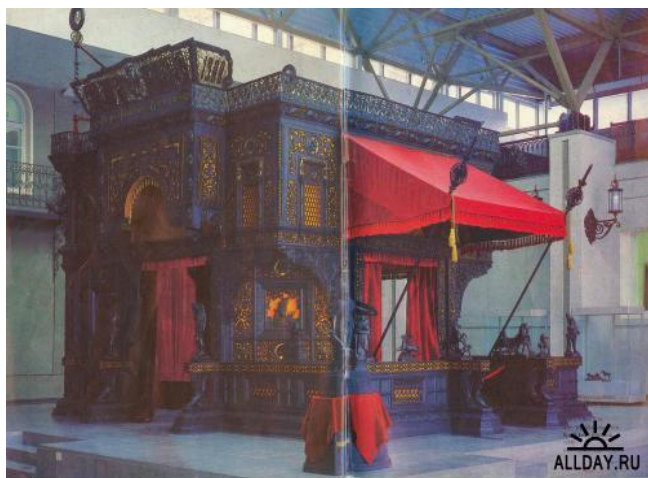
Рис. 51. Решетка Летнего сада. Выполнена по проекту Ю. Фельтена и П.Е. Егорова, 1770-1784 гг.



Рис.52. «Оград узор чугунный...»

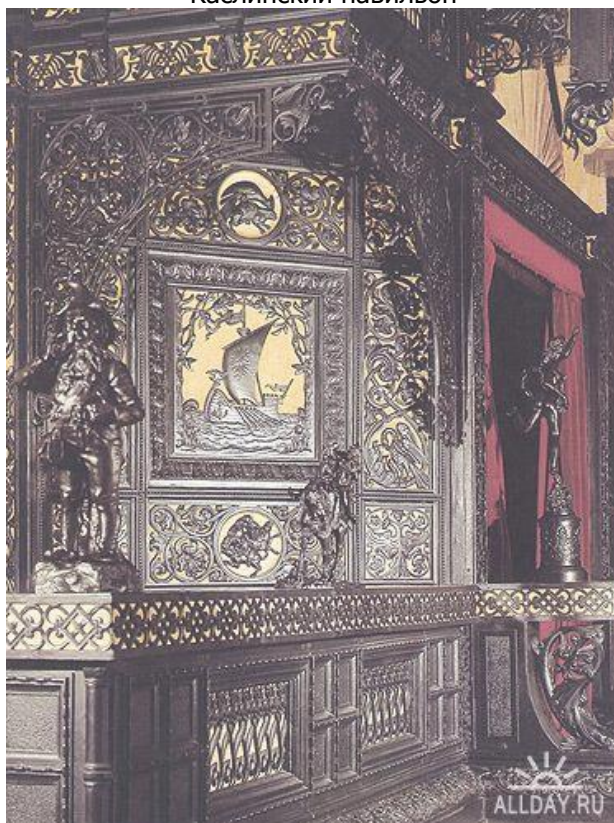


История художественного металла



а

Каслинский павильон



б

Рис. 53. Каслинский павильон (а) и фрагмент (б);



История художественного металла

Замечательным творением из чугуна является знаменитый Каслинский павильон для Всемирной выставки в Париже в 1900г., рис. 53. Проект павильона был разработан архитектором Е.Е. Баумгартеном и изготовлен на Каслинском заводе в 1900г. Огромный, почти 5-метровой высоты, с площадью более 100 м² павильон кажется сплетенным из литых кружев многочисленных мотивов самой причудливой вязи. Архитектура была выдержана в византийском стиле, а художественное оформление тесно связана с традициями древнерусского искусства. Павильон состоит из множества литых чугунных деталей, которые отразили все жанры художественного литья: кабинетную структуру, тонкие горельефы, филигранный сквозной орнамент, архитектурные детали и чеканные барельефы. Каждая деталь этого произведения искусства, начиная с нижнего карниза, обрамляющего павильон, полированного барьера или колонн и кончая самым маленьким уголком, рамкой или выступом, сложным горельефом или ажурнейшим орнаментом, выполнена с необычайным мастерством, тонкостью и изяществом, центральной, неотъемлемой частью павильона является чугунная скульптура, символизирующая Россию, рис. 54.



Рис. 54. Касли. Статуя «Россия».
Скульптор Н. Леверецкий, формовщик К. Тарасов



История художественного металла

Закончим рассказ о чугуне представлением изделий мелкой художественной пластики. Всемирно известными являются изделия уральских заводов Касли, Кусы, а также еще мало изученное художественное литье таких литейных заводов, как Каменский, Кушвинский, Верх-Исетский, Сысертский и др., рис.55, 56.



Рис. 55. Касли. Поездка на праздник. Чугун.1880-1890гг



Рис. 56. Касли. Киркиз на лошади. Чугун. 1904г



Бурное развитие черной металлургии отрицательно сказывалось на экологии планеты, рис.57.

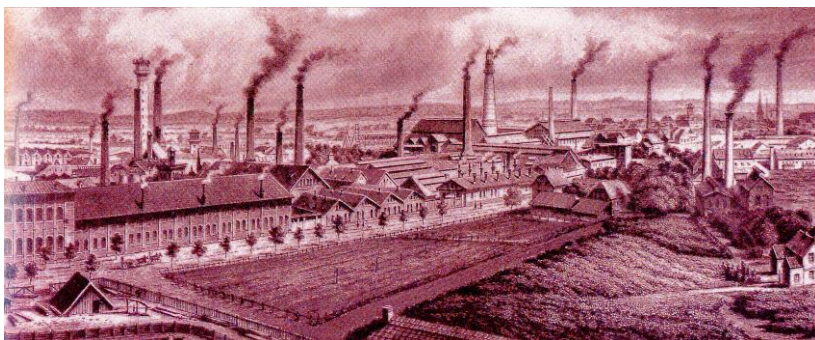


Рис.57. Крупный промышленный центр Эссен в Германии десятками труб изрыгал в небо черный дым. Последняя четверть XVIII века

5.2. Сталь

Сталь – это сплав железа с углеродом, содержание которого не превышает 2%. Сталь в последние века и в обозримом будущем будет определять развитие нашей цивилизации [30]. Сталь может быть использована в различных сферах человеческой деятельности. Рассмотрим некоторые области применения стали.

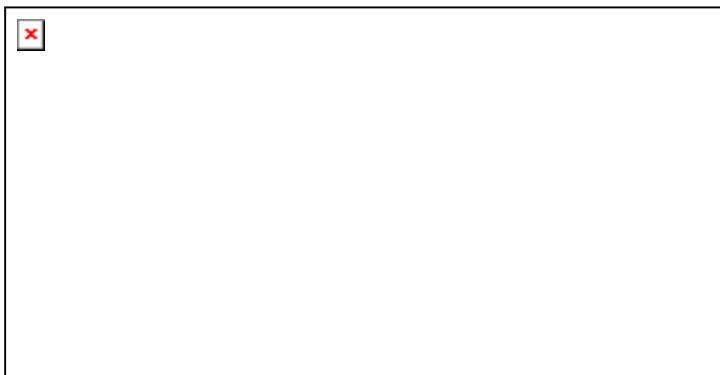


Рис. 58 Царь Николай II и царица Александра Федоровна на балконе Зимнего дворца перед объявлением о вступлении России в Первую мировую войну, 2 августа 1914 г.



5.2.1. Кованые изделия из стали

Для изготовления решеток, кованых ворот, бытовых предметов, хозяйственных и архитектурных предметов используется малоуглеродистая сталь с содержанием углерода до 0,25 %. Она обладает достаточной прочностью (σ_v до 450 МПа) и высокой пластичностью (δ до 30%), хорошо подвергается пластической деформации в холодном и, особенно, в нагретом состоянии; умелые руки кузнеца из нее могут сотворить чудесные изделия, рис.58-63 и рис.7,26,27, цв. вклейка).



Рис. 59. Каминная решетка из стали и бронзы работы тульских оружейников. 1780-е годы. Екатерининский дворец, г. Пушкин



Рис. 60. Центральные ворота дворцовой ограды. Архитектор В. Растрелли. 1750-е годы. Екатерининский дворец, г. Пушкин



История художественного металла



Рис. 61. Европейские кованные изделия:
а - фрагмент кованной ограды балкона конца XVIII в. из
Франции, б – кованный Сундук Армады из Нюрнберга, XVI в.

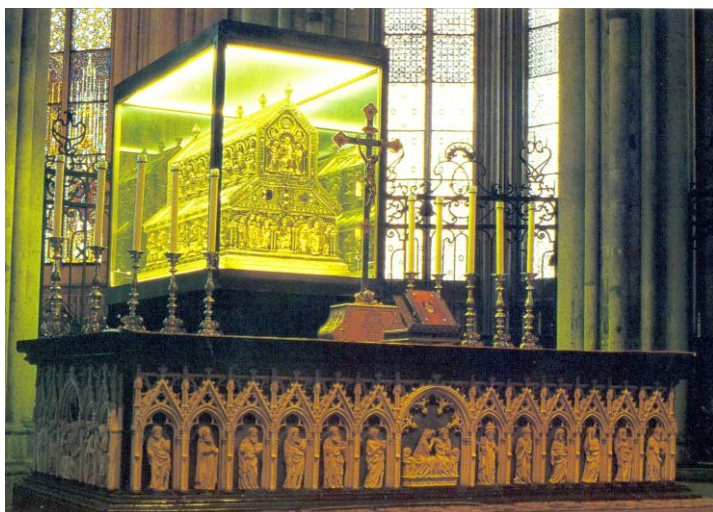


Рис. 62. Кованая решетка вокруг раки Трех Волхвов в
Кельнском соборе, 1220 год



Рис.63. Решетчатые ворота, увенчанные орлами, королевским гербом и короной. Версаль, Франция. XVII-XVIII вв.

5.2.2. Холодное оружие и средства личной защиты

Для этих целей требуется высокоуглеродистая (крепкая) сталь с содержанием углерода в пределах 0,8-1,3 %. Боевое оружие – вещь довольно утилитарная.



а



б



История художественного металла



В

Рис. 64. Русское холодное оружие:

- а – сабля жалованная казачья. XVIII в. Сталь;
- б – шашка. Нач. XX в. Северный Кавказ. Сталь, серебро, чернь. Областной музей краеведения, Ростов-на-Дону;
- в – сабля и ножны. Мастер И. Просвит. XVI в. Оружейная палата. Москва

В ней мало места для украшения. В старой русской армии были строго регламентированные образцы холодного, или, как прежде на Руси называли, белого оружия, поэтому отступление от этих образцов редко допускалось, рис.64. В старой русской и Советской армии существовал институт наградного оружия. Награда называлась «Золотым оружием». Перед Первой мировой войной оно было причислено к статусу ордена Святого Георгия и стало называться Георгиевским оружием. Высший генералитет русской армии награждался «Золотым оружием» с драгоценными камнями. Таких наград было очень мало.



Рис.65. Почетное оружие с золотым изображением Герба СССР. Военно-исторический музей артиллерии, инженерных войск и войск связи. Санкт-Петербург

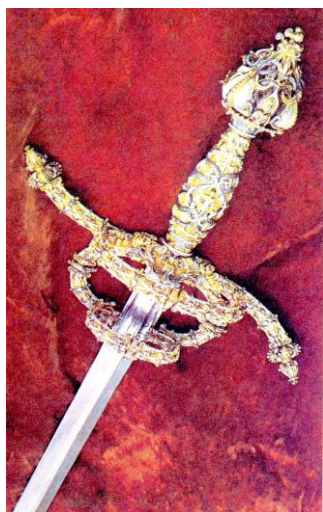
В советское время этот институт награждения оружием был возобновлен в 1968 году в честь 50-летия Советской армии. Была



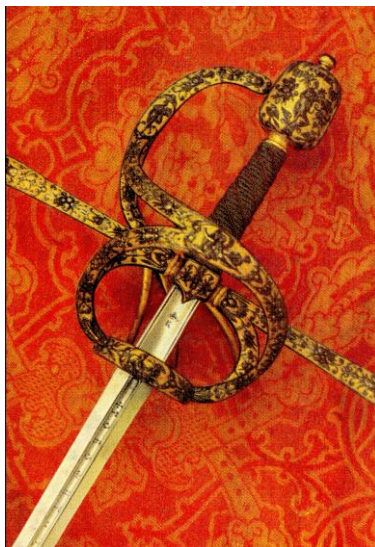
История художественного металла

вручена 21 награда выдающимся военным, командовавшим в Великую Отечественную войну крупнейшими военными соединениями: Ворошилову, Буденному, Жукову, Казакову и другим военачальникам. Награда называлась «Почетное оружие с золотым изображением Герба СССР». Позднее этой награды были удостоены только Фидель Кастро и Л. И. Брежнев, рис.65.

Восточное холодное оружие зачастую включает большое количество золотого украшения и драгоценных камней и демонстрирует влиятельное положение владельца. Роскошность холодного оружия была характерна и для европейского стиля, рис.66.



а



б

Рис.66. Образцы европейского холодного оружия:

а - эту великолепную шпагу император Максимилиан II в 1575 г. вручил в подарок саксонскому курфюрсту Августу.

Клинок испанских кузнецов украшен эфесом ювелирной работы; б – рапира Даниэля Заделера. Мюнхен, 1600 год

В производстве оружия из «настоящей» дамасской стали славились древнеиндийские металлурги. В словаре Брокгауза-Ефрона сказано, что булат, или, по-другому, дамасская сталь – азиатская узорчатая сталь для клинков холодного оружия, получается свариванием и проковкой цементной стали, причем слои при проковке перепутываются и дают на поверхности клинка разнообразные рисунки. Булат готовится первобытным способом, но превосходного качества, главным образом в Индии и



История художественного металла

Хорасане (Персия), где издавна куются знаменитые клинки. Другие клинки, кроме старых дамасских и толедских, значительно хуже. Название «дамасская сталь» произошло от имени сирийской столицы – города Дамаск, который был крупнейшим восточным торговым центром. В Средние века секрет производства булатной (дамасской) стали был потерян и только в 1841 году был вновь открыт русским металлургом П.П.Аносовым и описан в работе «О булатах».

По Аносову: булатами называется всякая сталь, имеющая узорчатую поверхность. Виды булатов: табан, кара-табан, хорасан, кара-хорасан, гынды, кум-гынды, нейрис и шам. Достоинство булатов познают азиатцы по узору, по цвету грунта или промежутков между узорами, по отливу поверхности при косвенном направлении лучей света. Лучшими булатами считаются табан, кара-табан и кара-хорасан, а худшим – шам, который включает в себе преимущественно продольные узоры.

Химический состав булатов и характеристика свойств булата по данным различных авторов: П.П.Аносов: $C = 1,3-1,5\%$, Н.И.Беляев: $C = 1,1-1,3\%$; узоры по Д.К.Чернову: результат дендритной ликвации, по А.П.Виноградову: результат неоднородности стали вследствие недостаточно высокой температуры и неполного расплавления металла, по Н.Н.Беляеву: результат характера кристаллизации стали. Чем медленнее процесс кристаллизации и чем больше в стали углерода, тем более крупными являются узоры.

Технология получения булата (по П.П. Аносову):

1. Состав: совершенство булата зависит от чистоты железа и углерода, а твердость его – от количества последнего.

2. Способы приготовления булатов:

– сплавление железных руд с графитом или восстановление и соединение железа с углеродом (древний способ);

– сплавление железа при доступе углей или соединение его предварительно с углеродом и восстановление его посредством закисы железа;

– или с помощью продолжительного отжигания без доступа воздуха;

– и, наконец, сплавление железа непосредственно с графитом или соединение прямо с углеродом (современный способ).

3. Плавка: шихта (10-12 фунтов железа), на нее полагается состав, приготовленный из графита, железной окалины и флюса



История художественного металла

(горновой камень и (или) доломит. Тигель закрывается глиняной крышкой. Сильный жар. Время плавки – 5 часов и более. Охлаждение тигля вместе с печью. Сплавов в центре имеет усадочную раковину.

4. Отжиг производится для улучшения ковкости и проявления узоров. Литые заготовки (сплавки) загружают в чугунный ящик, закрывают железными листами и края засыпают песком. Нагрев медленный (3 дня) до прокаливания докрасна, выдержка от 3 до 9 суток. Сталь после отжига удобнее куется, мягче в опилке, менее подвергается короблению в закалке и стойче после оной.

5. Проковка. Сплавов нагревают при слабом дутье в горне, относят молот и кладут на наковальню широким основанием. Проковку начинают на тихом ходу молота, поворачивая слиток в одну сторону. При первоначальной проковке повторяют нагревы от 3 до 9 раз. Если сплавов не получил трещин, то его рассекают на 3 части зубилами. Чем медленнее проковывается булат и чем чище отсекается, тем он лучше. Разрубленные части идут опять в ковку под молот, где их сначала проковывают в правильные бруски, а потом в полосы: чем медленнее стынет металл под молотом, тем выше его достоинство. Если часть полосы нагреть добела, то при твердом булате она лишается ковкости, а при мягком теряет узоры. Никакая сталь не должна перегреваться при ковке.

6. Ковка изделий. Приемы при ковке наблюдаются те же самые, какие и при всякой другой стали, но только нагревать должно сколь возможно менее и не более мясно-красного цвета; а окончательная ковка, или наклепка, не требует и этой степени жара, а довольно, если металл будет нагреваться до вишнево-красного.

7. Калка. Нагрев откованную вещь докрасна, погружают ее в горячее сало и, дав ей время остыть, вынимают, обтирают и с одной стороны вычищают точильным камнем для дальнейшего наблюдения за появлением цветов (побежалости при отпуске). Нагревание закаленной стали называется отпуском, и главнейшие степени его по цветам суть: желтый, фиолетовый, синий, зеленый. Желтый цвет означает самую малую, а зеленый – самую большую степень отпуска, при которой упругость начинает теряться. Изделие снова немного нагревают над углями и наблюдают за появлением цветов; например, при закалке сабельного клинка у ручки отпускают до зеленого цвета, а у конца до синего, а в середине – до фиолетового, стараясь, чтобы



История художественного металла

на месте удара у лезвия оставался желтый цвет. Клинок, таким образом, отпущенный, выправляется (рихтуется) острым молотком и еще горячий погружается в холодную воду. Подобным образом закаливается всякое булатное оружие. Но если хотят вместо наибольшей стойкости получить наибольшую упругость, то в таком случае отпуск делается ровный, как в середине, так и в конце клинка, до синего цвета.

По современным представлениям структура булата после термической обработки должна представлять мелкозернистый цементит на фоне отпущенного троосто-мартенсита (прим.наше – БТ.).

8. Точка и полировка. При точке и полировке необходимо следить, чтобы режущая кромка не нагревалась выше желтого или синего цвета. Лучше ее проводить на мокрых точилах.

9. Вытравка. Персидский железный купорос, содержащий, кажется, часть сернокислой глины, почитается лучшим средством для вытравки клинков. Для составления протравы он предварительно кипятится с водой в свинцовом сосуде. На 1 штоф (1,23 л) воды употребляют до 1/4 фунта купороса. Вытравляемый клинок должен быть совершенно чист и свободен от масла и др. жирных частей; клинок предварительно очищают мелкой золой или щелоком, обмывают в чистой воде и потом опускают в теплый раствор или раствором часто поливают, держа клинок над сосудом с раствором. Когда узоры и грунт обнаруживаются, то вынимают клинок, обмывают несколько раз щелоком и холодной водой и потом с возможной скоростью обтирают клинок досуха, стараясь как можно слабее прикасаться сухой льняной ветошью к клинку. Узоры также выявляются при смачивании клинка лимонным соком, пивным уксусом. Протравленный клинок смазывают деревянным маслом и вытирают, рис. 67.



История художественного металла

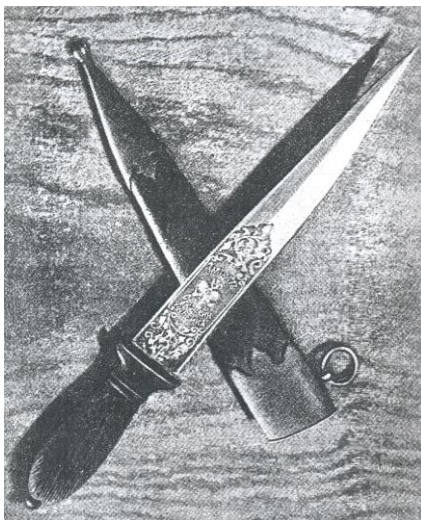


Рис.67. Булатный кинжал, изготовленный на Златоустовской оружейной фабрике, где директором работал П.П.Аносов. Кинжал изображен на фоне, представляющем увеличенное изображение узора поверхности клинка [43]

В России холодное оружие изготовлялось на знаменитой Златоустовской фабрике. В Германии традиционными центрами изготовления холодного оружия издавна были Пассау и Золинген, а в Испании славилось холодное оружие города Толедо, символом которого являлся памятник женщине, держащей над головой меч, рис.68.

Ниже приводится технология изготовления знаменитых толедских клинков [4].



История художественного металла



Рис. 68. Один из символов г. Толедо:
женщина с мечом у замка Алькасар. Испания

Испанское холодное оружие, особенно сделанное в Толедо, всегда отличалось техническим мастерством, художественным совершенством и пользовалось заслуженной славой. Еще у древних римлян высоко ценились изготовленные кельтиберскими кузнецами мечи. Под влиянием арабского искусства, а позднее – искусства эпохи Возрождения испанские оружейники создавали настоящие шедевры.

Каждая мастерская имела и хранила втайне свои собственные секреты. Клинок обычно приготавливали не из одного куска, а складывали вместе три полосы: две стальные снаружи и одну из мягкого железа в середине. Полосы соединяли путем кузнечной сварки так, чтобы средняя мягкая полоса несколько выступала с одного конца (к этому концу потом прикрепляли эфес).

Другой конец заготовки, т.е. лезвие клинка, оттягивали на наковальне сначала в горячем, затем в холодном состоянии с промежуточными отжигами. Качество холодного оружия очень зависит от закалки. Клинок, нагретый до красного каления, охлаждали в проточной воде, а чтобы он сохранил достаточную вязкость, снова нагревали до не очень высокой температуры, т.е. производили отпуск. Такая термическая обработка мало чем отличается от самого распространенного сегодня процесса улучшения стали. Эти технологические приемы и правила



История художественного металла

передавались из поколения в поколение, и кузнецы строго их соблюдали. Температуру закали и отпуска они определяли по цвету раскаленного металла и по так называемым цветам побежалости (цвета, которые приобретает поверхность стального изделия после нагрева до определенных температур).

Установлен был даже угол наклона, под которым следует погружать закаливаемый клинок в проточную воду. Предусматривалась целая серия испытаний качества. Чтобы проверить равномерность закали, клинок укладывали на подушку и изгибали в разных местах от эфеса до острия. Затем следовало другое испытание: клинок вдавливали острием в лежащую на земле свинцовую плиту и, не снимая нагрузки, изгибали и закручивали в разных направлениях. Для проверки твердости лезвия и вязкости клинка служила также проба на шлеме: испытываемым клинком трижды наносили удар по шлему полукруглой формы. Если все испытания проходили успешно, можно было приступить к окончательной обработке и художественной отделке изделия, выравниванию и полировке клинка, вытравливанию надписей и узоров, золочению или серебрению эфеса.

На рис. 69-70 показаны кованые латы и круглый щит из Дрезденского исторического музея.



Рис.69. Латы, итальянская работа, середина XVI века.
Дрезденский исторический музей



История художественного металла



Rundschield,
polnisch-deutsche
Arbeit, 16. Jahrhundert
Щит круглый, польско-
немецкая работа, 16 век

Tarcza okrągła –
praca polsko-
niemiecka, 16 w.
Щит, польско-немецкая
работа, 16. столет

Рис.70. Щит Рискруглый, польско-немецкая работа. XVI век.
Дрезденский исторический музей

В России холодное оружие изготовлялось на знаменитой Златоустовской фабрике. В Оружейной палате Московского Кремля находятся интересные экспонаты из булатной стали, [11]. На рис. 71-72 приводятся два экспоната из булатной стали.



а



б

Рис. 71. Рогатина тверского князя Бориса Александровича (а) и ее фрагмент (б). XV век. Булатная сталь, серебро. Ковка, полировка, резьба. Оружейная палата Московского Кремля



Рис. 72. Щит булатный боярина Федора Мстиславского. XVI век. Булатная сталь, бирюза, золото. Ковка, полировка, инкрустация. Мастер Мумин-Мухамет. Иранский Азербайджан

5.2.3. Сталь в уникальных сооружениях

Эйфелева башня — стальная башня, сооруженная по проекту А.Г. Эйфеля в Париже для Всемирной выставки 1889 года как символ достижений техники в XIX веке. Используется как обзорная и радиотехническая башня (рис.73).



Рис. 73. Эйфелева башня. 1889 год, Париж

В горизонтальной проекции Эйфелева башня опирается на квадрат площадью в 1,6 гектара. Вместе с антенной ее высота составляет 320,75 м, она весит 8600 т, и, как уверяют специалисты, в процессе ее постройки было заклепано 2,5 миллиона заклепок. 12000 деталей для башни изготавливались по



точнейшим чертежам. Самая высокая по тем временам башня в мире была смонтирована 250 рабочими в поразительно короткий срок. 16 опор, на которых держится башня (по четыре в каждой из четырех «ног»), были снабжены гидравлическими подъемными устройствами, дабы обеспечить абсолютно точный горизонтальный уровень первой платформы. И хотя нивелировка потребовалась незначительная, без этих домкратов поставить башню не удалось бы никогда. Башня, возведенная за 26 месяцев, оставалась самым высоким сооружением в мире до 1931 года, когда в Нью-Йорк-сити был построен небоскреб Эмпайр-стейт-билдинг.

Подвесной мост замка Конуэй (IX век). На северном побережье Уэльса стоит крепость Конуэй, окруженная почти 2-кило-метровой стеной с тремя воротами и двадцатью двумя башнями. В 1824 году архитектор Томас Телфорд смело соединил подвесным мостом берега реки Конуэй, взяв за образец его оформления башни средневековой крепости, рис.74.



Рис.74. Подвесной мост, выкрашенный белой краской, в замке Конуэй.

1824. Гвинедд, Великобритания

Большой Охтинский мост, возведенный в 1908-1911 годах по проекту инженера Г.Кривошеина и архитектора В.Апышкова, пересек Неву немного выше по течению от того места, где в нее впадает река Охта. Разводной пролет предусмотрен в центре речного русла, а боковые части перекрыты без промежуточных опор двумя длинными, 136-



метровыми, стальными фермами арочного типа, к которым снизу подвешена проезжая часть [27].

Мост очень удобен для судоходства, однако архитектурные достоинства его представляются весьма сомнительными. Мощные фермы, расположенные над проезжей частью, загромождают панораму Невы, на берегу которой в этом месте находится замечательный памятник русской архитектуры середины XVIII века – Смольный монастырь. Откровенный «инженеризм» облика Большого Охтинского моста – следствие чисто утилитарного подхода к его проектированию. До Октябрьской революции Охта была далекой рабочей окраиной, и поэтому проектировщиков мало волновал вопрос, как мост будет «увязан» с панорамой Невы, рис.75.

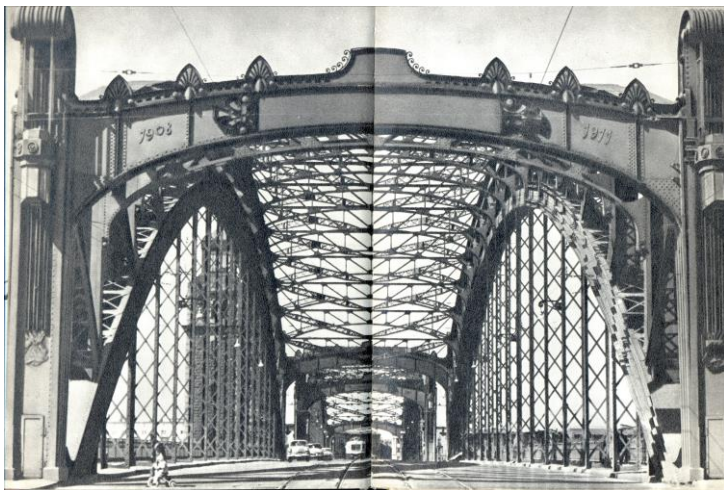


Рис.75. Охтинский мост. 1908-1911. Санкт-Петербург [26]

Эмпайр-стейт-билдинг (Empire State Building) стоит в одном ряду с такими знаменитыми во всем мире постройками, как пирамида Хеопса и Тадж-Махал. Этот небоскреб был и остается символом блистательного и очаровательного Нью-Йорка. Размеры здания: в нем 102 этажа, высота – 381м, а вместе с телевизионной башней – 449м, масса – 331000 т, построен на двухэтажном фундаменте; его поддерживает стальная конструкция массой 54000 т. Этот небоскреб выполнен в скромном, но элегантном стиле арт-деко. По серому каменному фасаду ввысь тянутся полосы нержавеющей стали, рис.61.



Рис.61. Эмпайр-стейт-билдинг. 1931, США. Светлые полосы на фасаде здания – из нержавеющей стали; высота здания вместе с телевизионной башней равна 499м

Американцы относятся к небоскребу Эмпайр-стейт-билдинг как к восьмому чуду света [2].

Центр Помпиду – национальный Центр искусства и культуры имени Жоржа Помпиду (Centre National d'Art et de Culture Georges Pompidou) – это здание, внешний облик которого трудно забыть. Бесчисленное число разноцветных труб, тянущихся снизу вверх по его торцевым фасадам, прозрачные галереи эскалаторов и переходов по лицевой стороне – все это скорее напоминает огромную фабрику или нефтеочистительную установку. Но не следует думать, будто подобный дизайн – всего лишь бессмысленная прихоть очередного авангардиста. Просто архитекторы, приняв во внимание стремительные изменения современной технологии, сочли нецелесообразным уводить под пол водопроводные трубы, прятать в стены кондиционеры, рис.62.



Рис. 62. Центр Помпиду. 1977 год, Франция

Центр Помпиду, построенный в стиле «хай-тек», критикуют те, кому трубы и коммуникации, выставленные напоказ вдоль внешних стен здания, представляются бессмысленным уродством. Многие заявляют даже, что Центр вообще никакого отношения к архитектуре не имеет, уверяя, что это всего лишь сляпанное на скорую руку техническое сооружение. Но в том-то и парадокс, что Центр Помпиду по сути своей гораздо ближе духу классической архитектуры, чем иное современное здание, имитирующее тяжеловесный грегорианский стиль. Как греческий храм горделиво выставлял напоказ колонны, подпирающие его крышу, так же и Центр Помпиду не стесняется показать металлический «костяк», на котором держится весь его корпус, и не скрывает необходимых элементов своего технического оснащения. По мере развития технологии грани между архитектурой и техникой стираются все больше и больше [2].

Арка в Сент-Луисе (Gateway Arch) – это большие ворота из нержавеющей стали. Но только они не настоящие, а символические, потому что напоминают о той роли, которую Сент-Луис играл когда-то давно, во времена первооткрывателей. Тогда этот город называли Воротами на Запад. Высота арки 192 м. Она символизирует надежду примирения человека и Бога. В Библии говорится: Бог создал радугу, когда кончился Потоп, и



История художественного металла

Ной, его семья и все животные покинули ковчег, чтобы снова заселить опустевшую землю.



Рис.63. Арка в Сент-Луисе. 1967 год, США – это большие символические ворота (на дикий Запад) из нержавеющей стали; высота арки – 192 м

Радуга – это знак того, что Бог никогда больше не пошлет потопа «на опустошение земли», поэтому она кажется достойным памятником тем исполненным надежд мужчинам, женщинам и детям, которые покинули спокойный и безопасный мир, чтобы заселить просторы Запада.

Проект Арки выполнил американский архитектор Эро Сааринен. Готова она была в 1967г. Внутри этого сооружения есть лифты, которые поднимают туристов к смотровым окнам, откуда открывается впечатляющий вид на город Сент-Луис и реку Миссисипи, рис. 63.

Сиднейская опера и портовый мост (Харбор-бридж) являются символами крупнейшего города Австралии – Сиднея. Портовый мост – это функциональная стальная конструкция серого цвета, которую жители Сиднея называют *«вешалкой для одежды»*. Арка моста сочетает в себе мощь и элегантность, рис.64.



История художественного металла



Рис.64. Сиднейская опера (1973г.) с белыми бетонными парусами как у взлетающего лебедя и портовый мост, «вешалка для одежды» (1923-1932 гг.) являются символами Сиднея.
Австралия

Проект был разработан австралийским инженером-железно-дорожником родом из Сендгейта, штат Квинсленд, по имени Джон Джоб Кру Брэдфилд. По мосту проходит железнодорожная линия.

Общая длина моста – 1150м, а расстояние между арочными фермами – 503м. Самая высокая точка моста находится на расстоянии 135м от воды. С пешеходной дорожки на его восточной стороне открывается прекрасный вид на оживленный порт и на город.



История художественного металла

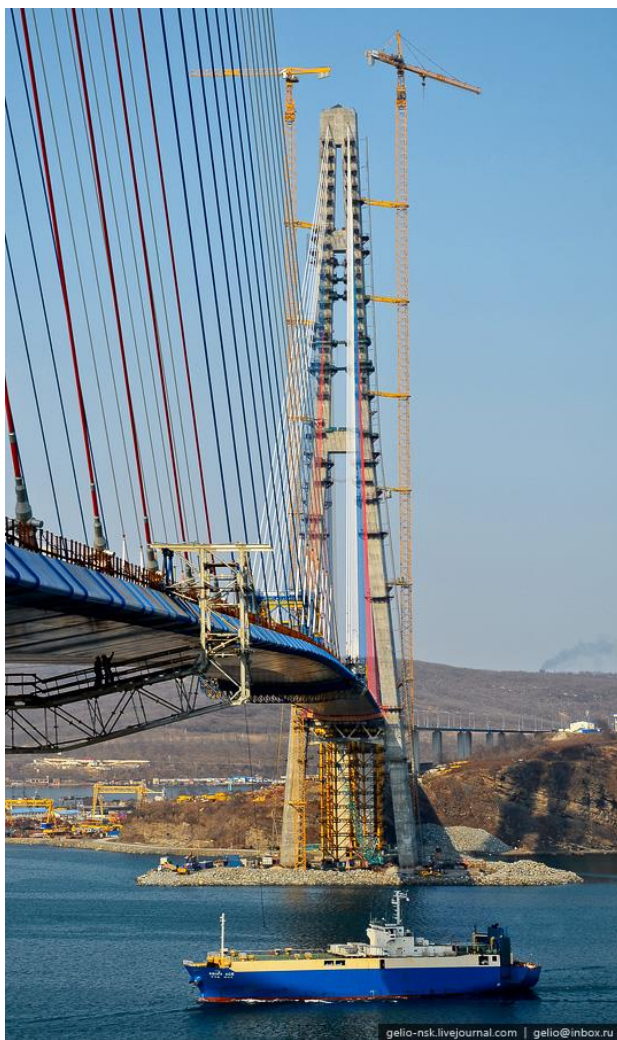


Рис. 95. Для сооружения каждого ростверка пилона понадобилось примерно 20 000 кубометров бетона и около 3000 тонн металлоконструкций

Русский мост — вантовый мост во Владивостоке, соединяющий полуостров Назимова с мысом Новосильского на острове Русском. Имеет самый большой в мире пролёт среди вантовых мостов, длиной 1104 метра, и первые по высоте пилоны — 324 м.



Параметры моста:

- Общий вес главной металлической балки жёсткости руслового пролёта — 23 000 т
- Общая длина моста — 1885,53 м
- Общая протяжённость с эстакадами — 3100 м
- Схема моста: 60+72+3×84+1104+3×84+72+60 м
- Длина центрального руслового пролёта — 1104 м
- Ширина моста — 29,5 м
- Общая ширина проезжей части — 21 м
- Число полос движения — 4 (2 в каждую сторону)
- Подмостовой габарит — 70 м
- Количество пилонов — 2
- Высота пилонов — 324 м
- Самая длинная/короткая ванта — 579,83/135,771 м

Байтерек — монумент в столице Казахстана, Астане, одна из основных достопримечательностей города (*каз.* Байтерек — перен. значение «опора, защитник»). Проект разработан по инициативе президента РК Нурсултана Назарбаева известными своими hi-tech сооружениями Норманном Фостером. Структура башни символизирует три основы мироздания — подземный, земной и небесный миры. На глубине четыре с половиной метра находится нижний уровень, где располагаются кафе, аквариумы и мини-галерея «Байтерек». Высота постройки составляет 97 метров, что символизирует 1997 год, год провозглашения новой столицы. Металлическая конструкция башни весит больше 1000 тонн и стоит на 500 сваях. На вершине находится огромный шар из стекла диаметром 22 метра и весом 300 тонн. Общая высота составляет 105 метров.

«Байтерек» своим расположением и композиционным строением выражает космогонические представления древних кочевников, по преданиям которых на стыке миров протекает Мировая река. На её берегу возвышается Дерево жизни — Байтерек (*каз.* Байтерек - "тополь"), корнями удерживающее землю, а кроной подпирающее небо.



Рис. 92. Монумент Байтерек. Астана, Казахстан

Корни этого дерева, соответственно, находятся в подземном мире, само дерево, его ствол — земном, а крона — в небесном. Каждый год в кроне Дерева священная птица Самрук откладывает яйцо — Солнце, которое проглатывает дракон Айдахар, живущий у подножия дерева жизни, что символически означает смену лета и зимы, дня и ночи, борьбу Добра и Зла. «Байтерек» означает молодое, крепкое, растущее дерево, символизирует собой государство, сохранившее свои исторические корни, имеющее прочную опору и устремленность к будущему процветанию.

О "London Eye". Самое большое колесо обозрения в мире находится в Лондоне и название этого колеса — "Глаз Лондона". Высота колеса 135 метров или 443 фута и достигает высоты сорока пятиэтажного. 6 лет продолжалось строительство, 31 декабря 1999 года колесо обозрения Лондона было запущено и



История художественного металла

приняло первых посетителей. Отдаленно колесо обозрения напоминает велосипедное колесо.



Рис. 93. Колесо обозрения «Лондонский глаз»

На нем располагаются 32 кабинки для туристов. В каждой кабинке помещается до 25 человек. Скорость вращения колеса обозрения мала примерно 0.9-1.6 километров в час. Полный оборот происходит за полчаса. На ободе колеса закреплены прозрачные кабины-капсулы вместимостью двадцать пять человек каждая. Их всего тридцать две – по количеству пригородов Лондона. Приводится в движение эта машина с помощью двух небольших двигателей, притом, что вес конструкции составляет 1700 тонн. За полчаса, в течение которого колесо обозрения совершает полный оборот, его посетители могут как на ладони наблюдать виды Лондона и его достопримечательности. Лондонский глаз излюбленное место влюбленных, а в новогодние и рождественские праздники – площадка для обзора фейерверков.



17th Century Turkish "Ups-and-Downs"

1



2



3

Рис. 94. Турецкий рисунок XVII века, прообраз современных колёс обозрения (1). Первое колесо Ферриса в Чикаго, 1893(2). Венское колесо обозрения ночью (3)

В Москве сегодня имеется 7 колёс обозрения, установленных в различных парках. Самое низкое колесо — 25 м; самое высокое — 73 м. Возраст большинства аттракционов более 10 лет; самое старое — колесо в Измайловском парке, построенное в 1958 году. 30 июня 2012 года в парке культуры и отдыха поселка Лазаревское в Сочи открыли колесо обозрения диаметром 80 м. Колесо изготовлено под руководством конструктора В. Гнездилова, который в 1995 году создал Колесо имени 850-летия Москвы. На нем установлены 14 кабинок вместимостью шесть человек и 14 открытых кабин по четыре человека.

5.2.4. Изделия из нержавеющей стали

Нержавеющие стали – это такие стали, которые не подвергаются коррозии в различных агрессивных средах. Основным компонентом состава нержавеющей сталей, обеспечивающим коррозионную стойкость, является хром (Cr), содержание которого по массе превышает 13%. На поверхности стали образуется очень прочная и плотная пленка Cr_2O_3 , которая препятствует окислению стали. По структуре нержавеющая сталь подразделяется на ферритную и аустенитную. Другие структуры в данном случае мы не рассматриваем. Малоуглеродистая (с содержанием углерода около 0,08% и хрома 13-18%) имеет ферритную структуру, обладает достаточной прочностью (300-500 МПа) и высокой пластичностью ($\delta=20$ и более процентов), легко обрабатывается резанием и методами пластической деформации, хорошо сваривается, полируется до зеркального блеска и имеет слегка синеватый красивый цвет.



Рис.75. Рабочий и колхозница. В. И. Мухина.
Нержавеющая сталь. Дифовка. 1937г.

Идет на изготовление различных изделий для пищевой, химической, медицинской, бытовой и иных целей, а также для изготовления изделий художественного назначения. Если в хромистую нержавеющую сталь добавить 10 и более процентов никеля, то получим аустенитную структуру, еще более устойчивую в коррозионном отношении. На практике очень широкое применение нашла сталь марки X18H9T (типа «цепторовской»). Эта сталь обладает аналогичными свойствами, как и ферритная, но имеет более серебристый приятный цвет (см.рис.61,63,75-79).



История художественного металла

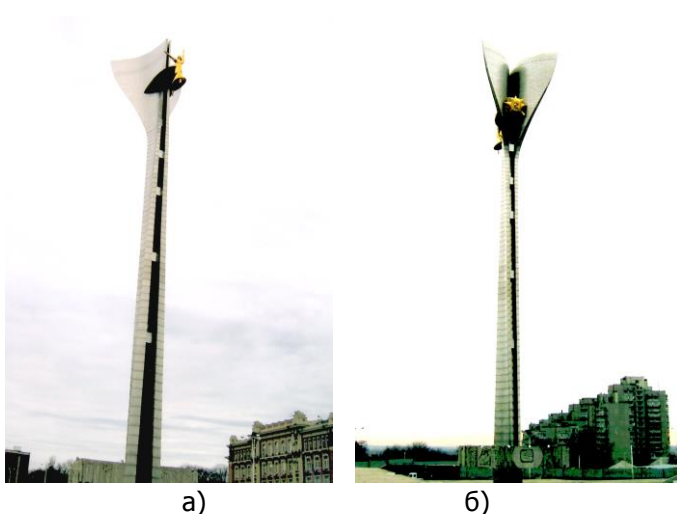


Рис.76. Стела из нержавеющей стали с богиней Ника на лицевой стороне (а) и орденом Отечественной войны – на обратной (б).

Город Ростов-на-Дону, Театральная площадь



Рис.77. Стилизованные чеканные изображения советского народа-созидателя. Нержавеющая сталь. Дворец культуры завода «Красный Аксай», г. Ростов-на-Дону

Монумент "Родина-мать" в Киеве, рис 89. Высота скульптуры (от пьедестала до кончика меча) — 62 м, а с пьедесталом — 102 метра. Весит это все 450 тонн. Стальную обшивку сварили специалисты Института электросварки имени Патона. Суммарная длина швов составила около 30 км. На ее изготовление ушло 5500 тонн бетона и 2400 тонны железных конструкций. Впервые в СССР скульптура таких размеров была изготовлена на Киевском заводе им. Парижской Коммуны с учетом рекомендаций института электросварки им. Е.О. Патона из



История художественного металла

листов нержавеющей стали размером 50х50 см и толщиной 1,5 мм отдельными блоками-секциями, весом 25-30 т. На рис. 90 б видны фрагменты отдельных листов нержавеющей стали и сварные швы.



Рис. 89. Монумент "Родина-мать". Скульптор Василий Бородай. Киев, 1981 г.

Монумент Вечной славы в г. Днепропетровске, рис 9-3, высотой 9 м, отлит из нержавеющей стали методом литья по выплавляемым моделям по отдельным частям (кускам). Отлитые куски после чеканки собирали и сваривали в единое целое. Толщина стенок отливки составляет 10-25 мм. Плавку металла осуществляли в электропечах. Препятствием для широкого применения такой стали как материала для монументальных скульптур являются ее низкие литейные свойства.

Украшения из нержавеющей стали – это, как правило, украшения для мужчин: браслеты (в т. ч. для часов), кулоны, кольца, запонки, изготовленные в комплекте и в одном стиле с зажигалкой, авторучкой, кольцом для ключей и т. п.



История художественного металла



1



2



3

Рисунок 90. Конная статуя Чингисхана, Д. Эрдэнэбилэг. 2008. Монголия, Туве, Эрдэнэ, Цонжин-Болдо. Высота статуи – 40 м без учёта десятиметрового постамента. Изваяние покрыто нержавеющей сталью весом 250 тонн (1,2); Скульптура монумента «Родина-мать». Нержавеющая сталь. Литье. Днепропетровск. 1967г.(3)



ГЛАВА 6. ЛЕГКИЕ СПЛАВЫ

6.1 Алюминий

Алюминий – металл серебристого цвета с плотностью $\rho=2,71\text{г/см}^3$ и температурой плавления 660°C . Он имеет высокую теплопроводность и электропроводность; обладает низкой прочностью ($\sigma_{\text{в}}=100\text{ МПа}$) и высокой пластичностью ($\delta=35\%$).

Алюминий – химически активный металл, активно и легко покрывается с поверхности оксидной пленкой Al_2O_3 , которая защищает его от дальнейшего взаимодействия с окружающей средой. Минеральные кислоты действуют на алюминий. Причем с повышением температуры действие их увеличивается. Некоторые разбавленные кислоты (HNO_3) взаимодействуют с алюминием сильнее, чем концентрированные. Соляная кислота быстро растворяет алюминий. Алюминий устойчив во многих органических кислотах: уксусной, масляной, лимонной, винной, яблочной, глюконовой. В щавелевой и муравьиной кислотах коррозионная стойкость алюминия мала. Алюминий быстро растворяется в растворах едких щелочей. Алюминий устойчив в тех средах, которые не разрушают защитную оксидную пленку. Так, соли не действуют на алюминий; сернистый газ, аммиак, сероводород, содержащиеся в атмосфере промышленных предприятий, мало влияют на стойкость алюминия на воздухе. Алюминий обладает высокой стойкостью в морской воде. Скорость коррозии алюминия резко возрастает в присутствии в воде примесей щелочей, солей ртути, меди, ионов хлора.

Алюминий и его сплавы широко используются в авиационной технике и других отраслях народного хозяйства, в художественной промышленности его используют наряду с чугуном для крупных архитектурных деталей и скульптур, для различных предметов убранства интерьеров, которые теперь заменяют бронзовые украшения. В ювелирной промышленности алюминий заменяет серебро и золото. Все алюминиевые (и остальные легкие металлы и сплавы) подразделяются на деформируемые и литейные. Из деформируемых алюминиевых сплавов изделия получают методами пластической деформации. К деформируемому относится собственно алюминий, который подразделяется на алюминий высокой и технической чистоты. Из технического алюминия изготовляют листы, проволоку, прутки. Механические свойства алюминия зависят от условий поставки: отожженный ($\sigma_{\text{в}}=60\text{ МПа}$, $\delta=28\%$), нагартованный ($\sigma_{\text{в}}=130\text{ МПа}$,



История художественного металла

$\delta=5\%$) и горячекатаный ($\sigma_b=70$ МПа, $\delta=15\%$). К деформируемым алюминиевым сплавам относятся сплавы алюминия с марганцем (марка АМц), с магнием (марки АМг), с медью (марки Д) и ковочные сплавы марок АВ, АК, АД и др. На рис.91,92 показаны алюминиевые изделия: мемориальный комплекс в г. Ростове-на-Дону и самолет ИЛ 76.



Рис.91. Мемориальный комплекс в г. Ростове-на-Дону

Высокопрочные алюминиевые сплавы В95, В93, В96в, В96ц-З, разработанные в СССР в 1950-1970 годах явились основой конструкции советских истребителей КБ Микояна, Яковлева, Сухого; бомбардировщиков Ту16, Ту95, пассажирских и транспортных самолетов Ил86, Ил76, рис. 105, «Антей» и «Руслан» фирмы Антонова, давая снижение веса конструкции 12–15%.

Литейные алюминиевые сплавы в основном базируются на системах Al-Si (сплав АК12) и Al-Si-Mg (сплавы АК9, АК9Су, АК8М и др.). Литейные алюминиевые сплавы обладают достаточно высокими механическими свойствами ($\sigma_b=180-260$ МПа, $\delta=3-6\%$), хорошими литейными и технологическими свойствами. Это предопределило их широкое применение наряду с чугуном для изделий промышленного производства и художественного литья, рис.93-96.



История художественного металла



Рис. 92. Военно-транспортный самолет Ил 76



Рис.93. Символ Грузии – статуя «Мать-Грузия», стоящая на Святой горе в Тбилиси, скульптор Э.Д. Амашукели. 1958 год



История художественного металла



1 2

Рис.94 Боец (1). Мечтание Е. Ф. Белашова, 1957 г.

Было время да и сейчас многие считают алюминий второстепенным материалом. В работе [11] рекомендуется использовать алюминий, который хорошо имитирует цвета пластмасс, минералов или древесины, как их заменителей, а в работе [61] говорится, что «алюминий вообще не подходит для творческих работ». С другой стороны, в работе [22] отмечается, что интерес к алюминию как художественному материалу постоянно возрастает.

На рис. 95 показаны декоративно-прикладные поделки промышленные изделия из алюминия.



а б

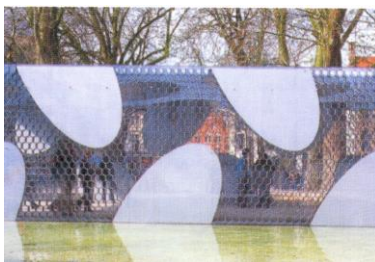
Рис.95. В.М. Федоров. Аркан. Алюминий, гранит. 2008. Якутск (а) и подвеска из Al-проволоки диаметром 1.4мм.



История художественного металла



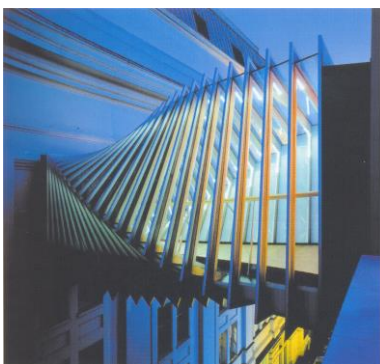
а



б



в



г



д

Рис.96. Изделия из алюминия:

а - поезд «Синкансан-500», Япония; б – пешеходный переход в Брюгге, Бельгия; в – «Мост честолюбия», Англия; г – вид на «Мост честолюбия» ночью с крыши Балетной школы; д – внутренний вид «Моста честолюбия»

Серый цвет алюминия, его мягкость, легкость, пластичность являются его естественными свойствами и производят спокойное ненавязчивое впечатление. Алюминию как самому



распространенному на планете металлу пророчат хорошее будущее, в том числе и в художественном производстве.

6.2 Магний и его сплавы

Магний – серебристо-белый металл, очень легкий ($\rho = 1,74 \text{ г/см}^3$); температура плавления 651°C , температура кипения 1103°C , рис. 97. Кристаллическая решетка гексагональная плотноупакованная Г12 ($a=0,32 \text{ нм}$, $c=0,52 \text{ нм}$, $c/a=1,62354$). Магний не претерпевает полиморфных превращений.



Рис. 97. Магний - лёгкий, ковкий, серебристо-белый металл

Чистый магний характеризуется высокой химической активностью и легко окисляется. Оксидная пленка MgO имеет значительно большую плотность ($3,2 \text{ г/см}^3$), чем чистый магний, и склонна к растрескиванию. При нагреве оксидная пленка теряет свои защитные свойства, скорость окисления магния увеличивается, и при 623°C магний воспламеняется и горит, излучая ослепительный яркий свет.

Свойства магния значительно улучшаются при легировании. Сплавы магния характеризуются низкой плотностью (около $1,8 \text{ г/см}^3$), высокой удельной прочностью, способностью хорошо поглощать вибрации. Они хорошо обрабатываются резанием, хорошо свариваются. К недостаткам относятся меньшая коррозионная стойкость, чем у алюминиевых сплавов, трудности при выплавке и литье, и необходимость нагрева при обработке давлением. В качестве легирующих элементов используют алюминий до 10%, цинк до 5–6 %, марганец до 2,5% и цирконий



до 1,5 %. Для получения специальных свойств применяют также Li, Ce, Cd, Th, Nd, Y.

Историческая справка. Первые магниевые сплавы появились в начале XX века (под названием «электрон», теперь мало употребляемым). Значение конструкционных промышленных материалов магниевые сплавы приобрели в конце 20-х — начале 30-х годов XX века, то есть почти через 100 лет после того как французский химик А. Бюсси впервые выделил магний в чистом виде (1828). До конца 40-х годов применялись главным образом сплавы на основе систем Mg — Al — Zn и Mg — Mn. Дальнейшему прогрессу в области создания магниевые сплавы способствовало открытие модифицирующего и рафинирующего действия циркония. В 50-х годах начали применяться сплавы на основе систем Mg — Zn — Zr, Mg — р. з. м. (редкоземельный металл) — Zr (или Mn), Mg — Th, а также сверхлёгкие сплавы на основе системы Mg — Li. Производство и потребление магния и М. с. возрастает. Мировое производство магния к началу 2-й мировой войны 1939—45 составило около 50 тысяч т, в 1969 Магниевые сплавы 2 млн. т, из них Магниевые сплавы 40—50% расходуется на производство отливок и деформированных полуфабрикатов.

Алюминий образует с магнием систему эвтектического типа с большой растворимостью в твердом состоянии ($C_p=12,7\%$ Al) и интерметаллидной фазой Mg_4Al_3 .

Цинк также образует эвтектическую систему со значительной растворимостью ($C_p=8,4\%$ Zn) и интерметаллидной фазой Mg_7Zn_3 ($MgZn_2$).

В системах Mg—Al и Mg—Zn наличие интерметаллидов и переменная растворимость в твердом состоянии делают в принципе возможной термическую обработку — закалку и старение. Однако эффект упрочнения при старении незначительный (25—35%). Поэтому растворное упрочнение играет основную роль. Это относится и к тройной системе Mg—Al—Zn, в которой дополнительно образуется самостоятельная упрочняющая фаза $T(Mg_3Al_2Zn_3)$, которая выделяется по границам зерен.

Марганец в количестве до 2,5% вводится в магниевые сплавы для повышения коррозионной стойкости, получения мелкозернистой структуры и увеличения прочности.

Цирконий вводится в деформируемые магниевые сплавы для улучшения их пластичности в горячем состоянии.



Различают деформируемые и литейные магниевые сплавы. Деформируемые сплавы маркируются буквами МА, литейные – буквами МЛ, далее следует номер сплава

Деформируемые магниевые сплавы применяют в виде прутков и фасонных профилей для изготовления деталей горячей штамповкой. Для улучшения пластичности обработку давлением ведут при температурах 350–4500С, так как гексагональная решетка магния затрудняет их деформацию при комнатной температуре.

Из магниевых сплавов изготавливают кованные и штампованные детали сложной формы, такие как автомобильные диски.

Наиболее прочными деформируемыми сплавами являются сплавы магния с алюминием (МА5) и магния с цинком, легированные цирконием (МА14), кадмием, РЗМ и другими элементами (МА15, МА19 и др.).

Алюминий и цинк являются эффективными упрочнителями твердого раствора при концентрации не более 10 и 6% соответственно. При большем содержании этих элементов пластичность резко снижается. Появление при старении в структуре упрочняющих интерметаллидов Mg_4Al_3 и $MgZn_2$ осуществляет дополнительное упрочнение. Цирконий измельчает зерно, а кадмий и редкоземельные элементы (РЗМ) одновременно повышают и прочность, и пластичность.

Сплав МА1, легированный только $\sim 2\%$ Мп, характеризуется высокой пластичностью и применяется как листовой материал.

Литейные магниевые сплавы. Магниевые литейные сплавы классифицируют по химическому составу; основная группа промышленных сплавов принадлежит трем системам: Mg–Al–Zn (наиболее распространенные): Mg–Zn–Zr и Mg–РЗМ–Zn. Кроме того, находят ограниченное применение сплавы Mg–Mn (коррозионно-стойкие); Mg–Li (сверхлегкие, $\rho = 1,3\text{--}1,65 \text{ г/см}^3$) и Mg–Th (жаропрочные). Магниевые сплавы систем Mg–Al, Mg–Zn и Mg–Al–Zn являются широкоинтервальными. Они склонны к усадочной пористости, которая снижает механические свойства и герметичность отливок. Широкий интервал кристаллизации $\Delta t_{кр}$ приводит также к образованию горячих трещин и к дендритной ликвации. Линейная усадка лежит в пределах 1,1–1,4%, усадочная раковина незначительная.

В литом состоянии магниевые сплавы хрупки из-за образования по границам зерен большого количества



История художественного металла

неравновесной эвтектики. При гомогенизации (4200С, 12–24 ч) неравновесные выделения интерметаллидов растворяются, значительно повышается пластичность, а также прочность сплавов. Охлаждение на воздухе является для сплавов закалкой, так как фиксируется значительное пересыщение твердого раствора. Максимальные прочностные свойства достигаются после дополнительного искусственного старения при 175 0С – 16 ч, а при 1900С – 4–8 ч.

Применение магниевых сплавов в автомобильной промышленности является сравнительно новым направлением, с новыми требованиями к ним, как конструкционным материалам.. В настоящее время проводятся масштабные научно-исследовательские работы, в результате которых создаются научные основы для более широкого использования магниевых сплавов не только в виде литья под давлением, но и в виде деформированных полуфабрикатов - плит, листов, длинномерных пресованных изделий и поковок как в автомобильной промышленности, так и в других областях техники, где низкая плотность магниевых сплавов окажется оправданной с экономической точки зрения. Так, например, североамериканский концерн General Motors объявил о начале испытаний кузовных деталей на основе магниевого сплава. Применения этого материала позволит уменьшить вес кузова автомобиля, что фактически приведет к снижению расхода топлива.

Примеры художественных изделий из магниевых сплавов приведены на рис.98.





3

Рис. 98. Изделия из магниевых сплавов: 1 - Магниевые клише, 2 - Pentax K-7, 3 - DSLR-аппарат заключён в защищённый от пыли и влаги прочный корпус из магниевого сплава

Город будущего. Люди будущего смогут поселиться в небольших плавучих городах, дрейфующих по Тихому океану подобно огромным водным лилиям. “Зеленый поплавок” (Green Float) состоит из ячеек-районов, каждая из которых с комфортом приютит от 10 до 50 тысяч жителей; пешеходный радиус ячейки – километр, рис. 99. Большинство обитателей “Зеленых поплавков” будут жить в “Небесном городе” – небоскребе километровой высоты, занимающем центр ячейки. Прочие поселятся в жилых зонах вокруг границы ячейки. Центральные башни будут окружать пастбища и леса; посему можно предположить, что ячейки смогут обеспечивать себя всем необходимым пропитанием. Окрест “Небесного города” найдется место и фермам, специализирующимся на крупном рогатом скоте, и иным сельхозпроизводствам. И все это, все-все, будет построено на решетчатой понтонной конструкции, состоящей из 7000-тонных сот. Основным строительным материалом для производства башен авторы проекта называют сверхлегкие сплавы на *основе магния*, добываемого из морской воды.



Рис. 99. «Зелёный поплавок» (Green Float) состоит из ячеек (районов), каждая из которых с комфортом приютит от 10 до 50 тыс. жителей

В России прорабатывается проект строительства завода "Русский магний", который будет выпускать металлический магний и осажденный диоксид кремния с наноразмерной структурой.

6.3 Титан и его сплавы

Титан – металл серебристо-белого цвета, легкий, тугоплавкий, прочный, пластичный; плотность $\rho=4,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления $1668 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$. Очень стоек химически благодаря образованию защитной пленки TiO_2 .

Титан имеет две полиморфные модификации: α -титан с гексагональной плотноупакованной решеткой Г12 с периодами $a=0,296 \text{ нм}$, $c=0,472 \text{ нм}$ и высокотемпературную модификацию β -



титан с кубической объемно центрированной решеткой КЦ8 с периодом $a=0,332$ нм, температура полиморфного $\alpha \rightleftharpoons \beta$ превращения составляет 882°C .

Чистый титан имеет следующие механические свойства: $\sigma_b=245$ МПа, $\delta=70$ %. Технический титан изготавливают из чистых его сортов: ВТ1–00 (99,53 % Ti), ВТ1–0 (99,48 % Ti) и ВТ1–1 (99,44% Ti). Технический титан марки ВТ1–1 имеет свойства: $\sigma_b=450\text{--}600$ МПа, $\sigma_{0,2}=380\text{--}500$ МПа, $\delta\geq 25$ %; $\psi\geq 50$ %.

Титану присущ низкий модуль нормальной упругости ($E=112$ ГПа), почти в 2 раза меньший, чем у железа и никеля, что затрудняет изготовление жестких конструкций, для повышения жесткости приходится увеличивать толщину деталей и их массу.

При температуре выше 500°C титан и его сплавы легко окисляются и поглощают водород, который вызывает охрупчивание (водородная хрупкость). Технический титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается в виде листов, труб, прутков, проволоки и других полуфабрикатов, но плохо обрабатывается резанием.

Деформируемые титановые сплавы. Для получения сплавов титан легируют Al, Mo, Cr, Sn, Fe, Zr, Nd, Si. Легирование производится для улучшения механических свойств и повышения коррозионной стойкости. Титановые сплавы имеют высокую удельную прочность (отношение σ_b/ρ), превышающую прочность легированных сталей.

Алюминий, кислород и азот повышают температуру превращения и расширяют α -область; их называют α -стабилизаторами. Некоторые элементы образуют с титаном химические соединения (Ti_3Al , Ti_2Cu). Такие элементы, как Mo, V, Mn, Cr, Fe, понижают температуру полиморфного превращения и расширяют область β -фазы; их называют β -стабилизаторами.

Почти все промышленные титановые сплавы легированы Al.

Литейные свойства титана и его сплавов достаточно высоки. Их линейная усадка невелика ($\sim 1\%$). Сплавы имеют высокую жидкотекучесть. Наиболее широко используют α -сплав ВТ5Л, что обусловлено высокими литейными свойствами, простотой технологии получения из него отливок, распространенностью и недефицитностью единственного в нем легирующего элемента – алюминия, удовлетворительной пластичностью и ударной вязкостью отливок, более высокой циклической выносливостью по сравнению с титаном и литейными $\alpha+\beta$ -сплавами.



История художественного металла



1



2

Рис. 100. Ракета у входа в Выставочный комплекс ВДНХ. Титан. Москва (1). Скульптурно-архитектурный ансамбль «Брестская крепость». Над обширным пространством доминирует штык-obelisk (цельносварная металлоконструкция, облицованная титаном; высота 100 м, вес 620 т. (2)



а



б

Рис. 101. С.Б. Ракитянский. Скульптура Варан. (а). Набор 37 предметов в футляре с покрытием нитридом титана с художественной росписью "Золотая рыбка". (б)



История художественного металла



Рис. 102. Памятник Ю.А. Гагарину. Титан, Москва

Структура сплава BT5Л представлена в основном пластинчатыми зернами α -фазы внутри исходного β -зерна. Сплав не склонен к образованию горячих трещин, хорошо сваривается. Сплав предназначен для фасонных отливок, длительно работающих при температуре до 400°C . Его применяют также для создания сложных листо сварных конструкций с повышенной надежностью в эксплуатации. Отливки из α -сплава BT5Л, как правило, подвергают полному или неполному отжигу для стабилизации структуры и снятия остаточных напряжений. Изделия из титана показаны на рис. 100 – 103.

Первую художественную отливку из титана изготовили в 1961г. под руководством профессора О.Н. Магницкого. Это был сувенирный вариант копии Медного всадника. Восковые модели сделали на заводе "Монументскульптура". В качестве огнеупорного материала керамических форм выбрали электрокорунд, который в минимальной степени взаимодействует с титаном и обеспечивает хорошее качество литой поверхности. Дальнейшее освоение промышленного производства титановых сплавов показало, что они могут с успехом анодироваться. Цвет и интенсивность получаемых покрытий определяются положительноостью травления. Высокие декоративные свойства и коррозионная стойкость позволили использовать титан в качестве материала для памятников, монументов, обелисков.



История художественного металла

Первой в мировой практике монументальной литой скульптурой из титана является памятник Юрию Гагарину на площади его имени в Москве, рис. 102. Фигура Гагарина высотой 14 м изготовлена из 239 блоков. Размеры литых блоков выбраны исходя из технологических возможностей вакуумного литейного оборудования. Формы изготавливали из графитовой смеси методом кусковой формовки. Плавка производилась в гарнисажных печах с тиглями вместимостью 400 кг. Отдельные блоки соединяли между собой болтами, изготовленными также из титанового сплава. Руководил выполнением всего комплекса сложных технологических процессов профессор Г.Л. Ходоровский.

ВМФ решил вернуть в строй уникальные титановые подлодки. Главкомат ВМФ России принял решение провести ремонт и модернизацию атомных подводных лодок проектов 945 «Барракуда» и 945А «Кондор». Эти корабли строились в 1980–1990-х годах из титана, обладающего большей прочностью по сравнению с традиционной сталью, рис. 103. Корабли проекта 945 строились в СССР в 1979–1986 годах. Сейчас в составе флота четыре титановые атомные подводные лодки (если не считать мини-лодок для глубоководных исследований): две проекта 945 «Барракуда» – К-239 «Карп» и К-276 «Кострома» и две титановые лодки модернизированного проекта 945А «Кондор» – К-336 «Псков» и К-534 «Нижний Новгород». Главная мишень «Барракуд» и «Кондоров» – авианосцы и подводные лодки. Для их уничтожения используются торпеды, которые выстреливают из двух 650-миллиметровых торпедных аппаратов и четырех 533-миллиметровых. В отличие от «Барракуд», «Кондоры» могут стрелять ядерными крылатыми ракетами «Гранат» и погружаться на 50м глубже – до 600м. От воздушных атак лодки могут отстреливаться зенитными ракетами «Игла». Несмотря на возраст, корпуса титановых лодок «в отличном состоянии».



Рис. 103. Титановые корпуса подводных лодок проектов 945 «Барракуда» и 945А «Кондор»

Украшения из титана выполняются самых разнообразных плоских и объемных форм и различных окрасок: желтой, красной, голубой, зеленой, розовой, малиновой, оранжевой, коричневой, синей и др. Цветные художественные и ювелирные изделия, причем нередко с изображением различных пейзажей, мифологических сюжетов, живописных изображений, получают методами термической оксидации и пламенного окрашивания. При нагреве титановых изделий до температуры 620°C на них появляется оксидная пленка TiO и TiO_2 золотистого цвета, которая с увеличением выдержки и температуры приобретает различные цвета радуги вплоть до угольно-серого. Пламенное окрашивание осуществляют с помощью газовой горелки, которая выполняет роль кисти художника.

Ювелирные и художественные изделия из титана, такие как серьги, броши, кулоны и другие украшения и поделки, изготавливаются в сочетании с золотом, бриллиантами, серебром, деревом, слоновой костью, бирюзой и жемчугом. Новизна дизайнерского решения, недефицитность материала, возможность использования различных технологических приемов делают изделия из титана привлекательными и доступными, рис. 104.



История художественного металла



Рис. 104. Ювелирные украшения из титана



ГЛАВА 7. ЛЕГКОПЛАВКИЕ ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ

К легкоплавким художественным металлам относятся цинк (Тпл.=419°C), свинец (Тпл.=327°C), висмут (Тпл.=271°C), олово (Тпл.=231,9°C), ртуть (Тпл.=-39°C), которые в прежние времена широко использовались в декоративно-прикладном искусстве благодаря своей низкой температуре плавления.

7.1 Цинк

Цинковые сплавы известны человечеству очень давно. Они изготавливались египтянами, китайцами и индусами еще до н.э. и ввозились в Европу. Цинк голубовато-серебристый тяжелый металл. Для производства художественных изделий цинк начал применяться только с XVIII в., а художественное цинковое литье – с XIX в. В области прикладного искусства цинк применялся главным образом в чистом виде, а также в сплавах. Начиная с XVIII в. из листового цинка выполнялись техникой дифовки и чеканки с последующей монтировкой в крупные декоративные скульптуры, барельефы и другие архитектурные украшения. Например, барельефы на памятнике-часовне у Ильинских ворот в Москве выполнены из цинка по модели скульптора В.О.Шервуда. В конце XIX в. широкое применение в художественной промышленности получает цинковое литье. Благодаря высокой жидкотекучести из цинка выполняли очень тонкие ажурные работы. Особенно широко цинковое литье применялось для производства недорогой осветительной арматуры: подсвечников, подставок для ламп, настенных бра, канделябров и др. Эти изделия тонировались под бронзу или золотились. Отливали также и крупные декоративные скульптуры, которые получали по частям, а затем спаивали оловянно-свинцовым припоем.

В настоящее время цинковые сплавы широко применяются для литья под давлением различных промышленных деталей небольших габаритных размеров и невысокой прочности, а также декоративных изделий. Наиболее распространенным цинковым сплавом является сплав тройной системы Zn-Al-Cu марки ЦАМ4-1 с $\sigma_B=300$ МПа.

Недостатки цинковых сплавов:



История художественного металла

- низкая коррозионная стойкость, что ограничивает их применение только для условий интерьера;
- способность с течением времени изменяться в размерах, деформироваться;
- при низких температурах становятся хрупкими.

7.2 Свинец

Свинец – голубовато-белый тяжелый металл; очень мягкий, ковкий, вязкий, легко режется ножом, хорошо отливается. Свинец был известен человечеству еще в глубокой древности. Его знали египтяне, финикийцы, греки и другие народы. В прошлом свинец довольно широко применялся в разных областях прикладного искусства. В средневековых Англии и Франции он применялся для покрытия крыш, изготовления водосточных труб, дворцов и соборов. Эти изделия выполняли с большим искусством, украшали рельефным орнаментом – изображением птиц и зверей. Особенно широко применялся свинец для соединения цветных стекол в готических витражах. Из свинца выделялась художественная посуда, а также предметы домашнего обихода – гребни, ложки и др. Из свинца отливали крупные скульптурные композиции и декоративные детали архитектуры.



Рис. 105. Скульптурная группа свинцового литья: шестерка лошадей, которой правит Аполлон. Тюби. Версаль, Франция

Среди скульптур Версаля есть великолепная анималистическая работа, изготовленная Тюби. Это скульптурная группа свинцового литья: шестерка лошадей, которой правит



История художественного металла

Аполлон на своей солнечной колеснице, стремительно вылетающей из вод бассейна, рис. 105.

Другим примером свинцового литья являлся знаменитый Петергофский Самсон, раздирающий пасть льва, первоначально он был отлит из свинца и из-за ветхости был заменен бронзовым, рис. 106.



Рис.106. Фонтан «Самсон, раздирающий пасть льва».

Первоначальная свинцовая группа «Самсона» (1735 г.) была заменена в 1802 г. новой, отлитой из бронзы по модели скульптора М.И.Козловского, архитектор А.Н.Воронихин, мастер-литейщик В.П.Екимов. Похищенная гитлеровцами скульптурная группа была воссоздана скульпторами В. Л. Симоновым и Н. В. Михайловым в 1947 г. Петергоф

Главная группа фонтанов Петродворца – так называемый Большой каскад – была осуществлена в 1717-1728гг. В 1799-1806гг. первоначальная свинцовая скульптура каскада была заменена новой, отлитой из бронзы по моделям скульпторов Ф.Г.Гордеева, М.И.Козловского, И.П.Мартоса, И.П.Прокофьева, Ф.Ф.Щедрина и др. Разрушенный фашистскими захватчиками



История художественного металла

Большой каскад восстановлен в 1947-1950-х гг. Часть утраченных скульптур воссоздана И.В.Крестовским, Н.В.Дыдыкиным, В.Л.Симоновым, В.В.Эллонен, В.С.Соколовым, Н.В.Суворовым и др., рис.107.



Рис.107. Большой каскад. Петродворец. Санкт-Петербург

В нишах Петропавловской крепости сохранились две статуи Марса и Венеры, также отлитые из свинца. В XXв. свинец применялся для отливки декоративных элементов на железных оградках, воротах (ограда в Костянском переулке в Москве). И употреблялся как составная часть хрусталя для повышения его блеска, а также для усиления яркости цвета и блеска при варке художественных эмалей и смальты, входил в черневой состав для нанесения черни.

В настоящее время чистый свинец как материал для производства художественных изделий не применяется и заменяется другими металлами и сплавами. Категорически запрещается применять свинец для выделки различной посуды и изделий домашнего быта из-за возможности отравления металлическим свинцом и его солями. В современной художественной промышленности свинец используется как составная часть мягко плавких сплавов, идущих на неотвечественное декоративное литье, а также мягких оловянно-свинцовых припоев для пайки стальных и медных



История художественного металла

художественных изделий. В небольших количествах свинец входит в состав бронз и латуней.

7.3 Висмут

Висмут – мало распространенный в природе элемент, блестящий, розовато-белый, хрупкий и очень тяжелый металл ($\rho=9,75-9,8$ г/см³). Висмут используется в качестве основного компонента при изготовлении легкоплавких сплавов:

- сплав *Вуда* состоит из 12,5%Sn, 25%Pb, 12,5%Hg, 50%Bі, Тпл.=68°C;

- легкоплавкий сплав состоит из 16,5% Sn, 30% Pb, 9% Cd, 45,5% Bі, Тпл.=70°C;

- сплав *Розе* состоит из 15,5% Sn, 32%Pb, 52,5%Bі, Тпл.=96°C;

- сплав *Ньютона* состоит 18,3% Sn, 31,3% Pb, 50% Bі, Тпл.=123,5°C.

Эти сплавы можно заливать в резиновые, викиновые и гипсовые формы. Они обладают хорошей жидкотекучестью и малыми линейными усадками; легко и хорошо отделяются гальваническим способом (латунированием, серебрением, золочением), а также хорошо покрываются «сусальным» золотом или «поталью» (двухслойные листочки из серебра и меди). Легкоплавкие сплавы могут использоваться как припои.

7.4 Олово

Олово – серебристо-белый мягкий, тягучий металл, легко может быть прокатан в тонкие листы, называемые оловянной фольгой.

Олово имеет две модификации: белое металлическое β -олово с тетрагональной решеткой Т, при + 13,2°C превращается в серое неметаллическое α -олово с кубической решеткой. Превращение начинается в отдельных местах и распространяется пятнами. В связи со значительными объемными изменениями металл рассыпается в порошок. Это явление получило название оловянной чумы. Быстрое превращение белого олова в серое протекает при температуре около минус 30°C. Вероятно, именно такие жестокие морозы настигли армию Наполеона, отступающую из России зимой 1812 года, тогда у французских солдат стали отваливаться форменные пуговицы, сделанные из олова.



История художественного металла

На воздухе и во влажной среде олово не подвергается коррозии. Концентрированные соляная и азотная кислоты легко растворяют его, разбавленные действуют слабо. Сильно действуют на олово щелочи, сера, хлор, бром, фтор и йод.

Олово – древний металл, который по сей день сохраняет большое значение, хотя области его применения совершенно другие. В античное время оно применялось для чеканки монет и изготовления сосудов. В бронзовом веке олово вместе с медью служило важнейшим металлическим материалом. В античное время олово считали важнейшим материалом, из него изготавливалась посуда для хранения напитков. Так, Плиний (I в. н.э.) утверждал, что оловянная посуда улучшает вкус вина.

Оловянной посудой пользовались повсюду и в Средневековье, и даже в прошлом столетии. Оловянную посуду изготавливали из сплава олова с медью, в который иногда для твердости добавляли сурьму или висмут. Изделия из чистого олова применяли редко как из-за их хрупкости, так и из-за дороговизны олова. Делались попытки производства посуды из сплава олова со свинцом, но качество такого сплава было низким. Оловянные сплавы использовались в Европе со времен Римской империи вплоть до VIII-XIX вв. В эпоху раннего Средневековья из сплавов, содержащих олово, изготавливали не только посуду, но также эмблемы монастырей, раздававшиеся паломникам, и предметы церковной утвари. С XIV в. Из этих сплавов стали делать разнообразные сосуды для питья, а также подносы, блюда, чаши, подсвечники, ложки. По форме и стилю оформления изделия из них нередко имитировали модную серебряную посуду того времени. С XIV по XVIII вв. посуда из сплавов, содержащих олово, была весьма изысканной, ее покрывали барельефами и гравировкой.

В Древней Руси, начиная с XVI в., а также в XVII и XVIII вв. олово применялось для тонкого художественного литья, которое употреблялось для внутренней отделки зданий, а также для бытовых изделий. Примером может служить хранящаяся в музее «Коломенское» замечательная девятишатровая надпрестольная сень (балдахин) из Московской Гребневской церкви, богато украшенная оловянным литьем, а также росписью по слюде и золоченой деревянной резьбой. Ажурное оловянное литье применялось в качестве декора иконостасов, дверей, подвесных и выносных фонарей, посуды, рис.108.



История художественного металла



Рис.108. Кружка оловянная. XVIII век. Тюрингия (1).
Оловянное блюдо. 1698 год, (2)

В настоящее время вновь проявляется интерес к оловянной посуде и олово начинают причислять к полублагородным металлам, рис. 109.



Рис. 109. Чернильный прибор (1) и стаканы выполнены из олова (2)

Олово в сплавах со свинцом, висмутом, ртутью, кадмием применяется для изготовления легкоплавких сплавов для мелкого художественного литья.

Из олова получают двусернистое олово SnS_2 . Это соединение может быть получено нагреванием оловянных опилок с серой S и хлоридом аммония (нашатырем) NH_4Cl . Приготовленный по этому способу дисульфит имеет вид золотисто-желтых чешуек и под названием сусального золота употребляется для позолоты различных металлических, деревянных или гипсовых изделий. Дисульфит очень стойко и надолго сохраняет блеск не только в интерьере, но и в экстерьерных условиях.



7.5 Ртуть

Ртуть – мало распространенный в природе элемент; единственный металл, который находится в жидком состоянии при комнатной температуре, плотность ртути $\rho=13,6 \text{ г/см}^3$.

Ртуть известна человечеству с глубокой древности. Ее использовали для отделения золота от пустой породы. Ртуть обладает способностью растворять в себе многие металлы, образуя с ними жидкие, частью твердые сплавы, называемые амальгамами. Особенно легко образуется амальгама золота. Золотая и серебряная амальгамы используются для огневого золочения и серебрения. Золочение как способ украшения применялось издавна; сейчас эта технология используется для отделки мебели, а в прошлом с его помощью украшали купола, статуи, рукописи, рисунки. Техника ртутного золочения применялась вплоть до 40-х XIX в.; щеткой на предмет наносилась амальгама золота, затем этот предмет нагревался, ртуть испарялась, а поверхность покрывалась тонким слоем золота.

Следует отметить, что пары и соли ртути весьма ядовиты.

На рис. 110 показан шпиль Петропавловского собора в Петропавловской крепости, который неоднократно подвергался горячему золочению.



История художественного металла

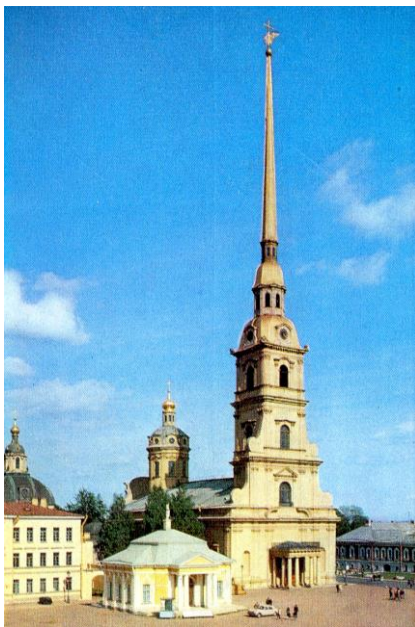


Рис.110. Петропавловский собор (1712-1733) в Петропавловской крепости, Санкт-Петербург. Общая высота колокольни и шпиля собора 122,5 м